

## Sujet de thèse :

### Suivi et modélisation des dynamiques des réservoirs multi-ressources pour l'agriculture irriguée

- **Laboratoire d'accueil** : UMR G-Eau, Montpellier (INRAE)
- **Ecole Doctorale** : Ecole Doctorale GAIA (ED 584), Montpellier
- **Directeur de thèse** : Nassim AIT-MOUHEB (CR, INRAE G-Eau)  
Jérôme HARMAND (DR, INRAE LBE)
- **Encadrants** : Gabrielle RUDI (MCF, AgroParisTech G-Eau)  
Alain RAPAPORT (DR, INRAE MISTEA)
- **Contacts** : Nassim AIT-MOUHEB 04 67 16 64 03 [nassim.ait-mouheb@inrae.fr](mailto:nassim.ait-mouheb@inrae.fr)  
Gabrielle RUDI [gabrielle.rudi@agroparistech.fr](mailto:gabrielle.rudi@agroparistech.fr)
- **Financement** :
  - Région Occitanie

#### Contexte :

En France, au cours des 30 dernières années, les tensions autour du partage de la ressource en eau se sont accentuées (Brun, 2003 ; Loubier, 2011), principalement en raison de l'évolution des usages de l'eau et du changement climatique. Au sein des bassins qui connaissent un déficit en eau, différentes stratégies agronomiques et techniques ont été mises en œuvre par les exploitants agricoles afin de préserver la ressource. Afin d'assurer la pérennité de la production viticole en conditions méditerranéennes, plusieurs leviers sont actuellement étudiés, et l'exploitation de ressources en eau dites « alternatives », comme les Eaux Usées Traitées (EUT), se révèle une option intéressante à développer.

Or, l'utilisation de cette ressource, bien qu'elle soit source de nutriments pour les cultures (Becerra et al. 2015), et qu'elle limite les rejets directs dans les milieux récepteurs, pose de nombreuses questions en raison du risque lié à la qualité microbiologique des eaux utilisées pour l'irrigation et la présence éventuelle de micropolluants (Ait-Mouheb et al. 2018). Par ailleurs, au-delà de la qualité de la ressource en eau en sortie des stations d'épuration, l'évolution temporelle

de la qualité de l'eau dans les réservoirs remplis entièrement ou partiellement avec des eaux usées traitées reste une interrogation dans les conditions climatiques du bassin méditerranéen.

Afin d'augmenter la ressource fournie par les stations d'épuration et leur qualité, il est envisagé de créer des réservoirs multi-ressources (mélanges d'eaux de sources différentes, notamment eaux usées traitées, eaux pluviales, eaux issues du Réseau Hydraulique Régional qui constituent des eaux d'irrigation dites « conventionnelles »). Ce mélange d'eaux est susceptible de représenter un levier pour piloter la qualité de l'eau des réservoirs.

### **Objectifs de la thèse :**

La thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet Ec'Eau (Economie Circulaire de l'Eau), sur la réutilisation des eaux non-conventionnelles, porté par BRL Exploitation, nommé SESQIA (Stockage d'Eau, Suivi Qualité, pour Irrigation Agricole). SESQIA a pour ambition d'apporter des éléments de connaissance sur les possibilités et les risques/opportunités de stockage de l'eau des Eaux Usées Traitées dans le cadre d'une utilisation pour l'irrigation agricole, en termes d'évolution de la qualité de l'eau au cours du temps, et dans des conditions climatiques méditerranéennes.

Dans ce contexte, trois laboratoires de la région Occitanie proposent de réaliser un suivi expérimental et une modélisation de la qualité de l'eau dans les réservoirs contenant des Eaux Usées Traitées. La thèse vise notamment à développer un modèle visant à prédire l'évolution temporelle de la qualité de l'eau dans un réservoir en fonction des conditions climatiques, du fonctionnement hydraulique et de la qualité des sources d'eau.

L'originalité du sujet de thèse réside (i) dans l'important programme de suivi de la qualité de l'eau sur deux réservoirs remplis avec des eaux usées traitées du département de l'Hérault, avec des profondeurs et des configurations géométriques différentes (ii) l'apport de concepts de différentes disciplines pour concevoir un modèle d'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs (iii) la prise en compte des spécificités du climat méditerranéen dans l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs remplis avec des eaux usées traitées (iv) l'utilisation de modèles réduits (à base de modèles à compartiments) pour aborder les problèmes d'optimisation (ex : minimiser le coût sous contrainte de concentrations en dessous de seuils ET de débit-cible pour les cultures).

## Questions sociétales/scientifiques, et démarche :

La principale question sociétale portée par ce projet, est l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs remplis avec des eaux usées traitées (notamment qualité microbiologique, algues, MES, micropolluants). En effet, bien que la qualité de l'eau en sortie de station d'épuration soit connue, au moins pour les paramètres réglementaires, moins de données existent pour la qualité de l'eau dans les réservoirs de stockage situés à l'aval des stations. Or, on sait que cette qualité d'eau est susceptible de se modifier au cours du temps, sous l'effet des conditions climatiques, des temps de séjour des eaux, du fonctionnement hydraulique, et d'autres paramètres externes (ex : présence d'animaux). L'enjeu est de garantir l'utilisation d'une ressource en eau de qualité pour l'irrigation des vignobles, et de pouvoir prédire les éventuelles situations à risque en termes d'évolution des paramètres.

En termes scientifiques, les questions qui sont posées sont :

- d'évaluer dans quelle mesure différents facteurs (climatiques, dimensionnement) affectent la qualité microbiologique (ex : le rayonnement solaire associé à des températures élevées est théoriquement favorable à l'amélioration de la qualité microbiologique (Eme et Molle, 2014), mais le développement algal qui peut en résulter peut contrebalancer cet effet),
- de confirmer que les micropolluants majoritaires évoluent favorablement sous l'effet des conditions climatiques méditerranéennes et des temps de séjour, et d'identifier les principaux métabolites formés,
- de quantifier dans quelle mesure l'utilisation d'un modèle mécaniste basé sur la formalisation mathématique de processus biophysiques, permet de prédire la qualité de l'eau en sortie de réservoir, et si oui, avec quelles incertitudes ?
- de concevoir une démarche de fonctionnement optimal du système en se basant sur des modèles réduits.

La démarche consiste premièrement en la réalisation d'un état des lieux de la littérature existante sur la modélisation des dynamiques quantitatives et qualitatives dans les réservoirs d'eaux usées (traitées) et sur les processus biophysiques à représenter. Deuxièmement, la réalisation d'un premier outil de type « preuve de concept » sera faite à partir de la formulation mathématique des principaux processus à l'œuvre. Troisièmement, des données acquises tout au long de la thèse sur les villages de Roquefort (11) et de Murviel (34) permettront de valider les hypothèses théoriques du modèle et calibrer/valider le modèle.

## Moyens et cadre de travail :

Le doctorant sera accueilli au sein de l'UMR G-Eau. Le projet sera conduit en étroite collaboration avec les unités de recherche LBE (Narbonne) et MISTEA (Montpellier), mais également en lien avec BRL Exploitation, porteurs du projet. Les moyens liés à la conduite des expérimentations (mesures sur site et modélisation) seront fournis au doctorant par le projet SESQIA. Les expérimentations seront effectuées au niveau de la plateforme de Murviel-lès-Montpellier et le site de Roquefort-des-Corbières. La modélisation mathématique sera basée sur des équations différentielles représentant les variations temporelles des concentrations de substrats et polluants et les mélanges entre sources. Les hétérogénéités spatiales sont représentées, au moins dans un premier temps, par des modèles à compartiments induisant des échelles de temps différents (si cela ne donne pas satisfaction on pourra se tourner vers des équations aux dérivées partielles plus coûteuses à simuler). Les questions d'optimisation et de pilotage des débits seront formalisées à l'aide de la théorie des systèmes entrées-sorties et de la commande optimale, permettant de mettre au point des lois de commande, voire des capteurs logiciels si nécessaire (dans l'esprit de travaux antérieurs (Crespo et al 2018, Gajardo et al 2017)).

## Références :

- Ait-Mouheb, N., Bahri, A., Thayer, B. B., Benyahia, B., Bourrié, G., Cherki, B., Condom, N., Declercq, R., Gunes, A., Héran, M., Kitir, N., Molle, B., Patureau, D., Pollice, A., Rapaport, A., Renault, P., Riahi, K., Romagny, B., Sari, T., ... Harmand, J. (2018). The reuse of reclaimed water for irrigation around the Mediterranean Rim : A step towards a more virtuous cycle? *Regional Environmental Change*, 18(3), 693–705. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1292-z>
- Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M., & Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation : A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75, 117-135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.001>
- Brun, A. (2003). Aménagement et gestion des eaux en France : L'échec de la politique de l'eau face aux intérêts du monde agricole. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 4 Numéro 3, Article Volume 4 Numéro 3. <https://doi.org/10.4000/vertigo.3779>
- Crespo M, Orsoni, J., Bortoli, J. Rapaport, A., Rousseau, A., & Jauzein, V. (2018) Optimal strategies to refill hydric reservoirs with reused water – application to the Jaunay Lake case study *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 2018, 31 (4), pp.377-385. [10.7202/1055595ar](https://doi.org/10.7202/1055595ar)
- Eme, C., Molle, P.. Stockage des Eaux Usées Traitées en vue de leur réutilisation : état de l'art. Irstea. 2014, pp.74.

Gajardo, P., Harmand, J., Ramirez, H., Rapaport, A., Riquelme, V. & Rousseau, A. (2017) [Modeling and control of in-situ decontamination of large water resources](#). *ESAIM: Proceedings and Surveys*, 57, pp.70-85. [\(10.1051/proc/201657070\)](#)

Loubier, S., Poussin, J.-C., Gleyses, G., Mat, O. L., & Garin, P. (2011). Faut-il subventionner la création de réserves d'eau pour l'irrigation? *Cahiers Agricultures*, 20(1-2), 157-164 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2011.0484>