

Proposition de thèse

Caractérisation des mécanismes et développement d'un capteur optique d'encrassement en micro-irrigation dans un contexte de réutilisation des eaux usées traitées

Contexte

Depuis plusieurs décennies, et notamment en lien avec les perspectives de changement global, l'eau est considérée comme une ressource en tension dans de nombreuses régions arides en général et en particulier en méditerranéenne, et ce d'autant plus que la demande croît pour les divers usages. Dans ces régions du globe, l'eau est utilisée jusqu'à plus de 90% sur la rive Sud et Est de la méditerranée pour l'agriculture irriguée et les tensions deviennent de plus en plus fortes puisque la demande croissante de l'agriculture et des autres secteurs (AEP en hausse avec la démographie et l'amélioration du niveau de vie, tourisme, industries) fait face à de fortes irrégularités naturelles parfois aggravées par les multiples aménagements en plus du changement climatique (FAO, 2016 and World Bank Group, 2018).

Au niveau mondial, la micro-irrigation a connu un développement rapide (croissance des surfaces annuelles arrosées par ces techniques supérieure à 10% depuis 2005). Elle est considérée comme la panacée pour économiser de l'eau, ce qui est vrai seulement sur les systèmes neufs (Benouniche et al. 2014). Pour la réutilisation des eaux usées traitées, la micro-irrigation est également la technique la plus adaptée d'un point de vue sanitaire, puisqu'elle minimise les possibilités de contacts entre les opérateurs, la culture et l'eau potentiellement contaminée. Cependant, le problème essentiel de la technique goutte à goutte reste la durabilité de ses performances du fait de sa sensibilité au colmatage physique, biologique et chimique. La richesse en nutriments et matières en suspension lors de la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) aggrave ces facteurs et induit rapidement une baisse de l'efficacité de l'utilisation de l'eau ou une baisse de sa productivité agricole (Ait-Mouheb et al. 2018). Le vieillissement des goutteurs peut également être induit par des eaux agricoles qui pour les deux tiers sont des eaux de surface contenant des particules en suspension (arrachées aux sols par les pluies), des algues et autres organismes vivants dont beaucoup sont de taille inférieure à la maille des filtres (Bounoua et al. 2016) et qui peuvent s'installer dans les systèmes d'irrigation et y proliférer, provoquant ainsi les mêmes phénomènes de colmatage.

En plein champ, en dehors de symptômes visibles sur les plantes, la mise en évidence du colmatage reste difficile en raison du grand nombre de points d'émission, d'une forte hétérogénéité de comportements des goutteurs et des difficultés d'observations dans les goutteurs fermés. Cela devient impossible dans le cas des installations en micro-irrigation enterrées dans le sol. Une méthodologie efficace pour la détection de l'encrassement dans les systèmes de micro-irrigation est primordiale mais n'a pas encore été développée (Talozi et Hills, 2001), en particulier dans le cas de l'irrigation souterraine en goutte à goutte, qui présente le meilleur potentiel en termes d'efficacité de l'eau.

Etat de l'art

Le colmatage des goutteurs peut être issu de facteurs biologiques, physiques ou chimiques. Cette réduction de la durabilité peut être induite par une obstruction brusque ou par un encrassement progressif du canal d'écoulement. Selon Qian et al. 2017, ce dernier mécanisme n'affecte la baisse des débits des goutteurs qu'avec un pourcentage d'encrassement supérieure à 70 % (pourcentage de volume d'encrassement sur volume canal). Le traitement du colmatage définitif requiert donc une procédure de détection précoce en vue d'un nettoyage adapté aux types d'encrassement pour être efficace.

Malgré une filtration adéquate, le colmatage physique (particules solides : argiles, limons ou sables) est la forme la plus commune d'encrassement des goutteurs (Adin and Alon, 1986) L'agrégation de fines particules génère des floccs en aval des filtres, dans les conduites (Niu et al., 2012, Bounoua,

2010, Nakayama and Bucks, 1991) pouvant obstruer le canal du goutteur. Ce colmatage physique peut cependant être éliminés par chasse hydrique (Puig-Bargues et al. 2010). La cinétique de dépôt et de transport des particules dépend des conditions de milieu telles que : la topologie de l'écoulement, le pH, la salinité, la sodicité et les cycles d'irrigations (Lamm et al., 2007). Lors de l'irrigation par les eaux usées traitées, le colmatage des goutteurs dépend de la qualité de l'eau, en particulier des matières en suspension présentes, du développement du biofilms et des précipitations chimiques à l'intérieur du canal étroit des émetteurs. Ainsi, les éléments nutritifs, les substances organiques et les oligo-éléments contenus dans l'eau récupérée après le traitement secondaire ou même tertiaire peuvent induire une croissance rapide des biofilms (Li et al., 2012, Gamri et al. 2013, Ait-Mouheb et al. 2018). Ce phénomène est observé au niveau de toutes les composantes des systèmes de micro-irrigation (goutteurs, conduites, réservoirs, filtres, etc.). L'organisation des micro-organismes en groupe, leur permet de mieux résister à la désinfection chimique par le chlore et les bactéricides (De Beer et al., 1994 ; Flemming, 1997). A notre connaissance, il n'existe pas de méthodes optiques, basées sur des mesures spectrales, dédiées à la caractérisation des mécanismes d'encrassement en micro-irrigation.

Objectifs et programme de la thèse

Le projet de thèse proposé s'inscrit dans un projet de recherche plus global sur la compréhension des mécanismes de développement du colmatage en micro-irrigation dans un contexte de réutilisation des eaux usées traitées ou d'eaux chargées en particule. La thèse a pour objectif le développement d'une méthodologie innovante de d'analyse et de détection de l'encrassement basée sur de la spectrométrie UV-Visible- proche Infrarouge, en vue de développer un capteur optique pour l'irrigation.

Afin de répondre à cette problématique, différentes questions scientifiques doivent être résolues selon les phénomènes mis en jeu dans les systèmes goutte à goutte:

- Quelle est l'effet hydrodynamique dans un goutteur sur le transport de particules et la croissance bactériale ?
- Quelle est le phénomène prépondérant physique, biologique ou chimique dans le cas d'un fluide complexe?
- Quelles mesures optiques et principes physiques associés pour détecter le colmatage?
- Quelle est le potentiel de la spectroscopie optique pour la compréhension et la mesure des mécanismes d'encrassement?
- Quelles gammes spectrales et traitement associés pour identifier le type de colmatage (physique, chimique, biologique) ?

La démarche et le programme de thèse proposée sont :

- I. Dans un premier temps, le doctorant/doctorante devra comprendre les différents phénomènes d'encrassement en micro-irrigation et les paramètres mis en jeu, s'approprier les outils optiques et de traitement de données multivariés existants. En parallèle, des premières campagnes de caractérisations des phénomènes prépondérant d'encrassement en micro-irrigation dans le cas d'un fluide complexe seront entrepris. Pour ce faire un dispositif milli-fluidique ayant une géométrie de canaux en labyrinthe de type goutteur alimentée par des eaux chargées en particule (colmatage physique) ou des eaux usées traitées seront analysées tri-dimensionnellement par tomographie optique cohérente (OCT en anglais). En parallèle de ces mesures OCT, différentes méthodes optiques basées sur de l'imagerie hyper-spectrale, de la spectroscopie résolue spatialement et de la spectroscopie diffuse polarisée seront testées. Une analyse multivariée des signatures spectrales combinées à une mesure temporelle devrait nous permettre d'analyser la composition et la formation de l'encrassement.

- II. A partir de ces premiers résultats expérimentaux, la seconde étape des travaux consistera à retenir la méthode optique et les modèles associés permettant de qualifier et de quantifier les différents types d'encrassement en micro-irrigation. A partir de ces choix techniques, un prototype de capteur en laboratoire adapté au contexte de la micro-irrigation sera développé. Ce système sera validé sur des milieux modèles, puis une analyse fine des limites de ce capteur seront effectuées selon le type d'eaux d'irrigation.
- III. Le dernier volet de la thèse sera alors de consolider ce prototype afin d'effectuer des premiers tests sur parcelle.

Conditions et déroulement

Cette thèse se déroulera sur 3 ans à partir de la rentrée 2019 sur le centre Irstea de Montpellier au sein des unités de recherche GEAU et ITAP

La thèse sera encadrée par Ryad Bendoula, Nassim Ait Mouheb et Bruno Molle à Montpellier.

L'école doctorale de rattachement du doctorant sera l'ED « Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau (GAIA) » de l'université de Montpellier

Profil du candidat recherché

Le candidat recherché devra présenter une formation en génie des procédés ou génie chimique et idéalement des compétences en chimiométrie / traitement de données, soit au travers de la formation initiale, soit au travers du stage de fin d'études. Des connaissances en spectrométrie/optique seront un plus.

Enfin, le candidat devra faire la preuve d'un goût prononcé pour les travaux expérimentaux et avoir des qualités rédactionnelles avérées en français et en anglais. Il devra également avoir des qualités organisationnelles lui permettant de planifier son travail et de respecter les échéances de la thèse.

Contacts

Nassim Ait Mouheb : email : nassim.ait-mouheb@irstea.fr; Tel : +33 (0)4 67 16 64 03.

Ryad Bendoula : email : ryad.bendoula@irstea.fr; Tel : +33 (0)4 67 16 64 63

Bruno Molle: email : bruno.molle@irstea.fr ; Tel : +33 (0)4 67 16 65 04.