

Nexus

eau-agriculture-énergie

19 septembre 2022

Introduction au Nexus Eau-agriculture-énergie	2
Daniel Florentin - ISIGE et chercheur associé au CSI (Mines Paris - PSL)	
La ressource en eau en environnement changeant	3
Nicolas Flipo - Géosciences (Mines Paris - PSL)	
Impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux souterraines du bassin de la Seine	5
Nicolas Gallois - Géosciences (Mines Paris - PSL)	
Analyzing the Applicability of Random Forest-Based Models for the Forecast of Run-of-River Hydropower Generation	6
Valentina Sessa - CMA (Mines Paris - PSL)	

SYNTHÈSE DE SÉMINAIRE RÉDIGÉE PAR CLAIRE CAUMEL ET LEWISIA TOLEDO--PONCET



SÉMINAIRE PUBLIC TTI.5 - SÉANCE 1

Introduction au Nexus Eau-agriculture- énergie

Daniel Florentin – ISIGE et chercheur associé au CSI (Mines Paris – PSL)

Pour commencer, il faut rappeler que ce nexus s'appuie sur un constat d'interdépendance entre les questions d'eau, d'énergie et de nourriture (Figure 1). Par exemple, l'énergie est nécessaire pour produire de la nourriture et réciproquement.

La réflexion sur le nexus part d'une problématisation de la question en termes de sécurisation des flux, en intégrant les différentes thématiques les unes aux autres pour éviter d'éventuelles pénuries. Cette réflexion, développée notamment par le conseiller scientifique en chef du gouvernement britannique John Beddington, s'inscrit dans un agenda politique qui date d'une dizaine d'années.

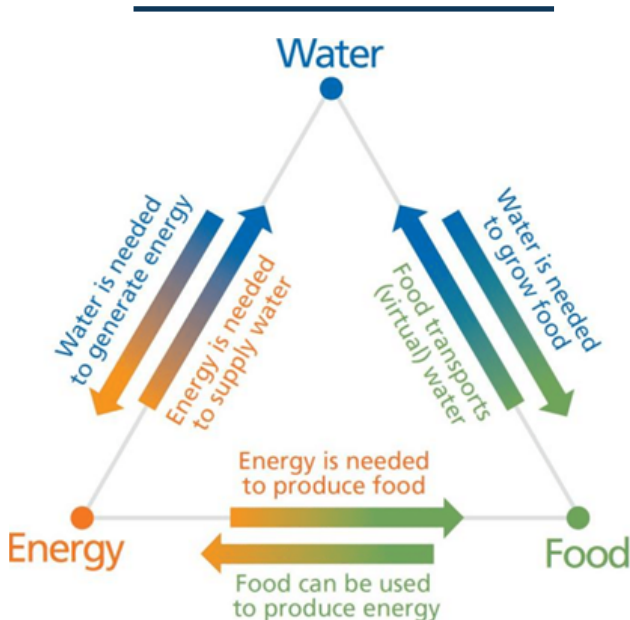


Figure 1 : Interdépendances de l'eau, de l'énergie et de la nourriture (IWA, 2018)

Beddington avertit les acteurs publics que les tendances liées aux pressions sur l'eau, l'énergie et l'agriculture semblent réunir les conditions parfaites, « Perfect storm », pour une crise multidimensionnelle à l'horizon 2030. Cette réflexion a permis de mettre en lumière le caractère systémique des crises et de passer d'une logique d'interdépendance à un questionnement en termes de vulnérabilité. Afin d'agir sur les vulnérabilités, les recherches soulignent le besoin de comprendre la nature des interdépendances et ainsi que leur intensité entre les secteurs.

Ce nexus fait l'objet d'une mise à l'agenda politique, mais aussi scientifique, et dans tous les champs disciplinaires. Par exemple, les réflexions sur le nexus eau-agriculture-énergie ont été l'occasion de repenser des formes d'action publique (voir Artioli et al., 2017, Monstadt et Coutard, 2019). Dans une grande partie des recherches sur l'action publique locale, une partie de ces travaux montre par exemple que la prise en compte du nexus est une invitation à repolitiser les questions d'intégration. En effet, il ne s'agit pas de problématiques purement techniques mais cela nécessite de comprendre les arrangements institutionnels et sociotechniques au cœur de la question du nexus.

De manière synthétique, on distingue en fait plusieurs manières d'aborder le nexus, dont les trois principales sont :

1. Entrée par les interdépendances fonctionnelles et techniques, approches dites homéostatiques (qui passent par des approches des flux sous la forme de quantification) : elles permettent de mesurer les interdépendances
2. Entrée par les interdépendances organisationnelles : approches davantage gestionnaires
3. Entrée par la gouvernance des flux : approches d'économie et écologie politique, qui prennent souvent pour appui les travaux de quantification et cherchent à analyser les mécanismes de régulation et de gestion de ces flux.

Il faut toutefois noter que, si les discussions sur le nexus cherchent à montrer qu'il y a une circulation de flux importante (flux d'eau, d'énergie etc.), généralement le deuxième flux le plus important en termes de tonnage reste oublié de ces analyses : les matériaux de construction.

La ressource en eau en environnement changeant

Nicolas Flipo – Géosciences (Mines Paris – PSL)

La première partie de cet exposé présente les grands enjeux liés à la ressource en eau dans un contexte de changement climatique. La seconde partie porte sur l'évaluation des changements à l'échelle des bassins versants régionaux à travers l'exemple du bassin de la Seine.

Les grands enjeux de la ressource en eau en contexte de changement climatique

Le devenir de la ressource en eau en environnement changeant est à la fois un sujet qui concerne le changement climatique mais aussi un sujet qui questionne les manières de prendre en compte les différentes évolutions d'occupations du sol par les pratiques des sociétés dans une optique d'anticipation des effets de ces changements. L'eau est une ressource renouvelable. Sur 46 000 km³ d'eau s'écoulant vers les océans chaque année, 4 500 km³ sont prélevés, dont 2 200 km³ consommés.

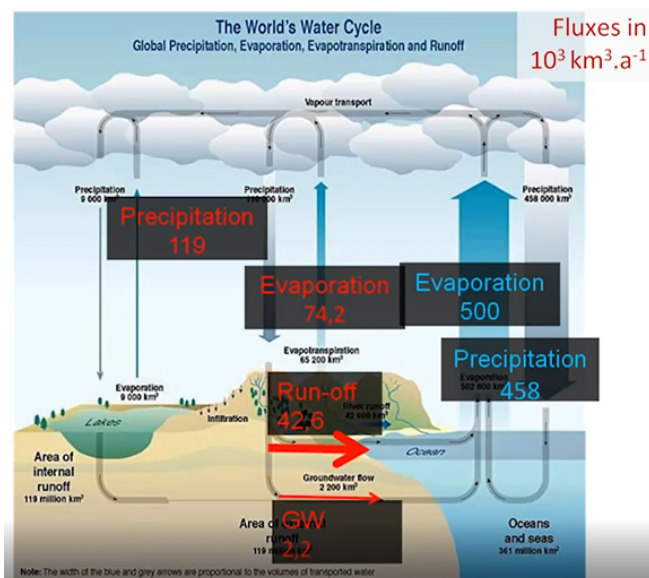


Figure 2 : Le cycle mondial de l'eau de Shiklomanov, 1994.

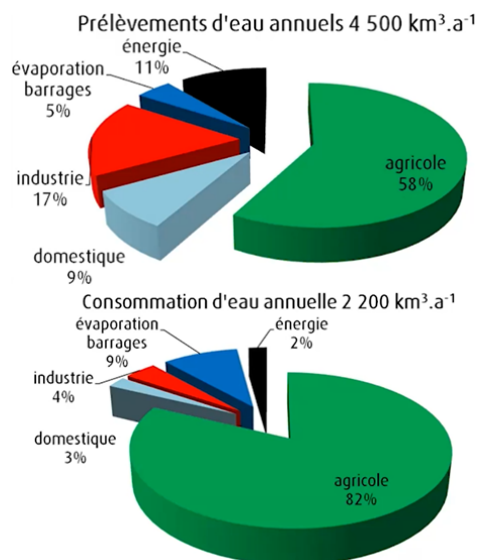


Figure 3 : de Marsily, G. 2008.

Au vu de ce graphique, on remarque que le secteur avec le prélèvement d'eau le plus important et aussi celui qui en consomme le plus : l'agriculture. Le troisième volet de ce nexus, la production d'énergie, nécessite elle aussi de grandes quantités d'eau, notamment afin de refroidir les différentes centrales (nucléaires certes, mais aussi les centrales au gaz et au charbon). Ces deux usages de l'eau apparaissent également dans leurs interdépendances à travers le nexus eau-alimentation-énergie.

On estime, sur la base des consommations

et des bilans hydrologiques, que plus de quatre milliards d'individus subissent un stress hydrique sévère¹ pendant au moins un mois par an, et 500 millions le subissent de façon permanente. La tendance est à l'augmentation avec des endroits secs qui deviennent encore plus secs et des zones "humides" encore plus humides, renforçant doublement les événements "extrêmes" avec des pertes importantes de débit durant la période estivale et une augmentation des débits pendant les périodes de sensibilité aux crues.

¹ On définit une situation de stress hydrique sévère quand la demande représente plus de 50% de la recharge des systèmes hydrologiques.

Dans une projection où la température globale augmenterait de 1.5°C à la fin du siècle, on estime un doublement du nombre moyen d'individus vivants en stress hydrique (soit 1 milliard d'individus en 2100).

Évaluation des changements à l'échelle des bassins versants régionaux à travers l'exemple du bassin de la Seine.

Dans ces recherches, nous cherchons à évaluer les changements hydriques à l'échelle d'un bassin versant régional, le bassin de Seine.

Avec son partage territorial particulier en trois zones, agricoles, forestières et urbaines (avec plus de 17 millions d'habitants), le bassin de Seine est composé de 28 000 km de rivières et est aussi le plus grand réservoir d'eau souterraine d'Europe au sein d'une structure géologique (en pile d'assiettes).

Le régime naturel des eaux est également régulé dans le bassin, à travers les barrages-réservoirs installés dans des zones argileuses, et pouvant retenir plus de 840 000 000 m³ d'eau qui permettent de maintenir les débits d'étiages. Pourtant, le bassin est sous pression : la population prélève à peu près trois milliards de m³ d'eau par an (eau de surface et aquifère).

Afin de comprendre le fonctionnement du bassin, il a été nécessaire de développer un modèle. Ainsi, le centre de Géosciences a développé CaWaQS, un outil de modélisation générique du cycle de l'eau de surface et souterraine appliqué au bassin de Seine. Représentant la spatialité du bassin de Seine mais aussi les différents flux d'eau, le modèle utilise des données géologiques, météorologiques, d'usage des terres, etc. Une carte piézométrique permet notamment de visualiser (par la mesure de la pression de l'eau) les différents écoulements des eaux de surface et des aquifères (eau souterraine). Cet outil permet également de déterminer la contribution des eaux souterraines (aquifères) aux eaux de surfaces et les dépendances de ces dernières.

Dans le futur, cet outil de modélisation pourra servir à la reconstitution de trajectoires hydrologiques. Récemment, il a pu être couplé avec des réanalyses SARAN reconstituant des données de précipitations dans le bassin depuis le 19ème siècle. Ce modèle doit permettre

de réaliser une reconstitution historique mais également de réaliser des exercices prospectifs pour anticiper le devenir de la ressource en eau sur le bassin en contexte de changement climatique. On utilise des scénarios qui s'appuient sur la territorialisation des scénarios du précédent exercice du GIEC projetés avec le modèle MIROC5 : un scénario médian ainsi qu'un scénario Business As Usual (RPC8.5 : 8.5C° en fin de siècle).

Les résultats de cet exercice sont étonnants : dans le cas du RCP8.5, on anticipe un période extrêmement grave en 2050 avec un affaissement de la piézométrie pouvant atteindre 7 ou 8 mètres (soit une disparition du réseau hydrographique dans certains secteurs centraux du bassin). En fin de siècle, les débits d'étiage² de l'est du bassin seraient toujours plus faibles de 10% par rapport aux débits actuels, ainsi que des débits hivernaux qui augmenteraient significativement partout sur le bassin.

Pour conclure, les projections calculées à l'aide du modèle MIROC5 indiquent que si en milieu de siècle la situation nécessiterait de s'adapter à des sécheresses extrêmes, en 2100, la situation nécessiterait des plans importants de gestion des inondations.

² Temps de basses eaux

Impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux souterraines du bassin de la Seine

Nicolas Gallois – Géosciences (Mines Paris – PSL)

La thématique d'évolution quantifiée de la ressource en eau du territoire Seine-Normandie et de sa vulnérabilité, à la fois aux changements globaux et à la forte pression anthropique qui s'y exerce, occupe certains chercheurs du Centre de Géosciences (Mines Paris - PSL) depuis plus de deux décennies. Afin d'appréhender cette question, aussi complexe soit-elle, la nécessité d'une compréhension fine du comportement de l'hydrosystème régional, dans un contexte environnemental changeant, a donné lieu à la conception et au développement de plusieurs modèles mathématiques.

Pour rendre compte de l'état actuel de la qualité de la ressource en eau du domaine vis-à-vis de la pollution azotée d'origine agricole, la mise en œuvre d'une plateforme de modélisation multidisciplinaire, mobilisant le modèle hydrologique-hydrogéologique CaWaQS (Centre de Géosciences, Mines Paris - PSL), le modèle agronomique STICS spatialisé (INRAE / Centre de Géosciences) et le modèle biogéochimique pyNUTS-RIVERSTRAHLER (Sorbonne Université) permet actuellement de simuler le transport de polluants azotés dans l'ensemble des compartiments du bassin (sols, système aquifère et réseau hydrographique). Par ailleurs, cet outil assure, par interfaçage à une base de données décrivant finement l'évolution des systèmes de culture du territoire (base ARSeiNE, INRAE), la production même de cette pollution.

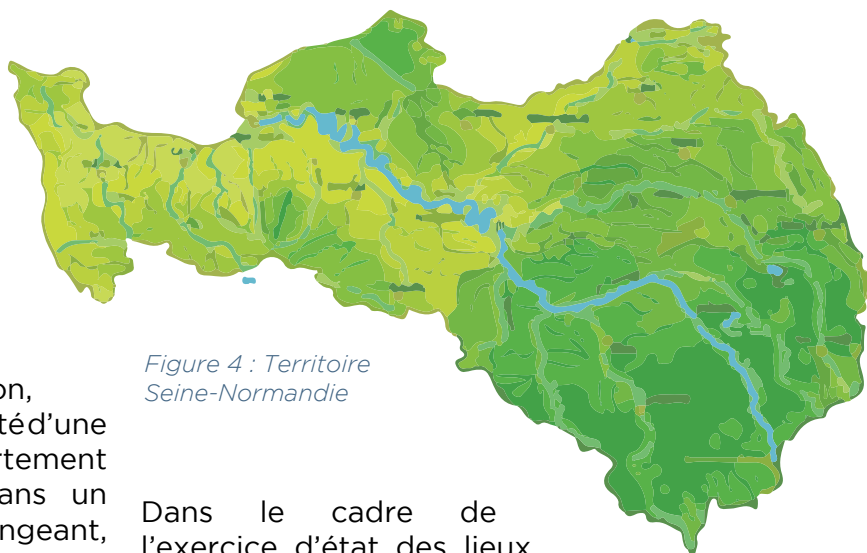


Figure 4 : Territoire Seine-Normandie

Dans le cadre de l'exercice d'état des lieux des gestionnaires de bassin, imposé par la Directive Cadre sur l'Eau, les résultats issus de son application régionale sont synthétisés pour caractériser l'état actuel des masses d'eau souterraine et de surface. La plateforme a, par ailleurs, permis une première caractérisation de trajectoires d'évolutions long-terme de l'état de ces masses d'eau sous différents scénarios agro-climatiques prospectifs régionalisés (poursuite de la spécialisation et de l'intensification de l'agriculture du bassin, introduction progressive de pratiques agroécologiques).

Plateforme évolutive, un renouvellement continu de ces outils numériques est nécessaire pour, à la fois, affiner leurs représentations de tout ou partie du système étudié et élargir son champ d'application. Ainsi, cet outil fait actuellement l'objet de travaux centrés sur la modélisation des flux d'énergie/température, problématique capitale dans un contexte de changement climatique.

Analyzing the Applicability of Random Forest-Based Models for the Forecast of Run-of-River Hydropower Generation

Valentina Sessa – CMA (Mines Paris – PSL)

This talk presents the paper (Sessa, 2021), and provides an analysis about the practicability of a machine learning technique used for the forecast hydropower generation.

This work has been conducted as part of the Clim2Power project which is a European research project developed by several research centers from different countries. The main goal of this project is to promote the integration of climate variability in investment decisions related to the European power system. Indeed, the European energy sector is already affected by climate change but most models do not take climate variability into consideration. Instead in Clim2Power different climate scenarios are analyzed.

In order to do so, two main tasks needed to be completed:

Translate climate data into hydro, PV, and Wind power generation and electricity demand.

Use these values to feed energy models in order to compute the reduction in terms of costs and CO2 emissions whenever the renewable resources are integrated in the existing power system.

The paper, which was published as part of this project, focus mainly on hydropower production, that is the largest renewable energy source in the world. More specifically, the paper focuses on run-of-river (Hror) hydropower type (electricity is generated according to river flow).

In particular, the task was to translate time series of daily climate data (air temperatures and precipitation) into time series of daily hydropower capacity factor³ at country level for all of Europe.

At this aim we propose to use Machine Learning (ML).

Machine Learning involves two main phases : a training phase and a prediction phase. In the training phase, we use a part of historical data for learning and then use the rest of the historical data to check the accuracy of the model. In the learning phase of the model, the main work is to choose an appropriate algorithm and input introduction into the model.

Several regression methods were compared and the one that showed the best performance was the Random Forest. This algorithm creates a forest of decorrelated trees by performing a random bootstrap of the training data set and by randomly subsampling among the features (Figure 4).

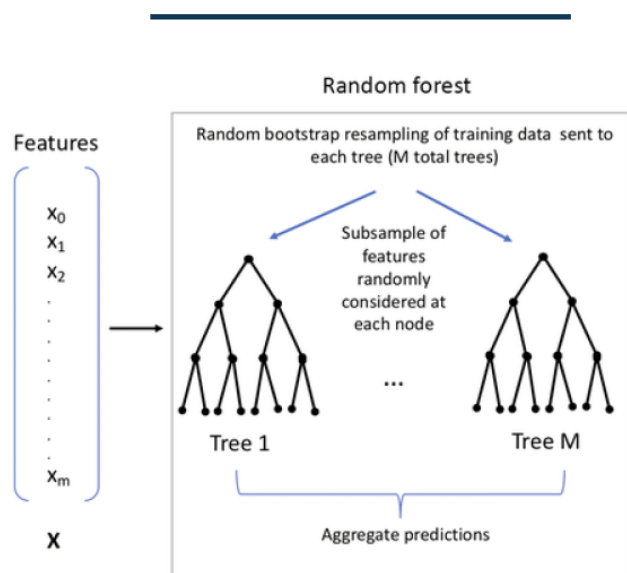


Figure 5 : Illustration of the Random Forest method

³ Capacity factor is defined as the percentage of hydropower generated over installed capacity

Predictors	M1 (avg)	M2 (NUTS2)	M3 (avg+NUTS2)
<i>Temperature</i>			
sync	✓	✓	✓
lagged (opt)	✓	✓	✓
<i>Precipitation</i>			
sync	✓	✓	✓
lagged (opt)	✓	✓	✓
accum (opt)	✓	✓	✓

Figure 6 : Model definition via predictors selection. "Avg" is a country mean average values, NUTS2: regional mean values.

At the end, the predicted output will be the sample mean of the responses given by each tree.

After choosing the regression algorithm, the analysis focused on the input features (temperature and precipitation data). Which form of the input can improve the accuracy of the underlying models? The main choice was between an average at country level (Ho & al. 2020) and/or a finer spatial resolution.

The numerical experiments showed that the model M3 which combined the two choices of input data forms provides the best performance.

It should be noted that this model showed good results for some countries, but not for all of them. Some country related issues are presented. For example, the model could not predict the hydropower generate at the end of the year 2019 with good accuracy because this period has been exceptional in terms of precipitation.

To conclude, machine learning is a very important tool to provide information about the variation in hydropower production. Even if the model is not so accurate, now that the methodology is set, it will improve naturally in time as more data will be feeding the ML algorithm. It is important to recall that having an accurate model for predicting the energy produced by the renewable resources is essential to promote their integration in the existing power system.

Bibliographie

- Artioli, F., Acuto, M. & McArthur, J. (2017) The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. *Political Geography* 61, 215–223
- Ho, L. T. T., Dubus, L., De Felice, M. & Troccoli, A. (2020) Reconstruction of Multidecadal Country-Aggregated Hydro Power Generation in Europe Based on a Random Forest Model. *Energies* 13, 1786.
- Marsily, G. (2008) Eau, changements climatiques, alimentation et évolution démographique. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science* Volume 21, numéro 2, 2008, p. 111-128
- Monstadt, J. & Coutard, O. (2019) Cities in an era of interfacing infrastructures: Politics and spatialities of the urban nexus. *Urban Studies* 56, 2191–2206
- Sessa, V., Assoumou, E., Bossy, M. & Simões, S. (2021) Analyzing the Applicability of Random Forest-Based Models for the Forecast of Run-of-River Hydropower Generation. *Clean Technologies* 3, 858–880
- Shiklomanov, I. (1998). World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. UNESCO