

# LE DEFI DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE EN METTANT AU POINT DES PROCEDES INNOVANTS DE TRAITEMENT DECENTRALISE DES EAUX NON CONVENTIONNELLES POUR L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS DE LA VILLE D'AGEN

Tarik ELJADDI<sup>1</sup>, Emma BOISSIERE<sup>1</sup>, Lucie BEGUIN<sup>1</sup>, Vincent EDERY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives (IFTS), Rue Marcel Pagnol, 47510 Foulayronnes, 05-53-95-89-74 [tarik.eljaddi@ifts-sls.com](mailto:tarik.eljaddi@ifts-sls.com)

## I. INTRODUCTION

Les besoins en arrosage, pour l'ensemble des espaces végétalisés de la ville d'Agen (France), représentent un volume annuel d'environ 74 000 m<sup>3</sup> prélevés sur le réseau de distribution d'eau potable et les forages. Il s'agit d'une pression importante sur les ressources en eau potable notamment en été. La possibilité d'utiliser des eaux non conventionnelles (eaux usées traitées et eaux pluviales) est un enjeu d'avenir pour permettre à la ville de réussir son pari sur la transition écologique et de sécuriser ses ressources en eau. Dans le contexte actuel du réchauffement climatique et sous l'effet des restrictions répétitives d'utilisation des eaux conventionnelles, ces eaux urbaines sont devenues une ressource à considérer et à réutiliser pour irriguer les espaces verts par exemple, afin d'atténuer l'effet des épisodes de canicules plus fréquentes dans la région. Généralement, les eaux urbaines sont traitées par des systèmes centralisés concentrant de larges volumes d'effluents. Des systèmes décentralisés, de tailles beaucoup plus réduites, sont utilisés (

Figure 1) pour traiter les rejets des habitations non raccordées au réseau d'assainissement. Le concept de traitement décentralisé est apparu dans les années 1960 à Los Angeles aux Etats-Unis ; il consiste à prélever sur un collecteur une partie des eaux usées, à les traiter et les réutiliser aux fins d'irrigation, de recharge de nappe, de nettoyage de voirie, Ce concept est appelé aussi un traitement satellite[1,2] ou extraction de l'eau en anglais « water mining »[3]. Ce système présente plusieurs avantages[1,3]:

- Réduire le coût de transport des eaux usées qui représente environ 21% du coût global du traitement en Australie [3].
- Traiter efficacement la matière organique solide car elle se dégrade en particules fines dans le réseau (temps de séjour et transport) avant d'arriver à la station de traitement, ce qui complique la séparation et traitement dans le système centralisé.
- Réduire le volume à traiter pour éviter la saturation des installations existantes car le volume augmente avec l'augmentation de la population.
- Protéger la population en cas de catastrophe naturelle ou acte de vandalisme qui peut toucher les grandes installations.

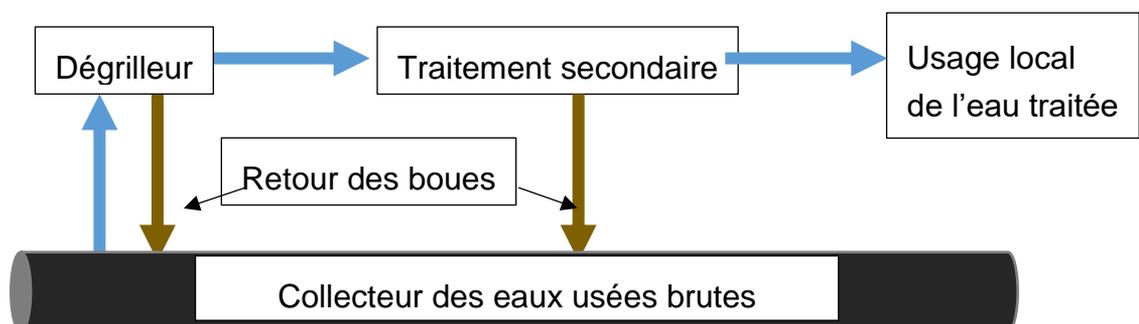


Figure 1 : Le principe de traitement décentralisé des eaux usées

Le traitement décentralisé présente aussi deux grands risques :

- Risque sur la santé publique car les eaux usées contiennent des bactéries et des virus qui impactent la santé des humains.
- Risque sur l'environnement car les eaux usées peuvent augmenter la salinité des sols, et elles sont riche en azote et phosphore qui peuvent provoquer l'eutrophication.

Le projet AVIDE, Agen Ville Végétale et Désirable, financé par la Région Nouvelle-Aquitaine l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et la mairie d' Agen et qui s'est déroulé du 03 janvier 2023 au 31 décembre 2023, a permis de travailler sur une preuve de concept d'une telle stratégie de traitement local des eaux usées urbaines en vue de créer des îlots de fraîcheurs grâce à l'irrigation d'espace végétalisée. L'objectif des essais menés par l'IFTS était de qualifier un traitement décentralisé des eaux usées municipales par un Bio Réacteur à Membrane (BRM), associé à un collecteur en ligne développé spécialement pour prélever les eaux usées sur un collecteur urbain. Il est à noter que, en parallèle, le projet a visé aussi à étudier le traitement local des eaux de ruissellement de voirie par un avaloir objet de la présentation n°R022 aux JIE24.

Le présent papier présente les principaux résultats du projet AVIDE associé au traitement local des eaux usées utilisant un pilote de BRM conçu par la société POLYMEM, partenaire du projet.

## II.PROTOCOLE EXPERIMENTAL

### II.1. Site d'expérimentation

L'ensemble des expérimentations a été effectué au Centre Technique de l'Eau Roger Ben Aim de l'IFTS. Il est situé entre la station d'épuration d' Agen et la station de traitement d'eau potable d' Agen (figure 2), situation unique en France.



Figure 2 : Le Centre d'Essai Roger Ben Aim

Cette situation particulière permet d'alimenter le pilote avec une eau réelle issue de la station d'épuration de Rouquet (AGEN) qui est une station à boue activée faible charge de 55 000 EH.

### II.2. Collecteur en ligne

Le fonctionnement du collecteur en ligne, conçu par l'IFTS, est basé sur l'hypothèse d'un cycle de 160 s avec trois phases successives (

Figure 3) : un remplissage de 120 s, un nettoyage de 10 s (décolmatage) et une vidange 30 s. Le prototype est équipé d'une pompe immergée et de deux capteurs de niveaux pour

contrôler le fonctionnement du prototype. Il est à noter que la construction aucune dérivation du collecteur n'est à réaliser et que rien ne s'oppose mécaniquement au flux. Le collecteur en ligne réalise l'étape de dégrillage nécessaire et constitue le prétraitement nécessaire pour le BRM. Les orifices du dégrilleur arrêtent les particules solides de tailles supérieures à 1.2 mm.

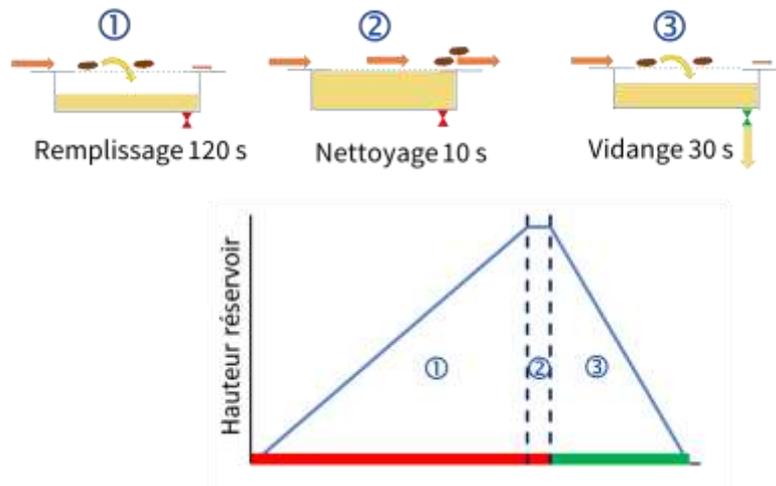


Figure 3 : Cycle de fonctionnement du collecteur

La figure 4 montre le schéma simplifié du raccordement du collecteur en ligne.

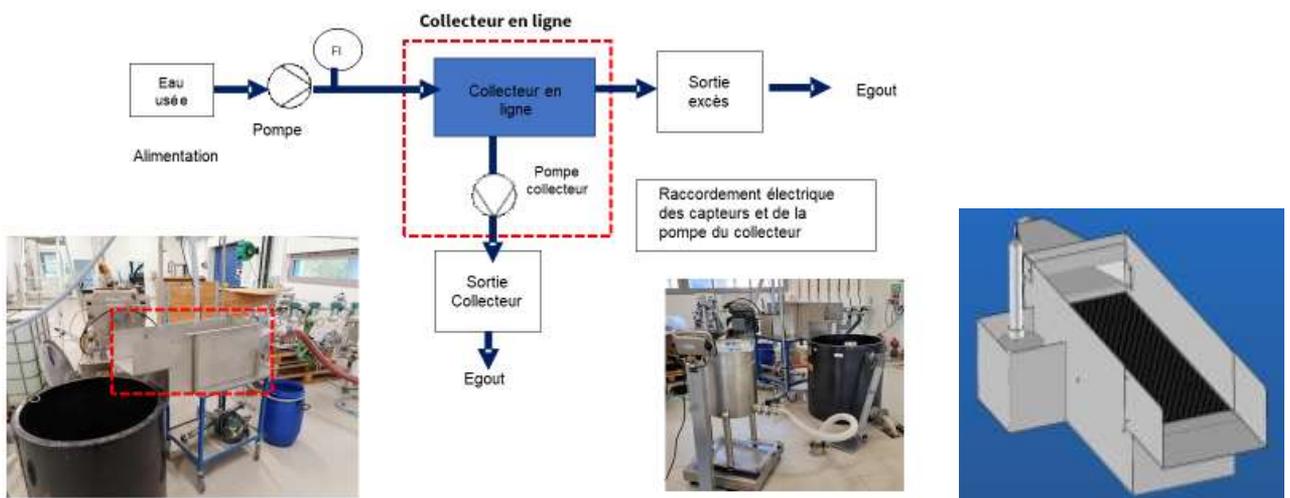


Figure 4 : Schéma simplifié de l'installation du collecteur en ligne

### II.3. Bioréacteur à membrane

Le BRM à membranes immergées externes comporte une cuve biologique (zone aérobie et zone anaérobie) et une autre cuve pour les membranes (fibres creuses Neophil 15 nm, fabriquée par Polymem) avec une recirculation entre les deux cuves (figure 5).

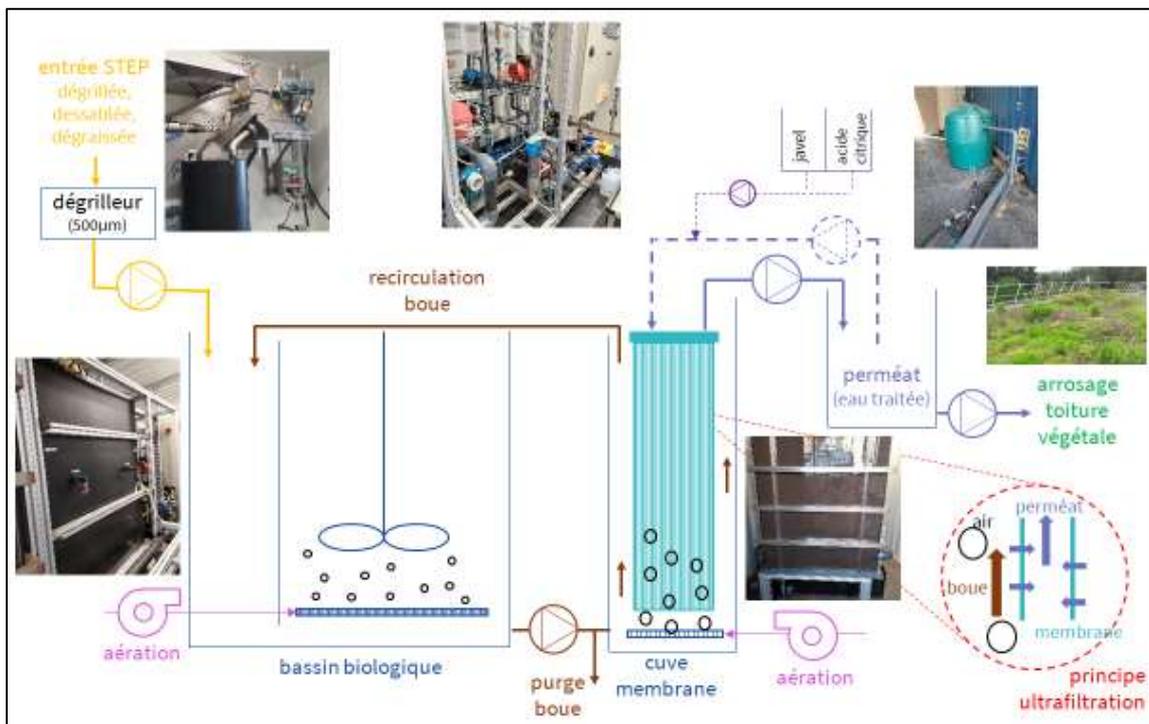


Figure 5 : Schéma du principe du BRM

Le pilote est raccordé à la supervision du Centre Technique de l'Eau Roger Ben Aim (figure 6) afin de gérer l'alimentation en eau usée brute du pilote et d'enregistrer les paramètres de fonctionnement.

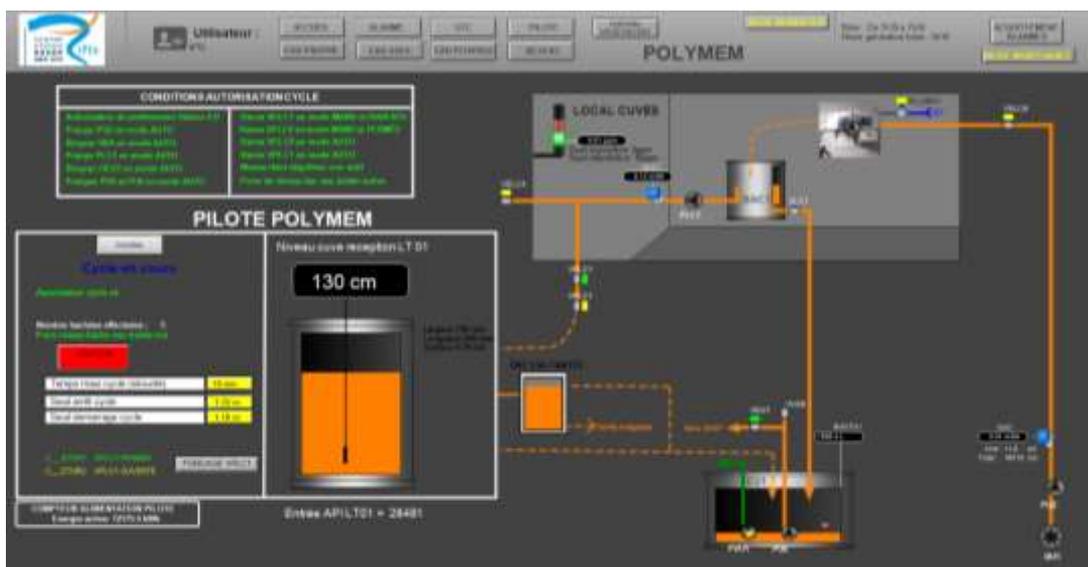


Figure 6 : Capture d'écran de la supervision du Centre d'essais

#### II.4. Choix des paramètres de suivi de la performance épuratoire du BRM

Le choix des paramètres de suivi de la qualité de l'eau traitée par le pilote BRM est basé sur plusieurs critères :

- Réglementaires : des paramètres obligatoires issue de la réglementation française et européenne pour le traitement de la macro pollution.

- Fonctionnement du pilote BRM : des paramètres d'abattement de l'azote et du phosphore pour évaluer l'efficacité de traitement et valider les paramètres de fonctionnement du pilote
- L'élimination des micropolluants : ce sont des paramètres qui incluent les différents éléments toxiques à l'homme ou l'environnement, à faible concentration comme les hydrocarbures, les métaux e

La liste et la fréquence de prélèvement sont données dans les paragraphes ci-dessous en détails.

### III. RESULTATS EXPERIMENTAUX

#### III.1. Performance du collecteur en ligne

##### III.1.1 Essai de Vérification des cycles théoriques et réels

Des essais pour comparer les cycles théoriques avec les cycles réels ont été faits avec de l'eau usée traitée (sortie du STEP). La

Figure 7 montre un exemple des données enregistrées par ordinateur :

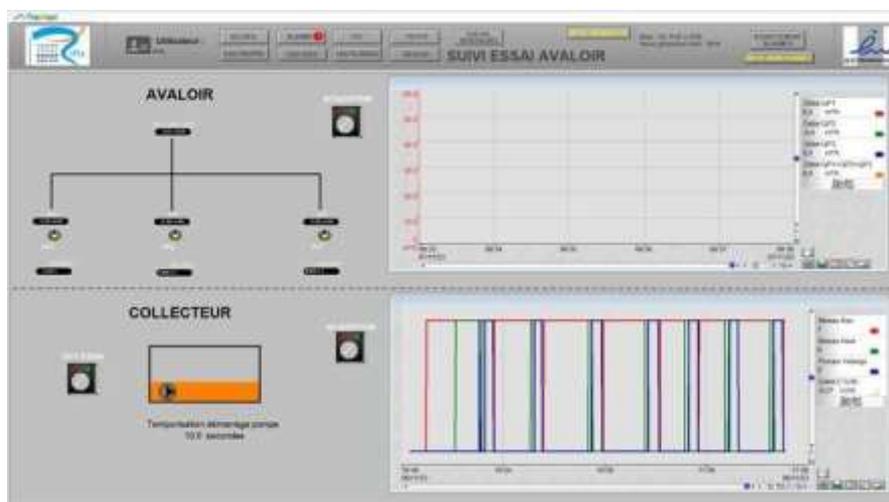


Figure 7 : Exemple des données enregistrées

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau I : Essais de vérifications des cycles avec des eaux usées traitées

Phases	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4
Remplissage(s)	94	99	103	128
Nettoyage*(s)	10	10	10	10
Vidange**(s)	24	24	24	24
Total (s)	128	133	137	162
Volume récupéré (L)	70,19	69	70,5	69,4
Débit (m <sup>3</sup> /h)	1,97	1,87	1,85	1,54

\* Déclenchement de la pompe du collecteur par transition de seuil haut/bas ou bas/haut

\*\* Temporisation de la programmation

Les données montrent qu'il y a une bonne cohérence entre les cycles enregistrés expérimentalement et les données de dimensionnement théoriques du prototype.

### III.1.2 Essais divers pour optimiser les paramètres de fonctionnement

Pour évaluer les effets d'autres paramètres sur le fonctionnement du collecteur, des essais ont été effectués avec des eaux usées entrée STEP. Ces essais consistent à faire varier le débit d'entrée collecteur, le temps de nettoyage et la configuration de la grille. Un débit de 5 m<sup>3</sup>/h favorise le nettoyage du collecteur, car il augmente la vitesse du liquide sur la surface de la grille qui entraîne les solides déposés sur la grille pendant la phase de remplissage. Le temps de nettoyage est un paramètre important, car il permet d'évacuer les solides déposés sur la grille pendant l'étape de remplissage.

Pour éviter le colmatage du collecteur dans le cas des eaux très chargées, un décolmatage est rajouté par contre lavage du dégrilleur en utilisant la pompe de vidange de la cuve du collecteur. Des essais d'endurance sur des eaux très chargées méritent d'être poursuivies. Ces résultats démontrent bien que le concept est prometteur et des travaux doivent être engagés pour construire un prototype.

## III.2. Performance épuratoire du BRM

### III.2.1 Paramètres réglementaires

Les résultats d'analyses portent sur les paramètres qui sont soumis à la réglementation française et/ou européenne pour la classe A, c'est-à-dire, pour les paramètres physico-chimiques : la turbidité, les MES, la DCO, la DBO<sub>5</sub> et pour les paramètres microbiologiques : E-coli, les entérocoques intestinaux, les spores de bactérie anaérobie sulfite- réductrices et les bactériophages ARN F spécifique. La concentration moyenne en **MES** en entrée de pilote est de 575 mg/L, la concentration en MES dans l'eau traitée est toujours inférieure à 2, (la limite de quantification), l'abattement est toujours supérieur à **99 %**. la concentration moyenne en **DCO** en entrée du pilote est de 776 mgO<sub>2</sub>/L, l'abattement moyen est de **95 %**. La concentration moyenne en entrée du pilote en **DBO<sub>5</sub>** est de 230 mgO<sub>2</sub>/L, l'abattement moyen est de **99 %**.

Tous les paramètres physico-chimiques réglementaires respectent les exigences minimales de la qualité de l'eau de la classe A selon les réglementations française et européenne. Ceci rejoint les conclusions figurants dans la littérature [4]. Les abattements des paramètres physico-chimiques sont similaires aux abattements du BRM industriel installé à Grasse (Tableau II), d'une capacité de 23000 EH (environ 4000m<sup>3</sup>/j). L'étude menée en PACA [5] sur 11 stations d'épuration domestiques de type BRM montre des résultats similaires également. Dans cette dernière étude, la concentration moyenne des paramètres mesurée en sortie est pour la DBO<sub>5</sub> : 1,8 mgO<sub>2</sub>/L, les MES : 1,5 mg/L, et la DCO : 19,1 mgO<sub>2</sub>/L.

Tableau II : Comparaison des paramètres physicochimiques moyens du pilote BRM projet AVIDE et un BRM industriel de la STEP de Grasse

Paramètre	Unité	Pilote BRM Projet AVIDE (≈ 8 EH)			STEP urbaine Grasse BRM industriel 23 000 EH [6]		
		Entrée	Sortie	Abattement (%)	Entrée	Sortie	Abattement (%)
MES	mg/L	575	< 2	99,7	580	<2	99,7
DCO	mg/L	776	33,1	95,0	750	<30	99,6
DBO <sub>5</sub>	mg/L	229	1,9	99,0	340	<3	91,2

Enfin, il faut noter que malgré les variations importantes des concentrations en entrée de pilote en MES, en DCO et en DBO<sub>5</sub>, le BRM maintient un abattement moyen supérieur à 95% pour ces paramètres-là, ce qui permet une standardisation de la qualité de l'eau à la sortie du pilote quelle que soit l'échelle de traitement. Ces résultats montrent bien que le BRM est un procédé robuste qui est bien adapté avec le traitement décentralisé.

Pour les analyses bactériologiques, les résultats sont variables. On peut conclure qu'une étape de désinfection avec du chlore ou des lampes UV est nécessaire avant l'utilisation de l'eau traitée pour éviter le développement des bactéries dans la cuve de stockage des eaux traitées.

### III.2.2 Micropolluants

Le Tableau III regroupe les analyses des micropolluants à l'entrée, à la sortie du BRM. Ce tableau montre que l'abattement est très bon pour le cuivre et le DEHP, en moyenne de 98,4% pour le cuivre et de 94,4% pour le DEHP. L'abattement moyen pour le zinc est de 84,7 %. Pour la somme des HAP, l'abattement moyen est de 56,8 %, mais la concentration sur l'eau traitée est inférieure à la LQ donc l'abattement peut être considéré comme total. Les métaux et certains HAP présentent une grande affinité avec les MES, la quasi-totalité de ces molécules sont piégées dans les boues. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature [7]. Les résultats montrent aussi que le paracétamol est présent en plus grande quantité parmi les micropolluants analysés en entrée du BRM. Ce résultat est attendu sachant qu'une usine de production pharmaceutique de la ville d'Agen rejette ces eaux dans la STEP de ROUQUET. Le paracétamol est l'élément le mieux éliminé puisque l'abattement approche les 100 %. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature [7]. La carbamazépine, le diclofénac et le sulfaméthoxazole sont des traceurs de médicaments considérés comme réfractaires au traitement biologique [7]. En effet, les abattements de ces molécules sont très faibles voir nul.

*Tableau III : l'abattement des micropolluants par le BRM projet AVIDE*

Paramètre	Unité	Entrée BRM	Sortie	Abattement (%)
Cu	µg/L	79	1,0	98,4
Zn	µg/L	199	25,7	84,7
HAP	µg/L	0	0,0	70,1
DEHP	µg/L	6	0,2	95,7
Carbamazépine	µg/L	1,16	0,75	50
Erythromycine	µg/L	0,23	0,32	nc
Sulfaméthoxazole	µg/L	5,77	0,60	86
Paracétamol	µg/L	86,50	0,02	100
Diclofenac	µg/L	1,15	1,26	16
Roxithromycine	µg/L	0,20	0,18	nc
Sotalol	µg/L	2,43	1,10	33

*nc : non calculable*

## VI. CONCLUSION

Ce projet a pour objectif d'étudier la possibilité d'utiliser différentes sources d'eaux non conventionnelles locales pour arroser des espaces verts dans la ville afin de créer des îlots de fraîcheur. Les premières conclusions montrent que :

- i) Le collecteur en ligne, d'une conception telle que proposée par l'IFTS, est un dispositif qui autorise valablement le prélèvement des eaux usées brutes directement du réseau d'assainissement, afin de les pré-traiter au plus proche du point d'utilisation.
- ii) Le BRM est un équipement flexible et compact, qui produit une eau de qualité A selon la réglementation pour l'irrigation, il est bien adapté pour un traitement décentralisé des eaux usées urbaines avec un taux d'abattement significatif sur les micropolluants étudiés.
- iii) Les essais menés dans cette étude par IFTS dans un centre d'essais permettent de confirmer les performances d'un traitement décentralisé des eaux urbaines par plusieurs briques technologiques, afin de fournir une qualité d'eau conforme à l'irrigation des espaces verts par goutte à goutte en tenant compte des contraintes de maintenance, compacité et variabilité des flux.

En plus, une évaluation technico économique, sur la base des éléments de fonctionnement collectés lors des essais et selon des différentes hypothèses, permet de conclure à un ordre de grandeur de coût de traitement de l'ordre de 330 k€ en CAPEX et 28.9 k€ en OPEX qu'il faudra affiner selon les conditions réelles envisagées de l'installation et l'exploitation. Enfin, il sera nécessaire de faire approuver, aux fins d'expérimentations au moins, l'utilisation d'un BRM comme dispositif de traitement décentralisé d'eaux usées en zone urbaine et lever les freins réglementaires pour permettre le développement des microstations de traitement afin de réussir la transition écologique de la ville.

## REFERENCES

- [1] A. Takash, Water Reuse Issues, technologies and applications (Metcalf&Eddy/AECOM), 2007.
- [2] P. Gikas, G. Tchobanoglous, The role of satellite and decentralized strategies in water resources management, *J. Environ. Manage.* 90 (2009) 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.08.016>.
- [3] F.A. Memon, W. Sarah, *Alternative Water Supply Systems*, 2019. <https://doi.org/10.2166/9781780405513>.
- [4] H. Pierre, *Traitement des effluents d'un service d'oncologie par bioréacteur à membranes : faisabilité d'acclimatation et gain apporté sur l'élimination de molécules médicamenteuses*, Aix Marseille TITRE, 2014. <https://www.theses.fr/2014AIXM4328>.
- [5] A. FREIHAUT, A. FREIHAUT, Les bio-réacteurs à membranes (BRM) en Provence-Alpes-Côte d'Azur, *Les Dossiers Tech. l'ARPE N°5*. (2017) 1–28.
- [6] A. GRASMICK, C. CABASSUD, M. SPERANDIO, C. WISNIEWSKI, Bioréacteurs à membranes et traitement des eaux usées, *Chim. Verte.* 33 (2007) 0–17. <https://doi.org/10.51257/a-v1-w4140>.
- [7] J.-M. CHOUBERT, CRETOLLIER Clément, A. LEJEUNE, L. DHERRET, K. Le MENACH, H. BUDZINSKI, A. ROUSSEL-GALLE, P. BADOS, C. MIEGE, M. COQUERY, Elimination de micropolluants prioritaires et émergents des eaux résiduaires urbaines par les bioréacteurs à membranes immergées (BRM), (2015) *action 34*. 93 p.