

## **Explore2, les futurs de l'eau : étude de l'impact du changement climatique sur les bassins versants de la Loire et du Rhône via l'application d'un modèle hydrologique distribué à base physique**

Explore2, water's future: study of the impact of climate change on the watersheds of the Loire and the Rhone through the application of a distributed hydrological model based on physics

Jérémie Bonneau<sup>1</sup>, Flora Branger<sup>1</sup>, Jean-Philippe Vidal<sup>1</sup>, Michaël Rabotin<sup>1</sup>, Éric Sauquet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRAE Riverly, 5 rue de la Doua, CS 20244, Villeurbanne, France  
[jeremie.bonneau@inrae.fr](mailto:jeremie.bonneau@inrae.fr), [flora.branger@inrae.fr](mailto:flora.branger@inrae.fr), [jean-philippe.vidal@inrae.fr](mailto:jean-philippe.vidal@inrae.fr), [michael.rabotin@inrae.fr](mailto:michael.rabotin@inrae.fr), [eric.sauquet@inrae.fr](mailto:eric.sauquet@inrae.fr)

### **RÉSUMÉ**

Le projet Explore2 a pour objectif de quantifier l'impact du changement climatique sur la ressource en eau en France au cours du 21<sup>ème</sup> siècle, pour fournir aux gestionnaires des hydrosystèmes français des données quantifiant la disponibilité de la ressource en fonction des scénarios plausibles d'évolution du climat et ses incertitudes. Dans ce cadre, nous avons mis en place le modèle hydrologique distribué à base physique J2000 sur les bassins versants du Rhône et de la Loire. Le modèle est dans un premier temps calé et évalué en temps présent (1981-2010) avec les données de la réanalyse SAFRAN sur 288 stations de la Banque Hydro. Le modèle est ensuite utilisé pour simuler l'hydrologie futures avec 13 projections climatiques (correspondant à des combinaisons de 5 couples GCM/RCM et des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre : RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5). Pour chaque simulation est calculé une série d'indicateurs hydrologiques (bilan, débits moyens, quantiles, QMNA5, VCN15, etc.).

### **ABSTRACT**

The research project Explore2 aims to quantify the impact of climate change on French water resources in the 21<sup>st</sup> century, in order to provide data to water managers quantifying resource availability as a function of climate change scenarios. In this context, we set up the physically based, distributed hydrological model J2000 for the Rhône and Loire catchment. The model was firstly calibrated and assessed over today's climate using the SAFRAN reanalysis data (1981-2010), over 288 monitored flow stations sources from the national flow database. The model was then launched with 13 climatic input datasets, corresponding to 5 set of GCM/RCM with a subset of combination of greenhouse gases emissions trajectory (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5). For each simulation, a set of hydrological indicators is calculated to cover the evolution of the flow regime of French rivers in its entirety (water mass balance, average flows, quantiles, QMNA5, VCN15, etc.).

### **MOTS CLES**

Changement climatique, Hydrologie, Modélisation distribuée

## 1 INTRODUCTION

La hausse des températures et modifications de la pluviométrie entraînent les territoires français vers une crise de la disponibilité de la ressource en eau dans les rivières. Il est crucial de pouvoir quantifier la disponibilité future de cette ressource pour anticiper le partage et la distribution entre différents acteurs. Dans le cadre du projet Explore2, financé par le ministère de la transition Ecologique et l'Office Français de la Biodiversité et réunissant divers acteurs scientifiques (INRAE, Météo-France, BRGM, ENS-PSL, Sorbonne Université, IRD, CNRS et EDF), cette étude a pour objectif l'actualisation des connaissances de l'impact du changement climatique sur l'hydrologie des cours d'eau français, en particulier, ici, les bassins versants du Rhône et de la Loire en partant des dernières projections climatiques disponibles, pour produire des données à destination des acteurs opérationnels.

## 2 METHODES

### 2.1 Modèle

#### 2.1.1 Description physique

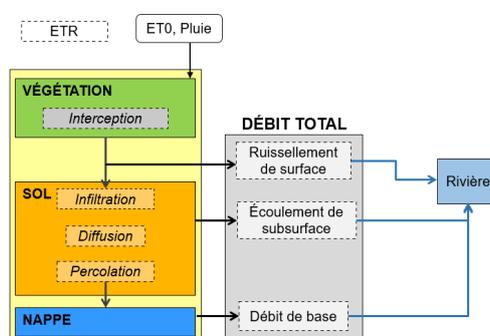


Figure 1 Représentation conceptuelle des processus hydrologiques représentés dans chaque maille (adapté de Branger 2019 et Labbas 2015)

Le modèle J2000 est un modèle hydrologique fonctionnant sur la plateforme de modélisation open-source JAMS (Krause et al., 2006), distribué, à base physique, intégrant différents modules (module interception, sol, nappes phréatiques, etc), qui permet la représentation des principaux processus hydrologiques sur tout un bassin versant. Le bassin versant est discrétisé en un maillage irrégulier composé de HRU (*Hydrological Response Unit* ou Unité de Réponse Hydrologique) par l'outil HRU-*delin* qui 1/ exploite des données topographiques pour décrire le réseau de drainage (linéaire, pente), 2/ associe des points de mesure de débits aux brins de rivière calculés à la première étape 3/ identifie des zones homogènes en HRUs en croisant les données spatiales décrites ci-dessus et 4/ connecte des HRUs entre elles et aux brins de réseau en utilisant la topographie. Dans chaque maille, le modèle calcule (Figure 1) : l'interception par la canopée, le ruissellement de surface, l'infiltration dans les sols avec diffusion, vidange gravitaire et percolation latérale et la recharge et l'écoulement des nappes, ainsi que du routage de débits en rivière. Pour le projet Explore2, la modélisation ne considère que l'hydrologie dite naturelle, c'est à dire constituée uniquement des processus présentés Fig 1 et sans prendre en compte les différents usages de l'eau (barrages hydroélectriques, irrigation, etc).

### 2.2 Données

#### 2.2.1 Spatiales

Le modèle du Rhône a été construit dans le cadre du projet MDR (Branger et al., 2016, 2018). Nous avons construit le modèle de la Loire dans le cadre d'Explore2 : pour obtenir un maillage du bassin versant furent utilisées les données suivantes : un modèle numérique de terrain (MNT, source : BD Alti de l'IGN à une résolution de 50m), une carte géologique (source :BD LISA du BRGM), une carte pédologique (source European Soil Data Center), et une carte d'occupation des sols (source : BD CORINE 2019).

### 2.2.2 Hydro-météorologiques

Les bassins versants étudiés sont ceux du Rhône (exutoire à Beaucaire) et de la Loire (exutoire à Saint Nazaire). Le calage des modèles s'effectue avec les données journalières issues de la ré-analyse SAFRAN comme forçages météorologiques (précipitations, évapotranspiration de référence, température), en comparaison avec les débits observés de la base de données BanqueHydro (Delaigue et al., 2021). Une sélection de stations (179 stations dans le bassin versant du Rhône et 129 dans le bassin versant de la Loire) disponibles a été réalisée pour 1/ la longévité de la chronique disponibles (> 30 ans), 2/ le qualité et fiabilité des données ('bonne'), le régime hydrologique 'peu ou pas influencé' par les activités humaines.

### 2.2.3 Projections climatiques

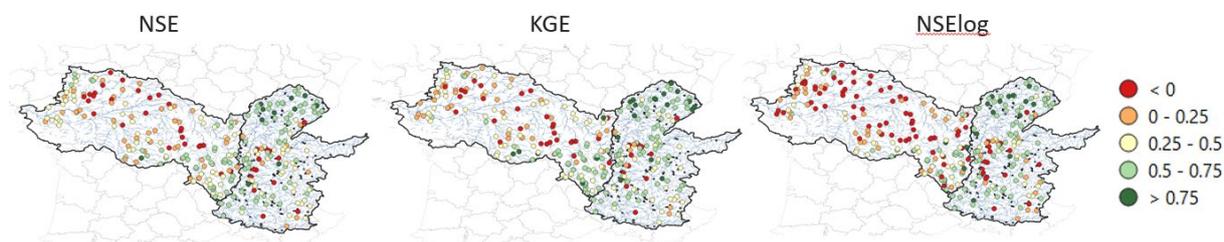
13 projections climatiques correspondant à 5 couples GCM/RCM (CNRM-CM5-LR/ALADIN63, EC-EARTH/RACMO22E, HadGEM2-ES/CCLM4-8-17, IPSL-CM5A-MR/WRF381P, MPI-ESM/CCLM4-8-7) et les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) ont été choisies comme forçages météorologiques futurs.

### 2.2.4 Analyse : indicateurs hydrologiques considérés et stations de restitution

Les simulations sont au pas de temps journalier. Une série d'indicateurs hydrologiques représentant le régime d'écoulement est calculé pour toutes les projections, pour couvrir tous les aspects du régime d'écoulement (bilan, débits moyens, quantiles, QMNA5, VCN15, etc.).

## 3 RESULTATS

Les premières simulations montrent des performances relativement peu satisfaisantes sur le bassin versant de la Loire qui s'explique par l'absence de calage. La performance du modèle est bonne sur les petits bassins versant en tête de bassin versant de la Loire, constituant une base solide sur laquelle le modèle peut être développé. On remarque que les stations au bassin versant les plus grands ont les performances les plus faibles, pointant, entre autres, l'importance de la modélisation du routage en rivière.



Premières estimations de la performance du modèle à base physique sur les bassins versants du Rhône et de la Loire **avant calage**

## 4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail, mené à une échelle nationale, a pour objectif final d'informer les gestionnaires et preneurs de décision sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau, pour adapter les stratégies de gestion de la ressource. Le rendu final comportera des chroniques de débits futurs, des cartes et des fiches bilan représentant multiples indicateurs

### BIBLIOGRAPHIE (3 MAXIMUM)

Branger, F., Gouttevin, I., Tilmant, F., Cipriani, T., Barachet, C., Montginoul, M., Le Gros, C., Sauquet, E., Braud, I., Leblois, E., 2016. Modélisation hydrologique distribuée du Rhône (Rapport final de l'action MDR). Irstea.

Branger, F., Gouttevin, I., Tilmant, F., Cipriani, T., Barachet, C., Montginoul, M., Le Gros, C., Sauquet, E., Braud, I., et Leblois, E. (2018). Un modèle hydrologique distribué pour étudier l'impact du changement global sur la ressource en eau dans le bassin versant du Rhône. In 3ème conférence internationale IS Rivers, 4-8 juin 2018, Lyon, France.

Delaigue, O., B. Génot, L. Lebecherel, P. Brigode, and P.Y. Bourgin. 2021. "Database of watershed-scale hydroclimatic observations in France." In, edited by INRAE Université Paris-Saclay, HYCAR Research Unit, Hydrology group, Antony.