

# Suivi et compréhension du comportement de l'usine pilote d'élimination d'azote des eaux usées

#### Essai

Claudia I. Contreras Espana

Maîtrise en génie civil – Technologies environnementales Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, QC, Canada

© Claudia Contreras, 2016



## Remerciements

Cet essai est le résultat d'un travail de recherche de près d'une année. Pour cela, je veux adresser tous mes remerciements aux personnes avec lesquelles j'ai pu échanger et qui m'ont aidée pour la rédaction de cet essai.

Je remercie tout d'abord Peter Vanrolleghem, directeur de cet essai, pour sa confiance et son accueil dans son groupe de recherche model*EAU* de l'Université Laval à Québec.

Merci à Sey-Hana Saing, technicien de laboratoire en recherche, pour son aide, pour sa patience et pour le temps qu'il m'a consacré.

Merci à Sylvie Leduc et Elena Torfs, pour les connaissances qu'elles m'ont transmises et pour leur gentillesse.

Merci à Queralt Plana, pour sa patience et de m'avoir appris beaucoup de choses sur la station de mesure monEAU.

Merci à mes parents et sœurs qui tout au long de ma vie ont soutenu et motivé mon éducation, cru en moi à tout moment et jamais douté de mes capacités.

Pour finaliser, je souhaite remercier mon mari, mon fils et ma fille, qui m'ont accompagnée, aidée, soutenue et encouragée tout au long de la réalisation de cet essai.



### Résumé

L'objectif principal de cet essai a été de faire le suivi et de comprendre le comportement de l'usine pilote d'élimination d'azote des eaux usées et des stations de mesure qui sont utilisées dans ce projet.

La station pilote est un outil qui permettra d'optimiser le système de traitement grâce à un contrôle en temps réel des différents paramètres, lequel est réalisé par les stations de mesure automatique.

Dans cet essai seront présentées les différentes campagnes d'échantillonnage et les expériences qui ont été réalisées afin d'évaluer le fonctionnement de la station de traitement des eaux usées, ainsi que le fonctionnement des stations de mesure et les problèmes qui pourraient survenir avec les capteurs.

Ce travail est une étape pour comprendre le système de traitement et connaître le fonctionnement du pilote, mais il manque encore des expériences et des ajustements pour le réaliser pleinement.

Toutefois, cet essai a permis de démontrer le bon fonctionnement de l'usine de traitement pour éliminer l'azote.



## Table des matières

Rem	erciements	ii
Résu	ımé	iii
Tabl	e des matières	iv
Liste	e des tableaux	vi
Liste	e des figures	vii
Intro	oduction	1
Chap	oitre 1	2
1.1.	Présentation de l'étude	2
1.2.	L'eau usée et ses caractéristiques	2
1.2	2.1. Les paramètres de l'eau usée	4
o	La demande biologique en oxygène (DBO)	4
o	La demande chimique en oxygène (DCO)	4
o	La conductivité électrique	4
0	Les solides totaux	4
o	Les solides totaux en suspension (MeS)	4
o	Le pH	4
o	L'azote	5
1.3.	Localisation et description de la station de traitement des eaux usée	es par boues
activ	/ées	6
1.4.	Fonctionnement de l'usine	7
1.4	4.1. Processus de nitrification et dénitrification	8
Chap	pitre 2	10
Méth	nodologie	10
2.1.	Description de la station de traitement pilote	10
2.2.	Les stations de mesure	11
2.2	2.1. La station de mesure SCADA	12
2.2	2.2. La station de mesure mon <i>EAU</i>	12
2.3.	Entretien, validation et calibration des capteurs	15
2.3	3.1. L'entretien des capteurs	15
2.3	3.2. La validation et la calibration des capteurs	16
2.4.	Exploitation des données de la station de mesure mon <i>EAU</i>	16



2.5.	Les	analyses de laboratoire	17
2.	5.1.	Matières en suspension (MeS) et matières volatiles en suspension (MVeS)	. 17
2.	5.2.	L'indice de décantation des boues	. 18
2.	5.3.	Analyses de différents paramètres chimiques – Tubes HACH LANGE	. 20
2.	5.4.	Détermination de DCO totale, DCO soluble, DCO particulaire et MeS	. 20
2.6.	Les	campagnes de mesure	.21
2.	6.1.	La campagne d'échantillonnage de 24 h sur le projet pilEAUte en temps sec .	21
2.	6.2.	Le test traceur	. 23
2.	6.3.	Campagne sur la charge de l'affluent	. 25
2.	6.4.	Évolution du pH, NH4 et NO3 dans le temps	. 26
Cha	pitre 3		28
3.1.	Ent	retien, validation et calibration des capteurs	28
3.	1.1.	Protocole d'entretien, validation et calibration	28
3.2.	Rés	ultats des analyses de laboratoire	30
3.	2.1.	L'indice de décantation des boues	30
3.	2.2.	Campagne d'échantillonnage de 24 heures	33
3.	2.2.1.	Affluent	33
3.	2.2.2.	Bassins biologiques et le retour des boues	.34
3.	2.2.3.	La mesure du pH le long de la station	36
3.	2.2.4.	La mesure de la demande en oxygène le long de la station	37
	2.2.5. oues 3	Le suivi de la concentration en MES dans le bassin biologique et le retour 7	des
3.	2.2.6.	Effluent	38
3.	2.3.	Le test traceur	39
3.	2.4.	Campagne sur la charge de l'affluent	. 39
3.	2.5.	Évolution du pH, NH4 et NO3 dans le temps	. 42
Cha	pitre 4		.45
Con	clusio	ns	. 45
Bibl	liograp	hie	.47



## Liste des tableaux

Tableau 1. Contenu en azote dans les eaux usées non traités (Metcalf et Eddy, 2003).	5
Tableau 2. Analyse de laboratoire par échantillon	22
Tableau 3. Conditions du pilote et copilote	23
Tableau 4. Délais entre les tests	27
Tableau 5. Calendrier de nettoyage, validation et calibration pour des capteurs installé	s dans
l'affluent	28
Tableau 6.Calendrier de nettoyage, validation et calibration pour les capteurs	29
Tableau 7. Résultats de l'analyse de la SVI (2 juin 2015)	31
Tableau 8. Résultats de l'analyse de la SVI.	32
Tableau 9. Résultats de la mesuré du volume et la concentration des boues dans les fle	ottants
des décanteurs secondaires.	41
Tableau 10. Temps d'échantillonnage	42



## Liste des figures

Figure 1. Schématisation de la station de traitement	6
Figure 2. Traitement d'eaux usées par boue activée : nitrification et dénitrification	7
Figure 3. Vue générale de l'usine pilote de traitement des eaux usées de l'Universit	té Laval
	11
Figure 4. Station de mesure monEAU.	13
Figure 5. Localisation des capteurs de la station monEAU	14
Figure 6. Logiciel «ana-pro» et »Base Station»	14
Figure 7. Système de nettoyage automatique	15
Figure 8. Fenêtre Export Channel Data de la station monEAU	17
Figure 9. Appareillage de filtration et le dessiccateur en verre pour l'analyse MeS et	t MVeS
	18
Figure 10. Détermination de l'indice de décantation des boues	19
Figure 11. Fractionnement de la DCO et les particules	20
Figure 12. Points d'échantillonnages de la campagne de mesure de 24 heures	22
Figure 13. Ponts d'échantillonnages du test traceur.	24
Figure 14. Points d'échantillonnage.	26
Figure 15. Comportement du NH4, pH, NO3 dans un réacteur anoxique	26
Figure 16.Comportement du NH4, pH, NO3 dans un réacteur aérobie	27
Figure 17. Nettoyage de l'ammolyser une fois par semaine	29
Figure 18. Nettoyage de l'ammolyser deux fois par semaine	30
Figure 19. Courbes de décantation du pilote et du copilote	32
Figure 20. Résultats des mesures du laboratoire de l'affluent	34
Figure 21. Mesure de NH4 et NO3 le long du pilote (a) et copilote (b)	35
Figure 22. Mesures du pH le long du pilote et copilote	36
Figure 23. Mesures de l'oxygène dissous au long du pilote et copilote	37
Figure 24. Mesures des concentrations en MeS - MVeS au niveau du 2 <sup>ième</sup> bassin et d	u retoui
des boues	38
Figure 25. Mesures au niveau de l'effluent pilote et copilote	38

## Essai (en technologies environnementales) GCI-6000



Figure 26. Comparaison des données en laboratoire avec les sondes Solitax du 1	pilote et
copilote	39
Figure 27. Concentration de MeS et MVeS dans l'affluent	40
Figure 28. Concentration en N et DCO dans l'affluent	41
Figure 29. Évolution du pH et NH4 <sup>+</sup> dans le bassin anoxique	43
Figure 30. Évolution du pH, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> et NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> dans un réacteur aérobie	44



### Introduction

La problématique de la pollution de l'environnement est en ce moment un sujet très controversé et étudié. La difficulté avec ce sujet réside dans son ubiquité, en effet, la pollution peut se retrouver au niveau de la terre, de l'air, de l'eau. Une partie de cette problématique environnementale est le changement climatique, qui est observable sur toute la planète.

Pour contrer ceci, une réglementation environnementale a été instaurée dans la plupart des pays. Cette réglementation est chaque jour plus stricte, et pour cette raison, il faut réaliser un traitement des eaux usées dans le but de respecter les normes de rejet des effluents dans les milieux récepteurs.

Dans cet essai, l'attention sera portée sur le traitement des eaux usées et sur la qualité des rejets des eaux usées municipales après avoir été traitées dans une usine.

L'idée centrale de ce projet est de suivre et comprendre le comportement de l'usine pilote d'élimination d'azote des eaux usées qui a été installée dans le pavillon Adrien-Pouliot de l'Université Laval. Pour ce faire, j'ai participé à de nombreuses campagnes d'échantillonnage et réalisé une grande quantité de tests de laboratoire.

Cette usine a pour objectif d'optimiser le fonctionnement et le contrôle des usines de traitement des eaux usées dans le but de minimiser l'impact environnemental et maximiser le profil économique de ces installations.

Cet essai est divisé en 4 chapitres. Le Chapitre 1 présente d'abord une introduction générale au traitement des eaux usées, incluant une revue de littérature sur le sujet. Le chapitre 2 contient le matériel et la méthodologie utilisés pendant la recherche. Les résultats sont présentés et discutés dans le chapitre 3. Finalement, dans le chapitre 4 sont présentées les conclusions et recommandations du travail de recherche.



## **Chapitre 1**

#### 1.1. Présentation de l'étude

Le changement climatique est reconnu comme une menace potentielle pour l'environnement et est considéré comme un problème mondial. Cette problématique est causée par les gaz à effet de serre et ses impacts environnementaux, économiques et sociaux sont déjà visibles. Au-delà, de ces changements climatiques, les activités humaines ont tendance à augmenter les concentrations en polluants en l'environnement, et à accroitre la pollution des eaux. À cause de l'augmentation de la pollution dans l'environnement, les états ont adopté les normes et règlements pour éviter que la pollution continue à augmenter. Dans notre cas, la problématique est liée à la pollution de l'eau pour les rejets des eaux usées domestiques.

La législation des États-Unis et d'Europe pour l'effluent des eaux usées, normalise la valeur pour l'azote (≤ 10 mg NT/L) (Aubry, 2003) tandis que les normes québécoises pour l'effluent des stations d'épuration sont basées sur les mesures de la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO<sub>5</sub>), la concentration des matières en suspension (MES) et la valeur de potentiel hydrogène (pH) (MDDELCC, 2016). A niveau Canada, on trouve dans la «Loi Canadienne sur la protection de l'environnement (1990)» l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), le chlore résiduel total, la concentration moyenne de matières en suspension et la demande biochimique en oxygène moyen.

## 1.2. L'eau usée et ses caractéristiques

Les eaux usées proviennent de différentes sources telles que les industries et les résidences. Pour conséquence, ces eaux sont composées de particules variées en taille et en composition.

Les principaux types d'eaux usées et leurs caractéristiques sont (CCE, 1991):

1. Les eaux ménagères usées, où la pollution est causée principalement par la matière organique, à la fois en suspension et en solution, généralement biodégradable et par une grande quantité d'azote, de phosphore et de sels minéraux.



2. Les eaux usées industrielles sont caractérisées par une grande variabilité en termes de débit et composition. Les caractéristiques des décharges sont variables, non seulement d'une industrie à l'autre, mais aussi parmi le même type d'industrie. Ce type des eaux a un niveau plus élevé de pollution que celui des eaux usées urbaines et leur contamination est plus difficile à éliminer.

Le traitement des eaux usées industrielles est plus compliqué et nécessite une étude spécifique pour chaque cas.

3. Les eaux urbaines résiduaires présentant une certaine homogénéité en ce qui concerne la composition et la charge polluante, parce que leurs contributions seront toujours les mêmes. Cette homogénéité a une marge très large, puisque les caractéristiques de chaque décharge urbaine dépendront de la population de laquelle elle provient, influencée par des paramètres tels que le nombre d'habitants, l'existence d'industries dans le secteur, le type d'industrie, etc.

Les eaux urbaines résiduaires est un mélange des eaux ménagères usées avec des eaux industrielles usées et des eaux de ruissellement.

Dans notre cas, le pilote de traitement des eaux usées est alimenté par l'eau usée d'une résidence étudiante. Donc, on peut la classifier comme de l'eau ménagère usée.

Les contaminants de l'eau peuvent être naturels ou anthropiques et sont divisés dans les catégories suivantes : naturels (le nitrate, le phosphate), la matière organique (les déchets domestiques ou industriels), les substances indésirables (les huiles) et les toxiques (le mercure, les pesticides et les phénols).

Les nutriments accélèrent la croissance des organismes et peuvent causer l'eutrophisation; la dégradation de la matière organique peut consommer l'approvisionnement de l'oxygène dissous dans l'eau (DBO, DCO). Les substances indésirables produisent la couleur dans l'eau et augmentent leur turbidité. Les substances chimiques sont nocives pour la vie aquatique et autres organismes. Les contaminants peuvent modifier le pH de l'eau, la couleur et donner des odeurs et des saveurs indésirables.



#### 1.2.1. Les paramètres de l'eau usée

Une étape importante pour déterminer le système de traitement le plus approprié est de quantifier le degré de pollution des eaux à traiter. Pour y arriver, on doit mesurer quelques paramètres, tels que la demande biologique d'oxygène (DBO), la demande chimique d'oxygène (DCO), la conductivité électrique (CE), l'azote, les solides totaux et le pH.

- La demande biologique en oxygène (DBO) est un paramètre qui mesure dans l'eau usée la quantité de matière consommée ou oxydée par voie biologique (micro-organismes) et elle est utilisée pour déterminer le degré de contamination organique. Normalement, elle est mesurée après 5 jours (DBO<sub>5</sub>) et exprimée en mg O<sub>2</sub>/litre (Metcalf et Eddy, 2003).
- La demande chimique en oxygène (DCO) est un paramètre qui mesure la quantité de matière organique capable d'être oxydée par des moyens chimiques. Ce paramètre est aussi exprimé en mg O<sub>2</sub>/litre.
- La conductivité électrique est la capacité d'une solution aqueuse de transporter un courant électrique. Cette capacité dépend de la présence d'ions et leur concentration totale, de leur mobilité, leur valence et les concentrations relatives, ainsi que de la température. Par conséquent, elle est un indicateur de la teneur en sels dissous ou des minéraux présents dans l'eau.
- Les solides totaux sont la teneur totale en matières solides dans l'eau, comprenant les solides organiques et inorganiques.
- O Les solides totaux en suspension (MeS) sont constitués par de la matière organique et de la matière minérale. Ils proviennent de sources naturelles, d'effluents municipaux et industriels, du ruissellement des terres agricoles et des dépositions de particules atmosphériques.
- o Le pH est lié à la qualité de l'eau. Il est un facteur très important, parce que certains procédés chimiques et biologiques ne peuvent avoir lieu à un certain pH. Ce paramètre permet de mettre en évidence les espèces chimiques présentes dans l'eau (Metcalf et Eddy, 2003).



- L'azote est présent dans les eaux naturelles et usées sous différentes formes, telles que le nitrate, le nitrite, l'ammoniac et l'azote organique. Selon les Agences de l'eau et le Ministère de l'Environnement, l'azote se trouve dans les eaux usées sous les deux formes suivantes (Aubry, 2003):
  - 1. Azote organique, qui provient des déjections animales et humaines et des rejets d'industries agro-alimentaires.
  - 2. Azote ammoniacal, qui peut provenir des rejets industriels ou de la transformation de l'azote par ammonification.

Tableau 1. Contenu en azote dans les eaux usées non traités (Metcalf et Eddy, 2003)

Formes d'azote	Eau usée faiblement concentrée	Eau usée moyennement concentrée	Eau usée fortement concentrée		
Azote ammoniacal (mg N-NH <sub>4</sub> +/L)	12	25	45		
Azote organique (mg N/L)	8	15	25		
Azote total (mg NT/L)	20	40	70		

Dans le tableau 1, on peut voir que l'azote contient une grande proportion d'ammoniac. La quantité de nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et de nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) est très faible.

En général, on estime que la pollution journalière **(Yahiatene et Tahirim, 2010)** produite par une personne utilisant entre 150 et 200 litres d'eau est de :

- 70 à 90 grammes de matières en suspension;
- 60 à 70 grammes de matière organique;
- 15 à 17 grammes de matière azotée;
- 4 grammes de phosphore;
- Plusieurs milliards de germes par 100 ml.



# 1.3. Localisation et description de la station de traitement des eaux usées par boues activées

Le pilote de traitement des eaux usées étudié dans cet essai est constitué d'un décanteur primaire, deux lignes de cinq réacteurs biologiques et un décanteur secondaire chacun. Les deux lignes de traitement possèdent deux bassins anoxiques, trois bassins aérobies, une recirculation des boues et une recirculation interne de liqueur mixte.

La figure 1 présente une schématisation de la station de traitement.

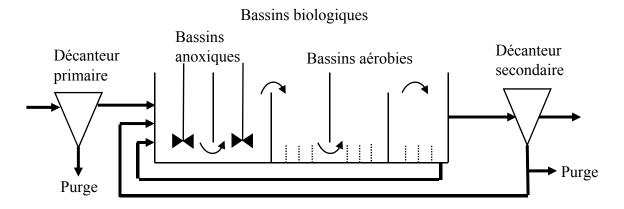


Figure 1. Schématisation de la station de traitement

La station de traitement est suivie en permanence par des capteurs, lesquels mesurent la turbidité, la DCO total et soluble, les nitrates, l'ammonium, la température, la conductivité, l'oxygène dissous et le pH.

L'installation de stations de mesure est indispensable pour être capable d'observer les variations des paramètres sur une période de temps. La station de traitement est munie de deux stations de mesure mon*EAU* et un système de Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA).

La station mon*EAU* est connectée à 8 capteurs, lesquels sont situés dans différents endroits de l'usine avec le but d'obtenir différentes informations. Chacun des capteurs est relié à la station informatisée qui se trouve dans une cage métallique.



#### 1.4. Fonctionnement de l'usine

Les objectifs à long terme de l'usine sont d'optimiser la qualité de l'eau avant de la rejeter dans l'environnement, de trouver une façon de maximiser le fonctionnement du système, contrôler les coûts et de minimiser l'impact environnemental.

L'augmentation des niveaux de traitement des eaux usées réduit le risque de polluants provenant des eaux usées brutes d'atteindre l'environnement, là où elles présentent des risques pour la santé environnementale et humaine.

Pour diminuer les répercussions sur l'environnement et pouvoir assainir les effluents, il est nécessaire d'assurer un niveau de traitement élevé. Les eaux avec un niveau de traitement bas peuvent contenir de grosses particules, de débris, des bactéries pathogènes, des déchets biologiques, des éléments nutritifs et des produits chimiques pouvant présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine.

La station de traitement de l'étude a comme objectif l'élimination d'azote des eaux usées et pour cela il effectue les processus de dénitrification dans les deux bassins anoxiques (210 et 220) et la nitrification dans les trois bassins aérobies (230, 240 et 250) du système. (Figure 2).

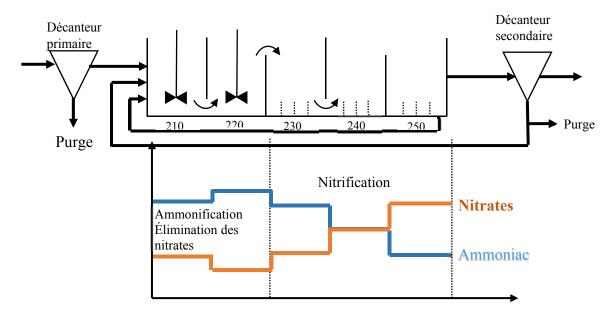


Figure 2. Traitement d'eaux usées par boue activée : nitrification et dénitrification



Comme on peut voir dans le graphique, dans les bassins anoxiques la concentration de nitrates diminue tandis que la concentration d'ammoniac augmente. Ces processus sont connus comme la dénitrification et l'ammonification. Ensuite, dans les bassins aérobies l'ammoniac est transformé en nitrate. Donc, la concentration de nitrates augmente et l'ammoniac diminue. La quantité avec laquelle augmente la concentration de nitrates est proportionnelle à la quantité avec laquelle diminue l'ammoniac et vice-versa.

#### 1.4.1. Processus de nitrification et dénitrification

Le processus d'élimination de l'azote se fait en plusieurs étapes. Premièrement, au cours du traitement biologique, la plupart des composés organiques de l'azote sont transformés en ammoniac (ammonification). Ensuite, l'ammoniac est transformé en nitrate (nitrification) par l'action des bactéries nitrifiantes qui sont aérobies. Après, dans la dénitrification, les nitrates sont transformés en N<sub>2</sub> par action des bactéries anaérobies.

Le processus de la nitrification est effectué en deux phases. Dans la première, la phase de nitritation, l'ammoniac est oxydé et transformé en nitrite par l'action des bactéries Nitrosomonas et dans la deuxième phase, la nitratation, le nitrite est oxydé en nitrate par l'action des bactéries Nitrobacter. Ces deux bactéries sont autotrophes nitrifiantes et la transformation est effectuée en présence d'oxygène (Metcalf et Eddy, 2003).

Pendant la nitrification, le milieu est acidifié à cause de l'augmentation de la concentration de H<sup>+</sup>, tandis que dans la dénitrification, l'alcalinité est récupérée et le pH monte.

Nitritation: 
$$NH_4^+ + 1.5 O_2 \rightarrow NO_2^- + 2 H^+ + H_2O + \text{énergie}$$

Nitratation: 
$$NO_2^- + 0.5 O_2 \rightarrow NO_3^- + \text{énergie}$$

Ces processus sont influencés par différents facteurs tels que la température, le pH, l'alcalinité, la biomasse, le temps de rétention hydraulique, ainsi que les concentrations en azote, en oxygène dissous et en matière organique.

8



La nitrification n'enlève pas l'azote complètement, car ce processus transforme l'azote seulement en forme de nitrate. Donc, la dénitrification est nécessaire pour assurer une élimination complète de la charge azotée.

La dénitrification est un processus anoxie réalisé par les bactéries hétérotrophes. Pour ce processus, les bactéries hétérotrophes changent leur métabolisme pour utiliser les formes oxydées d'azote (NO<sub>2</sub>-, NO<sub>3</sub>-) comme accepteurs d'électron au lieu de l'oxygène moléculaire (O<sub>2</sub>). La réduction biologique du nitrate au cours de la dénitrification mènera à la production finale de N<sub>2</sub> (produit gazeux inerte) (Aubry, 2003).

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

Les bactéries hétérotrophes requièrent une source de carbone, laquelle est fournie par la matière organique présente dans les eaux usées, tel que décrit par la réaction de l'équation suivante.

$$C_{10}H_{19}O_3N + 10 NO_3^- \rightarrow 5 N_2 + 10 CO_2 + 3 H_2O + NH_3 + 10 OH^-$$

Une façon d'améliorer ces processus biologiques est d'assurer une bonne aération (2 mg/l OD) dans les zones de nitrification, et d'avoir une recirculation interne qui assure la possibilité d'éliminer les nitrates dans une zone de dénitrification où la matière organique est alimentée par l'affluent.

La DCO a un rôle important dans le processus de dénitrification parce que pour dénitrifier, il faut une absence d'O<sub>2</sub> et la présence de DCO.



## **Chapitre 2**

## Méthodologie

Le sujet de ce chapitre est la présentation de la méthodologie et les matériels utilisés pour arriver à comprendre le fonctionnement de l'usine pilote d'élimination d'azote des eaux usées.

D'abord, l'usine et les stations de mesure qui seront utilisées pour optimiser le système de traitement des eaux usées seront décrites. Ensuite, les analyses et les campagnes d'échantillonnage qui ont été réalisées dans le but de mieux comprendre le fonctionnement du pilote seront présentées.

## 2.1. Description de la station de traitement pilote

Le pilote de traitement des eaux usées est localisé dans le pavillon Adrien-Pouliot (département de génie civil et de génie des eaux) de l'Université Laval et est alimenté par les eaux usées d'une résidence étudiante. Ce pilote a été installé en janvier 2015 dans le but de modéliser le traitement, utiliser des capteurs pour faire un suivi détaillé et pouvoir contrôler le traitement en tout temps.

L'usine est constituée (Figure 3) par une station de pompage, un bassin tampon, un décanteur primaire et deux réacteurs biologiques appelés pilote et copilote. Chaque réacteur biologique est formé par deux bassins anoxiques, trois bassins aérobiques et un décanteur secondaire.

La station de pompage est composée de deux pompes déchiqueteuses qui permettent d'envoyer l'eau au bassin tampon. Ce dernier a un volume de 6 m³ et est équipé d'un agitateur mécanique et une pompe qui achemine un débit des eaux usées de 1.1 m³/h au décanteur primaire. Ici, la ligne de traitement est divise en deux chacun avec un débit de 0,5 m³/h. Ces lignes sont appelées pilote et copilote. Deux pompes acheminent l'eau décantée vers le pilote et copilote respectivement.



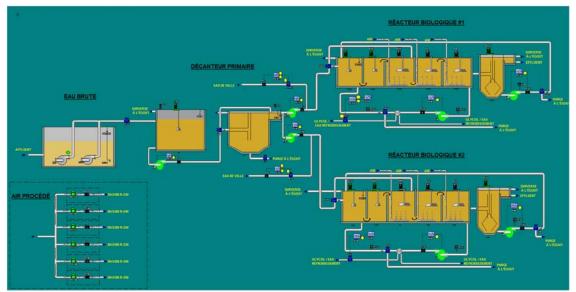


Figure 3. Vue générale de l'usine pilote de traitement des eaux usées de l'Université Laval

Les bassins anoxiques de chaque réacteur biologique sont munis d'agitateurs mécaniques et le volume du premier bassin est de 1 m³ et le deuxième de 1,5 m³. Les trois bassins aérobiques suivantes sont équipés d'un système d'aération et les volumes de chaque bassin sont 1 m³, 1 m³ et 2 m³ respectivement.

Le pilote et le copilote possèdent une recirculation de la liqueur mixte, laquelle permet d'envoyer des boues du décanteur secondaire vers le premier bassin anoxique avec le but d'assurer l'apport des bactéries. Le débit de boues est de 0,5 m³/h. Il y a aussi une recirculation interne présente entre le 3e bassin aérobie et le premier bassin d'anoxie. Cette dernière recirculation est utilisée pour apporter les nitrates et ainsi d'optimiser la dénitrification et son débit est de 1,5 m³/h.

Également, le pilote et le copilote ont un échangeur de chaleur ayant pour but de contrôler la température de la liqueur mixte et étudier ainsi la dépendance de la performance de la température.

#### 2.2. Les stations de mesure

Les stations de mesure sont utilisées pour faire le suivi et le contrôle du traitement de façon continue. Les capteurs de la station mon*EAU* font le suivi de la turbidité, la DCO totale, la



DCO soluble, les nitrates, l'ammonium, la température et le pH. D'autres capteurs connectés au SCADA du pilote sont un conductimètre (sonde de conductivité) localisé dans la sortie du décanteur primaire, deux sondes à oxygène dissous (R240 et R340), quatre sondes solitax (deux dans les deuxièmes bassins anoxiques et deux dans la recirculation des boues) utilisées pour mesurer la turbidité et ainsi la concentration de la biomasse.

#### 2.2.1. La station de mesure SCADA

Cette station est composée de deux sondes de turbidité localisées dans le pilote et copilote, les réacteurs 240 et 340 respectivement. Il y a aussi deux turbidimètres localisés dans la ligne de recirculation de boues du pilote et copilote. Ces sondes proviennent de la compagnie HACH et mesurent la turbidité de la liqueur mixte.

À la sortie du décanteur primaire, il y a une sonde de conductivité de la compagnie HACH. Cette sonde mesure la conductivité et la température de l'eau. Le dernier paramètre est mesuré (température) dans le but de faire la compensation dans la mesure de la conductivité causée par sa variation.

Finalement, deux sondes LDO sont installées pour mesurer l'oxygène dissous de la liqueur mixte. Ces sondes sont produites par la compagnie HACH et elles sont localisées dans le deuxième bassin aéré du pilote et du copilote.

#### 2.2.2. La station de mesure mon*EAU*

À la sortie du décanteur primaire, il y a trois capteurs connectés à la station monEAU:

- L'ammolyser qui détermine la concentration de l'eau usée en potassium (K<sup>+</sup>), en azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les valeurs de la température et du pH. C'est un capteur de la compagnie S :: CAN.
- Le spectrolyser qui détermine la concentration de l'eau usée en turbidité (MeS), la demande chimique en oxygène totale (DCO<sub>Tot</sub>), la demande chimique en oxygène soluble (DCO<sub>s</sub>) et les nitrates (NO<sub>3</sub>-). C'est un autre capteur de la compagnie S:: CAN.

12



• Le Varion (VarionR100) qui détermine la concentration en potassium (K<sup>+</sup>), en azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et la température de l'affluent. C'est un capteur de la compagnie WTW (Wissenschafflich-Technische Werkstatten).

Dans la figure 4, on peut voir la station de mesure qui est localisée dans l'usine et à laquelle sont connectés les capteurs.

Comme un des buts de l'usine est de déterminer les caractéristiques de l'eau traitée et l'efficacité du procédé, il y a des capteurs installés dans les sorties des décanteurs secondaires de l'usine (pilote et copilote).





Figure 4. Station de mesure monEAU

Dans la sortie du décanteur du pilote, trois capteurs sont installés. Un pH-mètre (pH200) utilisé pour déterminer le pH et la température. Le deuxième est un turbidimètre (Turb200), qui mesure la turbidité de l'effluent. Finalement, le Varion (VarionR200) est utilisé pour déterminer la concentration en potassium (K<sup>+</sup>), en azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ainsi que la température de l'effluent du pilote. Ces trois capteurs viennent de la compagnie WTW.



Dans la sortie du décanteur du copilote, seulement deux capteurs sont installés. Un turbidimètre (Turb300), lequel mesure la turbidité de l'effluent. Et le Varion (VarionR300) utilisé pour déterminer la concentration en potassium (K<sup>+</sup>), en azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ainsi que la température de l'effluent du copilote. Les deux capteurs proviennent de la compagnie WTW.

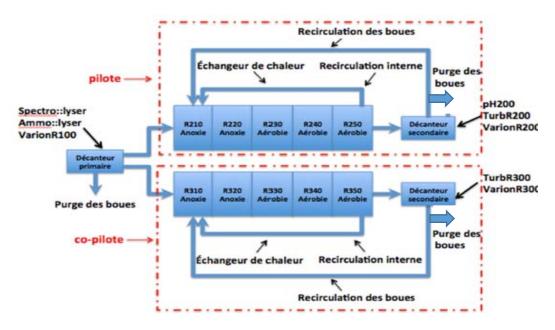


Figure 5. Localisation des capteurs de la station monEAU

Pour récolter les données des capteurs, il y a deux logiciels «ana-pro» et «PrecisionNow BaseStation» (figure 6). Le premier gère les données des capteurs spectrolyser et ammolyser et l'autre les données des capteurs varion, turbidimètre et pH-mètre. Le programme «IQ sensor net» est utilisé pour configurer les capteurs WTW.

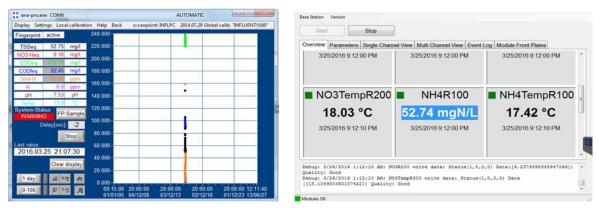


Figure 6. Logiciel «ana-pro» et »Base Station»



### 2.3. Entretien, validation et calibration des capteurs

Pour obtenir des mesures représentatives, il faut régulièrement réaliser un entretien, une validation et une calibration des capteurs des stations SCADA et mon*EAU*.

#### 2.3.1. L'entretien des capteurs

Les capteurs de la station mon*EAU* sont nettoyés manuellement de manière régulière (1 ou 2 fois par semaine). De plus, un système de nettoyage automatique est en place pour les capteurs plus sensibles. Ce système de nettoyage (figure 7) est composé d'un compresseur qui envoie de l'air à un intervalle régulier par un tube ajusté proche des lentilles du capteur optique. Le but de l'air est d'éliminer les particules qui pourraient se déposer sur le capteur.

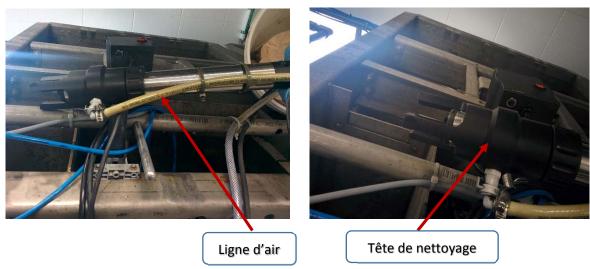


Figure 7. Système de nettoyage automatique

Les capteurs situés dans le décanteur primaire sont nettoyés deux fois par semaine, tandis que les capteurs situés à la sortie des décanteurs secondaires le sont une fois par semaine. La raison pour cette fréquence de nettoyage dans le décanteur primaire est la quantité de matière organique présente dans l'eau.

Les capteurs de la station SCADA sont nettoyés manuellement de manière régulière (1 fois par semaine). L'entretien des capteurs (mon*EAU* et SCADA) consiste à éliminer la matière organique qui se dépose à la surface de ceux-ci. Pour faire le nettoyage des lentilles des capteurs, de l'eau déminéralise et l'acide chlorhydrique 3% sont utilisés. La procédure de



nettoyage est décrite dans le manuel de chaque capteur et dans la Standard Operating Procedure (SOP) des capteurs (Boudreau & Alferes, 2011) (Déliens & Maruéjouls, 2013) (Plana & Alferes, 2013a) (Plana & Alferes, 2013b) (Plana & Alferes, 2013c) (Plana & Alferes, 2013d) (Saing, 2015).

#### 2.3.2. La validation et la calibration des capteurs

La validation d'un capteur est la comparaison de la donnée du capteur avec la donnée réelle. La donnée du capteur est obtenue avec les logiciels et la donnée réelle avec les analyses de laboratoire ou par l'utilisation de solutions standards.

Lorsque les données sont comparées et la différence est faible, on peut conclure que la validation et la calibration sont correctes, sinon il sera nécessaire de calibrer le capteur.

La validation des capteurs de la station mon*EAU* a été réalisée 2 fois par mois. Les analyses de laboratoire pour l'affluent et l'effluent du pilote et du copilote ont été faites dans le but d'obtenir les données réelles. Au moment du prélèvement, les données fournies par les capteurs ont été prises et après les analyses du laboratoire ont été faites. Finalement, les données obtenues dans le laboratoire et les données des capteurs ont été comparées. Si les différences étaient grandes, le capteur a été calibré pour minimiser les erreurs.

Les capteurs de la station SCADA ont été validés de la façon suivante : la sonde de conductivité a été validée une fois par semaine et les quatre solitax, une fois par mois.

Les procédures de validation et calibration sont décrites dans le manuel de chaque capteur et dans leur SOP mentionnées ci-dessus.

### 2.4. Exploitation des données de la station de mesure monEAU

Pendant les recherches, les données de la station mon*EAU* ont été exploitées. Dans cet essai l'exploitation des données SCADA ne sera pas abordée.

Les mesures prises par le spectrolyser et l'ammolyser, sont téléchargées automatiquement dans le fichier nommé résultats, qui se trouve dans le dossier «s-canV5.0» de l'ordinateur



industriel qui fait partie de la station mon*EAU*. Donc, on peut télécharger les données directement de ce dossier.

D'autre part, les données du programme BaseStation sont téléchargées par «Export Channel Data». Dans cette fenêtre (figure 8), on sélectionne les paramètres et les dates des données qu'on veut télécharger. Ces données sont téléchargées dans le dossier «My Documents/RawData».

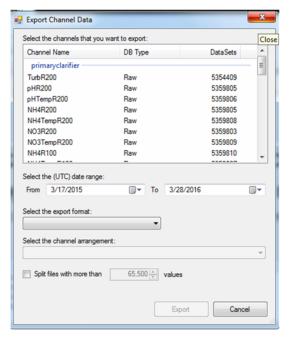


Figure 8. Fenêtre Export Channel Data de la station monEAU

## 2.5. Les analyses de laboratoire

Pour mieux comprendre le fonctionnement de la station de traitement des eaux usées, différentes analyses de laboratoire citées ci-dessous ont été réalisées.

# 2.5.1. Matières en suspension (MeS) et matières volatiles en suspension (MVeS)

Les matières en suspension sont constituées par de la matière organique et de la matière minérale. Les solides en suspension volatiles sont ceux qui sont volatilisés durant la calcination. Ils sont majoritairement composés de matière organique.



Les matières en suspension totaux sont obtenues en faisant passer une portion d'un échantillon d'eau à travers un filtre préalablement traité et pesé. Les solides retenus sur le filtre sont séchés à 105°C pendant deux heures, puis pesés (**Pujadas, 2010**). Les filtres utilisés pour déterminer les matières en suspension totaux et volatiles ont des pores de 0,45 µm.

Pour les matières en suspension volatiles, il faut placer ce filtre utilisé pour la mesure des MeS dans le four à 550 °C pendant 30 minutes.





Figure 9. Appareillage de filtration et le dessiccateur en verre pour l'analyse MeS et MVeS

Les MeS et MVeS sont déterminées avec les équations suivantes:

$$MeS = \frac{M1-M0}{V} \qquad MVeS = \frac{M2-M1}{V}$$

avec V le volume filtré, la masse des filtres conditionnés (M0), la masse du filtre avec les particules retenue sur les filtres chauffés à 105 °C (M1) et M2 est la masse du filtre avec la particules calciné à 550 °C. La procédure pour réaliser ces analyses se trouve dans Pujadas (2010).

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

L'indice de décantation des boues ou l'indice de Mohlman se définit comme étant le volume occupé après décantation de 30 minutes d'un échantillon de boues correspondant à 1 gramme de matière sèche.



La procédure de cette analyse consiste à introduire dans un cylindre 1 litre de boues et à déterminer le volume (en ml) occupé par les boues après une décantation d'une demi-heure. Puis, après avoir déterminé la teneur de matières en suspension, on peut calculer l'indice de décantation des boues par le rapport :

Boues décantées en 30min 
$$(\frac{ml}{L})$$
 =  $\frac{ml}{g}$  Masse de matières sèches  $(\frac{g}{L})$  =  $\frac{ml}{g}$ 

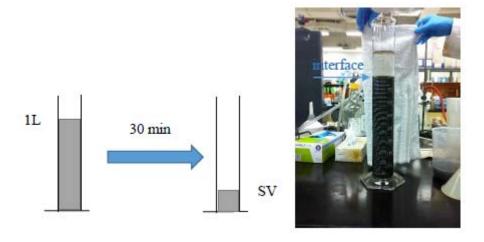


Figure 10. Détermination de l'indice de décantation des boues

Cette valeur n'est représentative de la décantabilité d'une boue que si le volume final obtenu à partir d'un volume initial de un litre, est compris entre 100 et 250 ml. Dans cette zone, l'indice est proportionnel à la concentration en boues. Si le volume est au-dessus des 250 ml, il faut diluer l'échantillon avec de l'effluent de la station.

Les valeurs typiques pour des stations d'épuration municipales se situent entre 80 et 120 ml/g. Les valeurs sont supérieures pour les boues de mauvaise décantabilité. Si l'indice de décantabilité des boues est supérieur à 150 ml/g, on peut parler de boues filamenteuses. Lorsque le SVI est élevé, les concentrations de MeS, phosphore et DCO en sortie de l'usine sont souvent élevées (Blanchard et al. 1990).

19



#### 2.5.3. Analyses de différents paramètres chimiques – Tubes HACH LANGE

La technologie de la compagnie HACH utilise la spectrophotométrie pour obtenir les mesures des paramètres souhaités. Pour faire ces analyses, un protocole (SOP) est établi pour chaque paramètre à déterminer.

Avec cette technologie, on peut déterminer les paramètres tels que la DCOtotal, DCOsoluble, Ntotal, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> et K, entre autres. Les procédures pour effectuer ces tests sont décrites dans Wipliez & Plana (2014a), Wipliez & Plana (2014b), etc.

#### 2.5.4. Détermination de DCO totale, DCO soluble, DCO particulaire et MeS.

Une expérience particulière a été réalisée dans le but de vérifier l'influence des différents filtres utilisés pour déterminer la valeur de MeS et de la DCO soluble.

Pendant les expériences réalisées dans le pilote, pendant lesquelles on a déterminé la valeur de la DCO et MeS, le résultat anticipé concernant le rapport DCO particulaire sur MeS n'a pas été obtenu. La valeur anticipée est 1,4 mais la valeur obtenue était de 2.7. Cette différence peut être causée par le fait que le filtre utilisé pour l'analyse de MeS (porosité de 7 μm) est différente du filtre utilisé pour la filtration de la DCO soluble (porosité de 0,45 μm). Donc, dans la DCO particulaire, il se trouve plus de matière retenue sur le filtre avec des pores plus fins que dans l'analyse de MeS. Ces particules retenues en plus sont des colloïdes.

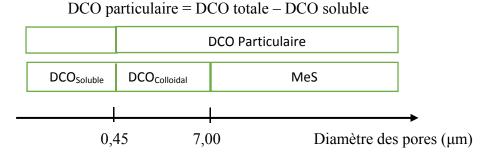


Figure 11. Fractionnement de la DCO et les particules



La procédure pour faire cette expérience a été la suivante :

- ❖ Prélever deux échantillons, le premier de l'eau brute (bassin tampon) et le deuxième à la sortie du décanteur primaire (affluent).
- **\*** Faire les analyses suivantes :
  - ➤ DCO totale pour chaque échantillon
  - Filtrer les échantillons avec le filtre de 7 μm (filtre pour MeS) et déterminer la valeur de MeS et MVeS. Faire une analyse de la DCO de l'eau filtrée pour déterminer la valeur de la somme de la DCO colloïdale et la DCO soluble.
  - Filtrer l'échantillon avec le filtre de 0,45 μm pour déterminer la valeur de la DCO soluble.

## 2.6. Les campagnes de mesure

## 2.6.1. La campagne d'échantillonnage de 24 h sur le projet pilEAUte en temps sec

Les objectifs de cette campagne ont été de connaître le comportement et d'évaluer les dynamiques à différents endroits clés de la station de traitement des eaux usées. Dans cette expérience, l'utilisation d'échantillonneurs automatiques n'était pas possible à cause du trop grand nombre de prélèvements à réaliser. Donc, trois groupes de deux étudiants ont été formés et chaque groupe a travaillé pendant 8 heures pour remplir les 24 heures de la campagne. Les échantillonnages ont été réalisés au niveau de l'affluent, des bassins biologiques, de l'effluent et de la circulation des boues (figure 12).

Comme la dynamique est plus prononcée à l'entrée de la station, la fréquence d'échantillonnage a été plus élevée (chaque 2 heures) que dans le pilote (4 heures). Le tableau 2 montre les points d'échantillonnages et les analyses de laboratoire qui ont été faites pour chaque échantillon.

21



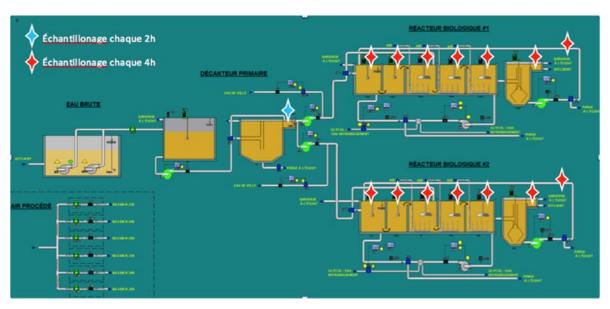


Figure 12. Points d'échantillonnages de la campagne de mesure de 24 heures

Pour une bonne compréhension du comportement de la station de traitement, il est important d'évaluer les concentrations des différents paramètres importants (MeS, MVeS, DCOtotal, DCOsoluble, TNtotal, TNsoluble, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, pH, Oxygène dissous).

	MeS (3)	MVeS (3)	DCO <sub>tot</sub> (3)	DCO <sub>sol</sub> (2)	TN <sub>tot</sub> (3)	TN <sub>sol</sub> (2)	NH <sub>4</sub> (2)	NO <sub>2</sub> (2)	NO <sub>3</sub> (2)	рН (1)	OD (1)
Affluent (2h)	X	X	X	X	X	X	X			X	
R210/310 (4h)							X	?	X	X	X
R220/320 (4h)	X	X					X	?	X	X	X
R230/330 (4h)							X	?	X	X	X
R240/340 (4h)							X	?	X	X	X
R250/350 (4h)							X	?	X	X	X
Effluent (4h)	X		X	X	X	X	X	?	X	X	
Retour des boues (4h)	X						X	?	X	X	

Tableau 2. Analyse de laboratoire par échantillon

Pendant cette campagne, on a étudié l'élimination de l'azote tout au long du processus ainsi que l'évolution du pH et de l'oxygène. Les résultats seront comparés aux mesures des capteurs des stations mon*EAU* et SCADA.



La mesure de l'oxygène dissous a été effectuée à l'aide d'une sonde à oxygène dissous. En pratique, ça a été difficile d'obtenir des bonnes valeurs car le temps de stabilisation a été très long et les variations importantes. De plus, pour pouvoir effectuer les mesures, il fallait sortir le capteur d'un bassin pour le remettre dans un autre. Il y a donc un passage dans l'air ce qui n'aide pas à stabiliser le capteur. De plus, le passage d'un bassin aérobie vers un bassin d'anoxie rallonge encore la durée de stabilisation.

Les paramètres du pilote et le copilote seront fixes (tableau 3).

Pilote Copilote 22,4 °C 16 °C **Température**  $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ Recirculation interna 0  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ Débit de l'affluent  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ Recirculation de boues  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ Débit d'air 200 l/min (dans les 2 premiers réacteurs aérés) 100 l/min (dans dernier réacteur aéré)

Tableau 3. Conditions du pilote et copilote

Les résultats de cette campagne seront abordés dans le chapitre suivant.

#### 2.6.2. Le test traceur

Ce test a été réalisé dans le but de localiser la ou les zones de chaque réacteur n'étant pas identiques, hypothèse utilisée pour expliquer la différence entre les temps de rétention hydraulique (TRH) des deux réacteurs biologiques. En fait, le réacteur 200 présente un TRH d'environ 30 % inférieur à l'associé au réacteur 300 (Plourde-Lescelleur, 2015).

La rhodamine WT a été utilisée pour réaliser cette expérience parce qu'elle présente quelques avantages par rapport aux traceurs mesurables par conductimétrie. La rhodamine est mesurée par fluorimétrie et son traçage est plus efficace car on n'a pas besoin d'appliquer une grande quantité de traceur au réacteur.

La méthodologie utilisée est bien expliquée dans le document « Protocole d'essai de traçage» (Plourde-Lescelleur, 2015). Les échantillonnages ont été réalisés dans chacune des 5 zones



(cuves) des réacteurs, à l'effluent du décanteur secondaire ainsi que sur la ligne de recirculation des boues du décanteur secondaire vers la première cuve (figure 13).

Il est important de préciser que lors de cette campagne le débit d'alimentation était de 0,5 m³/h, le débit de retour interne était de 1,5 m³/h et le débit de retour des boues de 0,5 m³/h. Le débit d'air a été fixé à 200 L/min et l'oxygène dissous qui a été mesuré dans les réacteurs 240 et 340 était de 2 mg/L.

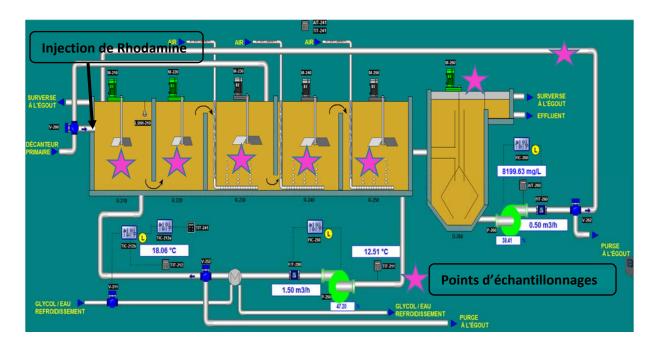


Figure 13. Ponts d'échantillonnages du test traceur

La quantité de Rhodamine WT qui a été diluée dans 1 litre d'eau était de 25 grammes et la fréquence d'échantillonnage a été la suivante :

Pendant les deux premières heures, toutes les 15 minutes à l'exception du premier réacteur, dans lequel un échantillon a été prélevé tous les 5 minutes pendant les premières 15 minutes.

Pendant les quatre heures suivantes, toutes les 30 minutes. Après, toutes les heures pour les 6 heures suivantes et chaque deux heures pour les 24 heures suivantes.

La journée suivante, trois échantillons ont été prélevés, le premier dans le matin, le deuxième pendant l'après-midi et le dernier dans la soirée. Finalement, le dernier échantillon a été prélevé le matin de la 3ième journée.



Une courbe de calibration du fluorimètre doit préalablement être construite en utilisant l'effluent du pilote pour diluer la série de concentrations. Les analysés doivent être effectuées le plus rapidement possible après leur prélèvement.

Le fluorimètre utilisé appartient à la série Éclipse commercialisé par l'entreprise Varian. Le principe est le suivant : un rayon émis à la longueur d'onde d'excitation des molécules de Rhodamine WT (environ 530 nm) va faire passer ces molécules à un état supérieur. En retournant à leur état fondamental, ces mêmes molécules émettent de la fluorescence à une longueur d'onde dite d'émission spécifique (environ 555 nm). Cette émission va être recueillie sur une plage de longueur d'onde par un photo-détecteur à gain réglable (Poli, 2011).

Ce test a été réalisé avec la collaboration de la compagnie Veolia.

#### 2.6.3. Campagne sur la charge de l'affluent

Cette campagne a été réalisée dans le but de trouver la cause pour laquelle la concentration de MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) est plus basse qu'anticipée selon la charge appliquée. La purge du pilote et copilote a été arrêtée le 29 octobre 2015 dans le but d'augmenter la concentration de MLSS mais après deux semaines il reste trop bas (1.7 g/l).

Dans cette expérience, des échantillons de l'affluent décanté ont été prélevés 3 fois par jour pendant 5 jours avec l'aide de l'échantillonneur automatique. Les échantillons sont des composites de 8 heures.

Pour déterminer la charge de l'affluent, on a mesuré le MeS, MVeS, Ntot et COD. Les résultats de cette campagne sont présentés dans le chapitre 3 de cet essai.

Pour connaître la raison pour laquelle la concentration de MLSS est trop basse dans les réacteurs, on a aussi mesuré le volume et la concentration des boues qui sont enlevés avec les flottants lorsqu'on nettoie les décanteurs secondaires. Ces résultats sont présentés dans la section 3.2.4 avec les résultats de la campagne de mesure pour déterminer la charge de l'affluent.



#### 2.6.4. Évolution du pH, NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub> dans le temps

Le but de ce test a été de voir l'évolution de la concentration des paramètres pH, NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub> dans le temps dans un échantillon non filtré afin de voir à quelle vitesse ces paramètres varient. Pour cela, des échantillons ont été pris dans le 1er et dans le 3eme réacteur du copilote (figure 14).

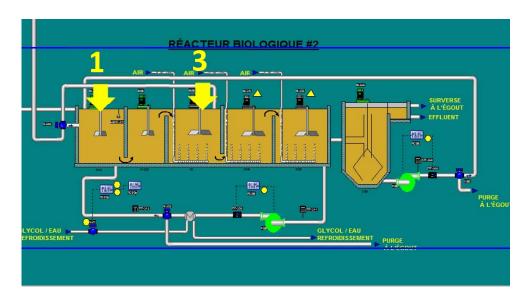


Figure 14. Points d''échantillonnage.

Chaque échantillon était de 3 L et l'analyse pour déterminer le pH et la filtration a été faite selon les délais donnés au tableau 4. La filtration était faite avec la seringue.

Pour le réacteur 1, une analyse (duplicata) de nitrate et de pH est faite et la figure 15 montre les variations anticipées. Ce réacteur est anoxique (DO = 0), donc la valeur d'ammonium est supposée constante dans le temps.

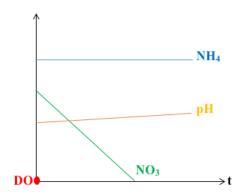


Figure 15. Comportement du NH4, pH, NO3 dans un réacteur anoxique



Pour le 3eme réacteur (aérobie), des analyses (duplicata) d'ammonium, de nitrate et de pH sont faites et la figure 16 montre les variations anticipées.

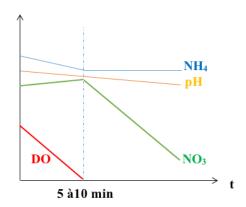


Figure 16.Comportement du NH4, pH, NO3 dans un réacteur aérobie

Tableau 4. Délais entre les tests

Réacteur 1	Réacteur 3
Heure	Heure
10 h	10 h
10 h 10	10 h 10
10 h 20	10 h 20
10 h 30	10 h 30
10 h 45	10 h 40
11 h	10 h 50
11 h 30	11 h
12 h	11 h 30
12 h 30	12 h
13 h	12 h 30
13 h 30	13 h
14 h	13 h 30
	14 h
12 échantillons	13 échantillons



## **Chapitre 3**

## 3.1. Entretien, validation et calibration des capteurs

Comme il a été expliqué dans le chapitre précédent, les stations de mesure exigent l'entretien, la validation et la calibration périodiquement. La supervision de l'opération des stations est essentielle pour assurer la qualité et la fiabilité des mesures.

Pour éviter des problèmes de qualité et fiabilité des mesures, un protocole pour le nettoyage, la validation et la calibration a été établie dans le groupe de travail. La fréquence à laquelle les activités doivent être réalisées dépend principalement du type d'application.

#### 3.1.1. Protocole d'entretien, validation et calibration

Puisque l'eau est fortement polluée, un calendrier d'entretien strict est nécessaire pour recueillir des données de bonne qualité. L'expérience a montré que ce programme d'entretien n'est pas celui proposé par les fabricants dans le manuel d'utilisation des capteurs.

Dans cet essai, deux calendriers différents ont été proposés: l'un pour l'affluent qui est lourdement pollué (tableau 5) et un autre pour les bassins biologiques et l'effluent plus propre (tableau 6).

Tableau 5.Calendrier de nettoyage, validation et calibration pour des capteurs installés dans l'affluent

Capteur	Nettoyage	Validation	Calibration
ammolyser	2 fois par semaine	2 fois par mois	Mensuel
spectrolyser	2 fois par semaine	2 fois par mois	Mensuel
Varion R100	2 fois par semaine	2 fois par mois	Mensuel
conductimètre	Hebdomadaire	Hebdomadaire	Mensuel



Tableau 6.Calendrier de nettoyage,	validation et calibration pour les capteurs
installés dans les	bioréacteurs et l'effluent

Capteur	Nettoyage	Validation	Calibration
Varion R200 et R300	Hebdomadaire	Mensuel	Mensuel
Turbidimètre	Hebdomadaire	Mensuel	Inapplicable
Solitax	Hebdomadaire	Mensuel	Mensuel
DO	Hebdomadaire	Bimestriel	Semestriel

Le travail dans l'usine de traitement a été de nettoyer, valider et calibrer les capteurs des stations monEAU et SCADA. D'abord, il fallait faire le nettoyage de tous les capteurs une fois par semaine mais après avoir observé les graphiques (figure 17) des données des différents capteurs, un nouveau protocole d'entretien a été déterminé (tableau 5 et 6). Dans cet exemple, pour l'ammolyser, le nettoyage se faisait 2 fois par semaine (figure 18).

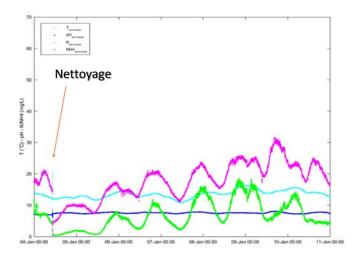


Figure 17. Nettoyage de l'ammolyser une fois par semaine

Pour faire la validation et la calibration, des échantillons sont prélevés de l'affluent, des effluents du pilote et copilote, du bassin biologique R220 et R320, ainsi que du retour des boues du pilote et copilote. Au moment du prélèvement, les données fournies par les capteurs sont notées. Puis, les analyses des échantillons sont faites au laboratoire. Enfin, une comparaison est faite entre les données des capteurs et celles obtenues au laboratoire. C'est



ainsi que la validation des capteurs est réalisée. En fonction des résultats obtenus, différents capteurs étaient calibrés si nécessaire dans le but de minimiser les erreurs.

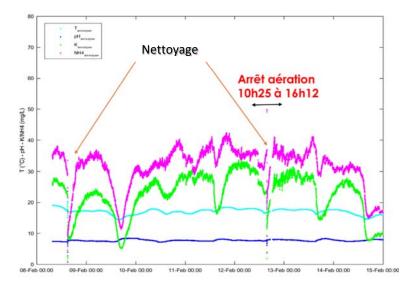


Figure 18. Nettoyage de l'ammolyser deux fois par semaine

Pendant le travail au pilote, la calibration des capteurs Varion (R100, R200 et R300) n'a pas pu être réalisée à cause du mauvais fonctionnement des électrodes et la nécessité de les remplacer. La vie utile de ces électrodes est 15 à 20 mois selon la compagnie qui les distribue et dans le pilote, ils ont été en service, depuis environ 17 mois.

Les turbidimètres ont seulement été validés parce qu'il est impossible de les calibrer parce que la fonction de calibration n'est pas disponible dans le programme IQ Sensor Net. La validation est faite à l'aide des solutions standard de 200 NTU et 800 NTU.

Les autres capteurs (spectrolyser, ammolyser, conductimètre et les Solitax) ont été validés et calibrés tel que décrit ci-dessus.

## 3.2. Résultats des analyses de laboratoire

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

Cette expérience a été réalisée à plusieurs reprises. La première fois, le 2 juin 2015 des dilutions de 2, 4 et 8 fois ont été appliquées. Le prélèvement s'est effectué au niveau de la



**Dilution 8 fois** 

recirculation des boues du pilote et du copilote. Avant les dilutions, l'échantillon avait été concentré quatre fois en laissant décanter et verser le surnageant. Les résultats sont présents dans le tableau 7.

Selon Dick et Vesilind (1969), le problème le plus important avec le SVI est sa dépendance de la concentration des boues. En particulier, à des concentrations plus élevées, les valeurs de SVI mesurées peuvent différer de façon significative entre tests faits avec différentes concentrations de boues.

Pilote Copilote **Dilution** MeS (mg/l) SV (ml/l) SVI (mg/l) SV (ml/l) SVI (mg/l) MeS (mg/l) 5438 805 4335 680 Sans dilution 148 157 200 **Dilution 2 fois** 2353 85 2213 200 90 **Dilution 4 fois** 1138 105 92 1084 90 83

170

520

40

77

96

566

Tableau 7. Résultats de l'analyse de la SVI (2 juin 2015)

Le meilleur résultat dans cette expérience est ce qui correspond à la dilution par deux fois. Le résultat pour le pilote à la dilution 8 fois, est rejeté parce que cette valeur de SVI ne peut pas être plus grande que pour la dilution 4 fois. Le problème avec cette mesure est probablement dû à la détermination de SV. Cette valeur (96 ml/l) devrait être plus petite si l'on tient compte du fait que la valeur de MeS a diminuée de la moitié.

De plus, l'expérience a permis d'obtenir les courbes de décantation du pilote et du copilote (figure 19). Entre 0 et 5 minutes pour les dilutions par 4 et par 8, il n'y a pas de données parce 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 copilote sont semblables.

Les courbes de décantation du pilote et du copilote sans dilution descendent lentement et de façon constante, tandis que les courbes de décantation pour les dilutions par 2, 4 et 8 fois decendent rapidement dans les premieres 5 minutes et lentement aprés.



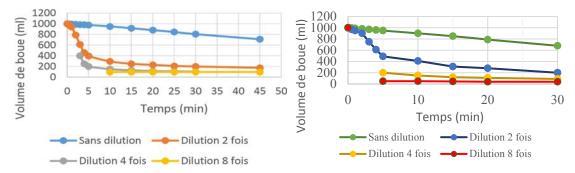


Figure 19. Courbes de décantation du pilote et du copilote

Le test SVI a été realisé plusieurs fois dans le but d'obtenir une idée de l'évolution de la décantabilité des boues activées dans l'usine. Les résultats des autres tests SVI qui ont été faits, sont montrés dans le tableau 8.

Pilote			Copilote				
Date	Réacteur	MeS (mg/l)	SV (ml/l)	SVI (mg/l)	MeS (mg/l)	SV (ml/l)	SVI (mg/l)
14-sept-15	4	895	120	134.11	640.64	70	109.27
7-dec-15	5				3096.07	805	260.01
14-janv-16	5	2359	440	186.49	4372.58	890	203.54
28-janv-16	5	3233	520	160.84	5042.33	930	184.44
4-fev-16	5	3463	760	219.44	2763.94	660	238.79
23-mars-16	5	3357	440	131.05	4061.65	740	182.19

Tableau 8. Résultats de l'analyse de la SVI.

Lorsqu'on analyse les résultats, on peut voir que l'indice de boues est élevé ce qui indique qu'il y a un problème de décantation dans le système. Mais, en vue des SV élevés, pour corroborer cette information, il faut déterminer l'indice de volume des boues dilué (DSVI).

Le problème de la lente décantation dans le pilote et le copilote peut avoir plusieurs causes, tels que:

- Les boues contiennent trop de micro-organismes filamenteux.
- La formation d'acides gras volatils (AGV) dans le bassin tapon à cause des conditions anaérobies (volume et HRT trop grand) peut engendrer que l'eau devienne septique.



Ce problème peut être résolu en diminuant le volume du bassin tampon. Un avantage additionnel est que l'affluent va mieux montrer la dynamique journalière.

• L'arrêt de la purge a augmenté l'âge des boues (SRT) et changé la composition des micro-organismes.

Un problème causé par la lente décantation est la formation d'un lit de boue très élevé dans le décanteur.

#### 3.2.2. Campagne d'échantillonnage de 24 heures

Cette campagne a été réalisée le 2 juillet 2015 de 10 h à 10h du 3 juillet. Avec cette campagne, on voulait étudier l'élimination de l'azote, l'évolution du pH et de l'oxygène au long du système de traitement. Les mesures du laboratoire ont été comparées aux mesures des différents capteurs de la station mon*EAU* et de la station SCADA.

Comme il a été expliqué dans le chapitre précédent, on a pris des échantillons dans différentes parties de l'usine (l'affluent, les bassins biologiques, l'effluent et la recirculation des boues). Les résultats des analyses ont été les suivantes :

**3.2.2.1. Affluent**: Dans la figure 20, on peut constater que les concentrations de MeS et MVeS sont très proches et constantes pendant les 24 heures. On peut classifier l'eau comme une eau usée très organique parce que le rapport entre ces deux concentrations est 0.94 et normalement, il varie entre 0,70 et 0,90 (Ekama et Wentzel , 2004).

Les concentrations de la DCO totale et de la DCO soluble sont plus faibles pendant les premières heures mais après elles sont presque constantes. La cause des concentrations faibles peut être la pluie de la veille. Pour obtenir une bonne élimination de l'azote, le rapport entre la DCO totale et la concentration d'azote ammoniacal doit être entre 5 et 10. Dans cette expérience, ce rapport est d'environ 8,03, ce qui est très bon et explique la bonne performance du pilote en termes d'élimination d'azote.

Les mesures des concentrations d'azote total et d'azote soluble ne paraissent pas correctes parce que la valeur de l'azote total ne peut pas être plus faible que la valeur de l'azote soluble. De plus en sachant que l'azote total est la somme de l'azote organique et de l'azote



ammoniacal, l'azote total doit toujours être au-dessus de la valeur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Donc, on va rejeter ces mesures.

Le pH de l'affluent varie entre 7.3 et 8. On peut donc conclure que l'eau est basique.

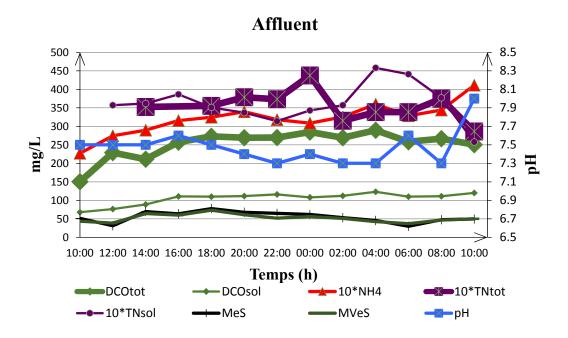


Figure 20. Résultats des mesures du laboratoire de l'affluent

**3.2.2.2.** Bassins biologiques et le retour des boues: Pour étudier ces résultats, des graphiques de l'évolution de chaque paramètre au long des bassins biologiques ont été préparés.

D'abord, on va étudier la variation de la concentration de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) tout au long du traitement secondaire qui est composée du bassin biologique et du décanteur secondaire.

Dans les deux bassins anoxiques du pilote et copilote, la concentration de l'ammoniac est presque constante, ce qui est normal parce que la nitrification ne se fait pas en raison d'un manque d'oxygène. Puis, dans les bassins aérobies du pilote, il y a une diminution de l'ammonium, qui est causée par les bactéries autotrophes lesquelles réalisent la nitrification, lorsqu'il y a présence d'air.



Dans le copilote, il n'y a pas d'impact lors du passage du dernier réacteur anoxique au réacteur aérobie. La diminution de l'ammonium (nitrification) se fait seulement dans le deuxième et troisième réacteur aérobie.

Dans le pilote, la recirculation interne était arrêtée donc il n'y a pas de nitrates qui sont renvoyés à l'entrée des bassins biologiques par cette voie. Mais, il y a toujours apport de nitrates avec la recirculation des boues qui permet une certaine dénitrification. Après, dans les trois bassins aérobies, les concentrations des nitrates augmentent de façon proportionnelle à la décroissance de la concentration de l'azote ammoniacal. Comme expliquée au-dessus, la nitrification est réalisée au sein des trois bassins aérés. Il y a donc une production de nitrates au sein de ses bassins. On retrouve la corrélation entre l'élimination de l'azote ammoniacal et la production de nitrates en regardant la figure 21.

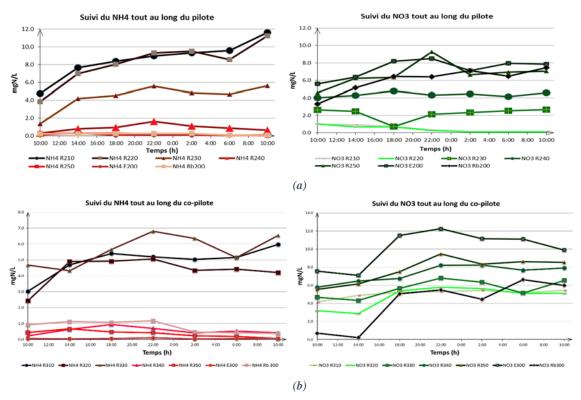


Figure 21. Mesure de NH4 et NO3 le long du pilote (a) et copilote (b)

Pour le copilote, il n'y a pas une bonne dénitrification dans la zone anoxique et la concentration dans le dernier réacteur anoxique (R320) est de 5 mg/l. Cette concentration devrait atteindre 1 mg/l. Pour une bonne dénitrification, il faut qu'il y ait de la DCO et une



absence totale d'oxygène. La recirculation dans le copilote était à 1,5 m³/h et l'oxygène dissous à 3 mgO<sub>2</sub>/l, ce qui fait qu'il y a un flux d'oxygène de 4,5 gO<sub>2</sub>/h au niveau du premier bassin anoxique.

En principe, la concentration de nitrates doit être la même entre le dernier bassin aérobie et la sortie du décanteur secondaire puisque les nitrates sont habituellement solubles et les réactions biologiques dans le décanteur sont minimes. Dans notre cas, la concentration de nitrates dans le dernier bassin aérobie est inférieure à la concentration dans la sortie du décanteur primaire. Cette différence est plus évidente dans le copilote et peut être causé par le fait que certains échantillons ont eu une durée d'entreposage trop importante (plus de 4 heures). Dans ces conditions, les bactéries ont consommé l'oxygène de l'échantillon, ce qui a permis de réaliser un début de dénitrification au sein de l'échantillon. Donc, la vraie concentration en NO<sub>3</sub> du dernier bassin aéré est probablement celle de l'effluent (sortie du décanteur secondaire). Ce problème sera étudié en détail dans la section 3.2.5.

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

Dans la figure 22 on peut voir le comportement du pH au long du pilote et copilote. L'évolution du pH est le même dans les deux bassins anoxiques parce que la dénitrification n'apporte pas d'acidification du milieu. Dans les bassins aérobies, le pH chute à cause de la production d'ions hydrogènes lors de la nitrification.

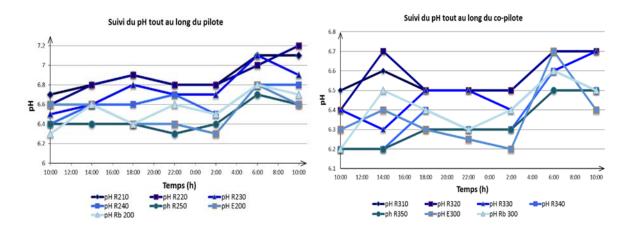


Figure 22. Mesures du pH le long du pilote et copilote



La valeur du pH est plus faible à l'entrée du copilote par rapport à celui du pilote à cause de la recirculation interne, laquelle apporte de l'eau plus acide provenant du dernier réacteur aéré qui était plus acide.

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

La figure 23 montre la concentration en oxygène dissous dans le pilote et le copilote. On peut voir que les deux bassins anoxiques du pilote et copilote ne sont pas contaminés par l'oxygène libre (même s'il y a apport de l'oxygène par les recirculations, elle est consommée subitement). Dans les bassins aérobies du pilote et copilote, le débit est semblable.

La concentration en oxygène du troisième bassin est plus haute à cause de la charge à oxyder qui est plus faible dans ce bassin et qu'il y aura donc moins de consommation d'oxygène.

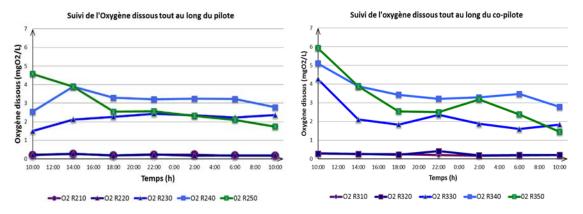


Figure 23. Mesures de l'oxygène dissous au long du pilote et copilote

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

Le rapport MVeS sur MeS est de 0.81 pour le pilote et de 0.77 pour le copilote, ce qui confère un caractère fortement organique. La mesure de MES a été réalisée dans les bassins R220 et R320 parce que c'est à cet endroit que se situe la sonde solitax. Ainsi les valeurs peuvent être comparées. Il n'y a pas d'évolution de la concentration en MeS au sein des différents bassins biologiques.



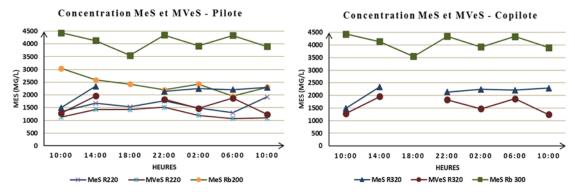


Figure 24. Mesures des concentrations en MeS - MVeS au niveau du 2ième bassin et du retour des boues

#### **3.2.2.6.** Effluent

Les résultats des analyses dans l'effluent sont présentés dans la figure 24. On peut voir qu'ils sont très semblables pour le pilote et le copilote. Pendant les analyses, on a trouvé un problème avec la valeur de la DCO lorsqu'elle est en dessous de 5 mg/l. Donc, si la valeur de la DCO est inférieure à 5 mg/l, les résultats des expériences ne sont pas fiables.

La concentration de l'azote total est plus faible que l'azote soluble, ce qui est impossible et indique un problème d'analyse. Ce problème peut être causé par le fait que les échantillons ont eu une durée d'entreposage importante (4 heures et plus).

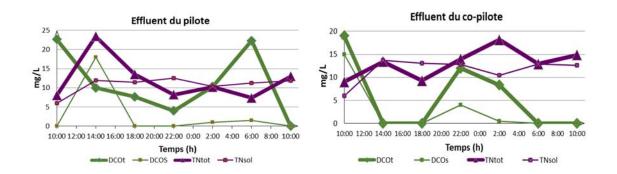


Figure 25. Mesures au niveau de l'effluent pilote et copilote

Lorsqu'on fait la comparaison des données du laboratoire des MeS avec les mesures des sondes Solitax R220 et R320, on peut conclure que les résultats sont similaires (Figure 26). Pour les Solitax localisées dans le retour des boues, on ne peut pas faire la comparaison parce que l'installation de ces sondes doit être revue.



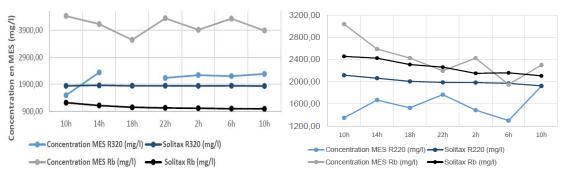


Figure 26. Comparaison des données en laboratoire avec les sondes Solitax du pilote et copilote

Pour les capteurs varion R200 et R300, on peut conclure qu'on doit améliorer la validation et la calibration, surtout pour les nitrates parce que l'erreur est plus grande que pour l'azote ammoniacal.

#### 3.2.3. Le test traceur

L'objectif de ce test était de vérifier si le TRH (temps de rétention hydraulique) des deux réacteurs était le même. La rhodamine a été utilisée comme traceur mesuré dans chaque réacteur. La quantité ajoutée était de 25 g/l.

Pendant l'échantillonnage, les deux flux de recirculation interne ont été fixés à 1,50 m<sup>3</sup>/h et la recirculation des boues à 0,5 m<sup>3</sup>/h.

Les résultats de ce test ne seront pas présentés dans cet essai parce qu'ils ont été calculés par Yumeng Zhao et Sylvie Leduc.

## 3.2.4. Campagne sur la charge de l'affluent

Cette campagne a été réalisée entre le 29 novembre et le 4 décembre. Avec cette campagne, on voulait déterminer la charge réelle de l'affluent et connaître la raison pour laquelle la concentration de MLSS est trop basse dans les réacteurs.



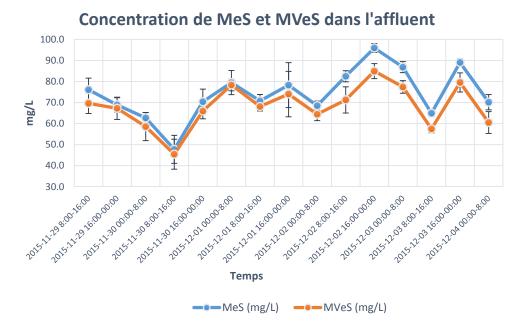


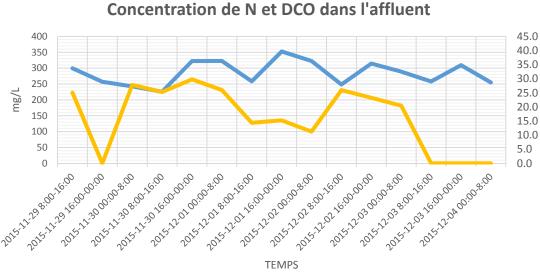
Figure 27. Concentration de MeS et MVeS dans l'affluent

Dans la figure 27, on peut constater que les concentrations de MeS et MVeS sont très proches pendant les 5 jours de la campagne. Donc, on peut classifier l'eau comme une eau usée très organique parce que le rapport entre ces deux concentrations est de 0,91, ce qui confirme les résultats de la section 3.2.2.1.

La DCO suit les valeurs de MeS (figure 27). La concentration de la DCO totale augmente à partir de 16 heures toutes les journées jusqu'à minuit. Cette concentration varie entre 230 et 350 mg/L, ce qui est dans l'ordre de grandeur prévu pour l'eau usée. Pour l'azote total, on a obtenu une valeur d'environ 25 mg/L (figure 28). Donc, on peut conclure qu'il y a assez de matière organique pour la dénitrification et il serait probablement possible de faire le traitement biologique des phosphates.

Lorsqu'on fait la comparaison de ces valeurs avec les valeurs déterminées dans la campagne 24 heures, on peut conclure que le rapport entre les MeS et MVeS est très similaire (0,94 pour la campagne 24 heures et 0.91 pour cette campagne). Les concentrations en DCO total et Ntotal qui ont été déterminées dans la campagne 24 heures sont 252 mgO<sub>2</sub>/L et 36 mgN/L respectivement. Ces valeurs sont similaires aux valeurs déterminées dans cette nouvelle campagne de mesure. Donc, on peut conclure que la charge de l'affluent est assez stable.





#### 25.0 20.0 15.0 10.0 5.0 0.0

Figure 28. Concentration en N et DCO dans l'affluent

----Ntotal (mg/L)

DCOt (mg/L)

Les résultats du volume et la concentration des boues qu'ont été enlevés avec les flottants lorsqu'on nettoie les décanteurs secondaires sont présentés dans le tableau 9. Sur la base de ces résultats, on peut déterminer que la masse reste constante donc la purge n'a pas d'incidence sur les MeS.

Tableau 9. Résultats de la mesuré du volume et la concentration des boues dans les flottants des décanteurs secondaires.

Date	Lieu d'échantillonnage	Volume purgée (L)	MeS (g/L)	Masse purgée (kg)	Âge e boue (jours)
10-12-2015	Décanteur D200	85	13,67	1,16	92
17-12-2015		80	37,67	3,01	35
01-12-2015	Décanteur D300	80	42,14	3,37	32
17-12-2015	2 Samuelle Baro	30	26,17	0,79	138



En résumé, la purge avec l'enlèvement des flottants n'est pas assez pour expliques que la concentration des boues augmente pas beaucoup. Dans la campagne de mesures sur l'affluent on a vu que l'affluent n'a pas beaucoup de matière inorganique. Ça peut expliquer la basse concentration de MLSS dans les réacteurs.

## 3.2.5. Évolution du pH, NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub> dans le temps

Cette expérience a été réalisée avec le but d'étudier l'évolution dans le temps de la concentration des paramètres pH, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans un échantillon non filtré afin de voir à quelle vitesse ces paramètres varient.

Pendant la réalisation de cette expérience, les délais de temps entre les tests ont dû être changés comparé avec ce qui était prévu parce que la filtration avec la seringue et la mesure du pH ont pris plus longtemps que prévues. Les nouveaux délais de temps ont été les suivants :

Tableau 10. Temps d'échantillonnage

Réacteur 1	Réacteur 3
Heure	Heure
10 h 40	10 h 40
10 h 55	10 h 55
11 h 10	11 h 10
11 h 25	11 h 25
11 h 45	11 h 40
12 h 05	11 h 55
12 h 30	12 h 10
13 h	12 h 30
13 h 30	13 h
14 h	13 h 30
14 h 30	14 h
15 h	14 h 30
	15 h
12 échantillons	13 échantillons



Pour chaque échantillon, environ 10 ml d'eau ont été filtrés. Ceci représente la quantité nécessaire pour effectuer les tests afin de déterminer le NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub>. Cette quantité a été déterminée étant donné que le volume d'échantillon nécessaire pour faire le test de NH<sub>4</sub> dans la gamme «haute» (2 à 47 mg/l NH<sub>3</sub>-N) et NO<sub>3</sub> dans la gamme «low» (0.23 à 13.50 mg/l NO<sub>3</sub>-N).

À la fin, il a été nécessaire d'utiliser la gamme «ultra basse » pour déterminer la concentration de NH4 (0.015 à 2.000 mg/l). Malheureusement, ça a empêché de faire de duplicata pour l'analyse du NH4. Le changement de gamme a été causé par le fait que la concentration de NH4 dans le réacteur aérobie (330) était seulement entre 0.94 et 2.02 mg/l NH3-N.

Pour faire la mesure du pH, la température de chaque échantillon a été mesurée dans le but de configurer la valeur réelle de température dans l'appareil et obtenir ainsi une valeur du pH compensée. Cela devait être fait parce que la mesure du pH est fonction de la température.

Dans le bassin 310, on a trouvé que la concentration de nitrates était inférieure à 0,23 mg/L NO<sub>3</sub>-N, donc tout était dénitrifié. La concentration du NH<sub>4</sub> ne devait pas être mesurée mais la décision a été prise de la mesurer pour deux des échantillons. Dans la figure 29, les résultats sont présentés pour le pH et le NH<sub>4</sub> pour le bassin anoxique.

Les résultats pour le bassin aérobie sont présentés dans la figure 30 (NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> et pH).

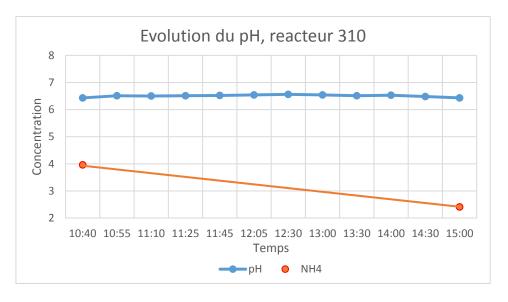


Figure 29. Évolution du pH et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans le bassin anoxique



Le pH est constant dans le bassin anoxique et dans le bassin aérobie. La concentration du NH<sub>4</sub> diminue avec le temps, plus rapidement dans le réacteur 310 que dans le 330 et la concentration du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> est nulle dans le réacteur 310. Donc, tout était dénitrifié.

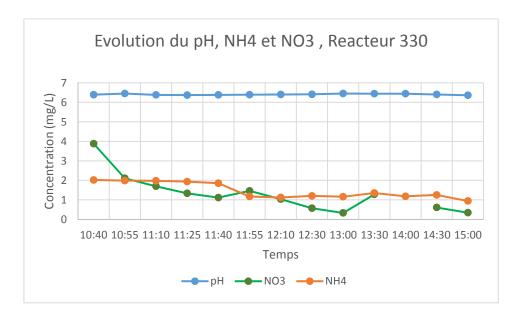


Figure 30. Évolution du pH, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans un réacteur aérobie



# **Chapitre 4**

#### **Conclusions**

Cet essai porte sur le système de traitement des eaux usées et l'utilisation des stations de mesure automatique dans celui-ci afin de comprendre et améliorer le fonctionnement des usines de traitement des eaux usées dont le but est d'éliminer l'azote grâce à la nitrification et dénitrification.

Pendant cette année, différentes expériences ont été faites telles que la campagne de mesure de 24 heures, la campagne pour déterminer la charge de l'affluent, le test d'évolution du pH, de l'ammonium et du nitrate, le test traceur, entre autres. Pour chacune de ces expériences, on a fait un protocole très organisé dans le but d'obtenir des résultats fiables.

Actuellement, la station de traitement élimine l'azote des eaux usées puisque la nitrification et la dénitrification sont bien réalisées. Ceci a été démontré par les différentes mesures qu'on a faites dans lesquelles on a déterminé la concentration de l'azote à l'entrée et à la sortie du pilote. Par exemple, dans la campagne de 24 heures, on a déterminé qu'il y a une élimination d'environ 80 % de l'azote ammoniacal dans les deux premiers bassins aérobies du pilote grâce à la nitrification. Dans le dernier bassin aéré, il y a l'élimination du reste de l'ammoniac jusqu'à atteindre une concentration pratiquement nulle en sortie du bassin biologique. Donc, la nitrification et la dénitrification fonctionnent correctement au sein du pilote.

La campagne de mesure de 24 heures a représenté un grand travail d'équipe. C'était la première fois que le groupe de recherche réalisait une campagne aussi importante. Dans le but de ne pas se laisser déborder par la quantité des analyses à réaliser, le protocole a été très rigoureux et organisé. Des problèmes ont été rencontrés pendant la campagne, par exemple le passage entre les équipes doit être rapide mais complet parce que l'équipe qui reprend les analyses doit être au courant de tout pour ne pas perdre de données.



Un autre problème pendant cette campagne a été le temps d'attente pour mesurer le pH, le NH4 et NO3. Donc, des réactions ont eu le temps de se produire entre l'échantillonnage et les mesures. Pour vérifier la fiabilité de ces mesures, on a organisé le test d'évolution dans le temps de ces trois paramètres de l'eau. Dans le test d'évolution dans le temps du pH, NH4 et NO3, je n'ai pu déterminer que la variation de la mesure du pH. Celle-ci est minimale pour les deux bassins (anoxique et aérobie). Les concentrations de NH4 et NO3 diminuent dans les deux bassins. Ce test doit être effectué à nouveau puisque pour mesurer le NH4, il n'a pas été possible de faire deux répliques. Donc, la mesure n'est pas fiable. Ainsi, la concentration de NO3 déterminée pour le bassin anoxique est trop basse et on peut donc conclure que tout était dénitrifié.

Les stations de mesure (monEAU et SCADA) ont été étudiées aussi. Ce sont des outils très importants pour connaître la performance de la station de traitement des eaux usées. Bien sûr, pour obtenir des données fiables, l'entretien et les réglages des capteurs sont importants. Pour ça, un nouveau protocole de nettoyage, validation et calibration a été organisé avec le but de faire que les capteurs fonctionnent correctement. Ce protocole a été modifié en tenant compte de l'analyse des données périodiquement menée par le groupe de travail.

Le projet «pil*EAU*te» est un projet très jeune, dans lequel différentes problématiques sont présentes telles que les réglages du pilote, les problèmes avec les capteurs et des problèmes divers. La résolution des problèmes a permis d'améliorer mes connaissances sur le fonctionnement de la station. On a aussi détecté la restriction de certains dispositifs d'analyses, par exemple la sonde de pH de laboratoire et le nombre de places pour le chauffage des tubes d'azote total pour la campagne de 24 heures.

Cet essai est un premier pas dans ce grand projet. Avec cet essai, j'ai pu corroborer le fait que la station de traitement fait l'élimination de l'azote et pourra probablement faire l'élimination phosphore.



# **Bibliographie**

- Association suisse des professionnels de la protection des eaux. (s.d.). VSA. Récupéré sur https://www.vsa.ch/fr/glossar/fr/terms/main/912/
- Aubry, G. (2003). Enlèvement de l'azote des eaux usées par un procédé à culture fixée immergée. *Maître ès sciences*. Université Laval, Québec, Canada.
- Blanchard, B., Desjardins, R., Brière, F., & Y., B. (1990). Approche pour l'identification des causes de la mauvaise décantation des solides biologiques. *Revue des sciences de l'eau*, 241 260.
- Boudreau, V., & Alferes, J. (2011). Cleaning of the monEAU station sensors. *Standart Operating Procedure, SOP-051*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- CCE, L. C. (1991, mai 21). Directive 91/271/CEE du Conseil, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Bruxelles. Récupéré sur http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:31991L0271
- Chabas, C. (2015). Suivi et modélisation du traitement d'eau usée sur un pilote de boues activées afin d'éliminer l'azote. *Rapport de stage Pratique de l'ingénierie*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Cyclus ID. (2016, 03 03). Moron de la Frontera, Sevilla, Espana. Récupéré sur Cyclus ID: http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/parametros-aguas-residuales/
- Déliens, F., & Maruéjouls, T. (2013). Mise en service et entretien de la sonde de turbidité. Standard Operating Procedure SOP-046. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Ekama et Wentzel . (2004). Modelling inorganic material in activated sludge systems. *South African Water Research Commission*.
- Graeling, M. (2015). Suivi d'un pilote de traitement des equx usées: échantillonnage, analyse des échantillons, entretien des capteurs et analyse des données. *Rapport de stage pratique de l'ingénierie*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- MDDELCC, M. d. (2016). Règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées. Québec, QC, Canada.
- Metcalf et Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: treatment and Reuse*. Boston, MA, USA: McGraw-Hill.
- Plana, Q. (2015). Automated data collection and management at enhanced lagoons for wastewater treatment. *Mémoire Maîtrise en génie des eaux*. Québec: Université Laval.



- Plana, Q., & Alferes, J. (2013a). Cleaning and calibration of the Ammo::lyser Sensor. Standard Operating Procedure SOP-050. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Plana, Q., & Alferes, J. (2013b). Cleaning and calibration of the Conductivity Sensor. Standard Operating Procedure SOP-049. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Plana, Q., & Alferes, J. (2013c). Cleaning and calibration of the LDO Sensor (Hach). Standart Operating Procedure SOP-047. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Plana, Q., & Alferes, J. (2013d). Spectro::lyser: sampling and calibration. *Standard Operating Procedure SOP-048*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université laval.
- Plourde-Lescelleur, F. (2015). Protocole d'essai de tracage. Montreal, Qc, Canada: Veolia.
- Poli, A. (2011). Modèle dynamique pour un décanteur primaire. *Rapport*. Québec, Qc, Canada: Université Laval.
- Pujadas. (2010). Détermination des solides en suspension totaux et volatils. *Standard operating procedure (SOP 005) \_ TSS*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Pujadas, M., & Saing, S. (2015). Méthodes analytiques SVI (Indice de Molhman). *Standard Operating Procedure SOP-019*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Saing, S. (2015). Entretien des équipements pilEAUte. *Standard Operating Procedure, SOP-002*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Wipliez, B., & Plana, Q. (2014a). Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO): méthode par colorimétrie HACH. *Standard Operating Procedure SOP-020*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Wipliez, B., & Plana, Q. (2014b). Détermination de la teneur en azote ammoniacal (NH3-N): méthode de Nessler. *Standard Operating Procedure SOP-013*. Québec, Qc, Canada: modelEAU, Université Laval.
- Yahiatene et Tahirim. (2010). Réflexion sur la caractérisation physico-chimique des effluents liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran. *Memoire de fin d'étude*.