

Les rivières deviennent-elles plus intermittentes en France ?

Are rivers becoming more intermittent in France?

Eric Sauquet¹, Tristan Jaouen¹, Lionel Benoit², Aurélien Beaufort¹,
Benoit Terrier³

¹RiverLy, INRAE Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes, France

²Biostatistics and Spatial Processes (BioSP), INRAE, 84914 Avignon, France

³Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Lyon, France

RÉSUMÉ

L'Office Français pour la Biodiversité (OFB) a créé l'Observatoire National des Etiages (ONDE) pour surveiller plus de 3 300 sites sur des rivières en tête de bassin, susceptibles de s'assécher. Depuis 2012, l'état d'écoulement (présence/absence d'écoulement) de ces sites est observé systématiquement chaque mois de mai à septembre.

Notre étude vise à projeter l'évolution des assèchements de ces sites sous changement climatique au XXI^e siècle. Elle s'appuie sur le projet national Explore2 (<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2>), soutenu par le ministère français de l'Ecologie et l'OFB, qui actualise les connaissances sur les impacts du changement climatique sur l'hydrologie en France à partir de modélisations climatiques et hydrologiques multi-scénarios et multi-modèles appliquées uniformément sur le territoire pour le 21^e siècle.

Notre étude propose d'exploiter l'intelligence artificielle pour projeter l'assèchement des sites ONDE à partir des données climatiques et hydrologiques simulées par Explore2 et des données ONDE entre 2012 et 2019. Des Random Forests ont été appris sur la période historique : elles détectent les assèchements avec une sensibilité de 70% (Q1-Q3 : 53%-82%) selon les régions et les écoulements avec une spécificité de 97% (Q1-Q3 : 93%-99%). A l'issue de la phase d'apprentissage, ces modèles sont utilisés avec les simulations d'Explore2 comme entrée. Les résultats suggèrent que dès 2040 plus de 20% des sites ONDE de la région Rhône-Méditerranée-Corse pourraient être en assec plus de la moitié du temps entre juillet et octobre contre 7% actuellement.

ABSTRACT

The French Office for Biodiversity created the Observatoire National Des Etiages (ONDE) to monitor over 3,300 sites located on headwater rivers prone to no-flow events. Since 2012, the flow or no-flow state of each site has been systematically observed every month from May to September.

Our study aims to project the evolution of no-flow events at the 3,300 ONDE monitoring sites under climate change in the 21st century. This study builds on the national Explore2 project, led by the French Ministry of Ecology, which updates knowledge on the impacts of climate change on hydrology in France through multi-scenario and multi-model climate and hydrological simulations across the country for the 21st century.

We calibrate machine learning models using climate and hydrological data from Explore2 to predict observed no-flow events at ONDE sites between 2012 and 2019. In practice we calibrate random forest on historical data, and after training the models identify no-flow events with a sensitivity of 70% (Q1-Q3: 53%-82%) depending on the region, and flow conditions with a specificity of 97% (Q1-Q3: 93%-99%). Afterwards, the models are fed using Explore2 projections in order to estimate the future trends in no-flow events throughout the 21st century. Results suggest that by 2040 over 20% of the ONDE sites in the Rhône-Mediterranean-Corsica region could experience no-flow conditions for more than half the time between July and October, compared to 7% currently.

MOTS CLÉS

Changement climatique, Intermittence, Machine learning, Projections multi-scénarios, Rivières en tête de bassin
Climate change, Headwater streams, Machine learning, Multi-scenario projections, No-flow events

1 INTRODUCTION

Ce projet, financé par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, vise à analyser l'évolution sous l'effet du changement climatique des épisodes d'assèchement des rivières (assecs) situées en tête de bassins versants. Pour ce faire, des modèles Random Forests (RF) sont calibrées pour prédire ces assecs à partir des données de 3300 sites suivis mensuellement par l'Observatoire National des Étiages (ONDE). Ces modèles s'appuient sur les simulations climatiques et hydrologiques nationales du projet Explore2 pour le 21^e siècle (Sauquet et al., in prep.). Après une phase de calibration réalisée sur la période 2012-2019, les modèles projettent l'évolution des assecs sur l'ensemble du réseau ONDE jusqu'à la fin du siècle, offrant ainsi un aperçu des impacts à long terme du changement climatique sur les ressources en eau.

2 DONNEES

2.1 Observation des assecs : le réseau ONDE

Le réseau de surveillance des étiages ONDE regroupe près de 3300 sites situés en têtes de bassins et dont l'état d'écoulement est suivi mensuellement par l'Office Français pour la Biodiversité (OFB), de mai à septembre depuis 2012. Dans le cadre de cette étude, chaque observation est catégorisée selon deux états binaires : "écoulement" ou "assec".

2.2 Projections hydrologiques et climatiques : le projet Explore2

Explore2 fournit des simulations climatiques et hydrologiques à l'échelle nationale pour le XXI^e siècle. Ces simulations sont basées sur une approche multi-scénarios et multi-modèles appliquée uniformément sur tout le territoire français. Les projections obtenues couvrent un large éventail de futurs possibles et permettent l'évaluation des incertitudes aux différents niveaux de modélisation. Le projet Explore2 fournit à cette étude des projections journalières de précipitations, de température, d'évapotranspiration (selon le maillage SAFRAN de résolution 8x8 km) et de débit des cours d'eau (au niveau de 4000 points de simulation) sur la période historique (1975-2005) et future (2005-2100).

Cette étude considère le modèle hydrologique GRSD (De Lavenne et al., 2016) et deux projections climatiques, choisies pour illustrer deux situations hydro-climatiques contrastées en fin de siècle : des changements futurs relativement peu marqués (scénario dit « optimiste ») ou un fort réchauffement et un fort assèchement en été (scénario qualifié de « pessimiste »).

Les RF sont alimentés par des données climatiques simulées dans le bassin versant de chaque site ONDE. Ces données incluent les précipitations cumulées sur les 30 derniers jours, la température moyenne sur les 30 derniers jours, l'évapotranspiration cumulée sur les 10 derniers jours, l'indice d'aridité calculé de janvier à juillet, et l'anomalie de précipitation de Décembre à Mars calculée sur la base des précipitations moyennes entre 1958 et 2016.

2.3 Projection de la probabilité d'intermittence à l'échelle des Hydro-EcoRegions

Les Hydro-EcoRégions de niveau 2 (HER2) sont des zones homogènes définies en France sur la base de facteurs environnementaux influençant le fonctionnement des écosystèmes fluviaux, tels que la géologie, la topographie et le climat (Wasson et al., 2002). Pour cette étude le territoire a été partitionné en 75 HER2. La proportion de sites ONDE en assec a dans un premier temps été calculée à l'échelle de ces HER2 puis projetée jusqu'à la fin de siècle dans le cadre d'une précédente étude (Jaouen et al., 2024). La probabilité quotidienne d'assecs ainsi obtenue est exploitée par les RF pour prédire l'assèchement localement, au niveau des sites ONDE.

2.4 Variables de calage

Les variables de calage fournissent aux RF un dernier type de variables explicatives qui décrivent pour chaque site ONDE : son pourcentage d'observations en assec de 2012 à 2019, son état d'assèchement le mois précédent et sa probabilité d'être en assec sachant l'état d'assèchement du mois précédent (calculée selon les observations effectuées entre 2012 et 2019).

3 METHODOLOGIE

3.1 Approche de modélisation

Les Random Forests traitent les variables d'entrée en combinant les résultats d'un ensemble d'arbres de décision.

Elles sont calibrées dans chaque HER2 à partir des données historiques observées sur le réseau ONDE entre 2012 et 2019. Leur robustesse est évaluée par des validations croisées, où chaque année est successivement retirée de l'apprentissage pour tester la qualité des prédictions. Une fois calibrés, les modèles sont utilisés pour projeter l'état d'assèchement journalier de chaque site ONDE à partir des projections climatiques fournies par Explore2.

3.2 Evaluation des performances

Les performances des modèles sont mesurées par des métriques comme la sensibilité et la spécificité, qui décrivent respectivement la proportion d'assecs et la proportion d'écoulements détectés par les modèles.

4 RESULTATS

4.1 Calibration

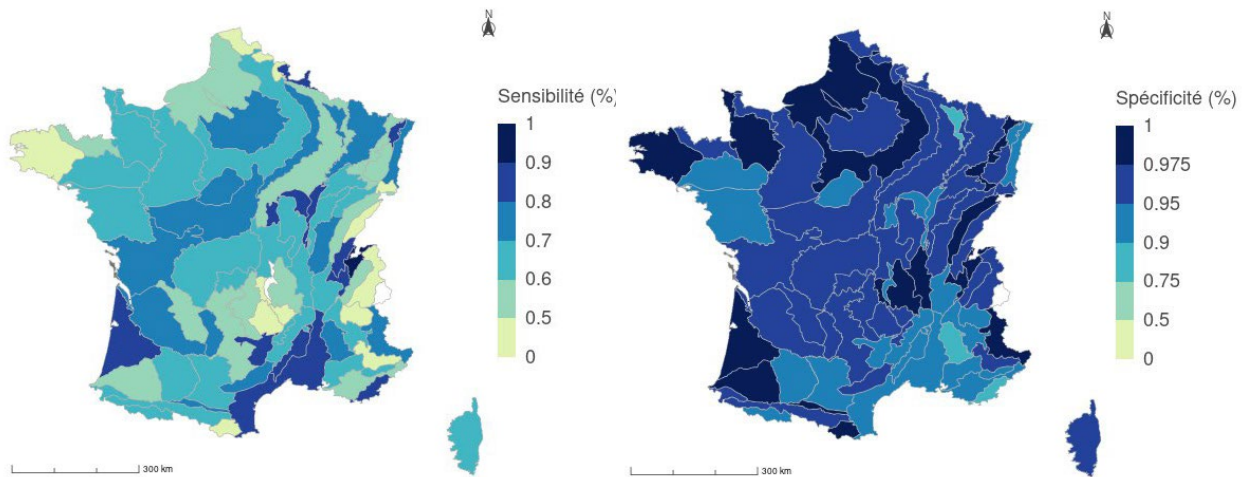


Figure 1 : Sensibilité et spécificité de la validation croisée par années des Random Forests sur la période 2012-2019

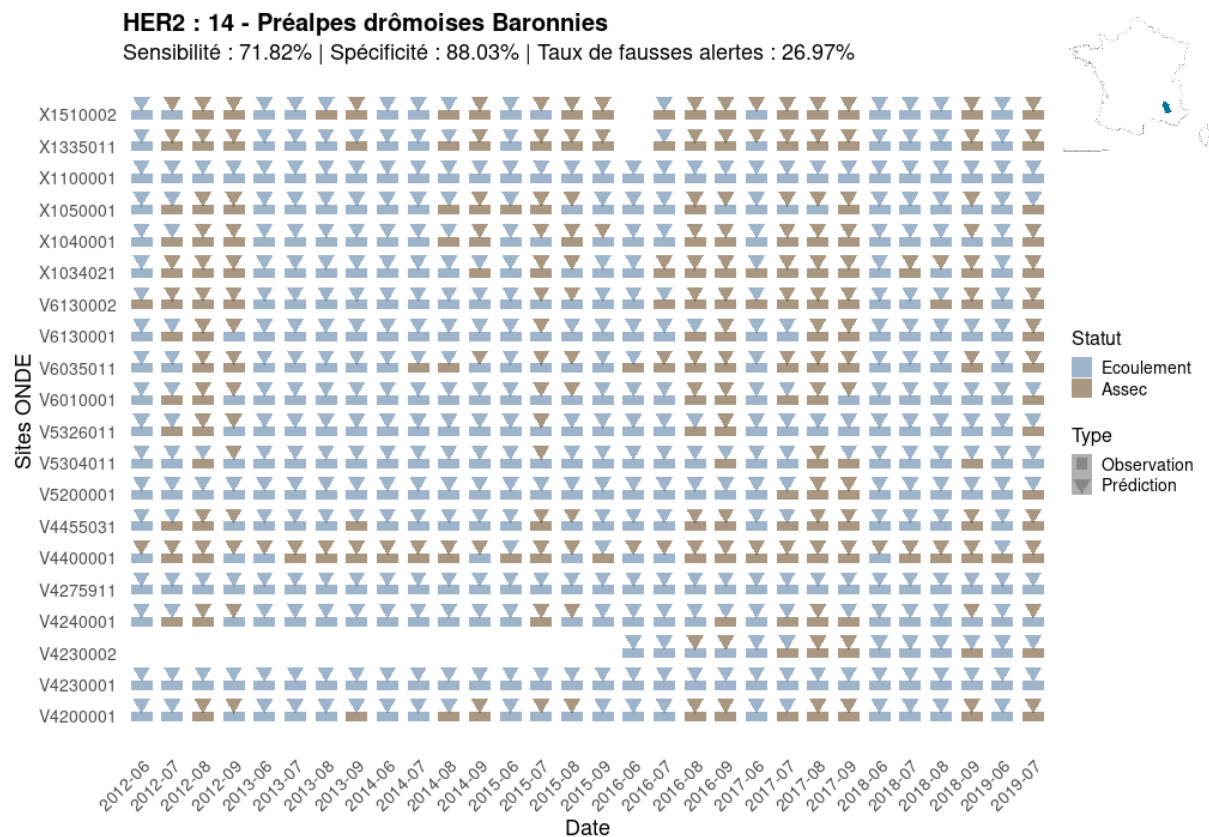


Figure 2 : Prédiction et observations des écoulements et des assecs lors de la validation croisée par années sur la période de calibration 2012-2019 dans la HER2 "Préalpes drômoises Baronnie"

Lors de la validation croisée, les performances mesurées par HER2 indiquent que les RF détectent les assecs avec une sensibilité médiane de 70% (Q1-Q3 : 53%-82%) et caractérisent les écoulements avec une spécificité médiane de 97% (Q1-Q3 : 93%-99%, Figure 1). L'étude se poursuit pour réduire l'hétérogénéité de performance entre les régions. La Figure 2 illustre cependant la bonne proximité entre les prédictions des RF et les observations réelles du réseau ONDE au niveau des sites de la HER2 "Préalpes drômoises Baronnies".

4.2 Projections

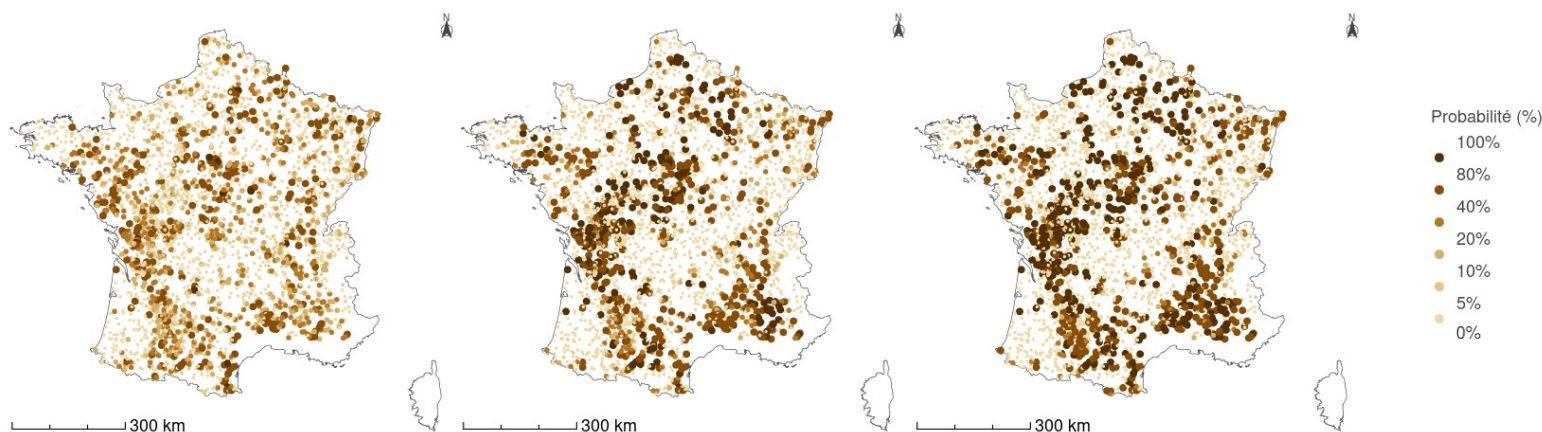


Figure 3 : Proportion de jours en assec des sites ONDE entre juillet et octobre sur les périodes 2012-2019 (a) et 2041-2070 selon le scénario d'émission RCP 8.5 forçant deux modélisations climatiques « optimiste » (b) et « pessimiste » (c). Ces cartes présentent les résultats préliminaires de simulations actuellement en cours.

Sous le scénario RCP 8.5, les résultats préliminaires révèlent une intensification marquée des assecs dans les zones déjà affectées par les phénomènes d'intermittence comme le sud de la France. Dans ces zones, les deux projections prévoient une augmentation de la proportion de jours en assec sur un grand nombre de sites ONDE. Alors que seulement 7% des sites ONDE de la région Rhône-Méditerranée-Corse passent plus de la moitié du temps en assec entre juillet et octobre sur la période 2012-2019, ce chiffre grimperait à 21% selon la projection « optimiste » ou 29% selon la projection « pessimiste » sur la période 2041-2070. L'évolution des intermittences pourrait être plus incertaine sur le nord de la France, comme le soulignaient nos précédents travaux (Jaouen et al., 2024). L'amélioration des modèles et de nouvelles projections préciseront ces résultats.

5 CONCLUSION

Des Random Forests ont été mises à profit pour convertir des projections climatiques et hydrologiques à l'échelle de grands bassins versants en projections d'assecs aux sites d'observation du réseau ONDE situés sur des rivières de tête de bassin. Sous le scénario RCP 8.5, des résultats préliminaires couvrant le XXI^e siècle et une portion significative du territoire métropolitain semblent indiquer une intensification des épisodes secs, avec une augmentation notable du nombre de jours d'intermittence au niveau des sites ONDE. Cette étude illustre les possibilités offertes par les algorithmes de Machine Learning pour modéliser les impacts du changement climatique sur les ressources hydriques et guider les politiques de gestion des ressources en eau à l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- De Lavenne, A., Thirel, G., Andréassian, V., Perrin, C., and Ramos, M.-H.: Spatial variability of the parameters of a semi-distributed hydrological model, *Proc. IAHS*, 373, 87–94, <https://doi.org/10.5194/piahs-373-87-2016>, 2016.
- Jaouen, T., Benoit, L., Heraut, L., Sauquet, E.: Are rivers becoming more intermittent in France? Learning from an extended set of climate projections based on the Coupled Model Intercomparison Project phase 5 (CMIP5), *EGU sphere*, 1-51, <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-2737>, 2024.
- Sauquet, E., et al.: A large transient multi-scenario multi-model ensemble of future streamflows and groundwater projections in France, Data description paper, in prep.
- Wasson, J. G., Chandesris, A., Pella, H., and Blanc, L.: Définition des hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés, *Irstea*, pp.190, hal-02580774, 2002.