



UNIVERSITÉ  
**LAVAL**



**ENGEES**

ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE DE L'EAU  
ET DE L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG

## Rapport de stage Pratique de l'Ingénierie

4 Mai 2015 au 31 Juillet 2015

CHABAS Coralie

FORMATION D'INGENIEUR

2013/2016

Promotion Stuttgart

### Suivi et modélisation du traitement d'eaux usées sur un pilote de boues activées afin d'éliminer l'azote

Suivi



Echantillonnages



Analyses

Université Laval - Equipe modelEAU - Québec - Canada

Maître de stage : M VANROLLEGHEM Peter

## Remerciements

---

Dans le cadre de ce stage à l'Université Laval, je tiens à remercier toute l'équipe modelEAU et plus particulièrement l'équipe pilEAUte.

Tout d'abord un grand merci à Peter Vanrolleghem, professeur-chercheur, pour son accueil au sein de son équipe, pour m'avoir donné la chance de travailler sur un pilote de traitement des eaux usées ainsi que pour le partage de ses nombreuses connaissances sur le sujet.

Merci à Sey-Hana Saing, technicien du pilote, pour avoir partagé ses conseils techniques et pour m'avoir formé à l'entretien du pilote.

Merci à Sylvie Leduc, professionnelle de recherche, pour son accueil et ses connaissances en laboratoire.

Merci à Michel Bisping, responsable du laboratoire, pour sa disponibilité et ses précieux conseils.

Merci à Thomas Maere, post-doctorant, pour son aide avec le logiciel WEST.

Je tiens également à remercier les autres stagiaires, Maxence Graebing avec qui j'ai collaboré sur le pilote, Pierre Malandin, Claudia Ines Contreras et Fabien Desprez.

## Table des matières

---

Introduction .....	7
I. Présentation de l'étude et du contexte du stage .....	8
1. L'eau : l'or du Québec .....	8
2. Description du pilote de la station de traitement des eaux usées par boues activées .....	8
II. Des analyses pour mieux comprendre le fonctionnement du pilote.....	10
1. Les mesures de vérification des débits du pilote et co-pilote.....	10
2. La comparaison entre le bassin tampon et le Clifford.....	11
3. Le profil par temps sec en entrée de la station de traitement pilote .....	11
4. L'indice de décantation des boues .....	14
III. La campagne d'échantillonnage de 24h .....	16
1. Présentation de la campagne d'échantillonnage et d'analyses.....	16
2. Les analyses au niveau de l'affluent (après le décanteur primaire) .....	17
3. Les analyses au niveau de l'effluent (après le décanteur secondaire).....	17
4. La mesure du pH le long de la station .....	18
5. La mesure de la demande en oxygène le long de la station .....	19
6. Le suivi de l'ammonium et des nitrates le long de la station .....	19
7. Le suivi de la concentration en MES dans le bassin biologique et le retour des boues	20
8. Les problèmes rencontrés lors de la campagne de mesures .....	22
IV. La modélisation .....	22
1. Le test traceur .....	23
2. La modélisation sur le logiciel WEST .....	23
3. Le passage de la concentration en sel à la conductivité .....	24
4. Analyses des résultats obtenus .....	25
V. Analyse critique et personnelle .....	27
1. L'accès aux données.....	27
2. Un matériel à gérer.....	27
3. Le travail en équipe .....	27
Conclusion.....	28
Bibliographie.....	29
Annexe 1 : Les mesures de vérification des débits du pilote et co-pilote .....	31
Annexe 2 : Points de prélèvement des différents échantillons et protocole des mesures de MES-MVeS.....	33
Annexe 3 : Screenshot du 14 mai de la station SCADA montrant la diminution du niveau du bassin tampon aux alentours de 6h.....	34

Annexe 4 : Screenshot de la station SCADA montrant l'évolution de la conductivité en amont de la campagne de 24h .....	35
Annexe 5 : Graphiques du pilote de la campagne de 24h .....	36
Annexe 6 : Suivi de la concentration en MES-MVeS au niveau du pilote .....	38
Annexe 7 : Schéma du test traceur et matrice d'affluent dans le logiciel WEST .....	40

## Table des équations

---

Équation 1: Nitrification.....	9
Équation 2: Dénitrification.....	9
Équation 3: Composition de la DCO.....	14
Équation 4: Décomposition de l'azote.....	17
Équation 5: Bilan de masse du co-pilote.....	21

## Table des tableaux

---

Tableau 1: Résultats des mesures du débit du pilote et co-pilote.....	11
Tableau 2: Comparaison de la concentration en MES du bassin tampon et du Clifford .....	11
Tableau 3: Résultats de l'expérience sur les filtres.....	14
Tableau 4 : Résultats de l'analyse de la SVI (2 juin 2015).....	15
Tableau 5: Comparaison de l'utilisation des tubes N total et DCO.....	22
Tableau 6: Protocole du test traceur.....	23
Tableau 7: Vérification de la quantité de sel récupéré sur la modélisation WEST pendant le test traceur .....	24
Tableau 8: Résultats de la modélisation sur WEST .....	25
Tableau 9: Comparaison de la pointe de la conductivité lors du test traceur.....	26
Tableau 10: Nombre de réacteurs en série parfaitement agités.....	26

## Table des figures

---

Figure 1: Schématisation simplifiée du pilote.....	9
Figure 2: Décalage dans la mesure des nitrates entre le pilote et le co-pilote.....	10
Figure 3: Vidange du décanteur secondaire .....	10
Figure 4: Concentration en MES le long de la station de traitement .....	11
Figure 5: Profil en temps sec de l'affluent.....	12
Figure 6: Comparaison journée type temps sec de l'eau brute et de l'affluent (14 mai 2015) .	13
Figure 7: Mesures de la DCO totale et de la DCO soluble au niveau de l'affluent (14 mai 2015).....	13
Figure 8: Les types de DCO en fonction du diamètre des pores des filtres .....	14
Figure 9: Mesure de la SVI .....	15
Figure 10: Courbes de décantation du pilote et du co-pilote.....	15
Figure 11: Points d'échantillonnage de la campagne de 24h.....	16
Figure 12: Représentation des différentes mesures au niveau de l'affluent .....	17
Figure 13: Représentation des différentes mesures au niveau de l'effluent du co-pilote .....	18
Figure 14: Mesures du pH le long du co-pilote.....	18

Figure 15: Mesures de l'oxygène le long du co-pilote .....	19
Figure 16: Mesure de l'ammonium le long du co-pilote .....	19
Figure 17: Mesures des nitrates le long du co-pilote .....	20
Figure 18: Mesures des concentrations en MES-MVeS au niveau du R320 .....	20
Figure 19: Débits au niveau du co-pilote .....	21
Figure 20: Comparaison des données en laboratoire avec les sondes Solitax du co-pilote .....	21
Figure 21: Variation de l'oxygène .....	22
Figure 22: Modélisation du pilote .....	23
Figure 23: La conductivité en fonction de la concentration en sel.....	24
Figure 24: Résultat du test traceur réel (test#2, co-pilote) .....	25
Figure 25: Modélisations sur WEST .....	25

## Sigles

---

MES : Matière en Suspension

MVeS : Matières Volatiles en Suspension

DCO : Demande Chimique en Oxygène

SVI : Sludge Volume Index (indice de Mohlman)

[x] : référence bibliographique

## Introduction

La ville de Québec regroupe deux stations d'épuration, la station est et la station ouest qui traitent 400 millions de litres d'eau usée par jour. Ce traitement est indispensable afin de respecter les normes de rejet dans le Saint-Laurent.

Dans le cadre du Stage de Pratique de l'Ingénierie de deuxième année d'école d'ingénieur dans les domaines de l'eau et de l'environnement, j'ai intégré l'équipe model *EAU* au sein de l'Université Laval, et plus particulièrement l'équipe pil *EAUte*. L'équipe model *EAU* est un groupe de recherche autour de la Chaire de recherche du Canada en Modélisation de la Qualité de l'Eau décernée à Peter Vanrolleghem en 2006.

Début janvier 2015, un pilote de traitement des eaux usées a été installé dans le pavillon de génie civil et de génie des eaux. Il est constitué d'un « pilote » donnant les valeurs de référence et d'un « co-pilote » permettant dans le futur de faire différents types d'expériences. Son fonctionnement permettra d'optimiser le système de traitement grâce à un contrôle en temps réel des différents paramètres.

Pendant ces trois mois de stage, je me suis intéressée au fonctionnement du pilote grâce à de nombreuses campagnes d'échantillonnage afin d'établir un profil type par temps sec à l'entrée du pilote, de suivre le traitement de l'azote et également d'établir une première ébauche de modélisation.

## **I. Présentation de l'étude et du contexte du stage**

### **1. L'eau : l'or du Québec**

L'eau est l'or bleu du Québec. En effet la province possède 3% des réserves mondiales d'eau douce renouvelable <sup>[1]</sup>. La consommation moyenne d'eau par jour d'un québécois est de 424 litres soit quasiment trois fois la consommation d'un français. Toute cette eau doit être traitée avant d'être rejetée dans le milieu naturel. La visite de la station d'épuration de Québec a permis de mieux comprendre le système de traitement de la ville. Tout le débit arrivant à l'usine ne suit pas le processus de traitement en entier en temps de forte pluie (30% du débit ne subit que le traitement primaire). En revanche, en temps sec, 100% du débit subit le traitement primaire et le traitement biologique avant d'être rejeté dans le Saint Laurent. Le rejet se fait à l'aide de canalisations dont l'embouchure est située en plein centre du fleuve. Grâce à un important facteur de dilution, l'impact environnemental est négligeable. De plus, les coliformes fécaux ne sont traités par UV que quatre mois dans l'année (juin, juillet, août, septembre) période des activités nautiques de la population.

Les objectifs du pilote de traitement par boues activées est de pouvoir modéliser le traitement, utiliser les capteurs pour un suivi détaillé et ainsi pouvoir contrôler au mieux le traitement selon les différents aléas tels qu'une casse, une toxicité importante, une surcharge ou encore de fortes pluies.

Dans le futur, ce pilote permettra l'essai de nouveaux capteurs pour optimiser au mieux le système et ainsi améliorer la qualité de l'effluent, la quantité d'eau traitée, l'énergie utilisée et la quantité de produits chimiques injectés.

Ce pilote pourra s'étendre à la réalité avec un contrôle en temps réel grâce aux différents capteurs, une gestion de l'aération ainsi que l'injection de différents types de produits chimiques.

Pour le moment, l'objectif principal du pilote est celui du traitement de l'azote. Dans environ deux ans, il évoluera pour passer au traitement du phosphore (aujourd'hui les stations d'épuration municipales atteignent une réduction moyenne de 80% du phosphore <sup>[2]</sup>). Il est envisagé d'installer de nouvelles pompes, de remplacer les décanteurs secondaires par des membranes et d'insérer des biofilms au niveau des bassins biologiques.

Une baisse de la température est également en cours, pour une ressemblance optimale avec la réalité québécoise.

### **2. Description du pilote de la station de traitement des eaux usées par boues activées**

Le pilote est constitué de différentes parties. Il est alimenté par une résidence étudiante d'environ 100 personnes située à proximité. L'eau usée est ainsi pompée au niveau du bassin tampon, d'un volume de 6 m<sup>3</sup>, pour être refoulée à l'aide de deux pompes vers le décanteur primaire. Le débit se divise alors en 2, 0,5 m<sup>3</sup>/h sont envoyés vers le pilote et 0,5 m<sup>3</sup>/h sont envoyés vers le co-pilote. Physiquement, le pilote et le co-pilote sont similaires. Ils sont composés de deux bassins anoxiques, respectivement R210-R220 et R310-R320, munis d'agitateurs mécaniques ainsi que de trois bassins aérobies, respectivement R230-R240-R250 et R330-R340-R350, sans agitateurs mécaniques car la présence de l'aération est suffisante pour un bon brassage. Chacun est suivi d'un décanteur secondaire. Ils possèdent tous les deux une recirculation des boues ainsi qu'une recirculation interne avec un échangeur de chaleur.

En ce moment, le pilote et le co-pilote diffèrent par leur température et par la recirculation interne. Le pilote est à la température de 22,4°C sans recirculation interne et le co-pilote est à la température de 16°C et sa recirculation interne fonctionne.

La figure 1 montre une schématisation de la station de traitement mettant en avant la nitrification et la dénitrification.



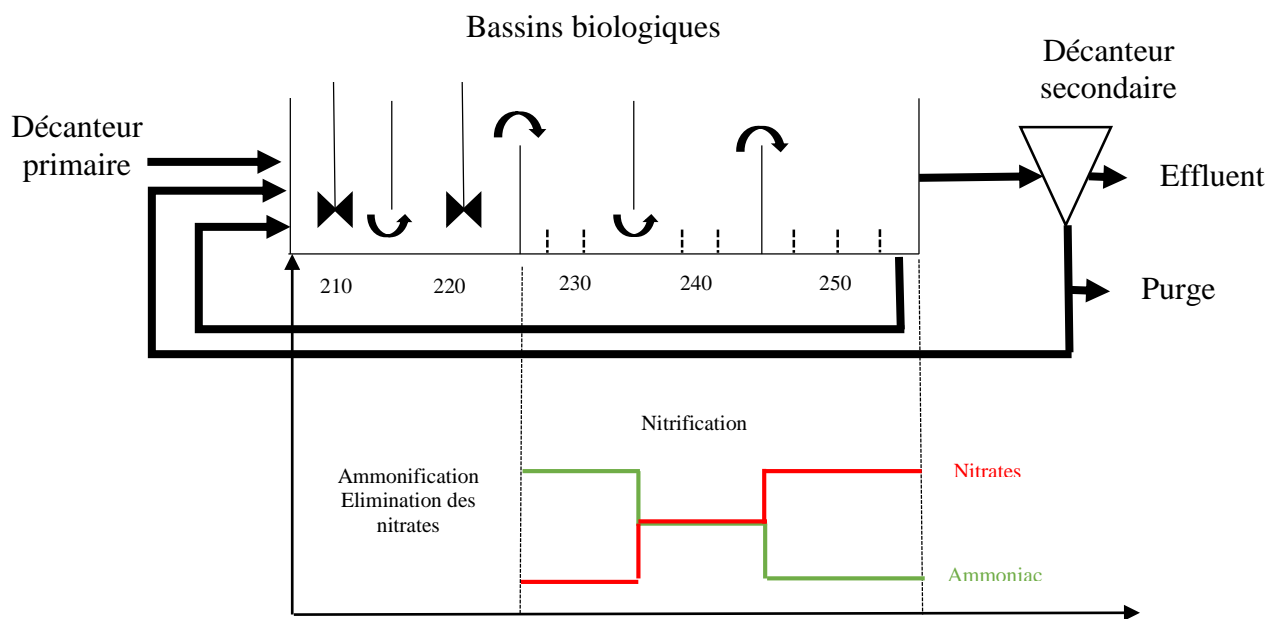
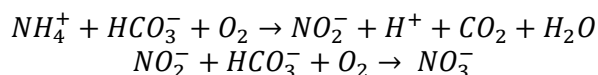


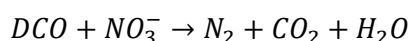
Figure 1: Schématisation simplifiée du pilote

La nitrification se déroule au niveau des trois bassins aérobies selon les étapes suivantes : l'ammoniac est transformé en nitrites grâce aux bactéries Nitrosomonas, puis les nitrites en nitrates grâce aux bactéries Nitrobacter :



Équation 1: Nitrification

La dénitrification se déroule au niveau des deux bassins anoxiques, les nitrates sont transformés en diazote grâce aux bactéries hétérotrophes et à la DCO :



Équation 2: Dénitrification

La station de traitement est suivie en permanence à l'aide de différents capteurs. Les capteurs de la station monEAU permettent de contrôler la turbidité, la DCO totale, la DCO soluble, les nitrates, l'ammonium, la température et le pH. Mais dans le cadre de ce rapport, nous ne nous intéresserons pas à ces capteurs mais plutôt à ceux du SCADA de la station avec une sonde de conductivité placée en sortie du décanteur primaire, deux sondes à oxygène dissous placées respectivement dans le R240 et le R340, deux sondes Solitax (sondes à turbidité) placées respectivement dans le R220 et le R320 ainsi qu'aux deux autres sondes Solitax placées au niveau de la recirculation des boues.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement du pilote et du co-pilote, différentes analyses ont été réalisées.

## II. Des analyses pour mieux comprendre le fonctionnement du pilote

### 1. Les mesures de vérification des débits du pilote et co-pilote

La sonde spectrolyser de la station monEAU a révélé un décalage entre le pilote et le co-pilote. A la figure 2 on voit que le pilote (R200), en clair, a un temps de retard sur le co-pilote (R300), en foncé.

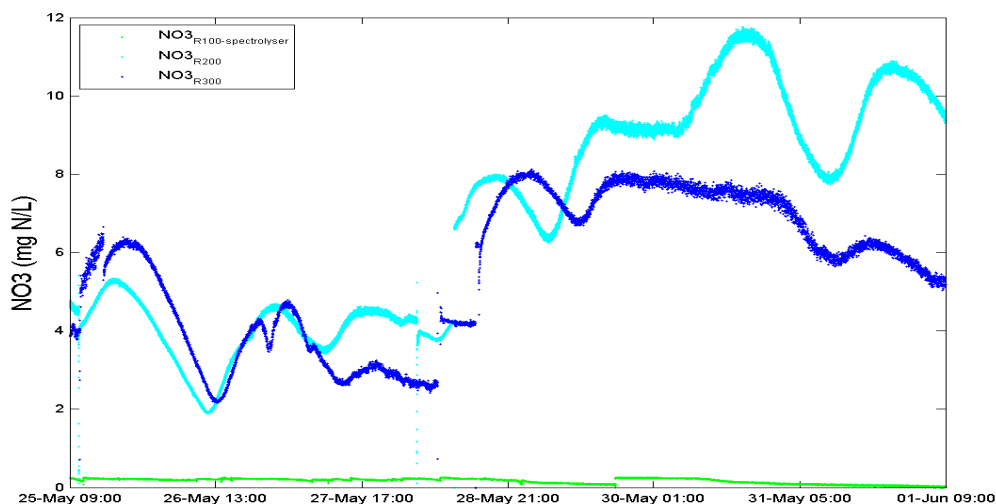


Figure 2: Décalage dans la mesure des nitrates entre le pilote et le co-pilote

L'hypothèse qui a été soulevée est une différence de débit entre le pilote et le co-pilote. Un premier protocole a été établi en voulant mesurer le volume d'eau au niveau de chaque goulotte en sortie de décanteur secondaire pour un temps donné. Mais il s'est avéré que l'expérience n'a pas été possible à cause du ruissellement de l'eau sur les parois. Ainsi une grosse quantité d'eau aurait été perdue et la mesure aurait été faussée.

Le deuxième protocole consistait à vider le décanteur secondaire pour mesurer son temps de remplissage.

Le test a été réalisé deux fois pour chaque décanteur, une fois au débit de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$  et une autre fois au débit de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ .

L'aération au niveau des derniers bassins aérobies (R250 et R350) a été arrêtée afin de ne pas influencer le débit en entrée de décanteur. En effet, d'après les relevés des sondes à oxygène, l'oxygène n'est pas stable dans les bassins et a des fluctuations sur des périodes d'environ 15 minutes, et le débit d'air varie avec, engendrant des variations du volume d'eau. De plus, avec l'arrêt de l'aération les boues vont décanter et ainsi être maintenues dans le système. C'est l'Aeration tank Settling. De plus, la recirculation des boues a été coupée afin de ne pas évacuer totalement la biomasse présente.



Pour la mesure une perche a été installée avec une hauteur délimitée pour établir un volume d'eau à remplir. Pour le calcul de ce volume, le volume de l'arbre de l'agitateur et de la perche ont été retirés. Le volume d'eau mesuré fut de 358 litres.

Figure 3: Vidange du décanteur secondaire

<sup>1</sup> Annexe 1 : Les mesures de vérification des débits du pilote et du co-pilote

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 1 :

Tableau 1: Résultats des mesures du débit du pilote et co-pilote

		Débit d'entrée supposé (m <sup>3</sup> /h)	Temps (h)	Débit (m <sup>3</sup> /h)
Test 1	Pilote	1	0,37	0,96
	Co-pilote	0,5	0,79	0,45
Test 2	Pilote	0,5	0,38	0,95
	Co-pilote	1	0,76	0,47

Malgré la différence de 5% par rapport au débit d'entrée supposé, il n'y a pas de différence de débit entre le pilote et le co-pilote. Le décalage ne provient donc pas de cette hypothèse. Un test traceur par fluorescence va être réalisé pour confirmer ces résultats de débit. La recherche se poursuit afin de déterminer l'origine de ce décalage.

## 2. La comparaison entre le bassin tampon et le Clifford

Pour des raisons pratiques lors des échantillonnages, la question suivante a été soulevée : la concentration en MES est-elle la même au niveau du Clifford (entrée du décanteur primaire) qu'au niveau du bassin tampon ?

Pour cela, un prélèvement simultané a été réalisé au niveau du bassin tampon et du Clifford afin d'y analyser les MES.

Tableau 2: Comparaison de la concentration en MES du bassin tampon et du Clifford

	Concentration en MES (mg/l)	Ecart type	Coefficient de variation (%)
Bassin tampon	183,25987	11,93	6,5
Clifford	60,4328	8,57	14,2

Les MES du Clifford sont trois fois moins élevées que celles du bassin tampon. La décantation a donc déjà eu lieu, il n'est ainsi pas possible de prélever dans le Clifford pour caractériser l'eau brute.

## 3. Le profil par temps sec en entrée de la station de traitement pilote

L'une des campagnes de mesures consistait à prélever des échantillons à différents points du pilote et du co-pilote afin de mesurer la concentration en MES<sup>2</sup>.

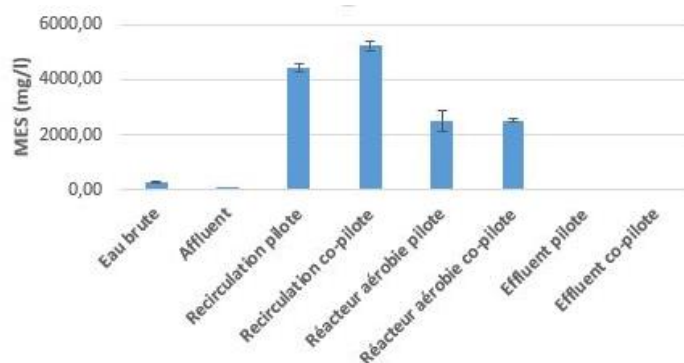


Figure 4: Concentration en MES le long de la station de traitement

<sup>2</sup> Annexe 2 : Points de prélèvement des différents échantillons et protocole de mesures des MES-MVeS

Les concentrations en MES du pilote et du co-pilote sont relativement similaires (Figure 4). Il y a une bonne élimination des particules après le décanteur secondaire.

Un des projets sur le pilote a été d'établir un profil type 24h en entrée au niveau de l'eau brute et de l'affluent par temps sec. Pour cela, plusieurs campagnes ont été réalisées pour la mesure de MES, MVeS, DCO totale et DCO soluble. Lors de ces expériences, les mesure des MES, MVeS et de la DCO totale sont réalisées en triplicata alors que la mesure de la DCO soluble est réalisée en duplicata.

L'échantillonnage a été réalisé à l'aide de deux échantillonneurs automatiques. Le but était d'obtenir dans chaque cas un échantillon composite de deux heures. Pour cela, l'échantillonneur a été programmé de telle sorte qu'un prélèvement de 100 ml avait lieu toutes les 15 minutes. Ainsi au bout de deux heures, un échantillon composite d'environ 800 ml (une marge de sécurité est nécessaire pour éviter tout débordement) était obtenu. L'échantillonneur a une option réfrigérée qui permet de maintenir les échantillons au frais pour éviter toute réaction. Ainsi les profils de l'eau brute et de l'affluent ont été réalisés.

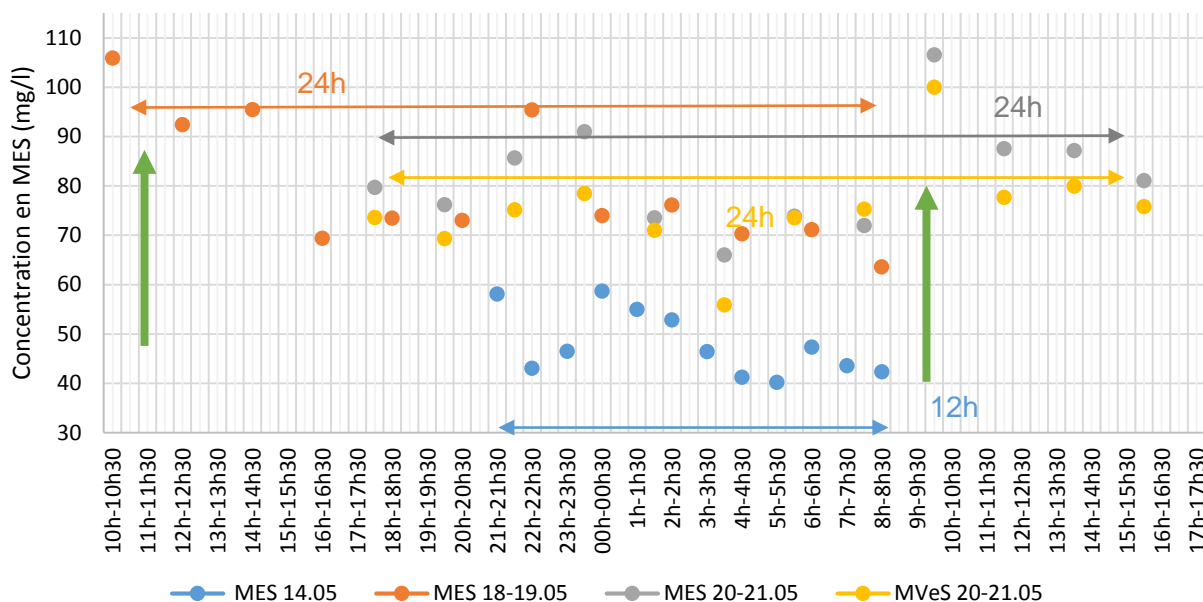


Figure 5: Profil en temps sec de l'affluent

Le profil par temps sec de l'affluent (figure 5) montre une pointe aux alentours de 10h-10h30. Elle correspond à la pointe du matin quand la population va à la salle de bain. Sinon il n'y a pas de grandes variations de la concentration en MES au cours de la journée. Il est possible que les capteurs de la station monEAU donnent plus de détails. De plus, le rapport MVeS sur MES est de l'ordre de 90 %. L'eau est considérée comme plus organique que typiquement.

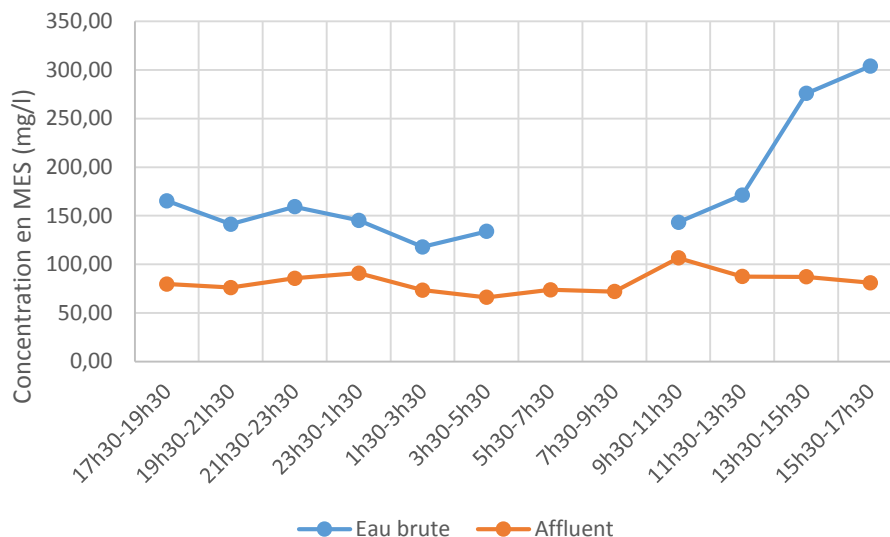


Figure 6: Comparaison journée type temps sec de l'eau brute et de l'affluent (14 mai 2015)

Des échantillons ont aussi été prélevés pour l'eau brute (Figure 6) afin de voir l'effet du décanteur primaire. A l'échantillon composite de 15h30-17h30, le décanteur primaire a permis d'éliminer environ 74% des MES. Dans les autres échantillons composites, le décanteur primaire a permis d'éliminer environ 40% des MES. Dans le cas de l'eau brute, il y a une absence d'analyses de 5h30 à 9h30, ceci est dû au fait qu'à ces horaires le bassin tampon n'est pas suffisamment rempli<sup>3</sup> et que l'échantillonneur n'était pas capable de pomper l'échantillon.

A partir de ces échantillons, des mesures de la DCO totale et la DCO soluble ont aussi été réalisées. La DCO a un rôle très important dans le processus de dénitrification. En effet, pour dénitrifier il faut une absence d'O<sub>2</sub> et la présence de DCO.

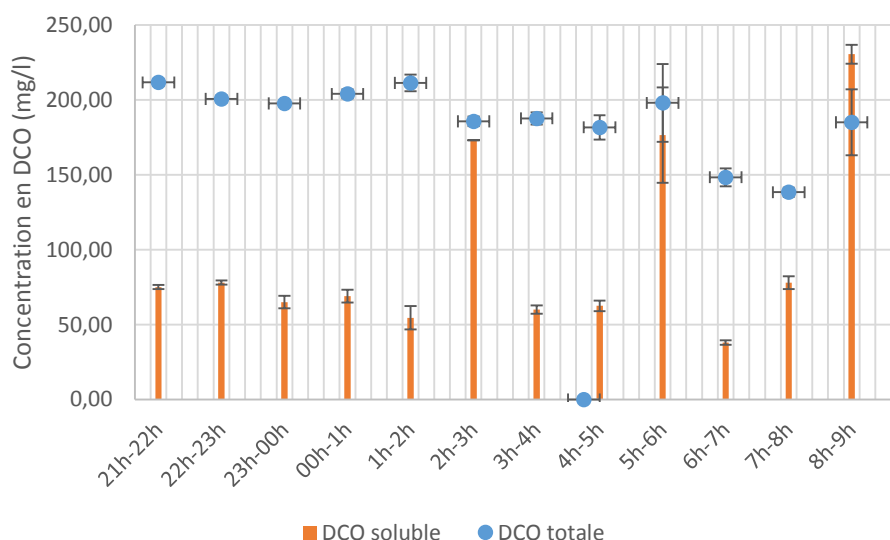


Figure 7: Mesures de la DCO totale et de la DCO soluble au niveau de l'affluent (14 mai 2015)

<sup>3</sup> Annexe 3 : Screenshot du 14 mai de la station SCADA

Lors de ces expériences sur la DCO, le résultat désiré concernant le rapport DCO particulaire sur MES n'est pas obtenu. En effet il serait souhaitable d'obtenir un rapport de 1,4, mais la valeur obtenue est de 2,7. Ceci est dû à la différence de filtre utilisé pour l'analyse des MES (7 µm) et pour la filtration de la DCO soluble (0,45 µm). Donc, dans la DCO particulaire se trouve plus de matière retenue sur le filtre avec des pores plus fins que dans l'analyse des MES.

$$DCO\ particulaire = DCO\ totale - DCO\ soluble$$

Équation 3: Composition de la DCO

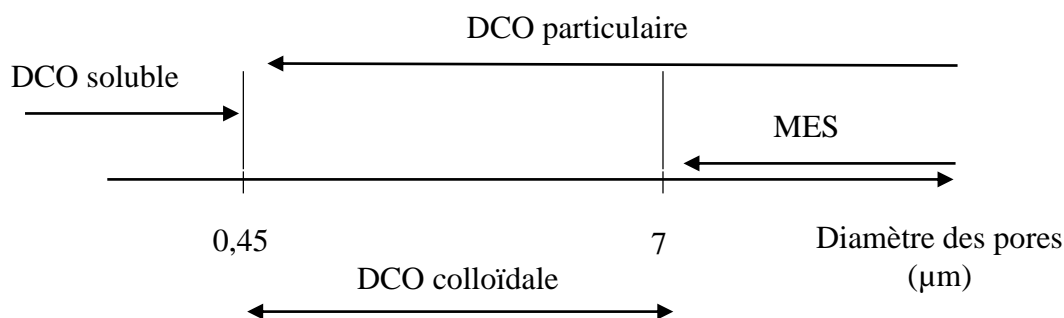


Figure 8: Les types de DCO en fonction du diamètre des pores des filtres

Tableau 3: Résultats de l'expérience sur les filtres

	Concentration en MES (mg/l)	DCO totale (mg/l)	DCO soluble (mg/l)	DCO particulaire (mg/l)	DCO particulaire sur MES
Eau brute	207,1970	337,3	112,0	225,3	1,1
Affluent	60,0000	190,7	100,0	90,7	1,5

Pour vérifier cette hypothèse, une expérience a été réalisée le 10 juin 2015 en utilisant les mêmes filtres pour la DCO et les MES afin de ne pas tenir compte de la DCO colloïdale. Les résultats au tableau 3 montrent que l'utilisation du même filtre lors de la filtration des MES et de la mesure de la DCO induit donc un rapport convenable.

#### 4. L'indice de décantation des boues

Une autre expérience consistait à mesurer la SVI (Sludge Volume Index), c'est-à-dire l'indice de Molhman ou encore l'indice de décantation des boues. Il définit le volume de boues décantées en 30 minutes par rapport à la masse de résidu sec de cette boue. L'expérience n'ayant jamais été réalisée à la station, le prélèvement s'est effectué au niveau de la recirculation des boues du pilote et du co-pilote. L'échantillon a alors été concentré quatre fois.

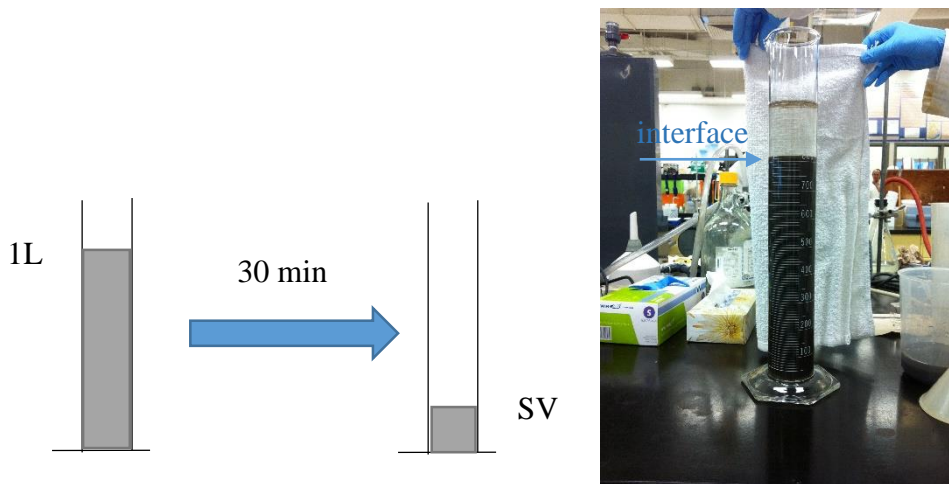


Figure 9: Mesure de la SVI

Après 30 min de décantation dans une éprouvette de 1 litre, le volume SV est obtenu. Après une mesure de la concentration en MES de l'échantillon original, la valeur de SVI est obtenue grâce à la formule suivante :  $SVI = \frac{SV}{MES}$  [3]. Plusieurs dilutions ont été réalisées à partir de l'échantillon concentré pour évaluer l'effet de la dilution sur le résultat de l'SVI.

Tableau 4 : Résultats de l'analyse de la SVI (2 juin 2015)

Dilution	Pilote			Co-pilote		
	MES (mg/l)	SV (ml/l)	SVI (mg/l)	MES (mg/l)	SV (ml/l)	SVI (mg/l)
Sans dilution	5438	805	148	4335	680	157
Dilution 2 fois	2353	200	85	2213	200	90
Dilution 4 fois	1138	105	92	1084	90	83
Dilution 8 fois	566	96	170	520	40	77

Les résultats au niveau des dilutions 4 et 8 fois sont faux car ils ne sont pas cohérents. Le résultat attendu est une valeur de SVI de 100 mg/l, ce qui correspond à la dilution deux fois. Or l'échantillon a été prélevé au niveau de la recirculation des boues, il a été concentré quatre fois et dilué deux fois donc pour mesurer les SVI il est possible de prélever au niveau des bassins biologiques.

De plus, l'expérience a permis d'obtenir les courbes de décantation du pilote et du co-pilote (figure 10).

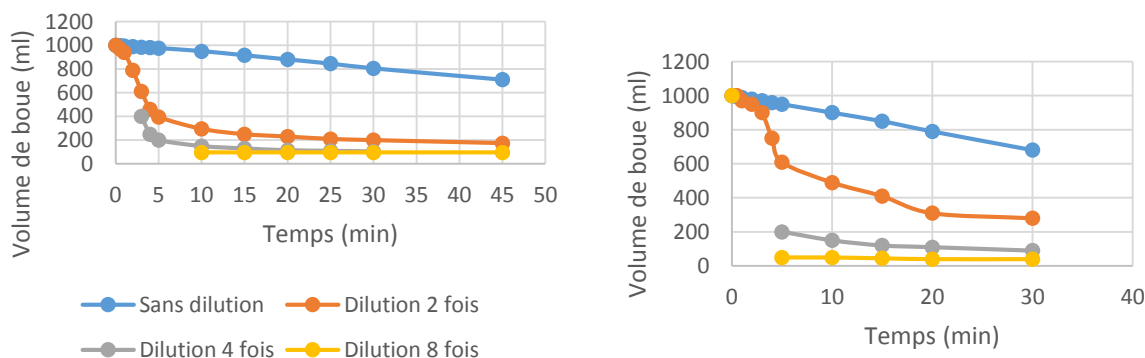


Figure 10: Courbes de décantation du pilote et du co-pilote

L'absence de données entre 0 et 5 minutes pour les dilutions 4 et 8 fois est dûe au fait que l'interface entre le lit de boue et le surnageant n'était pas claire au moment de la lecture. L'allure des courbes du pilote et du co-pilote sont semblables.

### III. La campagne d'échantillonnage de 24h

#### 1. Présentation de la campagne d'échantillonnage et d'analyses

Une des expériences les plus importantes fut la campagne de 24h. Cette fois-ci, l'utilisation d'échantillonneurs automatiques n'était pas possible à cause du trop grand nombre de prélèvements à réaliser et du nombre d'expériences. L'équipe s'est alors divisée en trois groupes qui se sont relayés pendant 24h. Les échantillonnages ont été réalisés au niveau de l'affluent, de tous les bassins biologiques, de l'effluent et de la recirculation des boues (figure 11).

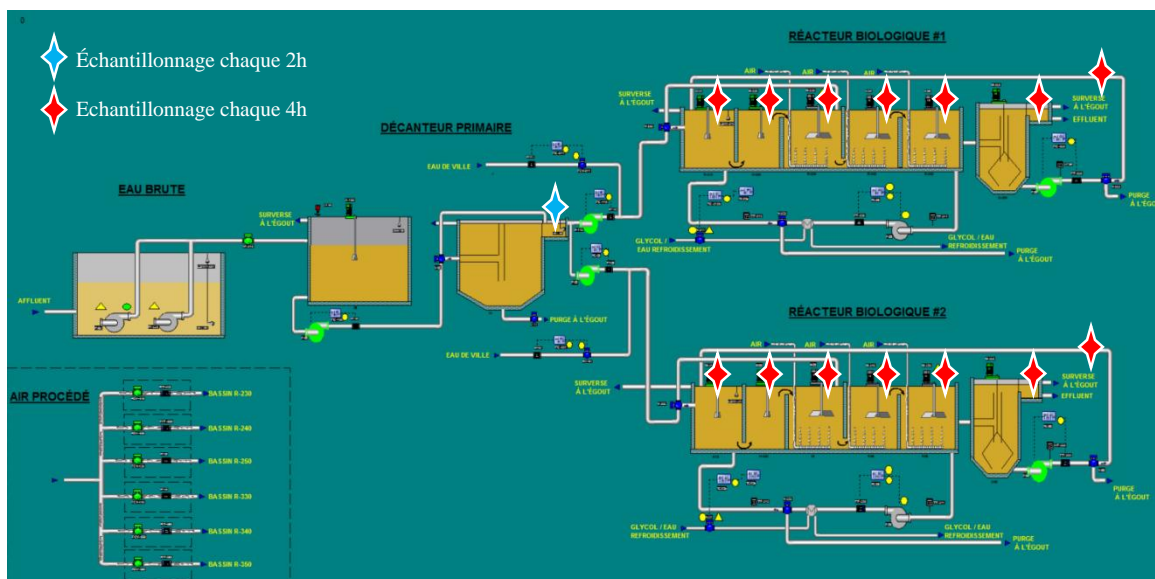


Figure 11: Points d'échantillonnage de la campagne de 24h

Les mesures se sont portées sur les MES, les MVeS, la DCO totale, la DCO soluble, l'azote total, l'azote soluble, l'ammonium, les nitrates, le pH et l'oxygène dissous. L'objectif était d'étudier l'élimination de l'azote tout au long du processus ainsi que l'évolution du pH et de l'oxygène. Ces expériences ont été complétées et comparées aux relevés des différents capteurs de la station monEAU et des cinq capteurs appartenant au pilote (SCADA). Ici ne seront traitées que les comparaisons avec les sondes solitax.

Le protocole des MES et des MVeS est le même que précédemment. Pour les analyses de l'azote des tubes Hach ont été utilisés. Les réactifs sont déjà présents dans les tubes et il suffit de verser le volume d'échantillon nécessaire dans chaque tube. La présence de code barre sur le tube Hach permet une lecture rapide au niveau du spectrophotomètre.

Une grosse pluie la veille de la campagne a nécessité d'attendre que la conductivité se stabilise afin de pouvoir commencer les premiers prélèvements<sup>4</sup>.

Il est important de préciser que lors de cette campagne le pilote était à la température de 22,4°C sans recirculation interne et le co-pilote à la température de 16°C avec une recirculation interne de 1,5 m<sup>3</sup>/h. Le débit de l'affluent était de 0,5 m<sup>3</sup>/h et la recirculation des boues était au débit de 1 m<sup>3</sup>/h pour le pilote et de 0,5 m<sup>3</sup>/h pour le co-pilote. Le débit d'air a été fixé à 200 l/min pour les deux premiers réacteurs aérés et à 100 l/m pour le dernier réacteur aéré.

<sup>4</sup> Annexe 4 : Screenshot de la station SCADA



Les barres d'erreurs ne sont pas représentées sur tous les graphiques afin de ne pas rendre la lecture illisible.

## 2. Les analyses au niveau de l'affluent (après le décanteur primaire)

Dans la figure 12, l'azote soluble est supérieur à l'azote total, ce qui n'est pas possible :

$$\text{Azote total} = \text{ammoniac} + \text{azote organique soluble} + \text{azote organique particulaire}$$

Équation 4: Décomposition de l'azote

Il doit y avoir un problème sur les analyses réalisées.

Le rapport DCO totale sur N ammoniacal est d'environ 8,6 ce qui est assez bon. Il faut qu'il soit entre 5 et 10 pour qu'il y ait par la suite une bonne élimination de l'azote.

Malgré le fait que la conductivité ait retrouvé une valeur constante et habituelle de temps sec, il semblerait que la pluie ait eu un impact sur la DCO car la valeur de cette dernière est trop basse au début de la campagne.

La variation de pH est beaucoup trop importante, il peut y avoir un doute sur la valeur finale qui est très élevée (8,0). Le problème du pH est peut-être dû au fait que les mesures du pH ne se sont pas faites immédiatement après échantillonnage et donc des réactions ont eu le temps de se produire avant les mesures.

Les concentrations en MES et MVeS sont très proches et leur rapport est aux alentours de 90%, ce qui confirme les analyses précédentes donnant une eau très organique.

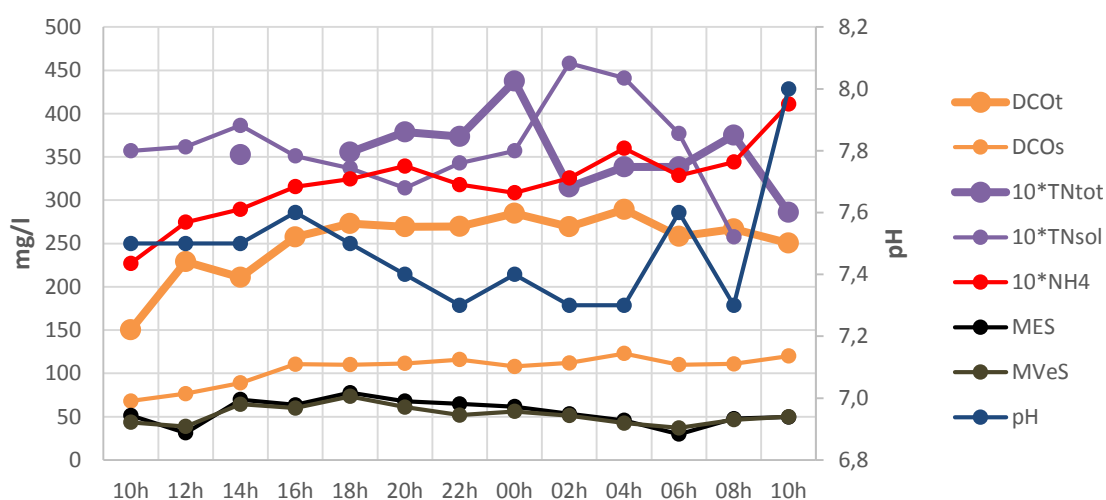


Figure 12: Représentation des différentes mesures au niveau de l'affluent

## 3. Les analyses au niveau de l'effluent (après le décanteur secondaire)

Les analyses du pilote et du co-pilote étant semblables pour chaque type d'expérience, seuls les résultats du co-pilote seront présentés. Les graphiques du pilote sont présentés en annexe 5.

L'analyse de l'effluent (figure 13) présente le problème du seuil de détection de la DCO en dessous de 5 mg/l. Lorsque que la DCO est inférieure à 5 mg/l, les résultats des expériences ne sont pas fiables. Ceci a été confirmé par une expérimentation consistant à réaliser plusieurs dilutions d'un même échantillon et de mesurer la DCO.

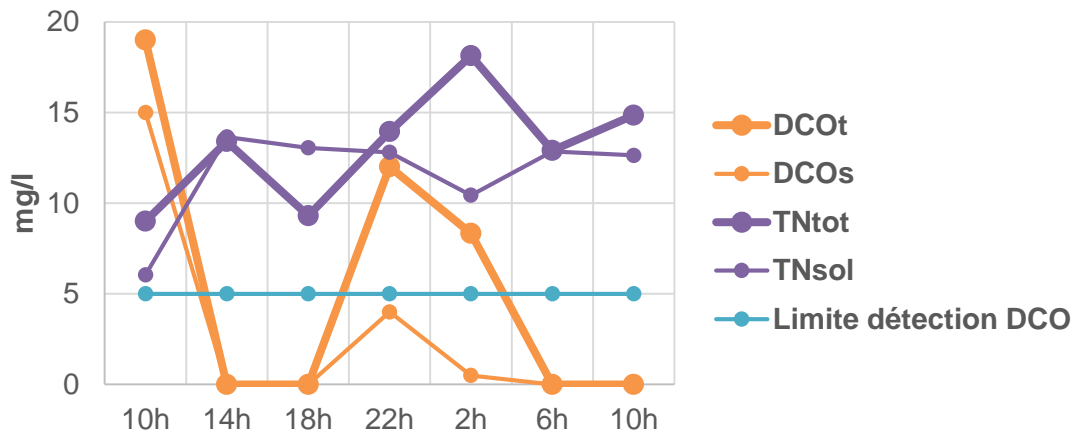


Figure 13: Représentation des différentes mesures au niveau de l'effluent du co-pilote

Le problème de l'azote est ici le même que pour celui de l'affluent, les données sont donc difficilement interprétables. De plus, il y a un pic de DCO particulière à 22h et 2h.

La comparaison avec les graphiques de MES ne donnent pas d'informations supplémentaires.

#### 4. La mesure du pH le long de la station

Le suivi du pH tout le long du co-pilote (Figure 14) montre une décroissance du pH des bassins anoxiques vers les bassins aérés. A partir du R230, il y a l'influence de la nitrification. Le pH est plus faible à l'entrée du co-pilote par rapport à celui du pilote (voir annexe 5), ce qui est dû à la recirculation interne, qui apporte de l'eau plus acide du dernier réacteur aéré.

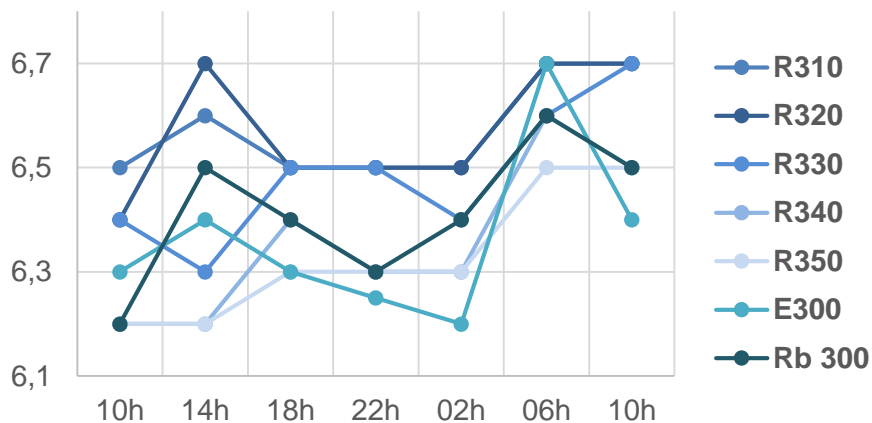


Figure 14: Mesures du pH le long du co-pilote

## 5. La mesure de la demande en oxygène le long de la station

Le graphique de la concentration en oxygène dissous (Figure 15) montre bien que les deux bassins anoxiques ne sont pas contaminés par l'oxygène. Le débit est constant dans les trois bassins aérés, or la concentration en oxygène du troisième bassin est plus bas, ce qui est dû au fait qu'il soit deux fois plus grand.

Il y a plus de charge à oxyder dans le premier bassin aéré, dans le deuxième bassin aéré il y a moins d'oxygène consommé et encore moins dans le troisième.

Dans le cas du co-pilote, la température a un effet sur l'aération. En effet, quand la température augmente, le  $K_{La}$  augmente mais la concentration en oxygène maximale qui définit la force motrice du transfert d'oxygène diminue.

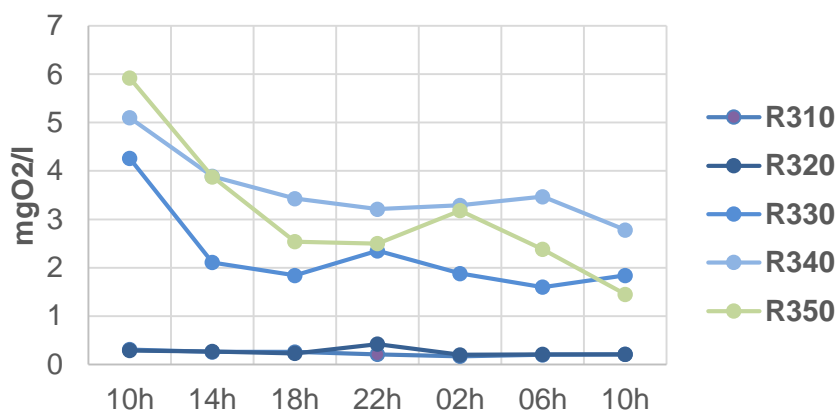


Figure 15: Mesures de l'oxygène le long du co-pilote

## 6. Le suivi de l'ammonium et des nitrates le long de la station

Les courbes de l'ammonium des deux bassins anoxiques sont corrélées (Figure 16). Il n'y a pas de consommation d'ammoniac dans ces zones. Il y a un impact lors du passage dans le premier bassin aéré, puis lors du passage dans le second et enfin le travail se termine dans le dernier bassin aéré.

La capacité de nitrification augmente quand le pH est plus élevé, il y a une corrélation avec le pH et l'oxygène

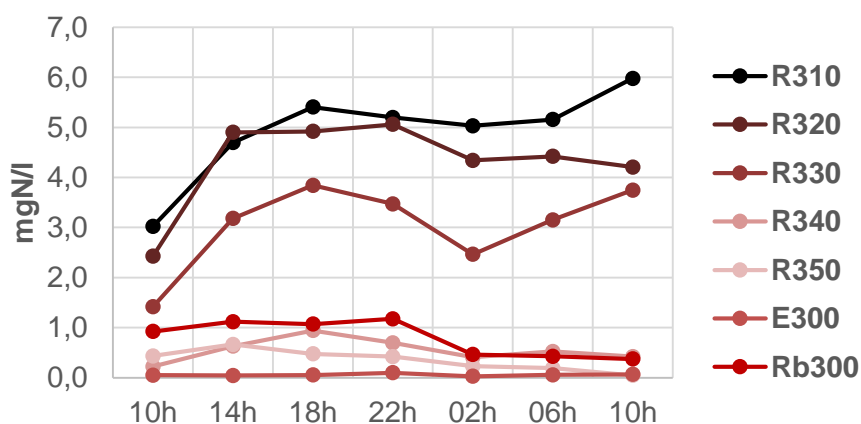


Figure 16: Mesure de l'ammonium le long du co-pilote

Les courbes de nitrates (Figure 17) des deux bassins anoxiques sont corrélées. Il y a une bonne dénitrification de la zone anoxique dans le cas du pilote mais ce n'est pas le cas du co-pilote où la concentration dans l'effluent est de 5 mg/l. Elle devrait atteindre 1 mg/l. Pour une bonne dénitrification, il faut qu'il y ait de la DCO et une absence totale d'oxygène. Or d'après les graphes précédents, l'oxygène vaut 0, mais ceci ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'oxygène consommé car les bactéries consomment peut-être tout l'oxygène exporté car elles ont une préférence pour l'oxygène sur les nitrates. La recirculation étant à 1,5 m<sup>3</sup>/h et la DCO à 3 mgO<sub>2</sub>/l, il y a au niveau du premier bassin anoxique un flux d'oxygène de 4,5 gO<sub>2</sub>/h.

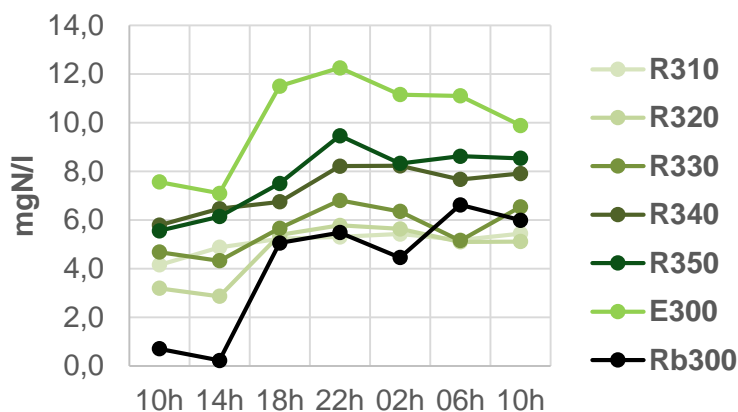


Figure 17: Mesures des nitrates le long du co-pilote

## 7. Le suivi de la concentration en MES dans le bassin biologique et le retour des boues

Le rapport MVeS sur MES est de 90% ce qui est toujours en corrélation avec les études précédentes. Le schéma suivant donne les débits de circulation au sein du pilote. La mesure des MES a été réalisée dans le bassin R320 car c'est à cet endroit que se situe la sonde Solitax et c'est ainsi que les valeurs peuvent être comparées. Il n'y a pas d'évolution de la concentration en MES au sein des différents bassins biologiques.

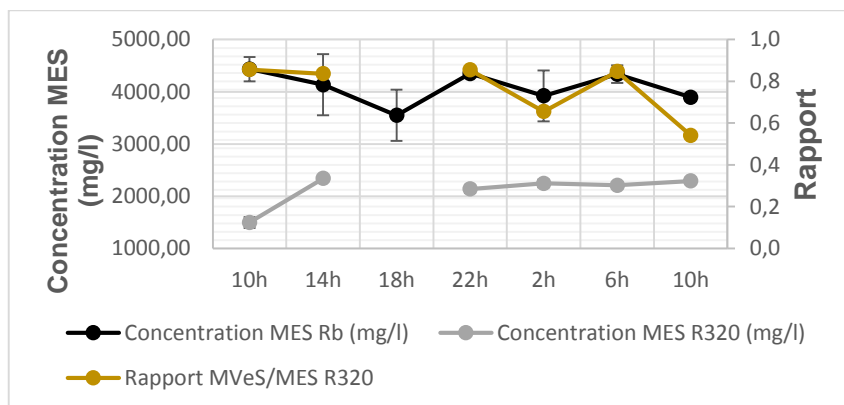


Figure 18: Mesures des concentrations en MES-MVeS au niveau du R320 et du retour des boues du co-pilote

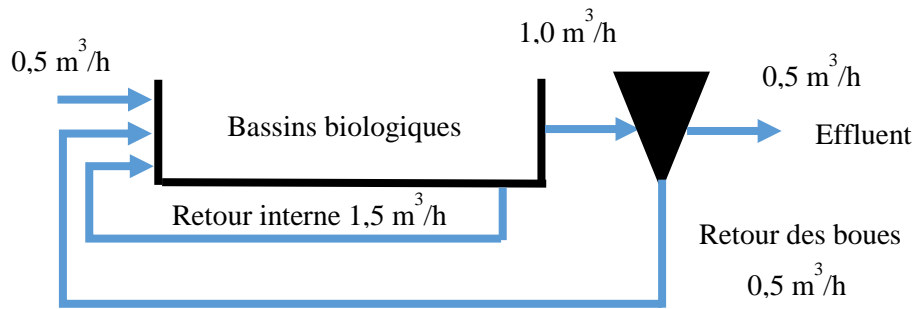


Figure 19: Débits au niveau du co-pilote

Il est attendu d'avoir le bilan de masse autour du décanteur secondaire suivant :

$$\frac{dM}{dt} = Q_{R320} \times MES_{R320} - Q_{Rb} \times MES_{Rb} - Q_{effluent} \times MES_{effluent} = 0$$

Équation 5: Bilan de masse du co-pilote

Comme les  $MES_{effluent}$  sont considérées comme nulles,  $MES_{Rb} = 2 \times MES_{R320}$ , ce qui est obtenu en moyenne.

Une sonde solitax (mesure de la concentration en MES) est située dans le bassin R320, une comparaison entre les deux est donc possible.

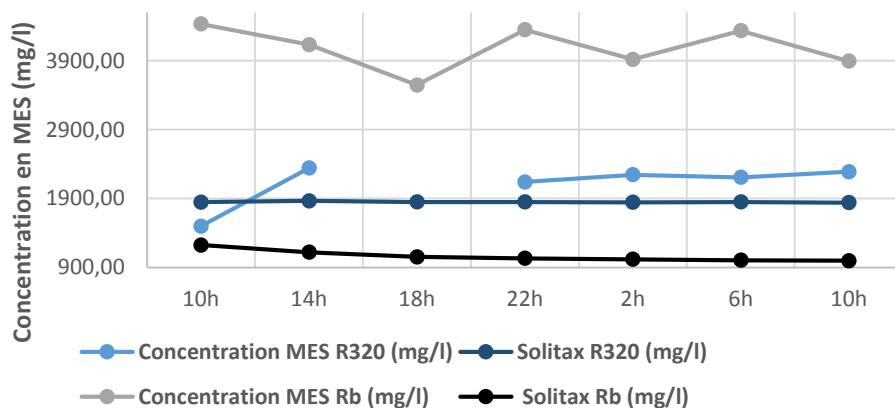


Figure 20: Comparaison des données en laboratoire avec les sondes Solitax du co-pilote

Les mesures en laboratoire et des sondes Solitax du retour des boues ne sont pas corrélées et l'installation de cette sonde doit être revue. Pour la sonde dans le bioréacteur R320, les résultats sont similaires avec les analyses MES.

Les mêmes expériences ont été réalisées au niveau du pilote, les résultats sont présentés en annexe 6.

## 8. Les problèmes rencontrés lors de la campagne de mesures

Différents problèmes sont survenus lors de la campagne de 24h. Le temps de stabilisation de la sonde à oxygène n'était pas connu. Par la suite une expérience a été menée afin de déterminer le temps de stabilisation de l'oxygène (courbe jaune à la figure 21) pour le passage du capteur du bassin aérobie au bassin anoxique et inversement. Ceci aurait pu faire gagner du temps dans les tâches à réaliser.

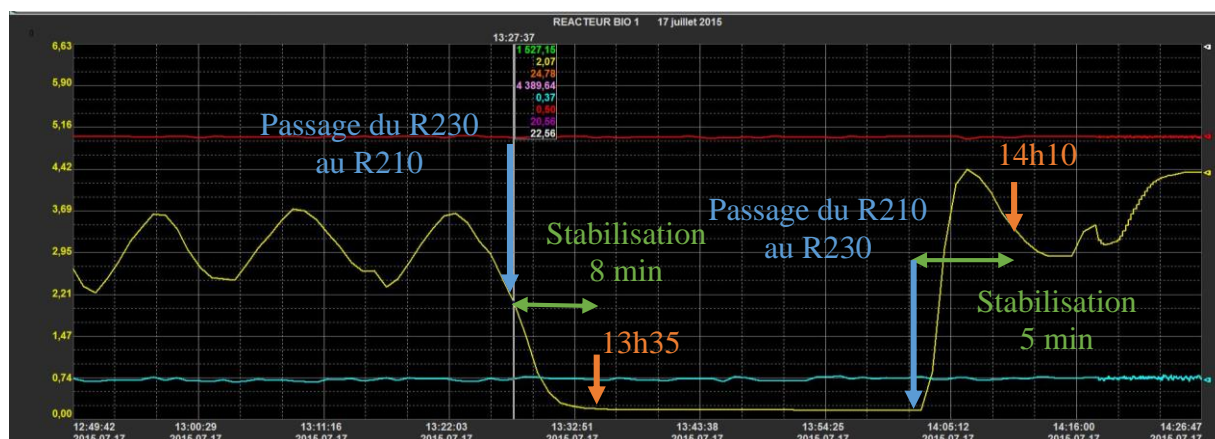


Figure 21: Variation de l'oxygène

Un second problème s'est posé durant la campagne. L'appareil de chauffage des tubes pour la mesure de l'azote total ne comportait que quatre emplacements. Comme cette étape de chauffage ne constitue que la digestion (le digestat étant par la suite introduit dans le tube Hach), il a été suggéré d'utiliser d'autres tubes. L'expérience de comparaison a été réalisée avec des tubes de DCO mais les résultats n'ont pas été concluants. Lors de l'expérience, la pipette de 1000  $\mu$ l ne passait pas dans le tube de DCO et il est donc difficile de prélever correctement les 0,5  $\mu$ l à insérer dans le tube Hach.

Tableau 5: Comparaison de l'utilisation des tubes N total et DCO

	N total (mg/l)	
	Tubes N total	Tubes DCO
Affluent	37,9	49,7
Effluent	18,1	23,9

## IV. La modélisation

Ces campagnes étant longues et onéreuses, une modélisation de la station sur logiciel est nécessaire pour faciliter la compréhension du fonctionnement du pilote. La modélisation est réalisée avec le logiciel WEST sur la base du modèle ASM1 qui inclut le traitement de l'azote (ASM2 traite en plus le traitement biologique du phosphore). Les modèles ASM permettent d'avoir un langage et une nomenclature communs et permettent aux chercheurs d'améliorer leurs plans de traitement. Le modèle ASM1 incorpore l'oxydation du carbone, la nitrification et la dénitrification. C'est pour cela que ce modèle a été choisi pour la modélisation de la station de traitement. Il prend également en compte la stœchiométrie et la cinétique des différentes réactions [4].

## 1. Le test traceur<sup>5</sup>

La modélisation s'est basée sur le test au sel réalisé au tout début de la mise en route du pilote. L'eau présente à ce moment-là était de l'eau potable et non de l'eau usée. Une certaine quantité de sel a été injectée au niveau de la sortie du décanteur primaire puis la lecture de la conductivité a été réalisée au niveau du dernier bassin aérobie, respectivement R250 et R350<sup>6</sup>.

Quatre expériences récapitulées dans le tableau 6 ont été réalisées :

Tableau 6: Protocole du test traceur

		Quantité de sel injectée (kg)	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Point d'injection (en sortie)	Point de lecture de la conductivité
Pilote	Test #1	1	1	R-210	R-250
	Test #2	1	0,5	D-100	R-250
Co-pilote	Test #1	3	1	D-100	R-350
	Test #2	3	0,5	D-100	R-350

Dans ce rapport, seul le test #2 du co-pilote est traité et développé.

## 2. La modélisation sur le logiciel WEST

Le modèle sur WEST est composé d'un affluent (municipalité), des cinq bioréacteurs et d'un décanteur secondaire (Figure 22). Le décanteur primaire n'apparaît pas car le sel a été versé après celui-ci.

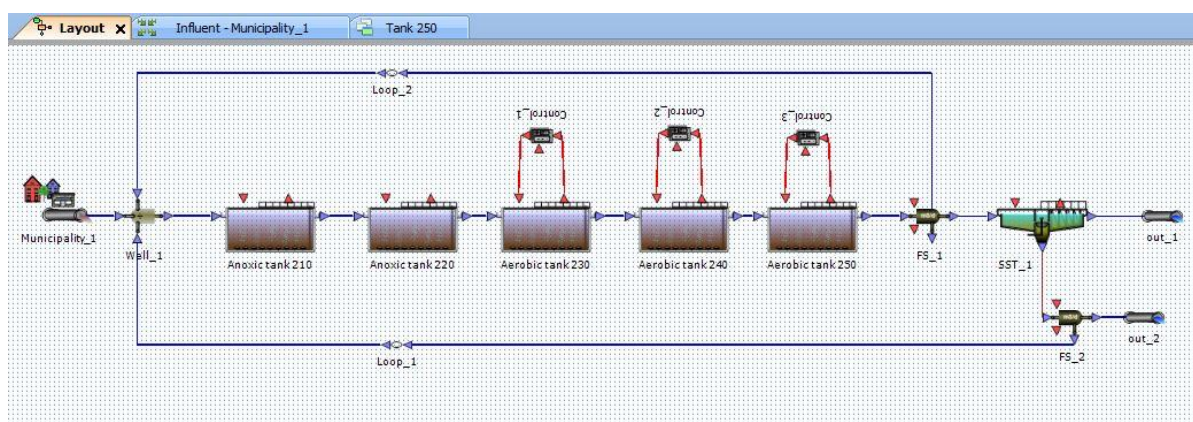


Figure 22: Modélisation du pilote

La simulation WEST tient compte des paramètres suivants : volumes des différents bioréacteurs et du décanteur secondaire, du contrôle de l'aération et des débits de recirculation.

Un fichier texte a été créé pour être rentré dans la base de données de la municipalité. Dans le cas du test#2 du co-pilote, 3 kg de sel ont été ajoutés, le débit est de 0,5 m<sup>3</sup>/h (12 m<sup>3</sup>/d) et le délai choisi pour l'injection de sel est de 1 minute. Ainsi  $12 \times x \times \frac{1}{60} = 3 \times 10^3$

<sup>5</sup> Source : rapport de Mise En Route, Veolia

<sup>6</sup> Annexe 7 : Schéma du test traceur

Donc  $x = 360\,000\text{g/m}^3$  avec  $x$  correspondant à la valeur  $S_I$  dans la matrice d'entrée sur un pas de temps de  $t = \frac{1}{\frac{60}{24}} = 6,9 \times 10^{-4} \text{ jours}^7$ .

Le sel étant un composé totalement inerte, il a été rentré sous le symbole  $S_I$ . La quantité de sel injectée au départ doit être retrouvée à la sortie du réacteur

Une fois les données injectées dans WEST, le logiciel se place en mode « dynamic ». La simulation peut alors être lancée en choisissant le type de résultats souhaités en sortie (graphe et/ou données pures dans un fichier de sorties).

Afin d'obtenir des résultats optimum, le pas de temps des données est de 0,001 d. Le test au pas de temps de 0,0001 d a aussi été réalisé, la même courbe avec le même maximum a été obtenu mais la simulation était beaucoup plus longue. Le pas de temps de 0,001 d a donc été conservé.

Deux types de simulations ont été réalisés : une première tenant compte des débits de recirculation, mais il s'est avéré qu'il n'y avait aucune trace papier ou informatique des valeurs de ces débits lors de l'expérience, juste des suppositions. La deuxième consistait à avoir des débits de recirculation nuls.

Il a été nécessaire de savoir si la quantité de sel injectée a été récupérée (Tableau 7).

Tableau 7: Vérification de la quantité de sel récupéré sur la modélisation WEST pendant le test traceur

	Sans débits de recirculation	Avec débits de recirculation
Pas de temps (s)	0,001	0,001
Intégrale (g.d/m <sup>3</sup> )	250,199	250,203
Débit (m <sup>3</sup> /d)	12,000	12,000
Masse récupérée (kg)	3,000	3,000

### 3. Le passage de la concentration en sel à la conductivité

La simulation sur WEST donne des résultats en concentration en sel alors que le test au sel donne des résultats en conductivité. La concentration en sel et la conductivité n'étant pas proportionnelles, il a fallu réaliser une courbe de concentration en sel en fonction de la conductivité. Pour cela, une solution mère en sel a été créée puis diluée plusieurs fois afin d'obtenir plusieurs points (Figure 23). La mesure de conductivité a été réalisée avec la même sonde qui a servi à la mesure lors du test traceur.

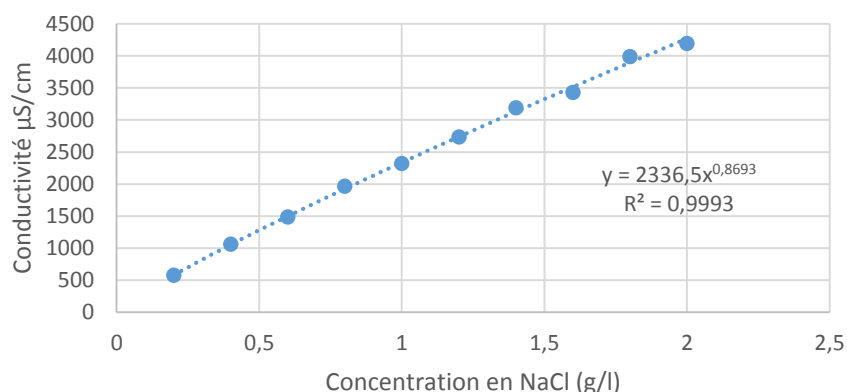


Figure 23: La conductivité en fonction de la concentration en sel

<sup>7</sup> Annexe 7 : Matrice dans West



Afin de pouvoir passer de la concentration en sel à la conductivité, une de cette courbe a été réalisée sous la forme d'une puissance ( $R^2=0,9993$ ). A partir de là une comparaison des courbes obtenues a été faite.

#### 4. Analyses des résultats obtenus

L'expérience réelle donne les résultats montrés à la figure 24

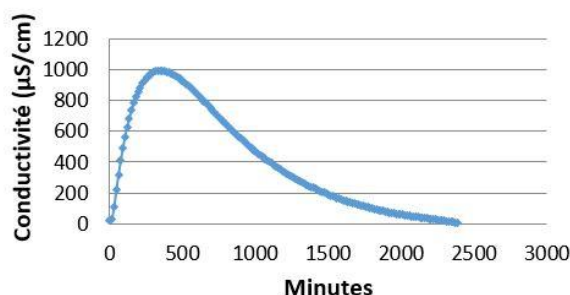


Figure 24: Résultat du test traceur réel<sup>8</sup> (test#2, co-pilote)

Une première vague de tests consistait à prendre en compte les débits de recirculation comme ils le sont actuellement c'est-à-dire de 1,5 m<sup>3</sup>/h pour la recirculation interne et de 0,5 m<sup>3</sup>/h pour la recirculation des boues. Puis les débits de recirculation sont mis à 0 m<sup>3</sup>/h.

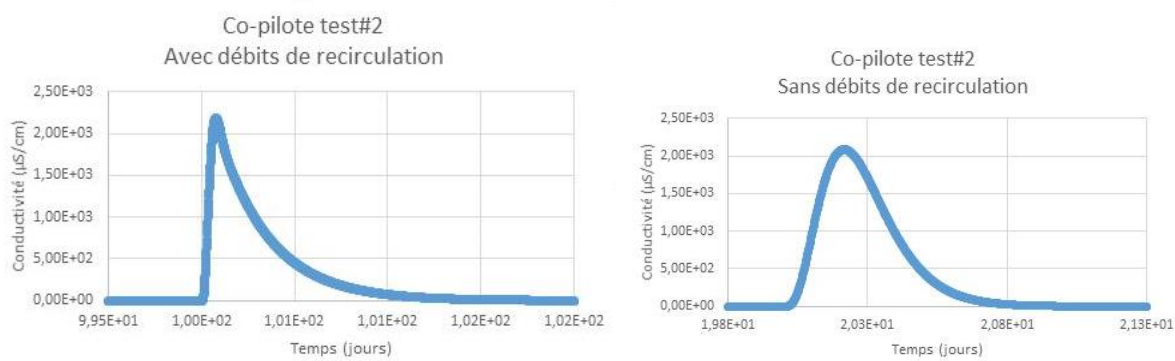


Figure 25: Modélisations sur WEST

Les courbes expérimentale et par simulation ne sont pas semblables dans la partie décroissante, la courbe du test traceur étant plus tassée que celles de WEST. De plus, les maximums sont différents sachant que le maximum donné par le test traceur est de 994 µS/cm.

Tableau 8: Résultats de la modélisation sur WEST

	Sans débits de recirculation	Avec débits de recirculation
Maximum (g/m <sup>3</sup> )	877,290	923,473
Maximum (µS/cm)	2085,164	2180,265

D'après le tableau 8, il semblerait que les débits de recirculation ne jouent pas un grand rôle dans la diffusion du sel.

Il y a également un problème au niveau du temps d'apparition du maximum de conductivité (tableau 9)

<sup>8</sup> Source : Rapport de Mise En Route, Véolia

Tableau 9: Comparaison de la pointe de la conductivité lors du test traceur

	Test au sel	WEST
Temps du maximum (min)	345,00	277,20

Le temps sur le logiciel est plus court que celui de la réalité.

D'autres paramètres doivent entrer en compte comme par exemple le nombre de réacteurs de la simulation. Cinq réacteurs sont présents dans la réalité, peut être en faut-il moins sur le logiciel. Ce qui indiquerait des retours internes qui pourraient affecter l'efficacité du procédé.

Il est également possible de déterminer le nombre de réacteurs en série parfaitement agité (J) à partir des données expérimentales.

D'après le tableau 10, dans le cas du test #2 du co-pilote, le nombre de réacteurs parfaitement agités serait compris entre deux et trois. C'est peut-être de cette manière qu'il faudrait réaliser la simulation sur WEST.

Tableau 10: Nombre de réacteurs en série parfaitement agités

	Train 200		Train 300	
	Test #1	Test #2	Test #1	Test #2
Temps de séjour moyen (min)	303,88	541,87	371,86	708,23
Variance (min <sup>2</sup> )	17087,38	104735,16	60384,97	214576,72
Variance adimensionnelle	0,19	0,36	0,44	0,43
Débit (m <sup>3</sup> /h)	1,00	0,50	1,00	0,50
J	5,40	2,80	2,29	2,34

## **V. Analyse critique et personnelle**

Ces trois mois de stage ont été riches en expériences. J'ai pu découvrir le domaine de la recherche que je ne connaissais pas et j'ai également eu la chance de travailler sur une station de traitement des eaux usées en modèle réduit. Après avoir pris connaissance du fonctionnement basique du pilote grâce à l'équipe pilEAUte, j'ai pu me familiariser avec les expériences en laboratoire et le logiciel WEST.

### **1. L'accès aux données**

Le pilote ayant été mis en route en début d'année peu d'expériences avaient déjà été réalisées lors de mon arrivée au stage. Le but a été donc de comprendre le fonctionnement du pilote.

Le partage des données s'est fait assez facilement grâce à l'accès au disque partagé. C'est ainsi que lors de mon départ une nouvelle stagiaire a pu facilement prendre le relais.

Malgré cela, un problème s'est posé lors de la modélisation, il manquait des données importantes : la calibration de la sonde de conductimétrie a été écrasée par une nouvelle, les données SCADA lors du test traceur ne sont pas accessibles et de plus, il manque les informations au niveau des débits de recirculation utilisés pendant cette expérience traceur exécutée par la compagnie qui avait installé le pilote.

### **2. Un matériel à gérer**

L'installation du pilote étant récente, il manque certains dispositifs d'analyses. Lors de la campagne de mesures, le nombre de places pour le chauffage des tubes d'azote total était insuffisant. De plus, le laboratoire du pilote ne possède pas de sonde pH afin de pouvoir réaliser les mesures, il a fallu emprunter la sonde à une autre équipe. C'est alors que le problème de contamination à l'eau usée se pose. En effet, les autres équipes présentes à côté du pilote ont une crainte vis-à-vis des eaux usées (contamination, infection).

La campagne de mesures de 24h a nécessité une grande quantité de tubes Hach d'analyses. Pour cela il a fallu les commander mais les livraisons proviennent des Etats-Unis. Lors de la première date prévue, tous les tubes n'étaient pas arrivés.

### **3. Le travail en équipe**

L'équipe modelEAU se divise en plusieurs sous équipes : pilEAUte, monEAU, dessablEAU... qui se partagent différents projets. Il existe une vraie solidarité entre ces équipes qui s'entraident quand l'une ou l'autre rencontre un problème.

## Conclusion

Ce stage m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine du traitement des eaux usées telles que les phénomènes biologiques de la nitrification et de la dénitrification. De plus, il m'a permis d'explorer le domaine de la recherche que je ne connaissais pas.

L'organisation du travail et l'autonomie ont été deux parts très importantes pendant mon stage. Chaque semaine, une réunion pilote avait lieu, durant laquelle l'analyse des données SCADA et mon EAU de la semaine précédente était réalisée. A partir de cette analyse, les différentes tâches étaient réparties entre les membres de l'équipe. Chacun devait gérer son temps pour les réaliser, en plus de la maintenance du pilote.

Mon travail était relativement diversifié, je faisais d'une part des échantillonnages au niveau du pilote avec des analyses et l'interprétation sur excel. D'autre part, je réalisais la modélisation sur le logiciel WEST.

De plus, la manutention au pilote a aussi été très importante. Toutes les semaines, il était nécessaire de nettoyer la mousse du pilote ainsi que les différents capteurs pour que le suivi soit optimal. Il fallait également gérer les problèmes techniques comme par exemple une casse de pompe dans le week-end entraînant un nettoyage important le lundi matin ainsi qu'une désinfection totale du hall pilote.

Enfin, le travail en équipe a été très positif, notamment lors de la campagne de mesures de 24h. Malgré un manque de communication lors du passage entre les équipes qui a retardé certaines mesures, cette expérience a été très bénéfique. La confiance et le soutien ont été essentiels entre les équipes et au sein d'une même équipe.

## **Bibliographie**

- [1] Marcette-Latulippe Isabelle & Trudelle Catherine. **Eau Québec, quel avenir pour l'or bleu**, 2012. 42 R.D.U.S
- [2] Ministère des Affaires Municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT), **Evaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2013**, juillet 2014, Québec, Qc, Canada
- [3] **SOP-019**, Méthodes analytiques, model*EAU*, Université Laval, Québec, QC, Canada
- [4] **Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3** edited by the IWA Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment, IAWG, London, UK
- [5] **SOP-005**, Méthodes analytiques, model*EAU*, Université Laval, Québec, QC, Canada



## Annexe 1 : Les mesures de vérification des débits du pilote et co-pilote

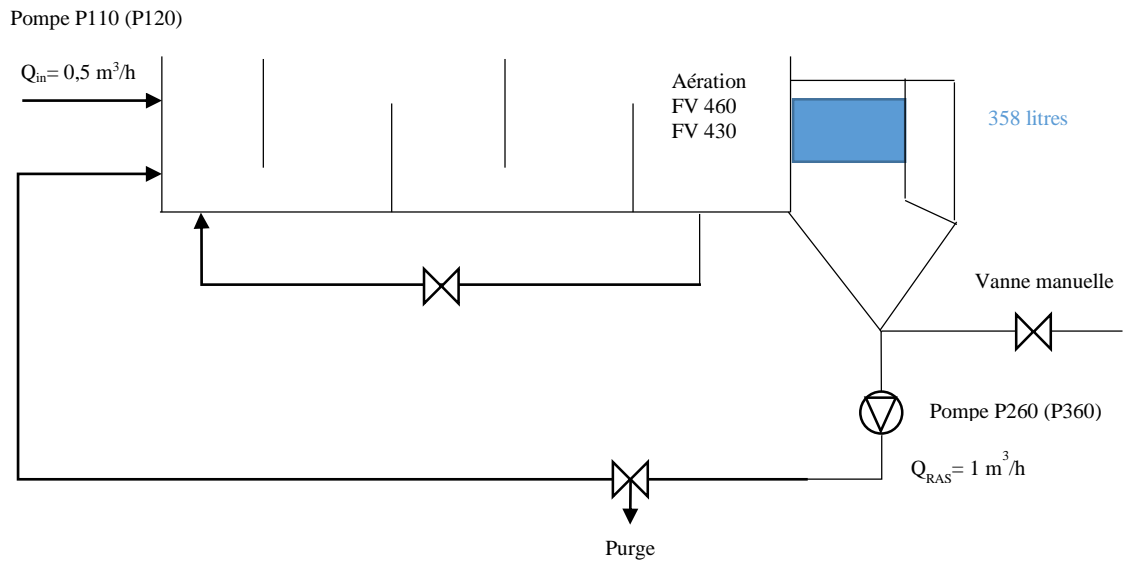


Figure A.1: Schéma simplifié de l'expérience

Tableau A.1: Les différentes étapes de l'expérience

Temps	Pilote	Co-pilote
0 min	Arrêt aération	
15 min	Arrêt P110	
30 min		Arrêt aération
45 min	Arrêt pompe 260 Ouverture vanne manuelle	Arrêt pompe P120
75 min	Fermeture vanne manuelle Pompe P110 à $1 \text{ m}^3/\text{h}$	Arrêt pompe P360 Ouverture vanne manuelle
105 min	Rétablissement du débit à $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ Démarrage P260	Fermeture vanne manuelle Pompe P120 à $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$
120 min	Démarrage aération	
165 min		Démarrage P360
180 min		Démarrage aération

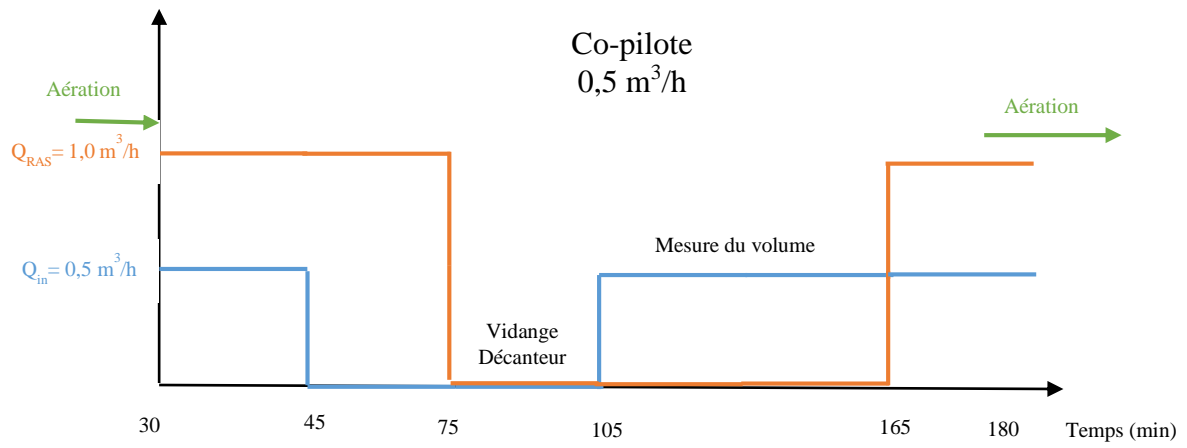
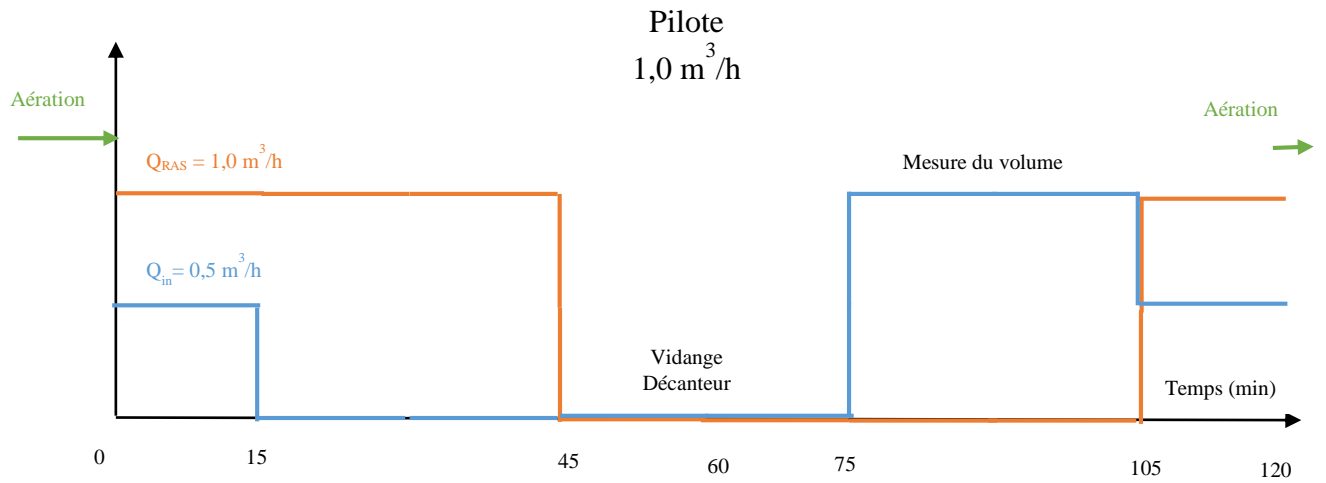


Figure A.2: Détails des variations des débits au sein du pilote et du copilote



## Annexe 2 : Points de prélèvement des différents échantillons et protocole des mesures de MES-MVeS

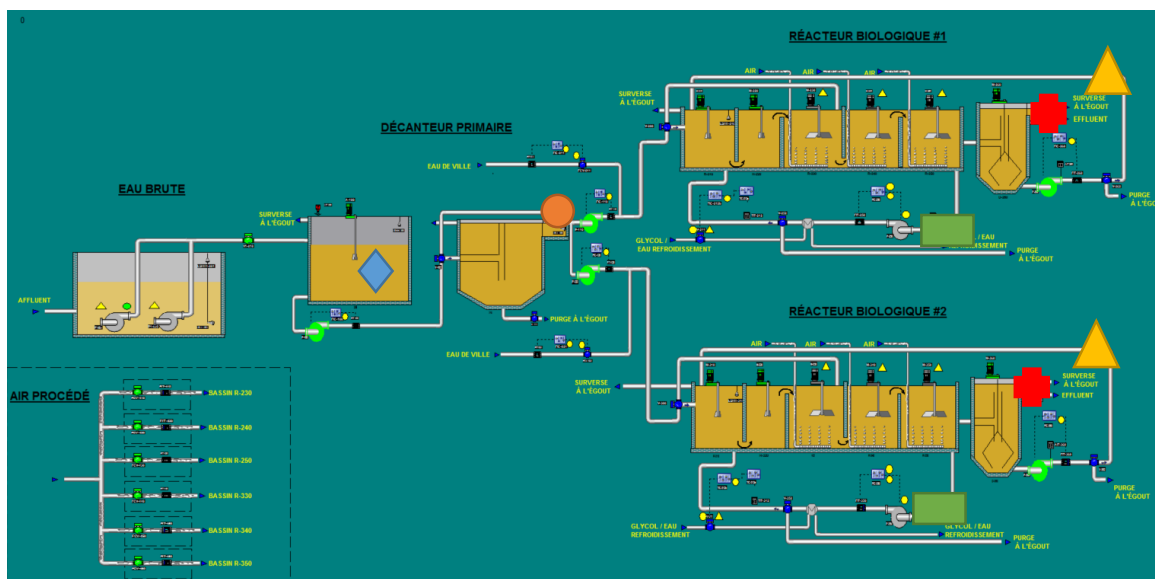


Figure A.3: Points de prélèvement

Pour pouvoir réaliser la mesure de MES, il faut dans un premier temps conditionner les filtres. Pour cela il faut placer sur un Büchner le filtre blanc et le rincer trois fois à l'eau déminéralisée. Dans le cas d'une mesure de MES, il faut le faire sécher 2h au four à 105°C puis le refroidir 30 minutes au dessiccateur. Dans le cas d'une mesure de MVeS, il faut le faire sécher 30 minutes au four à 550°C puis 30 minutes au dessiccateur. Enfin les filtres sont pesés, cette masse est appelée M0.

Il faut ensuite déterminer le volume d'échantillon à verser sur le filtre pour éviter le colmatage (ceci se fait par l'expérience), ce volume est appelé V<sup>[5]</sup>.

Le tableau A-2 récapitule les ordres de grandeur des volumes à filtrer.

Tableau A.2: Estimation des volumes selon le type d'échantillon

Type d'échantillon	Volume (ml)
Eau brute	30
Affluent	60
Bassin biologique	25
Recirculation des boues	9
Recirculation interne	10
Effluent	130

Ensuite les filtres sont envoyés au four puis au dessiccateur. La mesure après le passage au four à 105°C est appelée M1, celle après le passage au four à 550°C est appelée M2.

$$[MES] = \frac{M1 - M0}{V} \quad [MVeS] = \frac{M2 - M1}{V}$$

Équation A.1: Formules du calcul des concentrations en MES et MVeS

**Annexe 3 : Screenshot du 14 mai de la station SCADA montrant la diminution du niveau du bassin tampon aux alentours de 6h**

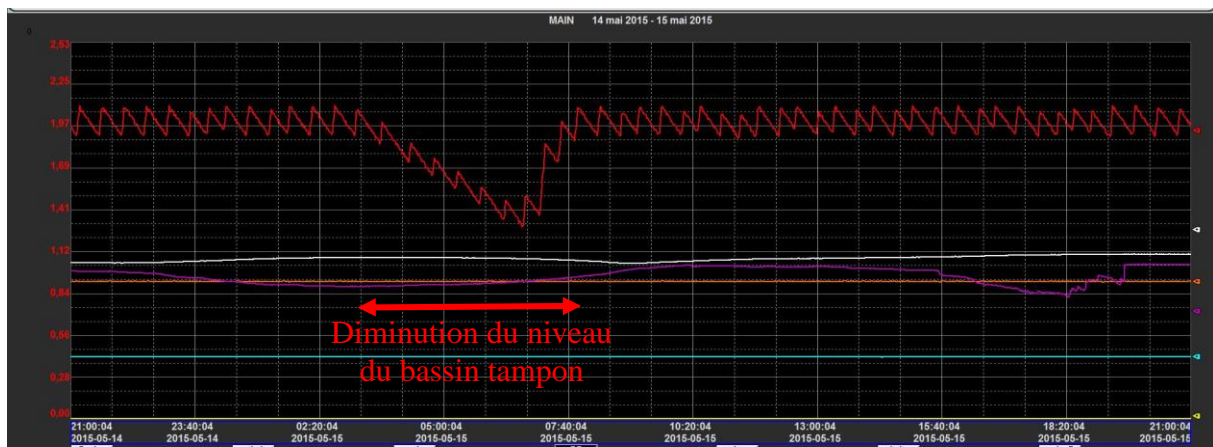


Figure A.4 : Screenshot de la station SCADA

## Annexe 4 : Screenshot de la station SCADA montrant l'évolution de la conductivité en amont de la campagne de 24h

Les screenshots de la figure A.5 montrent la remontée de la conductivité après une forte pluie. Au début de la campagne de 24h (à 10H) la conductivité (ici représentée en violet) est de nouveau stable. Le pic aux alentours de 8h est dû au fait qu'une particule s'est collée au niveau du capteur.

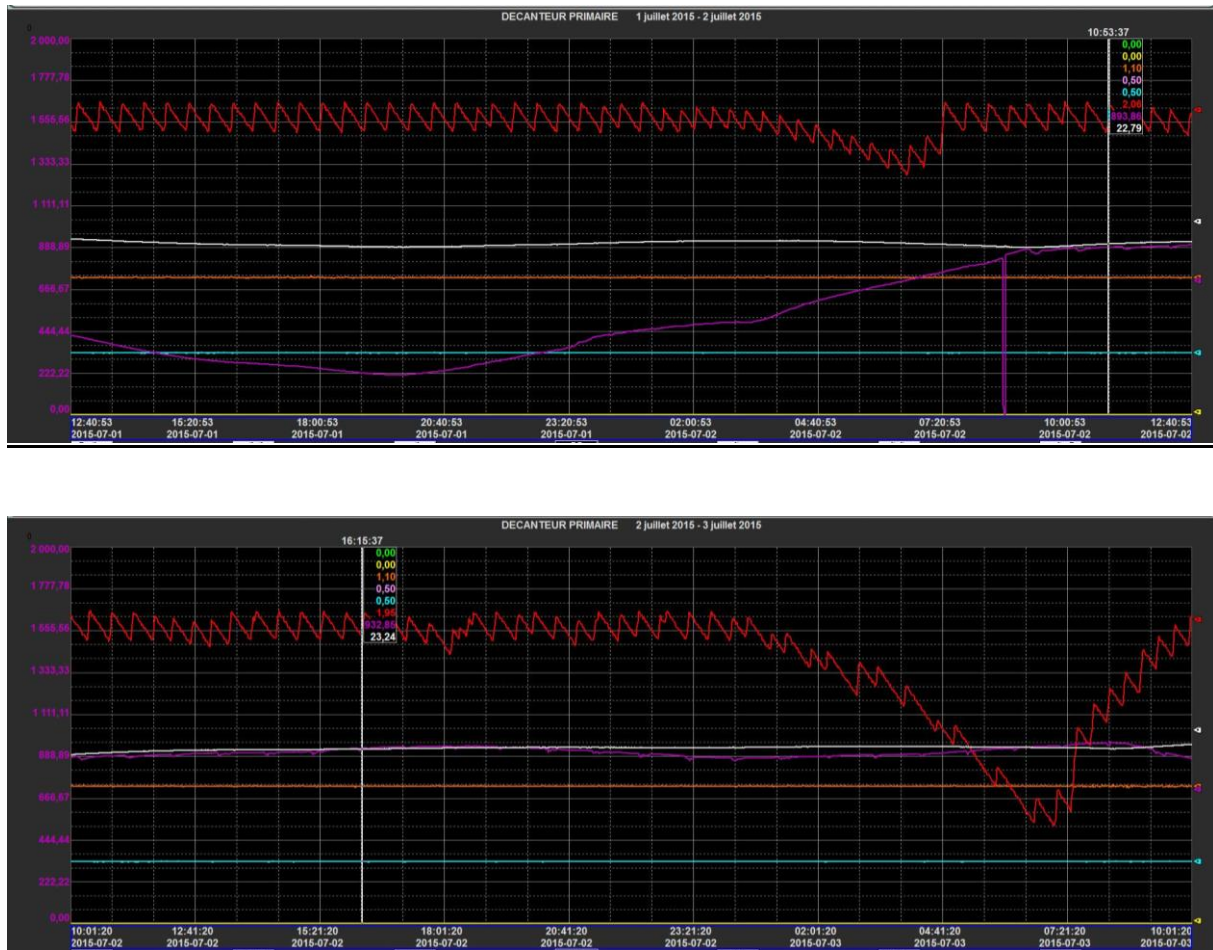


Figure A.5: Screenshot de la conductivité en amont de la campagne de 24h

## Annexe 5 : Graphiques du pilote de la campagne de 24h

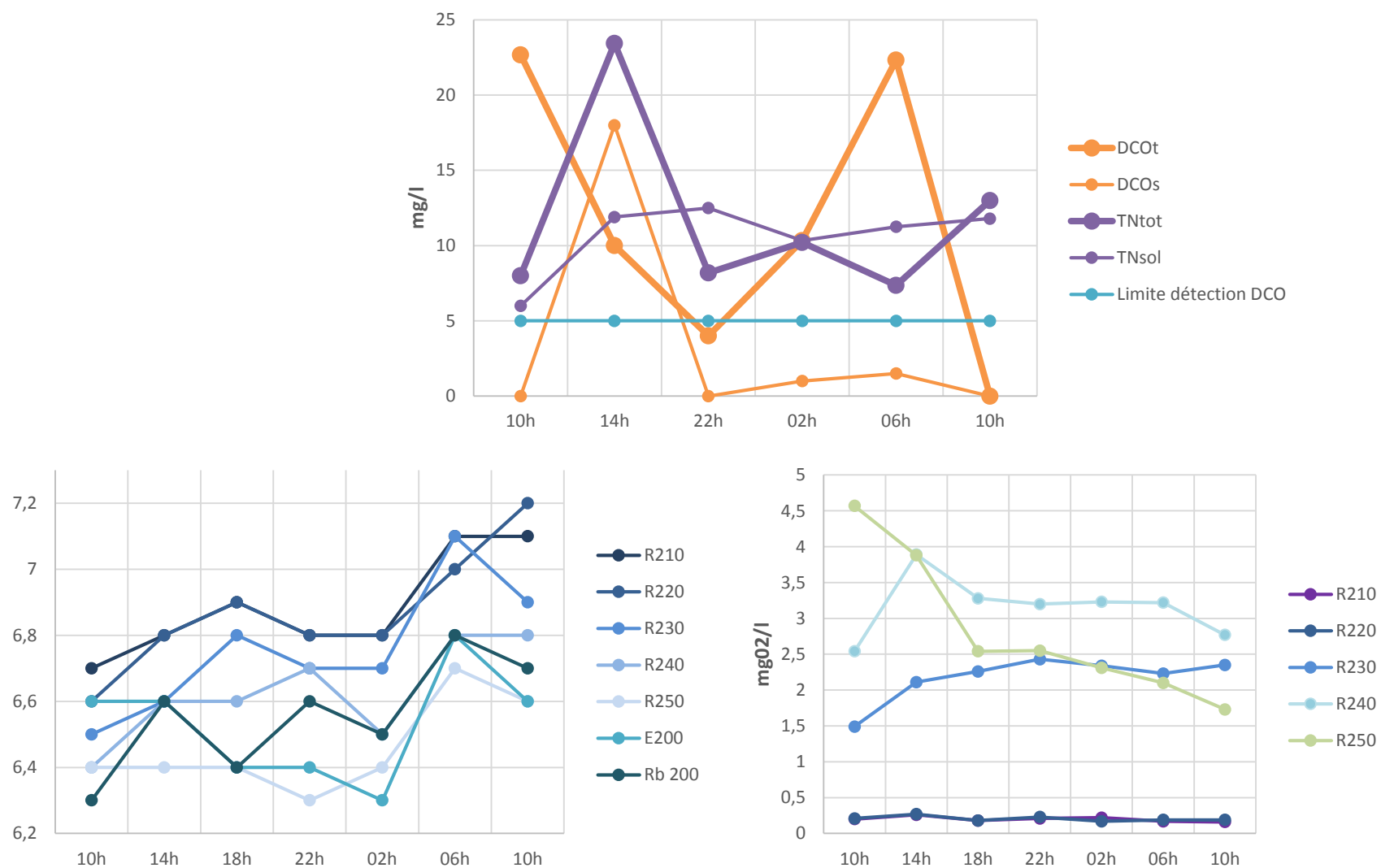


Figure A.6: Analyses au niveau de l'effluent du pilote (haut) et suivi du pH (bas, gauche) et de la concentration en oxygène dissous (bas, droit)

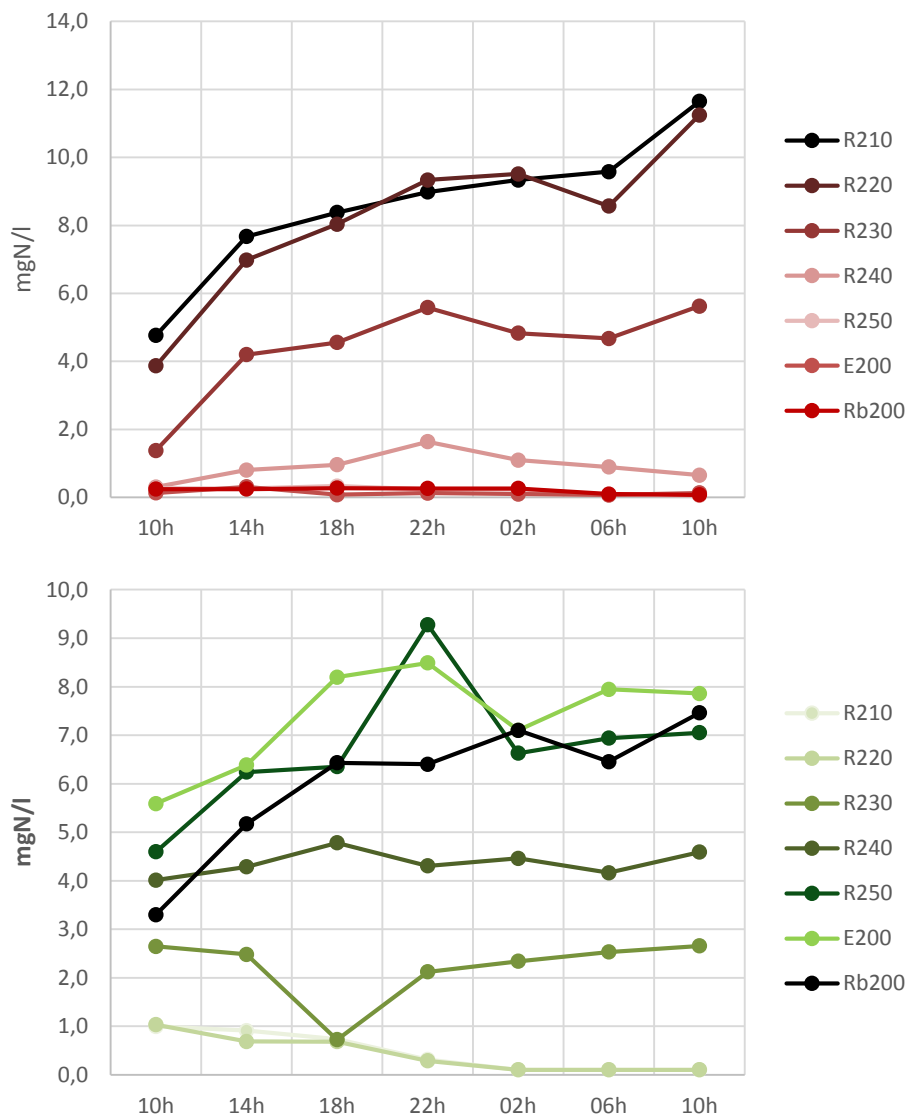


Figure A.7 : Suivi de l'ammonium (haut) et des nitrates (bas) le long du pilote

## Annexe 6 : Suivi de la concentration en MES-MVeS au niveau du pilote

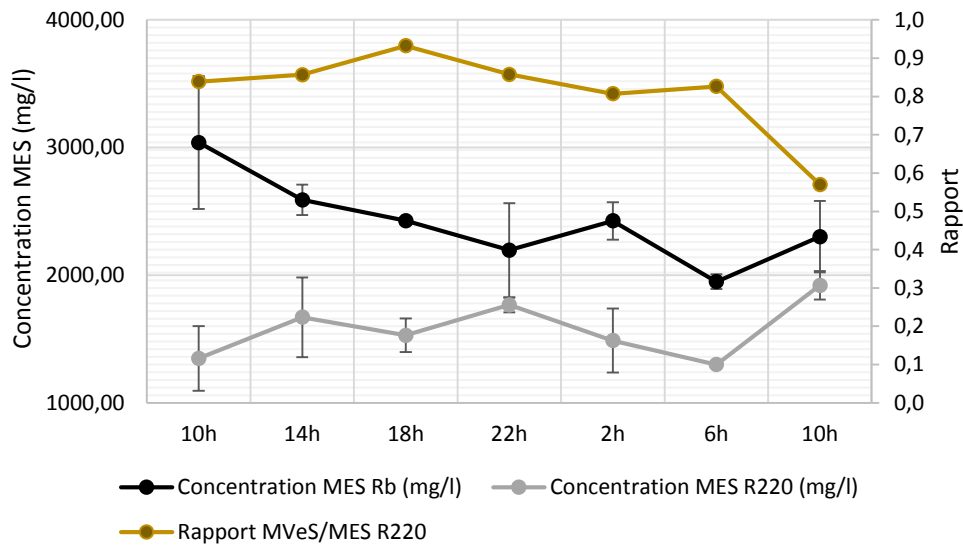


Figure A.8: Suivi de la concentration en MES au niveau du pilote et le rapport MVeS/MES des boues

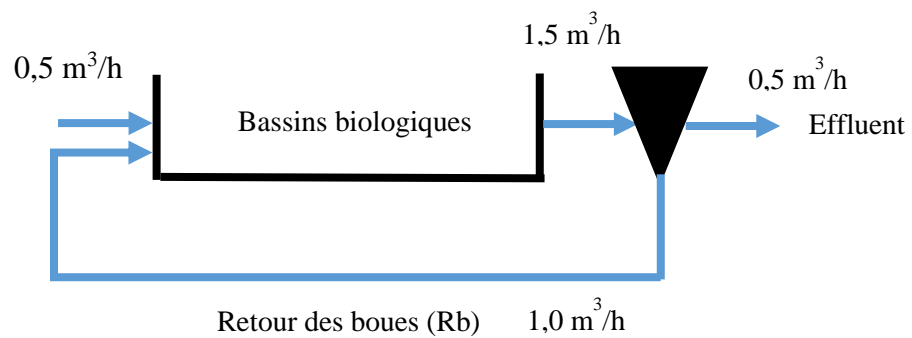


Figure A.9: Les débits au niveau du pilote

$$\frac{dM}{dt} = Q_{R220} \times MES_{R220} - Q_{Rb} \times MES_{Rb} - Q_{effluent} \times MES_{effluent} = 0$$

Avec  $MES_{effluent} \approx 0$  il est obtenu  $MES_{Rb} = 1,5 \times MES_{R220}$

Équation A.2: Bilan de masse au niveau du pilote

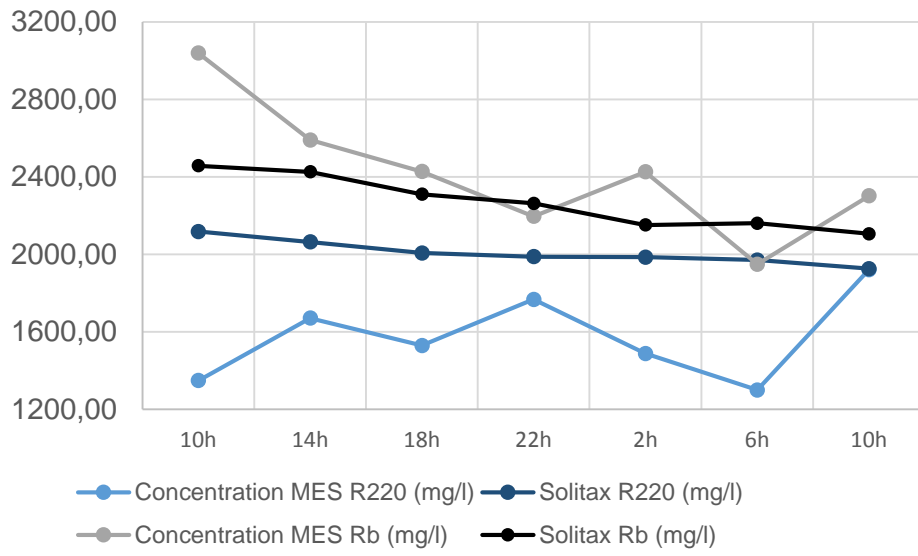


Figure A.6: Comparaison des mesures en laboratoire avec les sondes Solitax

## Annexe 7 : Schéma du test traceur et matrice d'affluent dans le logiciel WEST

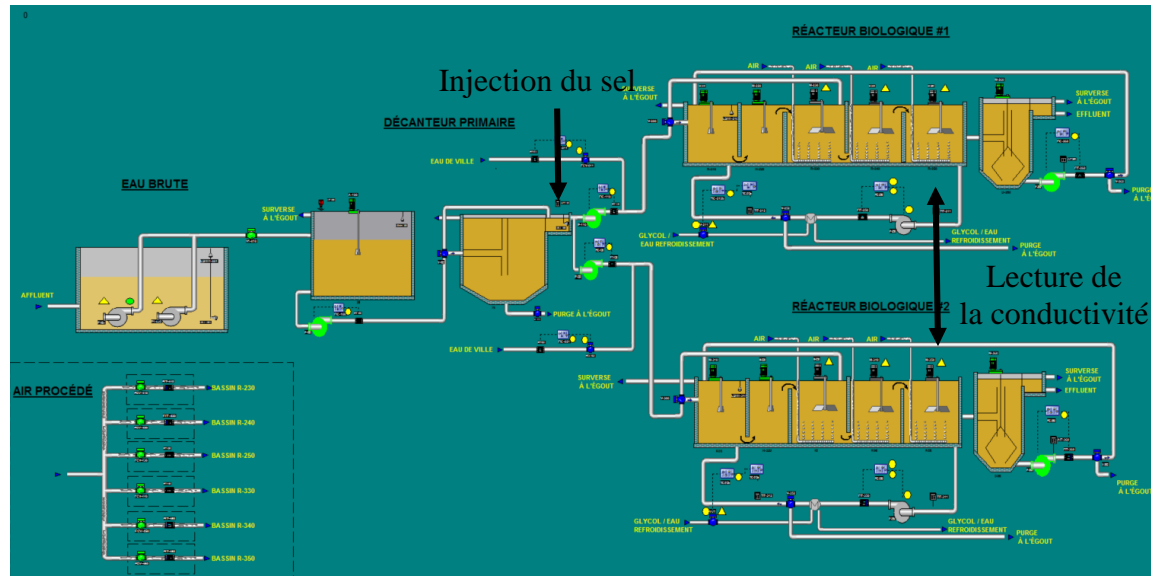


Figure A.11: Schéma du test traceur

Tableau A.3: Matrice d'affluent sur WEST

%%Version3.3													
%%BeginHeader													
t	H2O	S_I	S_S	S_NO	S_NH	S_ND	S_ALK	X_I	X_S	X_BH	X_BA	X_P	X_ND
d	m3/d	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3	g/m3
%%EndHeader													
0	24	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
100	24	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
100.000694444444	24	360000	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
100.001388888889	24	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
120	24	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1



