

Titre : Modélisation sous TELEMAC-2D de la dispersion de bactéries antibiorésistantes au sein d'un réseau hydrographique en Camargue.

Responsables de stage :

Marion Vittecoq (Dr.) : chargée de recherches en écologie de la santé, Tour du Valat, UMR MIVEGEC (CNRS/IRD/UM)

Olivier Boutron (Dr.) : chargé de recherches en hydraulique/hydrologie, Tour du Valat

Collaborateurs scientifiques :

François Renaud DRCE UMR MIVEGEC,

Patrick Durand IR UMR MIVEGEC,

Lionel Brazier IR UMR MIVEGEC,

Emilie Luna-Laurent Technicienne de recherche, Tour du Valat

Structure d'accueil : Tour du Valat, institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes (<https://tourduvalat.org/>), basé à Arles (13), UMR MIVEGEC (CNRS/IRD/UM; <https://www.mivegec.ird.fr/fr/>).

Contexte :

L'émergence des bactéries résistantes à de multiples antibiotiques (BMR) représente actuellement un des plus importants enjeux de santé publique à l'échelle mondiale comme l'a récemment rappelé l'OMS. La dynamique de ces bactéries est de mieux en mieux comprise au sein des populations humaines et d'animaux domestiques. De plus la faune sauvage elle aussi apparait pouvoir être porteuse de ces bactéries. Cependant un compartiment qui semble avoir un rôle majeur dans ces dynamiques est moins bien connu : l'eau. Plus précisément les études menées sur différents écosystèmes aquatiques ont montrés que ceux-ci étaient très fréquemment colonisés par des BMR.

Dans ce contexte les équipes de la Tour du Valat et du MIVEGEC (UMR CNRS/IRD/UM) travaillent en collaboration depuis plusieurs années afin de mieux comprendre la dynamique des BMR à l'interface entre environnement, animaux domestiques, faune sauvage et population humaines en Camargue. Les précédentes études du groupe ont permis de mettre en évidence la présence récurrente de BMR chez une espèce de goéland anthropophile présente dans le golfe de Fos-sur-Mer : le goéland leucophée (*Larus michahellis*). Le portage de bactéries résistantes à des antibiotiques de dernière génération, les carbapénèmes, a notamment été observé.

Suite à l'obtention de ces résultats le groupe a souhaité essayer de mieux comprendre les sources potentielles de BMR à commencer par le rôle joué par l'eau. Une collaboration a ainsi été lancée en 2017 avec l'Université de Kristianstad (Suède) afin de mieux comprendre la dynamique des BMR dans les milieux aquatiques camarguais : marais, canaux et zone littorale. La première étape de ce travail a confirmé la présence régulière de BMR dans ces milieux et le rôle potentiel des canaux, omniprésents en Camargue, dans leur transfert. L'objet du présent stage est ainsi de commencer à étudier plus finement ces transferts dans les canaux et à identifier les facteurs les influençant.

Le stage s'intéressera à une zone géographique pilote : le bassin versant du Fumemorte, représenté en rouge sur la figure 1. Ce bassin versant est constitué d'un dense réseau de canaux d'irrigation et

de drainage (Figure 2). D'avril à octobre, plusieurs stations de pompage situées le long du Rhône permettent de mettre en eau les canaux d'irrigation, utilisés pour alimenter différentes cultures, dont le riz. En sortie des parcelles agricoles, cette eau est drainée dans un réseau de canaux de drainage, dont l'exutoire est l'étang du Vaccarès (Figure 2).

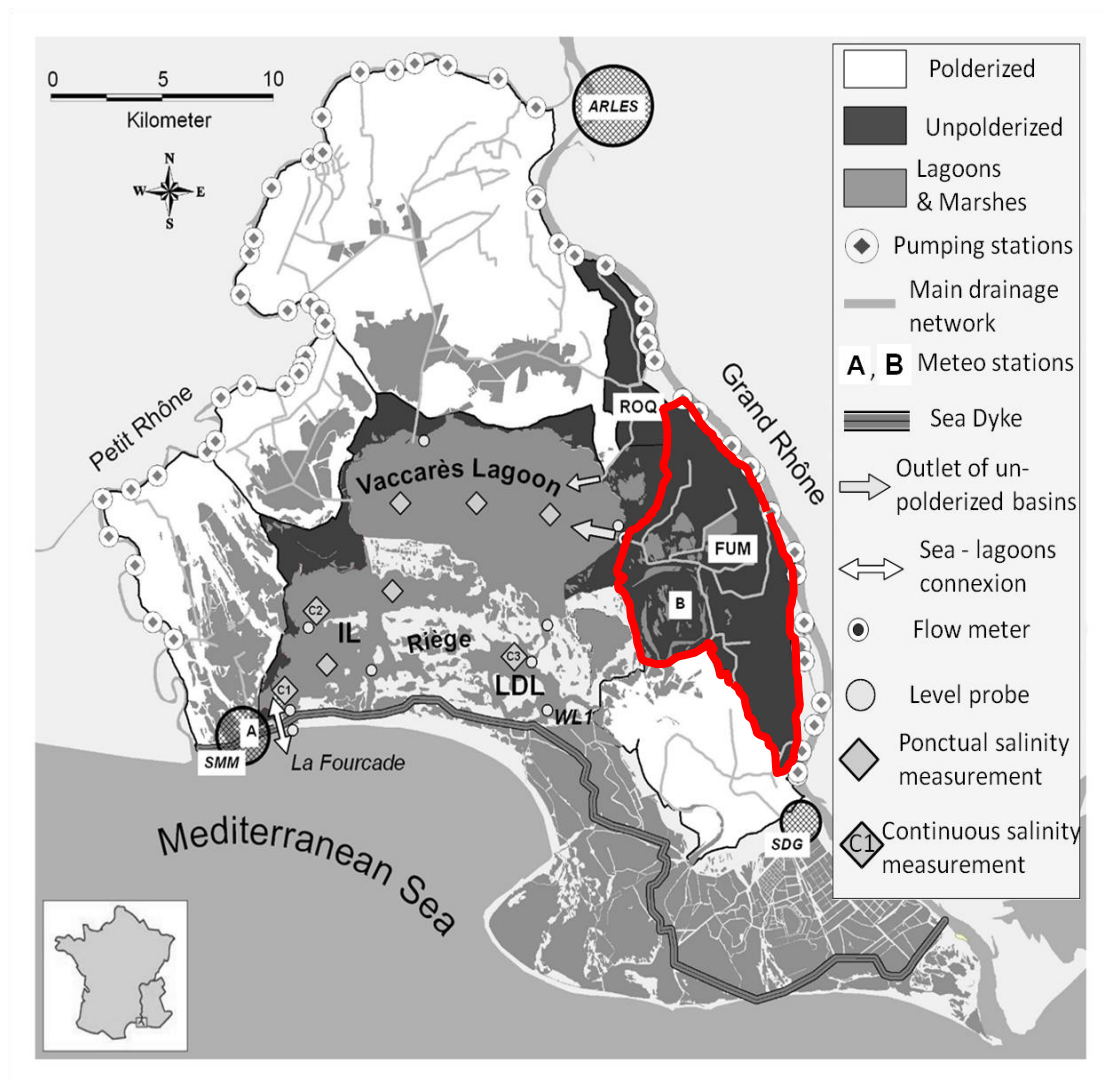


Figure 1 : localisation du Bassin Versant du Fumemorte (trait rouge, "FUM") en Camargue. SMM : ville des Saintes Maries de la Mer, SDG : ville de Salins de Giraud.

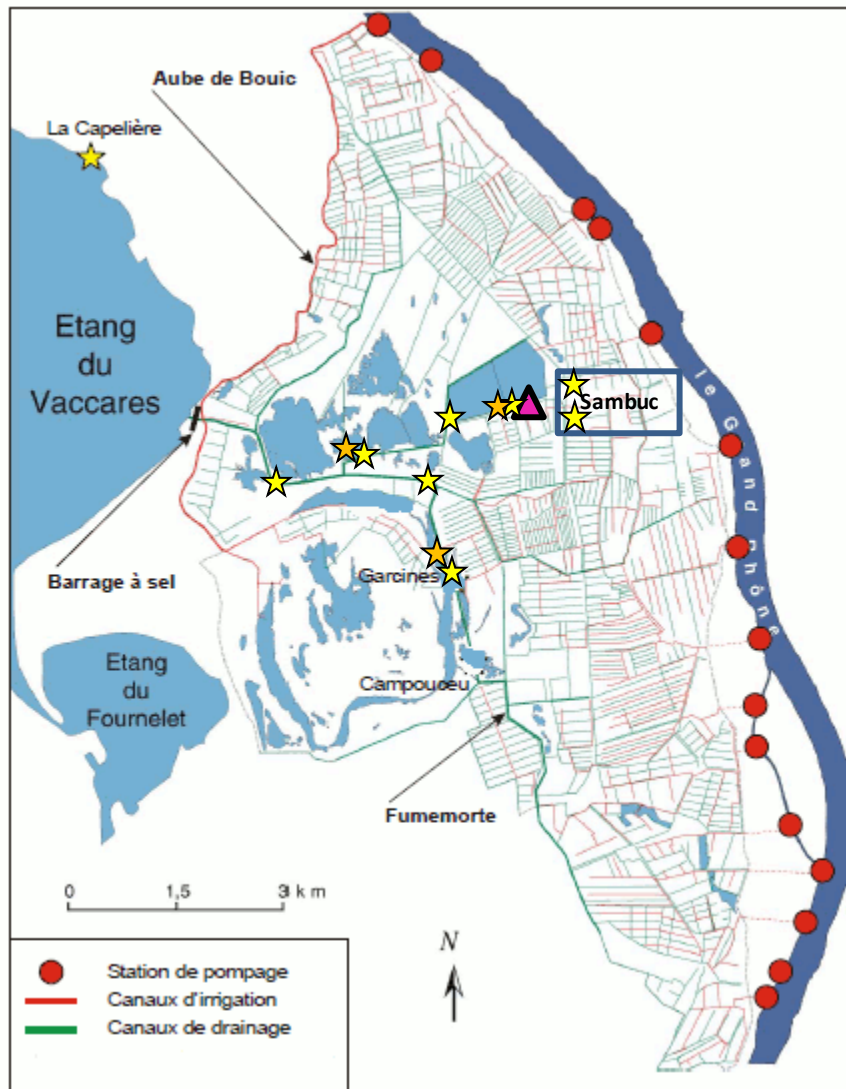


Figure 2 : Réseaux de canaux de drainage et d'irrigation sur le bassin versant du Fumemorte. La localisation du village du Sambuc, ainsi que celle de la station d'épuration (triangle rose) sont également représentées.

Une station d'épuration permet de traiter les eaux issues du village du Sambuc (Figure 2). Les eaux de cette station sont une fois traitées rejetées dans le réseau de drainage du bassin versant du Fumemorte.

Principaux objectifs du stage :

Les premières études menées par la Tour du Valat, MIVEGEC et l'université de Kristianstad portaient sur une emprise géographique qui englobait l'ensemble de la Camargue. Ainsi, seules trois mesures portaient sur des canaux du bassin versant du Fumemorte. Pour ces trois localisations, représentées par des étoiles oranges sur la Figure 2, les prélèvements faits en sortie de la station d'épuration présentaient quel que soit le mois d'échantillonnage des bactéries résistantes aux antibiotiques. Concernant les prélèvements faits dans les canaux à l'aval du rejet de la station d'épuration, pour une même localisation certains prélèvements présentaient des bactéries résistantes aux

antibiotiques, et d'autres prélèvements pas. L'hypothèse de travail de l'équipe d'accueil est que l'hydraulique de ces canaux joue un rôle important dans le transfert de ces bactéries.

Les canaux de drainage du bassin versant du Fumemorte ont un fonctionnement particulier : les pentes de ces canaux sont très faibles et non continues (présences de portions avec pentes "négatives" suivies de portions avec des pentes "positives"). Le vent, très présent en Camargue, joue un rôle majeur dans ces écoulements, et peut, suivant sa direction (Mistral, vent marin) générer des inversions d'écoulements avec, suivant les vents, des écoulements allant des canaux vers l'étang du Vaccarès ou des écoulements qui peuvent s'écouler de l'étang du Vaccarès vers les canaux sur une partie du réseau ("remontée" des eaux de l'étang du Vaccarès dans les canaux).

L'eau des canaux issue du drainage des parcelles agricoles et du pompage dans le Rhône est non salée. L'eau de l'étang du Vaccarès, de par sa connexion avec la mer, est quant à elle salée. Suivant le sens des écoulements dans les canaux, les conditions de salinité peuvent donc changer en plusieurs endroits du bassin versant, ces pics de salinité pouvant engendrer une forte mortalité de ces bactéries.

Ainsi, suivant les conditions hydrauliques, de salinité et de température au moment des prélèvements d'eau dans les canaux, aucune bactérie ne sera détectée alors qu'une détection aurait été faite à un autre moment.

Le stage proposé a donc plusieurs objectifs :

- 1/ Déterminer les paramètres physiques (écoulements, salinité, température, ...) qui ont une influence sur la dynamique de transfert des BMR dans ce système hydraulique complexe.
- 2/ Etudier si les BMR détectées en différents sites peuvent être reliées aux différentes sources potentielles de BMR de ce bassin versant (rejets de stations d'épuration, déjections du bétail ayant eu des traitements antibiotiques et qui sont gardés le long de plusieurs canaux, etc...)

Méthodologie

Pour répondre aux deux objectifs préalablement indiqués, le stagiaire mettra en œuvre une approche de modélisation hydraulique sous TELEMAC-2D.

1/ Dans un premier temps, à partir de données bathymétrique déjà existantes, le stagiaire construira un modèle sous TELEMAC-2D du site d'étude.

2/ En parallèle à la construction du modèle, le stagiaire mettra en œuvre des campagnes de mesures sur le site d'étude pour disposer de données de calibration et validation du modèle. Ces mesures seront des mesures de débits (campagnes de jaugeage), de niveau d'eau, de température et de salinité.

3/ Dans un troisième temps, le stagiaire calibrera et validera le modèle construit à partir des données qu'il aura acquises, ainsi que de données déjà existantes (un débitmètre et deux sondes de mesures en continu de niveau, température et salinité sont déjà installés sur le site d'étude).

4/ Au cours du stage, les équipes de la Tour du Valat mettront en œuvre trois campagnes de mesures bactériologiques en 8 localisations des canaux (étoiles jaunes sur la Figure 2). Ces campagnes permettront au stagiaire d'avoir des données expérimentales de présence de BMR à différentes périodes et en différents endroits des canaux. Il utilisera ces données pour calibrer/valider la

composante bactériologique du modèle TELEMAC-2D et pour simuler la répartition de ces BMR dans les canaux du site. L'ajout de BMR dans TELEMAC-2D a déjà été développé par l'équipe d'accueil.

5/ A partir des résultats de simulation de TELEMAC-2D de présence/absence de BMR sur l'ensemble des canaux étudiés, le stagiaire étudiera par des tests statistiques simples si pour différentes zones (canal principal, canaux secondaires) la présence/absence de BMR peut être reliée à différents facteurs comme la météorologie (vent, température de l'air, rayonnement solaire), l'hydraulique (vitesses moyennes d'écoulements les jours précédents, température et salinité de l'eau), la distance à la station d'épuration, la distance par rapport au village du Sambuc, la distance par rapport à des animaux domestiques traités aux antibiotiques, etc..

Profil recherché : Stage de Master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieur, formation en sciences de l'eau avec des connaissances en hydraulique à surface libre. Une connaissance d'un logiciel de modélisation hydraulique 1D ou 2D est indispensable (HEC-RAS, PCSMWW, TELEMAC, Mascaret, ...). La connaissance de TELEMAC-2D, de Blue Kenue et du langage python serait un plus, ainsi qu'une expérience du candidat en campagnes de jaugeages de cours d'eau.

Durée du stage : janvier à juin 2020 (ajustable en fonction du calendrier de la formation de l'étudiant)

Indemnité mensuelle : 546 €/mois. Il est possible de loger sur le domaine de la Tour du Valat en louant une chambre sur place (66.7€/mois). Existence d'une cantine sur le site de la Tour du Valat pour les repas du midi (3€/repas).

Pour postuler : Envoyer CV et lettre de motivation à boutron@tourduvalat.org et vittecoq@tourduvalat.org

Référence :

Vittecoq M., Laurens C., Brazier L., Durand P., Elguero E., Arnal A., Thomas F., Aberkane S., Renaud N., Prugnolle F., Solassol J., Jean-Pierre H., Godreuil S., Renaud F. 2017. VIM-1 carbapenemase-producing *Escherichia coli* in gulls from southern France. *Ecology and Evolution*. doi: 10.1002/ece3.2707

Vittecoq M., Godreuil S., Prugnolle F., Durand P., Brazier L., Renaud N., Arnal A., Aberkane S., Jean-Pierre H., Gauthier-Clerc M., Thomas F., Renaud F. 2016. Review: Antimicrobial resistance in wildlife. *Journal of Applied Ecology* 53: 519-529.

Vittecoq M., Gauduin H., Oudart T., Bertrand O., Roche B., Guillemain M., Boutron O. 2017. *Modeling the spread of avian influenza viruses in aquatic reservoirs: A novel hydrodynamic approach applied to the Rhône delta (southern France)*. *Sci Total Environ* 595:787–800.