



**Université Laval**  
Pavillon Adrien Pouliot  
Dép. Génie Civil et Génie des Eaux  
1065 , Avenue de la Médecine  
G1V 0A6 Québec , Canada

**I.U.T de MARSEILLE**  
Dép. Génie Chimique Génie des Procédés  
142 Traverse Charles Susini  
13013 Marseille , France

# RAPPORT DE STAGE

*Stage réalisé du 21/02/2011 au 29/04/2011*

Pour obtenir le diplôme de

**D.U.T en Génie Chimique Génie des Procédés**

présentée et soutenue publiquement par

**Marion MUSELLI**

**Optimisation d'un décanteur primaire  
Mise en place d'un protocole pour mesurer la teneur en  
hydrates de carbone dans les eaux usées et dans la biomasse  
épurationnaire**

Maître de stage à l'Université Laval : Ludiwine CLOUZOT  
Tuteur Institut : Nicolas ROCHE

## Remerciements



Université Laval  
Laboratoire de Recherche modelEAU

Je tiens à profiter de ce rapport de stage pour exprimer mes plus sincères remerciements à tous ceux qui ont pu contribuer, à leur manière, à rendre ce stage et ce séjour au Canada si intéressant et si enrichissant.

Je tiens, tout d'abord, à remercier le Professeur Peter VANROLLEGHEM pour m'avoir accueillie dans son groupe de recherche lors de mon stage.

Je remercie également Ludiwine CLOUZOT (Post-Doctorante) pour m'avoir fait confiance et soutenue lors de la mise en place de mon projet.

Je remercie aussi Giulia BACHIS (Etudiante au Doctorat) pour m'avoir fait participer à son projet et pour la confiance qu'elle m'a accordée tout au long de mon stage. Je remercie Michel BISPING (Responsable du laboratoire de Recherches & Enseignement) pour m'avoir aidée dans l'élaboration de mon protocole, pour ses idées qui m'ont permise d'avancer dans les délais. Je remercie Sylvie LEDUC (Professionnelle de Recherche) pour l'aide et les conseils qu'elle a pu me donner lors de ma recherche du matériel. De plus, je remercie Sovanna TIK (Etudiante en maîtrise) pour m'avoir fait participer à son projet et m'avoir fait confiance lors du déroulement de ses analyses. Je tiens également à remercier le professeur Nicolas ROCHE pour nous avoir rendu visite au Canada et pour nous avoir apporté de nombreux conseils.

## Sommaire

<b>Nomenclature</b>	<b>4</b>
<b>Liste des figures et tableaux</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>I. Présentation de modelEAU</b>	<b>7</b>
I.1) Présentation de l'Université Laval	7
I.2) Présentation du département de Génie Civil Génie des Eaux	8
I.3) Présentation du groupe de recherche modelEAU	8
<b>II. Synthèse bibliographique</b>	<b>9</b>
II.1) Présentation de la station d'épuration Est de la ville de Québec	9
II.2) Respect des normes de rejet	12
II.3) Les modèles	13
II.4) Projet aEAU et primEAU	15
II.5) Conclusion de la synthèse	16
<b>III. Méthodes et matériels</b>	<b>17</b>
III.1) Méthode de mesure des carbohydrates dans les eaux usées et la biomasse	17
III.2) Le projet aEAU	21
<b>IV. Résultats et interprétations</b>	<b>24</b>
IV.1) Mesure des carbohydrates dans les eaux usées et la biomasse	24
IV.2) Résultats des mesures pour le projet aEAU	29
<b>Conclusion</b>	<b>37</b>
<b>Conclusion personnelle</b>	<b>38</b>
<b>Références</b>	<b>39</b>
<b>Annexe A</b>	<b>40</b>
<b>Annexe B</b>	<b>41</b>
<b>Annexe C</b>	<b>43</b>
<b>Annexe D</b>	<b>44</b>

## **Nomenclature**

ASM : Activated Sludge Model (modèle à boues activées)

ADM : Anaerobic Digestion Model (modèle de digestion anaérobie)

MES : Matières solides En Suspension

STEP(s) : Station(s) d'épuration(s)

TTS : Total Suspended Solids

WWTP(s) : Waste Water Treatment Plant(s)

## **Liste des figures et tableaux**

### **Liste des figures**

Figure 1 : Schéma de la STEP Est de la ville de Québec

Figure 2 : Schéma du procédé à boues activées

Figure 3 : Schéma de production de biogaz riche en méthane

Figure 4 : Schéma d'une filière de traitement à boues activées et de digestion

Figure 5 : Gamme d'étalonnage (0-100 mg/L)

Figure 6 : Dispositif pour les jar-tests

Figure 7 : Echantillonneur utilisé

Figure 8 : Dispositif de filtration sous vide

Figure 9 : Absorbance en fonction du temps de chauffage

Figure 10 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps

Figure 11 : Concentration en fonction du temps dans le bac à ultrasons, de mixage ou des deux combinés

Figure 12 : Droite d'étalonnage - Concentration en glucose en fonction de l'absorbance

Figure 13 : Turbidité, MES (mg/L) et pH en fonction de la concentration d'alun

Figure 14 : Turbidité, MES (mg/L), pH en fonction de la concentration en polymère

Figure 15 : pH en fonction du temps (sans ajout)

Figure 16 : Conductivité en fonction du temps (sans ajout)

Figure 17 : Alcalinité en fonction du temps (sans ajout)

Figure 18 : Pourcentage d'élimination des MES en fonction des heures de prélèvement (sans ajout)

Figure 19 : Turbidité en fonction du temps (sans ajout)

Figure 20 : pH en fonction du temps (avec ajout)

Figure 21 : Conductivité en fonction du temps (avec ajout)

Figure 22 : Alcalinité en fonction du temps (avec ajout)

Figure 23 : Pourcentage d'élimination des MES en fonction des heures de prélèvement (avec ajout)

Figure 24 : Turbidité en fonction du temps (avec ajout)

### **Liste des tableaux**

Tableau 1 : Normes de rejet de la STEP Est de la ville de Québec

Tableau 2 : Incertitudes sur les mesures effectuées

Tableau 3 : Concentration en carbohydrates en entrée et sortie des décanteurs primaires

## Introduction

Afin de valider mon D.U.T en Génie Chimique Génie des Procédés, j'ai effectué un stage, du 21 février 2011 au 29 avril 2011, à l'Université Laval au sein d'un groupe de recherche en modélisation de la qualité de l'eau, appelé modelEAU, et dirigé par le professeur VANROLLEGHEM.

Il y a quelques années en arrière les eaux d'une municipalité étaient composées en majorité de matières biodégradables, les eaux usées pouvaient être rejetées dans la nature sans subir de traitement quelconque. De nos jours, l'activité de l'Homme nécessite de plus en plus l'utilisation de l'eau. Ainsi on peut remarquer que les eaux usées contiennent plus de produits chimiques qu'auparavant puisque nous en utilisons beaucoup (médicaments, carburants, produits utilisés dans l'industrie ...). Il est donc nécessaire de traiter au mieux ces eaux afin de les renvoyer dans la nature sans perturber l'écosystème et mettre en péril la santé publique.

Le but principal du groupe de recherche modelEAU est d'améliorer la qualité de l'eau qui est déversée dans la nature. Divers projets ont été créés afin d'optimiser le traitement de l'eau. Ils sont menés par des étudiants en maîtrise ou en doctorat sous la tutelle du professeur VANROLLEGHEM.

Lors de mon stage, c'est le procédé de la décantation primaire qui faisait l'objet de recherches approfondies. J'ai ainsi pu participer à différentes études et amener ma contribution personnelle à ces recherches.

Dans un premier temps, je vais vous présenter le groupe de recherche modelEAU ainsi que l'Université Laval et le département de Génie Civil et de Génie des Eaux dans lesquels il se trouve. Dans un second temps, je vais vous présenter la problématique du projet dans lequel j'ai travaillé et dans quel cadre je me situe au travers de ce dernier. Par la suite, je vais expliciter le matériel et les méthodes utilisées pour mener à bien mon objectif. Et pour finir, je vais vous présenter les résultats et les différentes conclusions qui s'y rattachent.

## **I. Présentation de modelEAU**

Le groupe de recherche modelEAU appartient au département de Génie Civil et Génie des Eaux de la Faculté des Sciences et de Génie de l'Université Laval. Je vais commencer par présenter l'Université Laval, puis le département de Génie Civil Génie des Eaux et pour finir le groupe de recherche modelEAU.

### **I.1) Présentation de l'Université Laval**

C'est en 1663 que le premier établissement d'enseignement fût fondé par François de Montmorency-Laval, premier évêque de la Nouvelle-France. Il avait pour nom « Le Séminaire de Québec ». En 1852, une charte royale de la Reine Victoria crée l'Université Laval avec pour gestionnaire Le Séminaire de Québec. Il s'agit de la première université francophone au Québec, au Canada et en Amérique. Par ailleurs, une succursale de l'Université Laval est ouverte à Montréal en 1878, elle deviendra plus tard l'Université de Montréal (1920). L'histoire de l'Université Laval se mêle intimement à celle de la province du Québec. Elle a longtemps formé l'élite intellectuelle québécoise francophone et son influence est toujours très marquante. Encore aujourd'hui, on considère l'Université Laval comme un des principaux porte-étendards de la conservation du français en Amérique.

L'Université Laval compte aujourd'hui près de 45000 étudiants, dont 10000 en cycles supérieurs, dans ces 17 facultés et ses 66 départements, écoles et instituts. Près de 4000 étudiants sont étrangers et proviennent de plus de 90 pays différents. Mais aussi, il existe plus de 230 regroupements et chaires de recherche. Son campus est considéré comme l'un des plus sûrs du Canada.

L'Université Laval s'est investie d'une mission celle d'être la première université francophone d'Amérique, ouverte sur le monde et animée d'une culture de l'exigence, contribuant ainsi au développement de la société par la formation de personnes compétentes et responsables.

## **I.2) Présentation du département de Génie Civil Génie des Eaux**

Le département de Génie Civil a été créé en 1950. Il propose un programme de formation en Génie Civil divisé en trois cycles : le baccalauréat, la maîtrise et le doctorat. De plus, en 2006, il y est proposé un baccalauréat en Génie des Eaux ; d'ailleurs le département s'appelle désormais « département de Génie Civil et de Génie des Eaux ». Afin de former des ingénieurs sur le marché du travail, une formation continue est proposée.

Le département est très actif en ce qui concerne l'enseignement et la recherche à l'Université Laval. Les programmes de formation sont tous accrédités par le Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie, qui en a toujours souligné la très grande qualité. Sur le plan de la recherche, le département a eu récemment trois nouvelles chaires de recherche industrielles. Les recherches menées sont reconnues dans le pays mais aussi à l'échelle internationale. Elles bénéficient annuellement de quelques millions de dollars sous forme de contrats ou de subventions et sont conduites dans des laboratoires bien équipés

Le département se compose de professeurs, d'attachés et de professionnels de recherche ainsi que des techniciens spécialisés et du personnel administratif qui ont pour but de former au mieux les étudiants, de les préparer au marché du travail. Au sein du département, il existe des associations étudiantes et des groupes sportifs qui améliorent la cohésion entre les étudiants et créent une bonne entente entre ces derniers.

## **I.3) Présentation du groupe de recherche modelEAU**

Le groupe de recherche modelEAU est autour de la Chaire de recherche du Canada en modélisation en qualité de l'eau. Il a été créé et est dirigé par le professeur Peter VANROLLEGHEM depuis février 2006. Il est composé de dix étudiants gradués, trois post-doctorants et deux professionnels de recherche qui effectuent des recherches avec pour élément principal la modélisation.

modelEAU a pour objectif l'amélioration de la qualité de l'eau des bassins versants, des rivières urbaines, des réseaux d'égouts et des usines de traitement d'eaux usées. Pour atteindre ces objectifs, les méthodes employées sont : la modélisation, l'instrumentation, le contrôle et l'automatisation ainsi que des logiciels de traitement de données, de modélisation et de simulation. Ces différents objectifs sont divisés en plusieurs projets, par exemple le projet primEAU, qui a pour but le développement d'un modèle mathématique sur un décanteur primaire, ou encore le projet alEAU, qui vise à améliorer la coagulation et la floculation.

## II. Synthèse bibliographique

A l'échelle mondiale, le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de santé publique. Il est donc important d'essayer d'améliorer les traitements déjà existant pour pouvoir obtenir une meilleure qualité de l'eau en sortie d'une station d'épuration (STEP).

### II.1) Présentation de la station d'épuration Est de la ville de Québec

Le traitement des eaux usées se fait dans des STEP qui ont plus au moins le même système de traitement. Mon stage s'est déroulé en partie dans la STEP Est de la ville de Québec. Cette STEP reçoit environ 8000 m<sup>3</sup>/h qui passent par plusieurs phases de traitements (Fig.1).

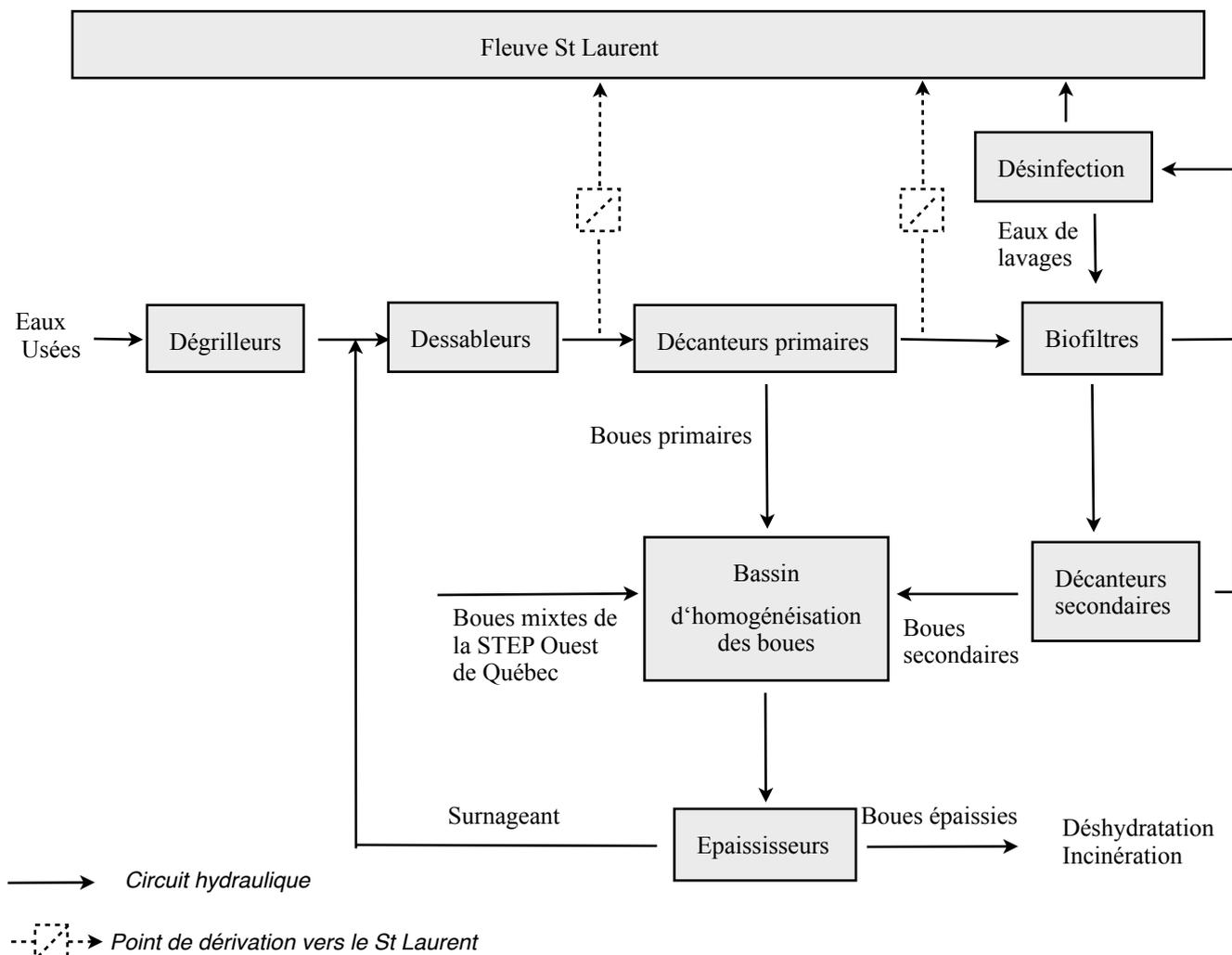


Figure 1 : Schéma de la STEP Est de la ville de Québec

### **II.1.1) Le pré-traitement :**

- *Le dégrillage* : Les dégrilleurs sont composés de barres verticales espacées de 19 mm pour enlever des eaux usées les matières solides les plus grosses par exemple le gravier, le papier ou tout autre objet introduit dans le réseau d'égouts. Cette opération est nécessaire pour la protection de la tuyauterie et des équipements. Les déchets de cette étape sont compactés et envoyés à l'incinérateur pour être brûlés avec les déchets domestiques.

- *Le dessablage et le déshuilage* : Les dessableurs sont des bassins dans lesquels on injecte de l'air par les côtés. Ainsi, les huiles et écumes montent en surface et sont recueillies par des racleurs tandis que les sables se déposent au fond et sont aussi recueillis par des racleurs.

Cette étape permet d'éliminer 95% des grains de sable de plus de 0.2 mm ce qui protège les équipements dans la suite de la chaîne de traitement. Les huiles et les écumes sont épaissies à 30% et envoyées à l'incinérateur. Les sables sont acheminés jusqu'au site d'enfouissement situé à Ste-Tite des Capes.

### **II.1.2) Décantation primaire :**

La station d'épuration possède sept décanteurs primaires de cinq mètres de profondeur. Lors de cette étape, on fait sédimenter la majeure partie des MES, une partie de la pollution organique dissoute par adsorption. Le surplus des écumes qui sont situées dans les canaux d'alimentation des décanteurs primaires sont enlevées à l'aide de racleurs. Afin d'optimiser l'espace disponible, les décanteurs primaires possèdent des lamelles inclinées à 60° et espacées de 10 cm. Ces lamelles permettent d'augmenter la vitesse de décantation car la surface de séparation eau/boues est plus grande. Les boues primaires sont quant à elles ramenées dans des fosses puis pompées vers les épaisseurs.

### **II.1.3) La Vis d'Archimède :**

Afin d'amener les eaux à la biofiltration, la STEP est équipée de trois Vis d'Archimède afin de pouvoir remonter les eaux de 7,5 mètres de hauteur. Elles ont un diamètre de trois mètres et elles fonctionnent à environ 25 tours/min.

### **II.1.4) La biofiltration :**

Les eaux traversent les biofiltres par gravité. Ces derniers ont pour but d'enlever les matières solides restantes après la décantation primaire par filtration et d'éliminer la pollution organique dissoute par des micro-organismes. En effet, les matières organiques sont dégradées en matières inertes et en boues biologiques.

Les biofiltres sont de type lit ruisselant (procédé Biodrof). Ils sont composés d'un support en biolite (argile expansée) d'une épaisseur de 1,6 mètres. Ce support est formé de petits agrégats de 3 mm de diamètre moyen. L'eau et l'air y circulent à co-courant descendant. Les agrégats servent de support aux bactéries qui s'y installent et respirent l'air qui passe. Elles digèrent ainsi la nourriture contenue dans les eaux usées. On peut parler d'un milieu vivant, entièrement biologique qui évite l'utilisation de produits chimiques. Afin d'éviter le colmatage des filtres, un lavage est effectué toutes les 48 heures avec de l'eau et de l'air circulant à contre-courant. Les eaux de lavages passent par deux décanteurs secondaires d'où sont extraites les boues secondaires. Ces boues sont ensuite pompées jusqu'aux épaisseurs.

Les biofiltres permettent l'élimination de 91% des matières en suspension et de 84% de la pollution organique dissoute.

### **II.1.5) Désinfection :**

L'eau qui sort des biofiltres n'est pas encore débarrassée des micro-organismes potentiellement pathogènes. Afin de les éliminer, l'eau est désinfectée à l'aide de rayons ultraviolets.

Ainsi 99,5% de ces micro-organismes sont éliminés. Cette étape se fait de juin à septembre afin de pouvoir rejeter l'eau sans risque pour les habitants de la ville qui vont à la plage.

### **II.1.6) Traitements des boues :**

La station possède quatre épaisseurs. Les boues primaires et secondaires sont mélangées pour l'épaississement. La station reçoit également les boues de la STEP Ouest de la ville de Québec. Les épaisseurs sont des bassins circulaires à fond conique. Les boues passent de 1 à 5% de matières solides durant l'épaississement. La sédimentation qui se produit dans les épaisseurs est de type freinée (mouvement de masse contrairement à sédimentation discrète ou floculée dans les autres traitements physiques de la station). Pour ce processus d'épaississement, le soutirage des boues est un élément critique de la conception, parce que la surface est calculée selon la capacité de soutirage et du flux massique.

Les boues sont ensuite pompées vers l'incinérateur. Elles y sont déshydratées à 28%, puis séchées à 95% à l'aide de gaz chauds pour enfin être incinérées avec des déchets domestiques. Les vapeurs sont vendues à la Compagnie Stadaonna.

## **II.2) Respect des normes de rejet**

La station rejette l'eau par une conduite sous fluviale munie d'un diffuseur qui répartit les eaux traitées dans le fleuve St Laurent. La station d'épuration doit obéir à des normes gouvernementales (Tableau 1).

**Tableau 1 : Normes de rejets des MES pour la STEP Est de la ville de Québec**

Paramètres	Période	Moyenne	kg/j	mg/L	Rendement
DBO <sub>5</sub>	Toute l'année	Hebdomadaire	9240	40	70 %
		Période 1 an	5775	25	80 %
MES	Toute l'année	Hebdomadaire	6930	30	75 %
		Période 1 an	4620	20	85 %
Coliformes fécaux	01-06 au 30-09	Hebdomadaire	Moyenne géométrique 20000 org./100 ml.		

Ce tableau nous montre les normes de rejets des MES, DBO<sub>5</sub> et de coliformes fécaux pour la STEP Est de la ville de Québec. Il est composé de deux moyennes, sur une période d'un an ou sur une période d'une semaine. Pour la période d'un an, la STEP doit faire une moyenne de ses rejets et ne doit pas dépasser les valeurs indiquées. Pour la moyenne hebdomadaire, il s'agit d'une moyenne glissante. En fait la STEP peut rejeter plus de MES, par exemple, sur une journée si le lendemain elle en rejette moins. Il suffit de faire la moyenne des sept jours précédents pour savoir combien il est autorisé de rejeter. Cette moyenne ne doit pas dépasser la valeur indiquée dans le tableau. Ce système permet donc d'avoir une marge de manoeuvre selon la charge des eaux qui arrivent.

On peut remarquer que, contrairement aux normes européennes, il n'y a pas de normes sur l'azote total ou le phosphore. Pour le moment, ils n'en tiennent pas compte car il n'ont pas remarqué d'impact dans le fleuve St Laurent. De plus, les normes de rejets des MES sont assez hautes. En effet, ils considèrent que les eaux seront diluées dans le fleuve ainsi l'impact sur l'environnement de ce dernier n'est pas en danger.

En ce qui concerne le rejet des MES, une campagne est menée actuellement afin de rester dans les normes de rejets. Le but étant d'en enlever le plus tout en restant dans ces normes. Il est donc nécessaire d'améliorer la coagulation et la floculation. En effet, les eaux usées sont composées de particules appelées colloïdes qui ont une masse trop faible pour pouvoir décanter seules. De plus, ces colloïdes sont chargés électronégativement ce qui engendre des forces de répulsions entre eux. L'ajout de coagulant et de floculant vont permettre d'une part de supprimer ces répulsions ainsi les particules vont pouvoir se rencontrer, et d'autre part de favoriser l'agglomération de ces dernières. Généralement, les coagulants sont des sels métalliques et les floculants sont des polymères.

La STEP Est de la ville de Québec a choisi de faire des ajouts d'alun (coagulant) et de polymère (floculant) pour améliorer la coagulation et la floculation dans les décanteurs primaires. Les doses des ajouts sont encore à déterminer c'est pour cela que plusieurs essais sont effectués. Des analyses de pH, de conductivité, d'alcalinité, de turbidité et de MES sont effectuées avant et après les ajouts. Au cours de mon stage, j'ai eu l'occasion d'y participer au travers du projet *alEAU*.

### II.3) Les modèles

La modélisation du traitement des eaux usées nous permet d'améliorer les connaissances sur les processus d'élimination des polluants mais aussi de les optimiser en terme de performance, coûts de fonctionnement et d'énergie. Il nous servent à comprendre ce qui se passe dans un procédé en ayant juste les paramètres d'entrée. On peut ainsi prévoir et appréhender les paramètres de sortie. La majorité des modèles se concentre sur les traitements biologiques d'une STEP. Il existe déjà plusieurs modèles comme par exemple les modèles ASM (Activated Sludge Model) qui concernent le procédé des boues activées ou les modèles ADM (Anaerobic Digestion Model) liés au procédé de digestion anaérobie des boues.

#### • Modèles ASM et procédé des boues activées :

La majorité des STEPs mettent en oeuvre le procédé de dépollution biologique. Le procédé dit « à boues activées » est le plus couramment utilisé et fait partie des traitements secondaires. Le principe est de mettre en contact les eaux usées provenant de la décantation primaire avec un mélange riche en bactéries afin d'éliminer la matière organique. Cette étape de traitement se fait dans un bassin d'aération pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de la matière organique. Par la suite, les eaux sont mises à décanter et sont séparées des boues riches en bactéries dans un clarificateur. Une concentration optimale en micro-organismes est maintenue dans le bassin d'aération par une recirculation partielle des boues décantées. (Fig. 2)

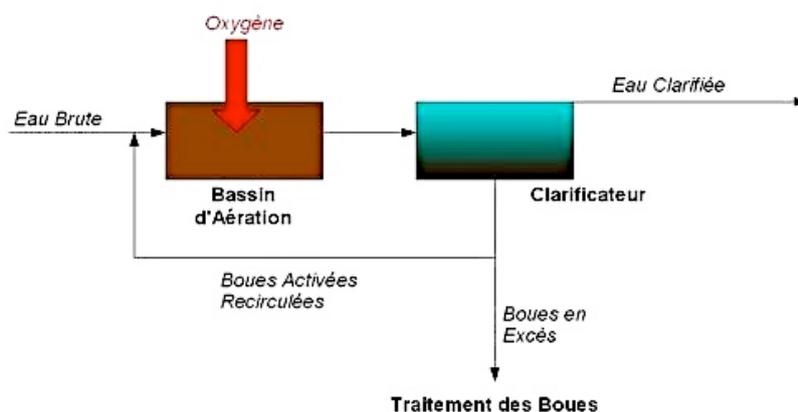


Figure 2 : Schéma du procédé à boues activées

Les modèles ASM sont basés sur une description simple des phénomènes biologiques qui ont lieu dans un procédé à boues activées. Les modèles tiennent compte de la cinétique, c'est à dire des vitesses de réaction, et de la stoechiométrie de ces phénomènes. Les vitesses de dégradation des substrats carbonés et azotés sont exprimés en fonction de la pollution contenue dans les eaux usées et des caractéristiques de la biomasse assurant le traitement.

Il en existe plusieurs ( par exemple ASM 1 , ASM 2 , ASM 2d , etc ... ), la différence entre ses modèles repose sur les variables d'états et les paramètres utilisés.

#### • Modèles ADM et procédé de digestion anaérobie :

Le procédé de digestion anaérobie est un procédé permettant l'obtention d'un gaz combustible appelé biogaz riche en méthane à partir des boues décantées. Ce gaz permettrait de produire de l'énergie pour le chauffage l'éclairage ou par exemple rendre une STEP auto-sufisante, dans le sens ou elle pourrait s'auto-alimenter en énergie.

Le principe est de placer les boues dans des cuves ou des digesteurs sans oxygène, les boues vont ainsi fermenter et produire des biogaz. La fermentation des boues est influencée par le pH, la concentration en matières organiques et leur pré-traitements. La production de biogaz riche en méthane se fait en plusieurs étapes (Fig. 3).

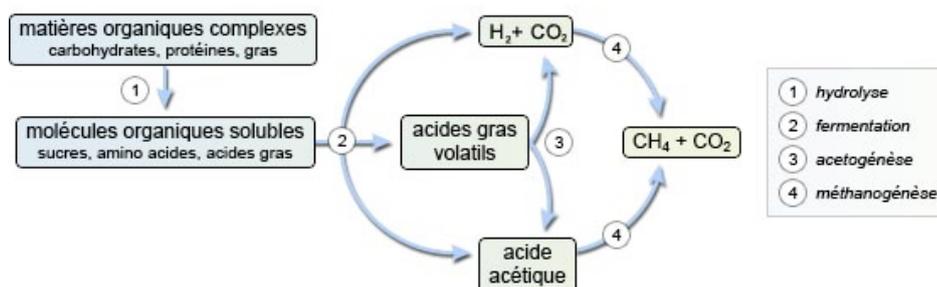


Figure 3 : Schéma de production de biogaz riche en méthane

Les modèles ADM liés à ce procédé tiennent également compte des cinétiques de réactions des processus biologiques qui se produisent. Ce procédé nous permet donc de combiner le traitement des déchets et la production d'énergie renouvelable.

En comparant ces deux modèles, on remarque que le modèle ADM tient compte de différentes fractions de matière organique (substrats carbonés et azotés) alors que le modèle ADM se concentre plus sur les lipides, carbohydrates, acides gras volatiles et protéines. Il s'agit de deux modèles qui sont beaucoup exploités car ils concernent des procédés répandus.

La décantation primaire est un procédé qui a été très peu modélisé. En effet, il n'existe pas beaucoup de modèle sur le décanteur primaire. Peu ont été lié au modèle ASM ou ADM. Les phénomènes biologiques sont rarements pris en compte ainsi que l'ajout de produit chimique.

## II.4) Projet alEAU et primEAU

La décantation primaire est le premier traitement d'une STEP. Elle suit le pré-traitement, à savoir le dégrillage, dessablage et déshuilage. Elle permet de retirer une grosse partie des MES dans les eaux à traiter. Les MES décantent au fond d'un décanteur et constituent des boues primaires qui sont envoyés à des épaisseurs tandis que les eaux sont amenés par la suite aux traitements secondaires. Elle est donc, par son emplacement dans une STEP, l'élément qui pourrait optimiser toute une filière de traitements des eaux usées. Le groupe de recherche modelEAU a développé deux projets dans lesquels une modélisation du décanteur primaire est prévue. Cette modélisation permettra de pouvoir améliorer la décantation primaire selon la filière de traitement.

### • Le projet primEAU :

Le but de ce projet est de modéliser le phénomène de décantation primaire intégré dans une filière de traitement des eaux usées de types boues activées et digestion anaérobie (Fig. 4). Le projet est mené sur un décanteur primaire pilote installé à la station d'épuration Est de Québec et est directement alimenté par les eaux en entrée des décanteurs primaires réels.

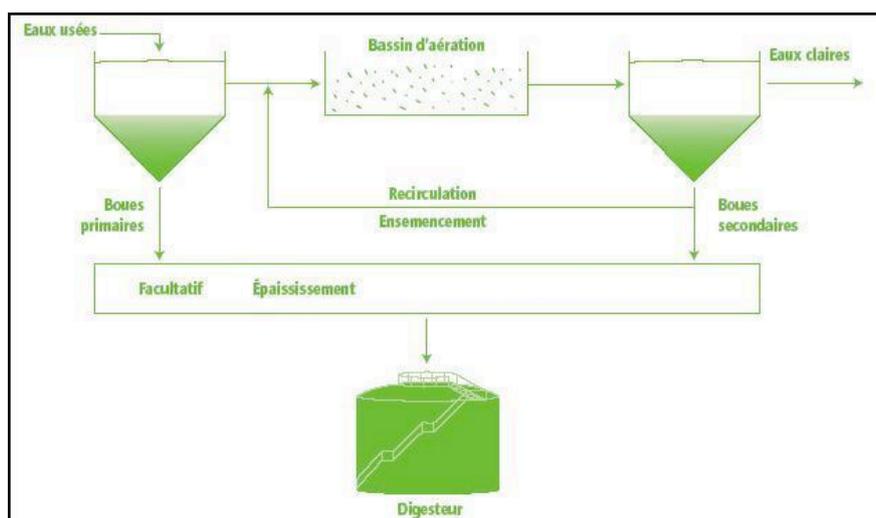


Figure 4 : Schéma d'une filière de traitement à boues activées et de digestion

Au travers de ce modèle on pourra améliorer les connaissances sur la décantation primaire et optimiser ce procédé en terme d'énergie qu'il pourrait fournir. En effet, l'enrichissement des boues en matières organiques permettra la production de biogaz. Ainsi, lors de la combustion de ces biogaz de l'énergie sera créée.

Le projet a d'autres objectifs comme pouvoir établir un distribution de vitesse afin de pouvoir caractériser les vitesses de sédimentation des particules de différentes tailles ou encore de développer une méthode pour caractériser la coagulation et la floculation. Afin de développer un modèle il faut pouvoir caractériser les eaux d'entrée et sortie du décanteur ainsi que les boues

primaires. Des méthodes de fractionnements liés au modèle ASM et ADM, comme par exemple la mesure des lipides et des carbohydrates, doivent être développées.

• **Le projet alEAU :**

Le projet alEAU a pour objectif de modéliser la décantation primaire des STEP de la ville de Québec afin de l'optimiser et ainsi de pouvoir rester dans les normes de rejet des MES (Tableau 1). L'amélioration de la décantation primaire se fait par ajout de produits chimiques, l'alun et le polymère. Les quantités à ajouter sont déterminées en effectuant des jar-tests et en utilisant la modélisation. Une campagne d'échantillonnage a débuté dans la STEP Est de la ville de Québec.

## **II.5) Conclusion de la synthèse**

Cette synthèse bibliographique nous a permis de constater que les STEPs de la ville de Québec doivent obéir à des normes de rejets de MES. Ils ont donc souhaité améliorer la coagulation et la floculation en effectuant des ajouts d'alun et de polymère. Le groupe de recherche modelEAU a proposé, au travers du projet alEAU, de développer un modèle sur la décantation primaire. Ce modèle permettra de prévoir quand les ajouts devront être faits et quelle quantité d'alun et de polymère faut-il ajouter.

Le développement d'un autre modèle sur la décantation primaire est également prévu. Ce dernier concernera une filière de traitement à boues activées et de digestion anaérobie ainsi il devra être lié au modèle ASM et ADM. Des méthodes de fractionnement sont à établir afin de pouvoir les lier à ces modèles. Le développement de ce modèle est l'objectif du projet primEAU.

### **III. Méthodes et matériels**

Lors de mon stage, il m'a été proposé de mettre en place un protocole visant à mesurer la concentration en carbohydrates dans les eaux usées et dans les boues primaires. Cette partie se situe donc dans l'établissement de méthodes de fractionnement du projet primEAU. La méthode choisie est la méthode de Dubois qui utilise le phénol et l'acide sulfurique concentré. Plusieurs protocoles existent et diffèrent sur certains points. Il m'a fallu faire plusieurs études afin de déterminer les conditions de mesures des carbohydrates et le matériel adéquat. Ce protocole devra être adapté à la campagne d'échantillonnage prévue pour établir le modèle.

De plus, j'ai participé à des analyses des MES à la STEP Est de la ville de Québec lors de l'ajout d'alun et de polymère. Cette partie se situe donc dans le projet aEAU visant à améliorer la coagulation et la floculation.

#### **III.1) Méthode de mesure des carbohydrates dans les eaux usées et la biomasse**

Un carbohydrate est un composé organique qui a pour formule brute  $C_m(H_2O)_n$ . Ils sont donc composés uniquement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Les carbohydrates sont divisés en quatre groupes chimiques : les monosaccharides, les dissaccharides, les oligosaccharides et les polysaccharides.

##### **III.1.1) Principe**

Il existe plusieurs méthodes pour analyser les carbohydrates, par exemple à l'antrone ou au phénol. Ces deux méthodes ont plus ou moins les mêmes contraintes d'utilisation. On utilise de l'acide sulfurique concentré dans les deux, ce qui est dangereux. De plus, le phénol et l'antrone sont deux substances toxiques.

J'ai choisi de travailler sur la méthode utilisant le phénol (méthode de Dubois). Quand les carbohydrates (sucres, polysaccharides...) sont en présence de phénol et d'acide sulfurique concentré une coloration orangée apparaît. En effet, l'acide sulfurique hydrolyse les polysaccharides et le phénol déshydrate les monosaccharides ce qui provoque l'apparition d'une coloration orangée. Cette dernière varie d'intensité selon la concentration en carbohydrates de l'échantillon. Ce mélange absorbe à une longueur d'onde variant entre 470 et 492 nm. Il s'agit d'une méthode colorimétrique par spectrométrie UV-Vis.

Le but est de mettre en place un protocole adapté à la campagne d'échantillonnage du projet primEAU et au matériel disponible au laboratoire.

### **III.1.2) Mise au point du protocole**

Il existe plusieurs protocoles afin de mesurer la concentration en carbohydrates dans les eaux usées et la biomasse. Les étapes d'analyses sont les mêmes pour tous les protocoles. Ainsi le protocole analytique se déroule de la manière suivante. On ajoute 1mL d'échantillon à analyser dans un tube à DCO, puis 1mL de phénol 5%. On homogénéise le mélange au vortex puis on rajoute 5mL d'acide sulfurique concentré. Cette étape provoque une réaction exothermique. Puis les tubes sont mis à chauffer dans un chauffe-tubes. Ensuite, ils sont placés ensuite 30 minutes à l'obscurité afin de les faire refroidir. La lecture de fait au spectrophotomètre contre un blanc réactif fait avec de l'eau distillée. Cependant dans chaque protocole, les paramètres d'analyses comme la longueur d'onde ou le temps de chauffage changeaient. C'est pourquoi, j'ai réalisé plusieurs analyses afin d'établir un protocole adapter au projet primEAU.

#### **III.1.2.1) Lecture d'absorbance**

Tout d'abord, la longueur d'onde à laquelle le mélange réactionnel absorbe variait selon les protocoles de 470 à 492 nm. J'ai donc effectué un balayage de longueurs d'onde entre 450 et 500 nm et un pic est apparu à 487nm.

#### **III.1.2.2) Chauffage**

Une étape de chauffage des tubes est préconisé. Cependant, elle n'est pas la même pour tout les protocoles. Par exemple, sur un des protocoles il fallait chauffer à 25 C° pendant 15 minutes et sur un autre c'était 5 minutes à 100 C°. J'ai fait une étude de l'évolution de l'absorbance en fonction du temps de chauffage. J'ai préparé des solutions de glucose à 20, 50, 75, 100, 150, et 200 mg/L et je les ai chauffées à différents temps qui variait entre 0 et 5 minutes.

#### **III.1.2.3) Stabilité des échantillons**

Après les étapes de traitement, j'ai effectué une étude cinétique afin de savoir si l'absorbance restait stable plusieurs heures. En effet, certains protocoles préconisaient de faire la lecture de l'absorbance des tubes dans le quart d'heure qui suivait la fin des étapes de traitements. D'autres mentionnaient que la coloration orangé restait stable plusieurs heures et donc que la lecture pouvait attendre. De plus, lors de la campagne d'échantillonnage plusieurs analyses sont prévues donc il fallait déterminer s'il était nécessaire d'analyser les échantillons rapidement après les avoir traité. Pour des solutions de glucose à 20, 50, 75, 100, 150 et 200 mg/L, j'ai mesuré l'absorbance toutes les 30 minutes après les étapes de traitement. Entre chaque lecture, les tubes ont été conservé à l'obscurité. De plus, la dernière lecture a été effectuer environ 20h après les étapes de traitement.

### **III.1.2.4) Préparation de l'échantillon**

Il me fallait savoir comment faire pour traiter les boues. Les particules contenues dans les boues emprisonnent des sucres qui, si on ne casse pas les agglomérats, ne seront pas pris en compte dans l'analyse. Deux méthodes sont proposées : l'utilisation d'un bac à ultrasons, ou un mixage avec un blender. Afin des les différencier, une étude a été effectuée. Sur un échantillon de boues, j'en ai mixé une partie à plusieurs temps, et l'autre partie est passée dans le bac à ultrasons aux mêmes temps. Les temps choisis sont 0, 2, 5, 10, 15, 30 et 60 minutes. Pour pouvoir comparer les méthodes sans tenir compte des concentrations réelles qui peuvent changer selon l'échantillon j'ai normalisé la courbe. J'ai divisé les valeurs de concentrations pour les différents temps par celle à l'instant  $t=0$  min c'est à dire sans aucun traitement. J'ai ainsi pu conclure sur la méthode à utiliser.

### **III.1.3) Gamme d'étalonnage**

Une droite d'étalonnage est établie à partir d'une gamme de solutions étalons de glucose. Ces solutions de glucose sont traitées par du phénol 5% et de l'acide sulfurique concentré de la même manière que n'importe quel échantillon. Il faut donc dans un premier temps préparer les réactifs qui nous serviront aussi pour analyser les échantillons et la solution mère de glucose qui nous servira à faire les solutions étalons. Dans un second temps, il faut préparer les solutions étalons et les analyser.

#### **• Préparation des réactifs et des étalons**

La première étape est de préparer le phénol à 5% (masse/volume). Etant donné que le phénol peut être toxique, il doit être manipulé sous une hotte. Il a été décidé d'en préparer une grosse quantité car cette solution peut être conservée 6 mois au frais et à l'obscurité. On a donc préparé environ 2,5 L de phénol 5%. Pour cela on a solubilisé 125g de phénol dans 2,5 L d'eau. Pour faire la courbe d'étalonnage, on utilise du glucose anhydre pour préparer une solution à 20 g/L de glucose. J'ai choisi de faire une solution concentrée en glucose afin de pouvoir la conserver au frais sans qu'elle se dégrade pendant l'établissement de la courbe d'étalonnage qui pouvait nécessiter plusieurs essais. J'ai préparé 250 mL de cette solution. J'en n'ai congelé 200mL pour pouvoir l'utiliser pour faire d'autres essais et j'en n'ai gardé 50 mL réfrigérateur à 4°C.

**• Gamme détalonnage**

Figure 5: gamme d'étalonnage (0-100 mg/L)

Il faut préparer une gamme d'étalon afin de faire une courbe d'étalonnage qui nous servira à déterminer les concentrations en carbohydrates dans les échantillons.

Les concentrations choisies sont 0, 20, 50, 75, 100 mg/L (Fig 5). En effet, d'après la littérature, une absorbance au dessus de 1 fausse la linéarité de la droite d'étalonnage. D'après des analyses, des concentration au dessus de 100 mg/L dépassent 1 pour la mesure de l'absorbance. La courbe d'étalonnage peut être ajustée si besoin pour obtenir des concentrations plus précises. La courbe d'étalonnage faite sera accompagnée de son incertitude.

**III.1.4) Echantillons réels**

Pour finir, des analyses ont été faites afin d'avoir un ordre de grandeur des concentrations en carbohydrates en entrée et en sortie des décanteurs primaires de la STEP Est la ville de Québec. Pour cela on a prélevé des échantillons à l'entrée des décanteurs puis en sortie (boues primaires et effluent vers les biofiltres). Les prélèvements ont été fait le 19 avril 2011 à 9 heures. Ils ont été mis dans des tubes en plastiques pour l'eau en entrée et en sortie du décanteur et dans une bouteille en verre d'environ 500 mL pour les boues primaires. Pour le transport, ils ont été conservés dans une glacière au frais.

## **III.2) Le projet alEAU**

Afin de rester dans les normes gouvernementales, il a été décidé par la ville de Québec de faire des tests d'ajout d'alun et de polymère dans les eaux usées afin de voir l'impact que ça pouvait avoir sur la décantation primaire de la station Est. Des jar-tests ont été effectués afin de déterminer les doses à ajouter. Ils ont ainsi ajouté 70 mg/L d'alun avant les dessableurs et 0,15 mg/L de polymères après les dessableurs. L'échantillonnage était prévue sur 24 heures or un dysfonctionnement de l'appareil d'étalonnage a fait que nous n'avons pas pu utiliser tous les échantillons. Nous avons utilisé uniquement les échantillons entre 12h et minuit. Un échantillonneur est situé en entrée et en sortie des décanteurs.

### **III.2.1) Jar-Test**

Le principe des jar-test repose sur plusieurs béchers disposés sous un appareillage d'agitation (Fig 7). Chaque becher ont reçu une dose d'alun et de polymère. Les vitesses d'agitation ont été fixées à 150 rpm pendant 15 minutes après l'ajout d'alun et à 150 rpm pendant 30 secondes après l'ajout du polymère puis à 50 rpm pendant 2 minutes et pour finir on laisse décanter pendant 20 minutes. Un premier jar-test est effectué pour déterminer la concentration d'alun à ajouter. La concentration d'alun varie entre 0 et 70 mg/L et la concentration en polymère est fixée à 0,15 mg/L. Un deuxième jar-test permet de tester la concentration du polymère. La concentration d'alun est de 70 mg/L et celle du polymère varie entre 0 et 0,30 mg/L. L'eau usée utilisée pour les jar-test a été prélevée en amont des décanteurs primaires de la STEP Est de la ville de Québec.



**Figure 6 : Dispositif pour les jar-tests**

### III.2.2) Echantillonnage



Figure 7 : Echantillonneur utilisé

Des échantillonneurs automatiques (Fig 8), de type Sigma 900, produits de la compagnie Hach, disposant de 24 bouteilles ont été utilisés pour les prélèvements à l'amont et à l'aval des décanteurs primaires. Les échantillons sont réfrigérés à 4°C entre le prélèvement et l'analyse.

Les échantillonnages ont été fait le 29 mars 2011 de 10 heures à 23 heures et le 31 mars de 9 heures à 13 heures. Les analyses de MES, pH, conductivité et turbidité ont été faites respectivement le 28 mars et 1er avril 2011.

### III.2.3) Mesures des MES



Figure 8 : Système de filtration sous vide

La mesure des MES correspond aux particules retenues lors d'une filtration de 1,2 µm et de diamètre de 47 ou 150 cm. Cette mesure permet d'obtenir une concentration en particules en suspension dans l'eau. Cette valeur est représentative des solides pouvant d'une part se déposer par sédimentation et d'autre part se décomposer en induisant une consommation d'oxygène dissous dans l'eau.

#### • Protocole analytique

Dans une premier temps, il faut préparer les filtres. Pour cela, on filtre de l'eau distillée afin de nettoyer le filtre neuf. On le place dans une coupelle en aluminium puis on le met au four à 105 °C pendant environ 1h30. Pour le refroidir, le filtre est placé dans un dessiccateur pendant 30 minutes. Il faut peser l'ensemble (filtre+coupelle). On notera la masse  $m_a$  en milligrammes.

On peut passer maintenant à l'analyse des échantillons. Avant de commencer à filtrer l'échantillon, il faut faire passer au travers du filtre de l'eau distillée afin de resserrer les pores du filtre. Après cette étape, on peut commencer à filtrer un volume d'échantillon, noté  $V_{\text{échantillon}}$  en litre, compris entre 50 et 150 mL selon l'échantillon. Une fois le volume de l'échantillon passé, on met le filtre et la coupelle au four à 105°C pendant 1h30 pour que le filtre soit sec. Pour le faire refroidir, on laisse le filtre au dessiccateur pendant 30 minutes. Puis on pese l'ensemble. La masse sera noté  $m_b$  en milligrammes. Les MES sont alors calculées grâce à l'équation (1).

$$\text{MES (mgMES/L)} = \frac{(m_b - m_a)}{V_{\text{échantillon}}} \quad (1)$$

### **III.2.4) Autres mesures**

#### **• Mesures de pH , conductivité et turbidité :**

La mesure du pH est importante car elle est la base d'un grand nombre d'équilibre physico-chimique. Lors de l'ajout d'alun et de polymère, il faut que le pH de l'eau ne soit pas trop modifier afin de ne pas perturber le traitement biologique qui suit la décantation primaire. C'est pourquoi on mesure le pH.

La conductivité permet la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle varie selon la présence d'ions, de leur concentration et de leur mobilité ainsi que de la température de l'échantillon. Elle est liée à la nature et à la concentration des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs alors que la matière organique et colloïdale conduit peu. Les mesures se font en microSiemens par centimètre.

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matière qui le trouble. Dans le domaine de l'eau, il existent plusieurs unités pour la turbidité comme le FNU, le FAU ou le NTU.

Les mesures sont faites à l'aide d'un pH-mètre, d'un conductimètre et d'un turbidimètre. Les mesures sont directement lues sur l'écran.

#### **• Mesure de l'alcalinité :**

L'alcalinité est la capacité de l'eau à neutraliser un acide. On mesure l'alcalinité pour prévoir une variation de pH. Quand une eau est plus alcaline le pH ne devrait pas beaucoup varier lors de l'ajout de produit chimique. L'alcalinité s'exprime en milligrammes de calcium par litre. On la mesure en effectuant un dosage colorimétrique à l'acide sulfurique à 0,1N, avec pour indicateur coloré du rouge de méthyl, sur un échantillon de 50mL. La couleur du mélange passe du vert au rose au moment de l'équivalence. Le volume équivalent nous indique la valeur de l'alcalinité.

La réaction entre le carbonate de calcium et l'acide sulfurique donne l'équation (1).



Le volume de l'échantillon prit pour faire le dosage est de 50mL et la concentration en acide sulfurique est de 0,1 N soit 0,05 mol/L. Ainsi on peut simplifier l'équation (1) en effectuant les étapes (2) et (3).

$$C_{CaCO_3} \text{ (mol/L)} = (0,05/50) \times V_{eq} \text{ (mL)} \quad (2)$$

$$C_{CaCO_3} \text{ (mg/L)} = 0,001 \times (100000) \times V_{eq} \text{ (mL)} \quad (3)$$

Ainsi on peut calculer l'alcalinité d'après l'équation (4).

$$C_{CaCO_3} \text{ (mg/L)} = 100 \times V_{eq} \text{ (4)}$$

## IV. Résultats et interprétations

Dans cette partie je vais, dans un premier temps, vous exposer les résultats des différentes études effectuées pour l'établissement du protocole de mesure des carbohydrates, ainsi que la droite d'étalonnage accompagnée de son incertitude. Dans un second temps, je vais vous présenter les résultats des analyses du projet alEAU.

### IV.1) Mesure des carbohydrates dans les eaux usées et la biomasse

#### IV.1.1) Mise en place du protocole

##### IV.1.1.1) Effets du temps de chauffage

Ce graphique nous montre l'évolution de l'absorbance en fonction du temps de chauffage dans le chauffe-tube à 150 °C. On peut voir que l'absorbance reste à peu près constante. On peut aussi penser que cette étape permet d'accélérer la réaction. D'après mes observations c'est à partir de 3 minutes de chauffage que la réaction semble immédiate. En effet, la couleur reste stable avant et après le repos à l'obscurité. Pour en être sûre, il aurait fallu mesurer l'absorbance avant et après le repos à l'obscurité. Cependant, l'introduction du tube chaud dans le spectrophotomètre n'est pas du tout conseillé. C'est pourquoi l'analyse n'a pas été faite. De plus, une analyse avec des échantillons réels pourraient être faite afin déterminer d'ajuster encore le temps de chauffage.

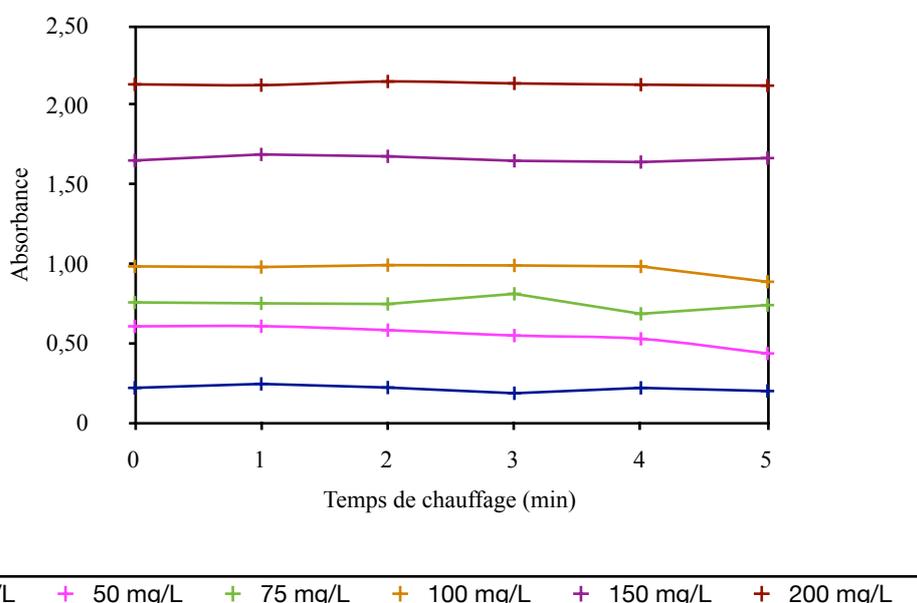


Figure 9 : Absorbance en fonction du temps de chauffage

### IV.1.1.2) Stabilité des échantillons

Ce graphe décrit l'évolution de l'absorbance en fonction du temps après la phase des 30 minutes à l'obscurité. Cette étude a été faite en gardant les tubes à l'obscurité entre chaque lecture au spectrophotomètre.

Ce graphique nous montre que l'absorbance est stable pendant au moins 20 heures après le refroidissement à l'obscurité. Cela laisse une marge de manoeuvre lors des analyses pour la campagne d'échantillonnage prévue pour le projet primEAU.

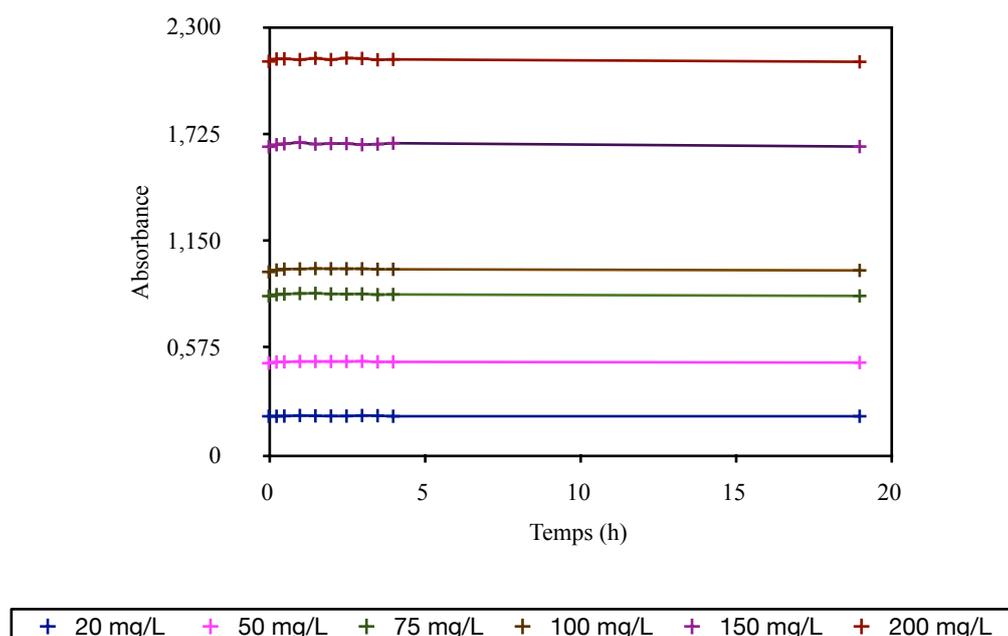


Figure 10 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps

### IV.1.1.3) Analyses des boues

Afin de savoir comment on doit traiter les boues avant d'effectuer l'analyse, j'ai voulu comparer deux méthodes : le mixage et l'utilisation de l'ultrasons. Le graphique (Fig. 12) peut être séparé en trois zones.

- **Zone 1** : Dans cette zone, on remarque que lorsqu'on mixe, il y a une augmentation de la concentration en carbohydrates. On peut donc dire que le mixage favorise la libération de ces derniers qui sont contenus dans les floes. Lorsqu'on utilise le bac à ultrasons on remarque que la concentration diminue. Expérimentalement on peut remarquer qu'il se forme un agglomérat de particules au fond du bécher. Cet agglomérat est difficile à casser même en mélangeant l'échantillon. On peut donc penser que lors de la dilution, on perd une partie des particules. Ainsi, les sucres particuliers ne sont pas pris en compte entièrement. On peut constater le

même phénomène pour la troisième manipulation (10 minutes de mixage + le bac à ultrasons).

En effet, la courbe correspondante à cette manipulation à la même allure que celle où on utilise seulement le bac à ultrasons.

- **Zone 2** : Pour le mixage, on constate que la concentration en sucres diminue après 10 minutes. Expérimentalement, on constate que la température de l'échantillon augmente. Ainsi l'activité biologique est favorisée et donc la consommation de carbohydrates pourrait augmenter. Pour le bac à ultrasons, on peut voir que la concentration en sucre a augmenté après 10 minutes environ. On peut penser que l'agglomérat formé précédemment a atteint un seuil, il ne pourra pas devenir plus gros. Ainsi les ultrasons peuvent commencer à casser certaines parties de cet agglomérat qui serait faiblement liées.
- **Zone 3** : Pour le mixage on constate une augmentation brutale de la concentration. Il est difficile de conclure sur une telle augmentation de la concentration en carbohydrate car au plus on mixe au plus la température augmente ce qui modifie les conditions de traitements. En effet, l'activité biologique étant favorisée il se peut que des interférences provoquent cette augmentation. Pour les ultrasons, la concentration reste constante. On peut donc penser qu'on a atteint un seuil et que la concentration ne pourra plus augmenter. L'utilisation des ultrasons est donc limitée.

Globalement on obtient de meilleurs résultats pour le mixage, car toutes les concentrations sont supérieures à la concentration à  $t=0$ . Cependant au delà de 10 minutes de mixage, la température augmente. Ainsi on ne peut pas utiliser la blender pour mixer au delà de 10 minutes. Pour le bac à ultrasons, l'agglomérat formé représente un réel problème lors des dilutions car on ne peut pas prendre en compte les sucres particuliers. Ainsi on remarque que toutes les concentrations sont inférieures à la concentration à l'instant  $t=0$  minutes.

On peut conclure qu'un mixage de 10 minutes suffit pour extraire le maximum de sucres des floes et pour pouvoir effectuer aisément l'analyse des sucres particuliers et solubles ensemble.

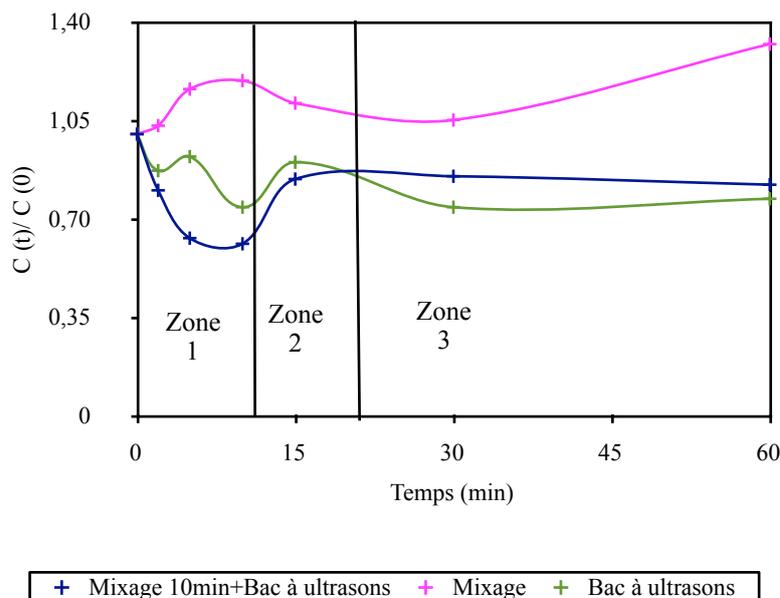


Figure 11 : Concentration en fonction du temps dans le bac à ultrasons, de mixage ou des deux combinées

#### **IV.1.1.4) Protocole recommandé**

Après avoir effectué toutes ces analyses, j'ai pu établir un protocole qui serait adéquat pour le projet primEAU.

Il faut tout d'abord préparer l'échantillon. Pour les eaux entrantes et sortantes des décanteurs une dilution n'est pas nécessaire. Pour les boues, un mixage de 10 minutes est préconisé puis une dilution de 100 ou 200 fois est nécessaire selon l'échantillon.

Pour les étapes d'analyses, il faut mélanger 1mL de l'échantillon et 1mL de phénol 5% dans un tube à DCO. On mélangera le tout au vortex pendant quelques secondes. Ensuite on ajoutera 5 mL d'acide sulfurique concentré. Les tubes seront mis à chauffer dans un chauffe-tubes à 150C° pendant 3 minutes. Ensuite, ils seront placés à l'obscurité pendant environ 30 minutes. La lecture de l'absorbance se fait à une longueur d'onde de 487 nm. Cette lecture peut se faire environ 20 heures après le repos à l'obscurité si les tubes sont gardés à l'obscurité.

#### **IV.1.2) Analyses des carbohydrates au niveau des décanteurs primaires de la STEP Est de la ville de Québec**

##### **IV.1.2.1) Droite d'étalonnage**

La droite d'étalonnage a été faire pour une gamme entre 0 et 100 mg/L de glucose. Pour chaque matériel utilisé l'incertitude de ce dernier a été noté (Annexe B). Ces incertitudes m'ont permis d'une part de calculer l'incertitude sur la concentration de la solution mère de glucose, mais aussi sur les solutions étalons, les valeurs d'absorbance et pour finir sur la pente de ma droite d'étalonnage. (Tableau 2) La méthode de calcul utilisée pour effectuer ces calculs est détaillée en annexe B.

**Tableau 2 : Incertitudes sur les mesures effectuées**

	<b>Solution mère (g/L)</b>	<b>Solutions étalons (mg/L)</b>	<b>Absorbance</b>	<b>Pente</b>
<b>Valeurs avec les incertitudes</b>	20,00 +/- 0,02	20,0 +/- 0,3	0,203 +/- 0,005	<b>91,9x +/- 4x</b>
		50,0 +/- 1,0	0,512 +/- 0,005	
		75,0 +/- 1,0	0,804 +/- 0,008	
		100,0 +/- 1,0	1,09 +/- 0,02	

Les barres d'erreurs ont été tracées mais on ne peut pas les distinguer sur le graphe (Fig 12) On peut donc en conclure que la droite d'étalonnage a été établie avec précision.

La droite d'étalonnage peut être utilisée pendant six mois car les réactifs sont stables pendant cette même période.

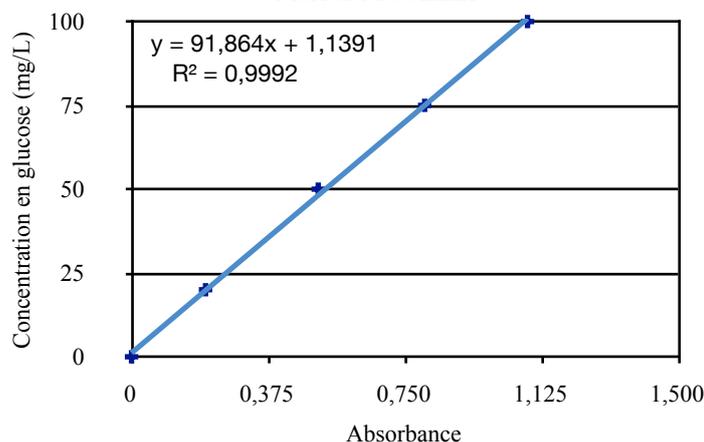


Figure 12: Droite d'étalonnage - concentration en glucose en fonction de l'absorbance

#### IV.1.2.2) Concentration en carbohydrates en entrée et en sortie des décanteurs primaires de la STEP Est de la ville de Québec

Afin d'avoir une idée des concentrations en carbohydrates en entrée et en sortie des décanteurs primaires, on a effectué des analyses sur les échantillons. Les résultats sont les suivant :

Tableau 3 : Concentration en carbohydrates des eaux en entrée et sortie des décanteurs primaires

	Entrée des décanteurs	Sortie des décanteurs	Boues primaires
Concentration en carbohydrates (mg/L)	41,7	32,9	6353

On constate que l'ordre de grandeur de la concentration en carbohydrates n'est pas la même pour les boues que pour l'entrée et la sortie de l'effluent. Dans la littérature, la concentration en carbohydrates des boues primaires est comprise entre 1 et 10 g/L, celles en entrée et sortie des décanteurs primaires sont comprises entre 20 et 100 mg/L. On peut remarquer que les valeurs trouvées sont comprises dans ces intervalles. Lors des analyses des échantillons pour le projet primEAU, il faudra diluer à peu près 200 fois les boues primaires avant de pouvoir les analyser. D'après ces résultats, on peut penser que les particules sont plus chargées en carbohydrates que la partie liquide de l'effluent. Il y a donc beaucoup plus de sucres particuliers que de sucre solubles. De plus, on constate qu'il y a environ 20% d'élimination de carbohydrates dans les décanteurs primaires de la STEP. Ainsi la décantation primaire ne permet pas l'élimination des carbohydrates.

## IV.2) Résultats des mesures pour le projet alEAU

Dans cette partie, je vais dans un premier temps vous présenter les résultats des jar-test et dans un second temps je vais vous décrire les résultats des analyses faites lors de l'ajout de l'alun et du polymère dans les décanteurs primaires de la STEP Est de la ville de Québec .

### IV.2.1) Jar-test

Le premier jar-test effectué est pour déterminer la concentration d'alun à ajouter. Les résultats sont consignés dans des tableaux en annexe C.

On remarque (Fig 13) un effet notable sur la turbidité, le pH et les MES à partir de 30 mg/L d'alun. En effet la turbidité, le pH et les MES diminuent lorsque que la concentration d'alun augmente. On peut constater que c'est à 70 mg/L d'alun que la turbidité est la plus basse et que la quantité de MES présente dans le surnageant est la plus basse. On peut donc en conclure que la concentration à 70 mg/L est un bon dosage. De plus, on remarque que le pH baisse lors de l'ajout d'alun et de polymère. C'est un paramètre important car à l'échelle réelle le pH ne doit pas trop baisser car cela pourrai perturber les autres traitements.

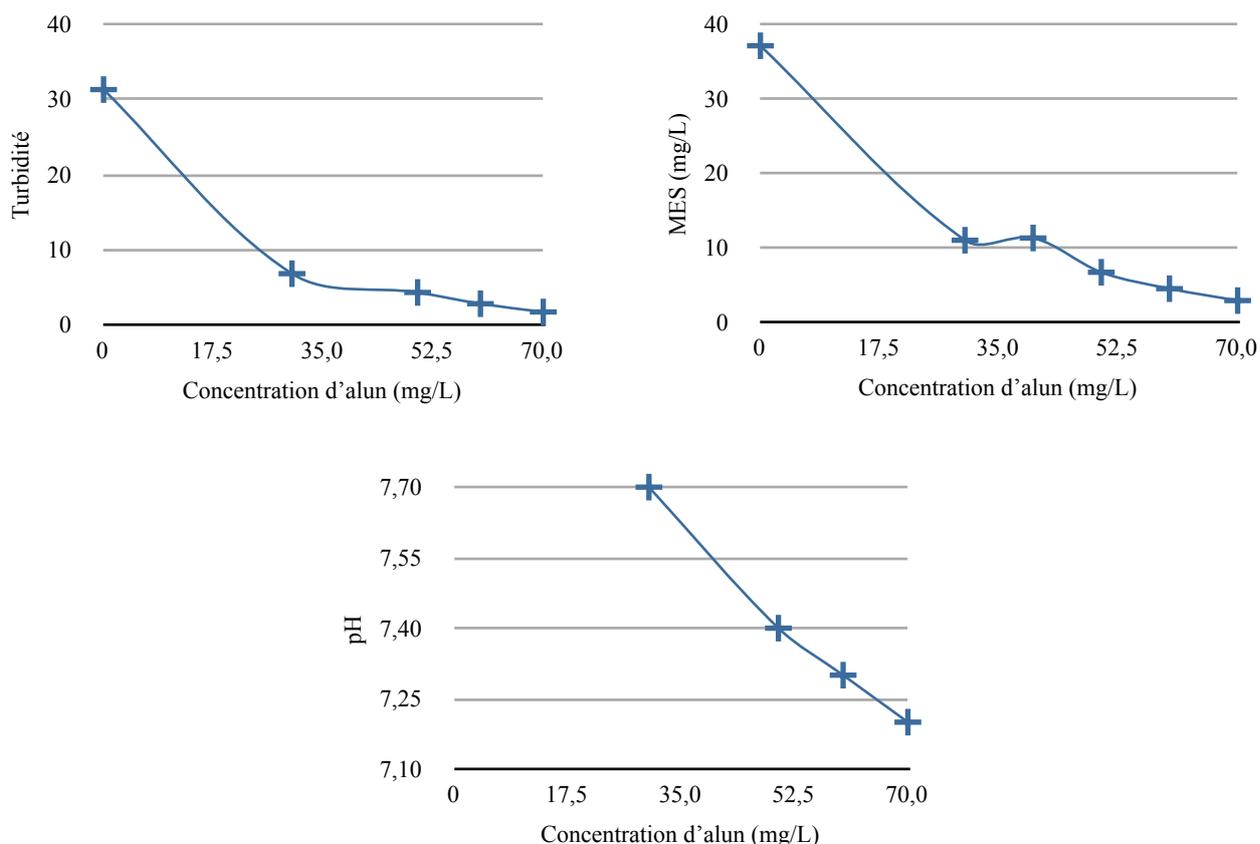
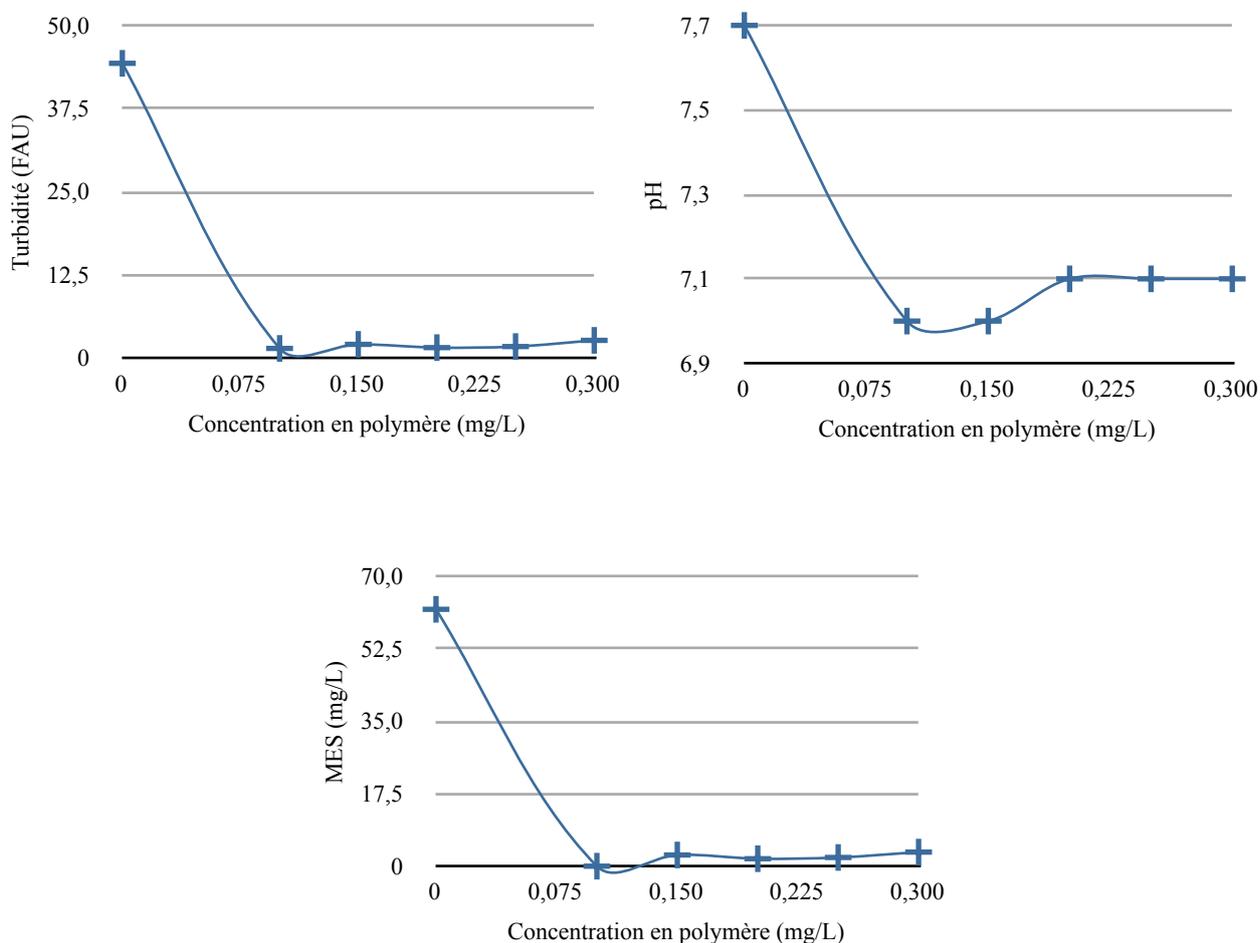


Figure 13 : Turbidité, MES (mg/L) et pH en fonction de la concentration d'alun

Maintenant nous allons déterminer la concentration en polymère optimale.

D'après ces graphiques, on peut voir que dès 0,10 mg/L de polymère les valeurs de turbidité, pH et des MES chutent fortement. On constate également que l'augmentation de la dose de polymère ne semble pas être bénéfique. En effet, les valeurs de turbidité, pH et MES augmente à partir de 0,20 mg/L de polymère. La turbidité et les MES étant les plus faible pour 0,10 mg/L, cette concentration est optimale.



**Figure 14 : Turbidité, MES (mg/L), pH en fonction de la concentration en polymère**

Globalement on peut conclure que l'on constate une baisse du pH grâce aux ajouts de polymère et d'alun. De plus, les résultats sur la turbidité sont plutôt bons cependant les conditions de la décantation ne sont pas réalistes. Car pour la partie de la décantation, on a arrêté les agitateurs et on a laissé décanter or dans la STEP Est de la ville de Québec ça ne se passe pas comme cela. De plus les vitesses choisies ne sont pas similaires aux vitesses de l'effluent. Afin de rendre les prochains jar-tests exploitables pour la STEP, une estimation des vitesses de temps de brassage sera effectuée. Pour les test à l'échelle réelle, la STEP a fixé elle même les concentrations d'alun et de polymère. Ces jar-tests n'ont donc pas permis de trouver des concentrations optimales

d'alun et de polymère pour la STEP mais on a pu appréhender les résultats que nous trouverons en lors de l'ajout à l'échelle réelle sur le pH par exemple.

#### **IV.2.2) Résultats de mesure des MES avant et après ajout d'alun et de polymère**

Dans un premier temps nous avons effectuer un échantillonnage avant l'ajout d'alun et de polymère. Le débit moyen d'entrée des décanteurs primaires est de 10462 m<sup>3</sup>/h et le temps de séjour moyen est de 30 minutes.

Le pH de chaque échantillon a été mesuré, on peut constater qu'il est constant entre la sortie et l'entrée des décanteurs primaires (Fig 15). Cependant les mesures ont été effectuées le lendemain des prélèvements ainsi le pH mesuré ne représente pas le pH au moment des prélèvements. On ne peut donc rien conclure dessus. La conductivité (Fig 16) et l'alcalinité (Fig. 17) restent constant entre l'entrée et la sortie des décanteurs. Les valeurs de conductivité sont plutôt normales pour des eaux usées. En effet, la conductivité des eaux usées domestiques est comprise entre 900 et 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  environ. Pour des eaux usées, l'alcalinité peut dépasser 500 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Ici, les valeurs de l'alcalinité ne sont pas très hautes pour des eaux usées on peut donc prévoir une variation du pH lors de l'ajout d'alun et de polymère. Les résultats nous montrent que le pourcentage d'enlèvement des particules est de 60% en moyenne (Fig 18). La turbidité diminue entre l'entrée et la sortie ce qui est normale puisqu'il y a une élimination des MES (Fig.19).

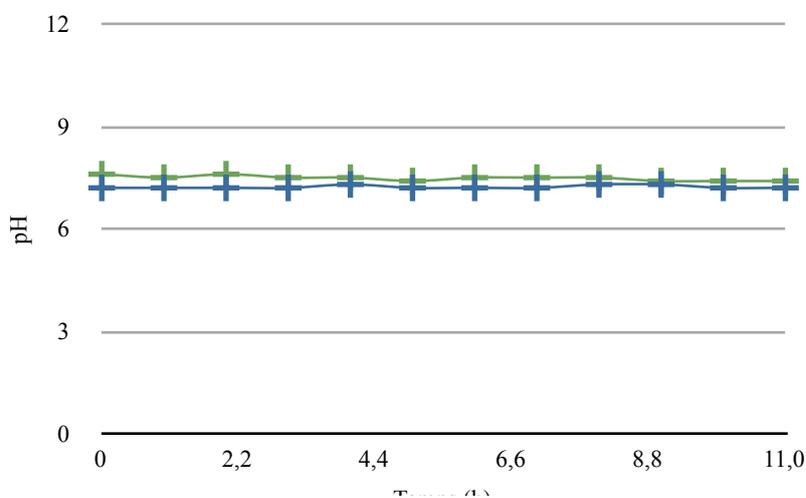
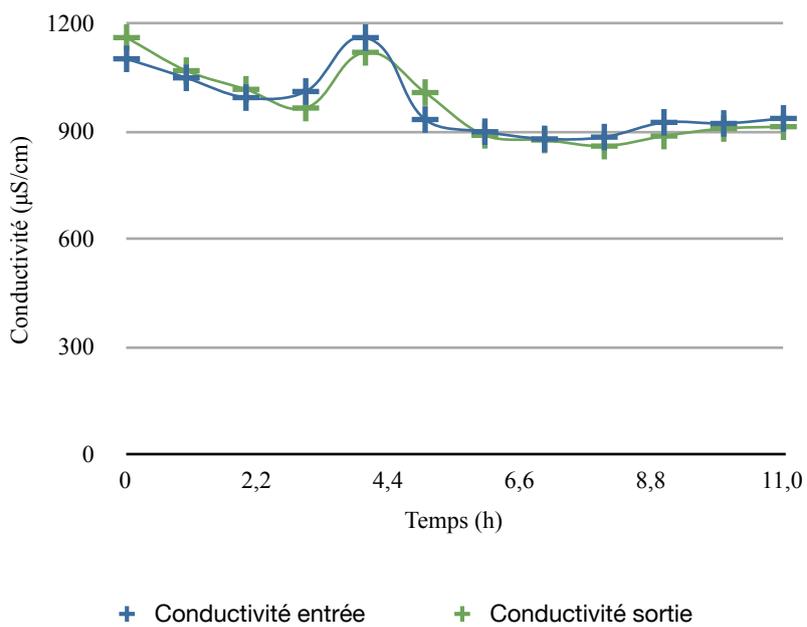
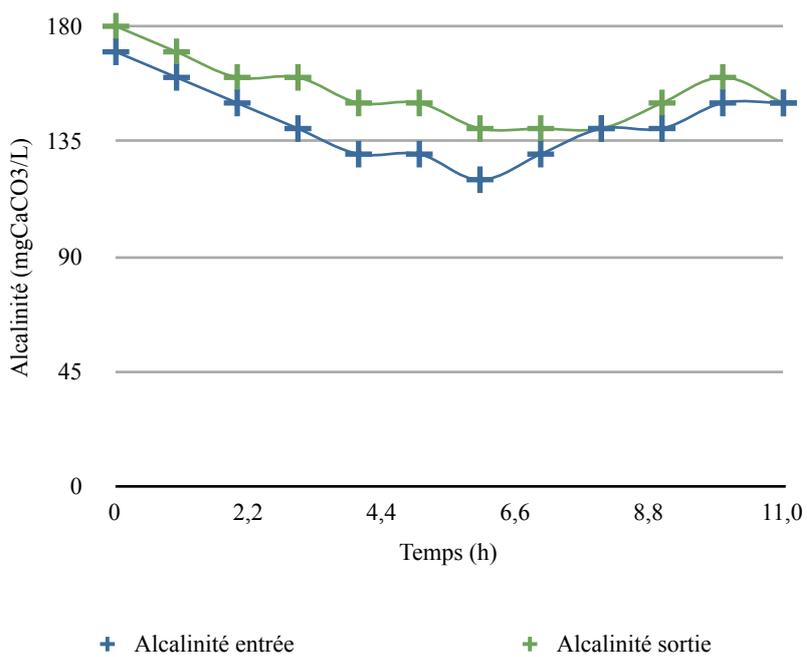


Figure 15 : pH en fonction du temps (sans ajout)

+ pH entrée      + pH sortie



**Figure 16 : Conductivité en fonction du temps (sans ajout)**



**Figure 17 : Alcalinité en fonction du temps (sans ajout)**

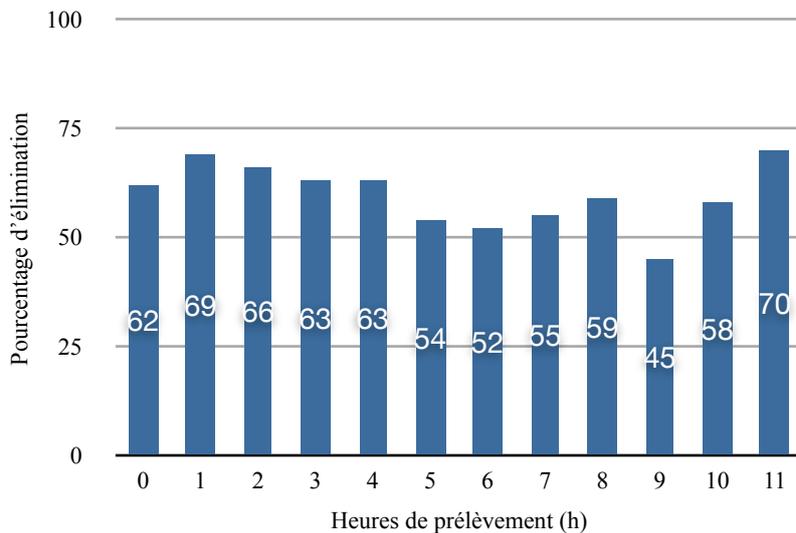


Figure 18 : Pourcentage d'élimination des MES en fonction des heures de prélèvement (sans ajout)

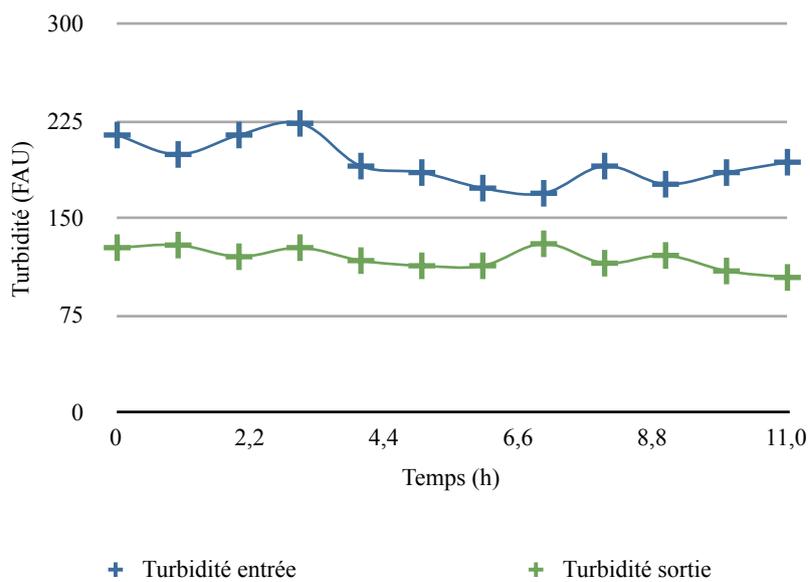


Figure 19 : Turbidité en fonction du temps (sans ajout)

Lors de l'ajout de l'alun et du polymère, le débit moyen d'entrée était de 10181 m<sup>3</sup>/h et le temps de séjour hydraulique est de 31 minutes.

D'après nos mesures le pH (Fig 20) est constant cependant ces valeurs ne sont pas représentatives du pH instantané. D'après le pH-mètre de la STEP, le pH a diminué et se situe entre 5 et 6. Ceci est une conséquence de l'ajout d'alun et de polymère. Cependant le pH ne doit pas trop baisser, cela pourrait perturber le traitement biologique qui suit. Les doses d'alun et de polymère ont été choisies en tenant compte de ce paramètre. La conductivité (Fig 21) et la turbidité (Fig 22) n'ont pas changé après l'ajout. On peut donc penser que l'alun et le polymère n'ont pas d'influence sur ces paramètres. On constate que le pourcentage d'enlèvement des MES est de 88% en moyenne (Fig 23). On remarque aussi que la turbidité a diminué ce qui est normale puisque la décantation a permis d'enlever beaucoup plus de MES (Fig 24).

Globalement l'ajout d'alun et de polymère a permis une augmentation d'environ 30% de l'élimination des MES. De plus, cet ajout n'a pas beaucoup modifié le pH, la conductivité et l'alcalinité se qui est important pour traitement biologique qui suit. D'autres ajouts sont prévus afin de pouvoir avoir suffisamment de données afin d'établir le modèle.

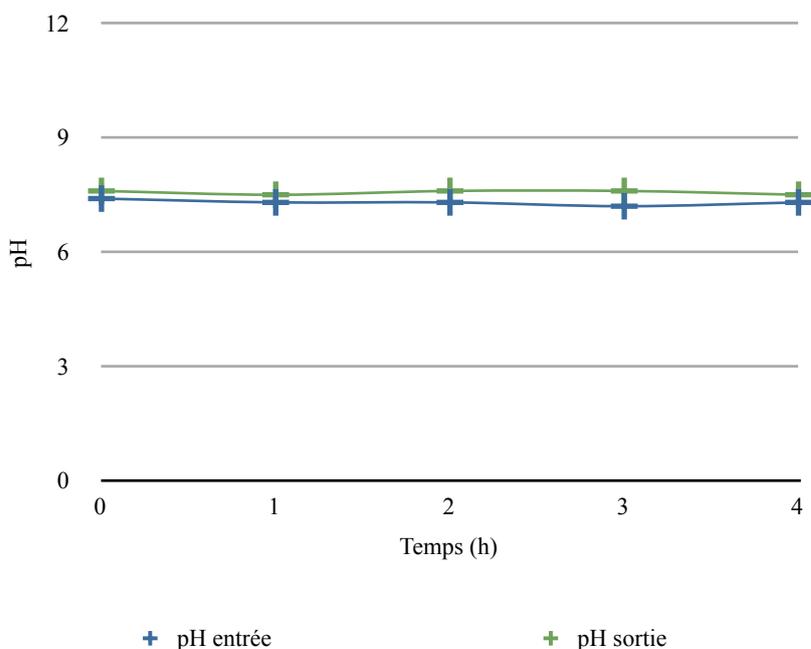
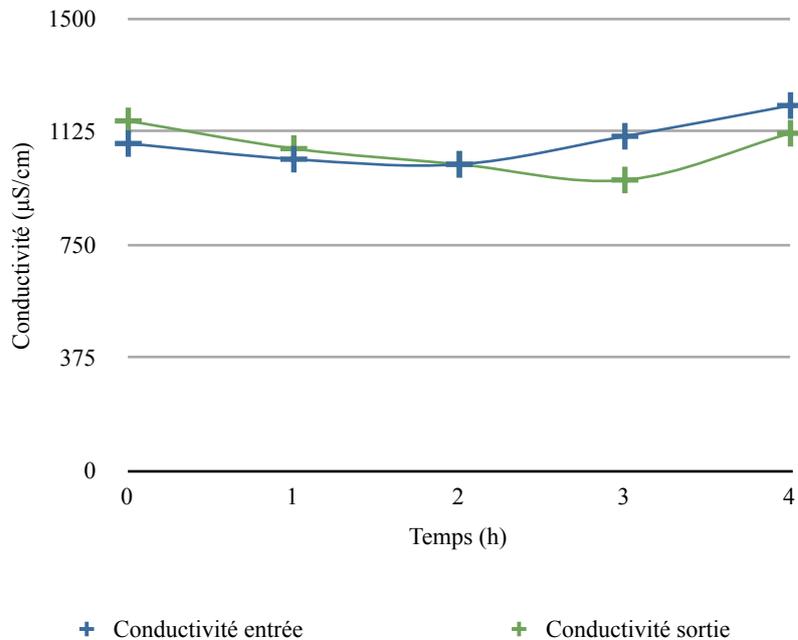
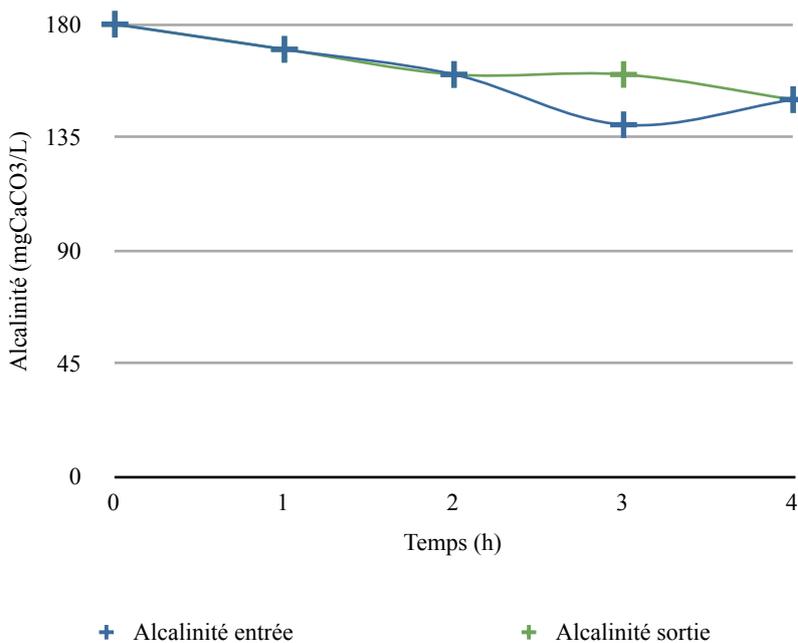


Figure 20 : pH en fonction du temps (avec ajout)



**Figure 21 : Conductivité en fonction du temps (avec ajout)**



**Figure 22 : Alcalinité en fonction du temps (avec ajout)**



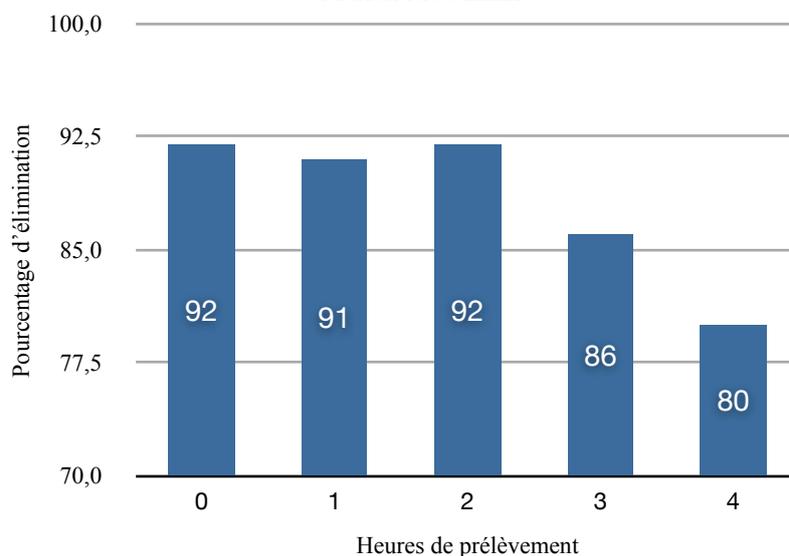


Figure 23 : Pourcentage d'élimination en fonction des heures de prélèvement (avec ajout)

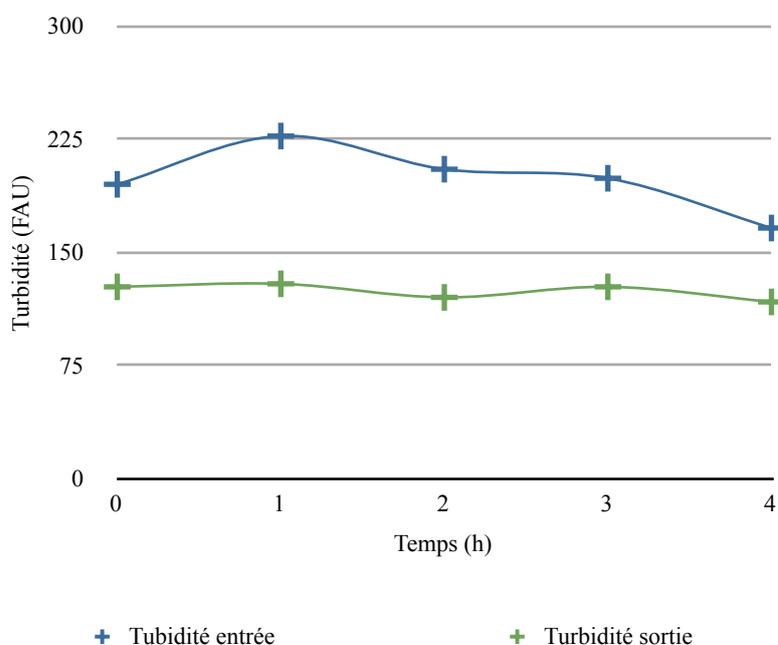


Figure 24 : Turbidité en fonction du temps (avec ajout)

D'après ces résultats, on peut penser qu'il y a une corrélation entre la turbidité et les MES. Cependant il est difficile de l'établir. En effet, la turbidité est une lecture optique. La valeur va dépendre des caractéristiques des particules (taille, forme). Ainsi il y a une très grande variabilité de lecture, par exemple si le faisceau optique passe par une grosse particule à ce moment là. Cette corrélation nous intéresse pour l'établissement du modèle mathématique. Ainsi d'autres ajouts à l'échelle réelle sont prévus.

## Conclusion

L'amélioration de la qualité de l'eau en sortie d'une STEP est essentielle pour la sauvegarde de notre écosystème mais aussi pour la santé de la population mondiale. Pour cela, il existe des exigences gouvernementales qui doivent être respectées par chaque STEP. Il est donc important d'essayer d'améliorer chaque opération unitaire du traitement des eaux usées afin de répondre aux normes gouvernementales et ainsi d'obtenir une meilleure qualité de l'eau en sortie de STEP. C'est, en partie, ce que le groupe de recherche *modelEAU* essaye de faire au travers de différents projets comme les projets *primEAU* et *alEAU*.

Le projet *primEAU* a pour but d'améliorer la décantation primaire dans une filière de traitement à boues activées et de digestion anaérobie tandis que le projet *alEAU* se concentre sur l'amélioration de la coagulation et la floculation par l'ajout d'alun et de polymère dans la décantation primaire des STEP de la ville de Québec. Pour chacun de ces projets, un modèle mathématique sera établi. Au cours de mon stage, j'ai travaillé dans différentes parties de ces projets.

Pour le projet *primEAU*, j'ai établi un protocole visant à mesurer la concentration en carbohydrates dans les eaux usées et dans les boues. En effet, les différentes études faites pour établir le protocole m'ont permises de personnaliser ce dernier afin qu'il soit le plus adéquat possible pour la campagne d'échantillonnage prévu pour le projet *primEAU*. De plus, au cours de ces études on a constaté que dans les boues primaires sont très concentrées en carbohydrates ce qui est un point important pour la production de biogaz.

Pour le projet *alEAU*, j'ai pu participer aux analyses des MES liées à l'ajout d'alun et de polymère en amont des décanteurs primaires de la STEP Est de la ville de Québec. L'analyse des MES avant et après l'ajout de polymère, nous montre que la coagulation et la floculation ont été optimisées. Cependant, il ne s'agit que d'un premier essai. D'autres ajouts sont prévus.

En combinant les différentes conclusions, on peut se rendre compte que la coagulation et la floculation sont déterminantes dans l'amélioration de la décantation primaire. Ainsi l'ajout de produits chimiques tels que l'alun et le polymère nous permet de l'optimiser. On peut aussi se demander comment évoluera la concentration en matière organique, comme les carbohydrates, lors de l'ajout de ces produits chimiques. Une augmentation nous permettra d'envisager une utilisation de ces boues pour produire des biogaz par exemple.

## **Conclusion personnelle**

Ce stage a été enrichissant aussi bien professionnellement que personnellement. En effet, au cours de ce stage, j'ai pu acquérir une première expérience professionnelle dans le domaine de la recherche et ainsi découvrir le fonctionnement et l'organisation d'un groupe de recherche. J'ai contribué personnellement aux projets *alEAU* et *primEAU*, et assister en tant que technicienne de laboratoire à diverses analyses. Cela m'a permis d'améliorer mes connaissances sur le traitement des eaux et de voir à quel point c'est un enjeu important pour la préservation de l'écosystème et de la santé publique. Il m'a également permis de me rendre compte que pour travailler dans un laboratoire de recherche, il fallait avoir de la patience et être rigoureux lors des manipulations. De plus, la sécurité est un point très important lorsqu'on travaille avec des produits dangereux. En effet, il faut penser à toutes les personnes qui sont autour de nous afin d'éviter de les exposer au danger. J'ai pu également me rendre compte qu'il fallait être bien organiser afin de veiller au bon déroulement d'un projet. J'ai également gagné en confiance car grâce à la réalisation de manipulations en toute autonomie. Ce stage sera un plus pour la suite de ma scolarité. D'un point de vue plus personnel, ce stage m'a permis de découvrir un nouveau pays, une nouvelle culture bien différente de la notre.

## **Références**

Daniels L., Hanson R. and Phillips J.A., 1994. Chemical analysis, dans Methods for general and molecular bacteriology, P. Gerhardt, R. G. E. Murray, W. A. Wood et N. R. Krieg, American Society for Microbiology, Washington, D.C., p. 512-554.

Herbert D., Phipps P.J. and Strange R.E., 1971. Chemical analysis of microbial cells, dans Methods in microbiology, J. R. Norris et D. W. Ribbons Edt, Academic Press, London et New York, p. 209-344.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. et Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem, 28, p350-356.

### **Références sur les schémas**

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1068> (Fig 2)

<http://www.bioterre.com/digestion.php> (Fig 3)

[http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome3/proc\\_met.htm](http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome3/proc_met.htm) (Fig 4)

### **Références internet**

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Méthanisation>

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Boue\\_activée](http://fr.wikipedia.org/wiki/Boue_activée)

## **Annexe A**

Avant de pouvoir manipuler dans le laboratoire de recherche, j'ai du assisté à deux formations. La première formation est délivrée par Michel BISPING (Responsable du laboratoire) et la seconde formation est la formation SIMDUT ( Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail)

### **A.1 Formation du Laboratoire**

La formation du laboratoire consiste à visiter le laboratoire tout en repérant ce qui pourrait nous être utile en cas de danger.

Ce laboratoire n'est pas exclusivement réservé au groupe de recherche modelEAU, d'autres groupes, par exemple des groupes de recherche sur l'eau potable, y travaillent également. Ainsi le laboratoire est divisé en plusieurs partie, cependant toute les appareils de mesures sont à la disposition de toute les personnes travaillant au laboratoire.

Cette visite nous permet de repérer les rinces-oeil et les douches qui peuvent être utilisées en cas de projection de produits dangereux dans les yeux ou sur la peau. Elle nous permet également de savoir où sont placés les produits chimiques. Ils sont séparés en plusieurs sections (les produits généraux, les produits inflammables etc... ).

### **A.2 Formation SIMDUT**

Lors de cette formation, nous apprenons comment un laboratoire est tenu de respecter les règles de sécurité afin d'assurer la santé et la sécurité de toutes personnes qui utilisent des produits présentant un certain danger.

Tout produit doit être renseigné d'un pictogramme qui le classe parmi plusieurs catégories : Gaz comprimés, matières inflammables et combustible, matières comburantes, matières toxiques et infectieuses, matières corrosives et matières dangereuses et réactives. Ces différentes classes sont associées à un pictogrammes. Ainsi, on nous apprend à quoi correspondent chaque pictogrammes.

Chaque produit chimique doit être associé à une fiche signalétique qui doit être disponible au laboratoire. Lors de cette formation, on nous montre à quoi correspond chaque partie de la fiche signalétique.

Enfin on nous explique quelles sont les mesures à prendre lors d'un accident dans un laboratoire en nous donnant des exemples.

## Annexe B

### B.1. Calcul d'incertitudes

Les règles du calcul d'incertitudes sont régies par les équations (1) et (2).

$$\Delta A = \Delta B + \Delta C \text{ quand } A = B + C \text{ ou } A = B - C \quad (1)$$

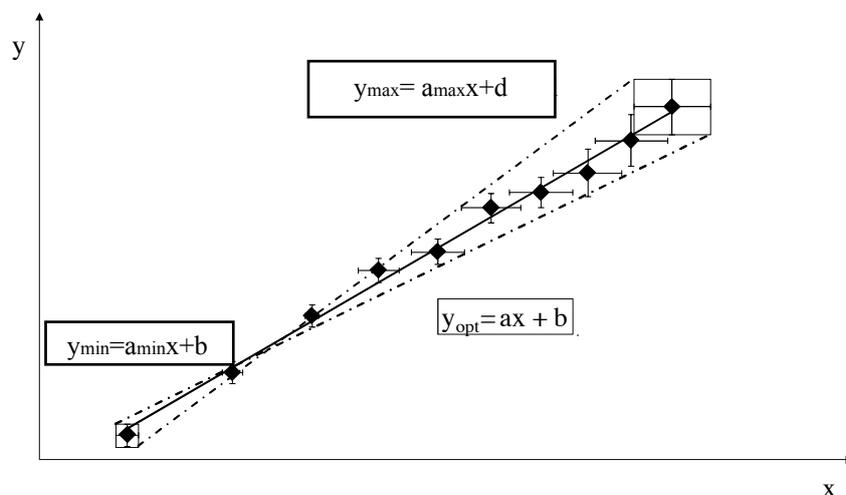
$$\Delta A/A = \Delta B/B + \Delta C/C \text{ quand } A = B * C \text{ ou } A = B / C \quad (2)$$

Les incertitudes sur les mesures effectuées ont été calculées grâce aux équations (1) et (2) mais aussi à l'aide de la précision du matériel utilisé. (Tab. )

	Fioles jaugées (mL)		Pipettes (uL)		Balance (g)	Spectrophotomètre (Abs)	
<b>Paramètres</b>	100	250	20 - 200	200 - 1000	200,0000	0,0 - 0,5	0,5 - 2,0
<b>Incertitudes</b>	0,16	0,24	1,20	6,00	0,0001	0,005	1 %

### B.2. Calcul d'incertitudes sur une pente

Lorsque l'on trace un graphique à partir de points expérimentaux, chacun de ces points est entaché d'une incertitude. Nous pouvons associer à chacun de ces points un cadre rectangulaire d'incertitude. La droite optimale passe en principe par chacun de ces cadres en minimisant, par la règle du moindre carré, l'écart entre la droite et les points expérimentaux. Deux droites sont tracées de manière à ce la droite maximale et la droite minimale suggère respectivement la droite possédant la plus grande pente possible et la plus petite possible. Ces droites doivent passer au travers de chacun des cadres d'incertitudes. (Fig)



L'incertitude de la droite de la pente est calculée d'après les équations (3) et (4).

$$\Delta a_{\min} = a - a_{\min} \quad \text{et} \quad \Delta a_{\max} = a_{\max} - a \quad (3)$$

$$\Delta a = (\Delta a_{\min} + \Delta a_{\max})/2 \quad (4)$$

## Annexe C

Cette annexe est composée des tableaux des résultats des jar-tests.

### C.1 Tableau représentant les résultats pour la détermination de la concentration d'alun

	témoin	2	3	4	5	6
alun (mg/L)	0	30	40	50	60	70
polymère (mg/L)	0	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
taille flocs		taille et quantité de flocs peu différents entre les échantillons				
quantité flocs						
turbidité	31.3	6.81	x	4.31	2.81	1.71
pH	7.7	7.4	x	7.3	7.2	7.2
MeS	37.1	11.0	11.3	6.7	4.5	2.9

### C.2 Tableau représentant les résultats pour la détermination de la concentration de polymère à ajouter

	témoin	2	3	4	5	6
alun (mg/L)	0	70	70	70	70	70
polymère (mg/L)	0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
taille flocs	--	-	-	+	++	++
quantité flocs	--	-	+	+	++	++
turbidité	44.3	1.44	2.05	1.56	1.72	2.65
pH	7.7	7.0	7.0	7.1	7.1	7.1
MeS	62.0	0.0	2.7	1.8	2.1	3.4

## Annexe D

### D.1. Tableau des résultats sur les échantillons prélevés en entrée des décanteurs primaires (30 mars 2011)

heures	ma (g)	mb (g)	Véchantillon (mL)	Concentration en MES (mg/L)	turbidité (FAU)	pH	conductivité (µS)	alcalinité (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	T (°C)
12 H 00	2,3229	2,3339	47	234	214	7,2	1101	170	10,8
13 H 00	2,2256	2,2364	46	235	199	7,2	1048	160	11,1
14 H 00	2,2547	2,2669	48	254	214	7,2	993	150	10,3
15 H 00	1,1298	1,1414	46	252	223	7,2	1010	140	10,8
16 H 00	1,1328	1,1443	48	240	190	7,3	1160	130	11,1
17 H 00	1,1282	1,1388	48	221	185	7,2	932	130	10,6
18 H 00	1,1273	1,1365	48	192	173	7,2	898	120	11
19 H 00	1,1207	1,1296	46	193	169	7,2	878	130	11,4
20 H 00	1,1178	1,1273	49	194	190	7,3	883	140	11,2
21 H 00	1,1251	1,1337	44	195	176	7,3	924	140	11,9
22 H 00	1,1214	1,1307	47	198	185	7,2	921	150	12,5
23 H 00	1,1211	1,1346	48	281	193	7,2	935	150	12,7

### D.2. Tableau des résultats sur les échantillons prélevés en sortie des décanteurs primaires (30 mars 2011)

heure	ma (g)	mb (g)	Véchantillon (mL)	Concentration en MES (mg/L)	turbidité (FAU)	pH	conductivité	alcalinité	T (°C)
12 H 00	2,3140	2,3179	44	89	127	7,6	1160	180	9,3
13 H 00	2,2801	2,2851	68	74	129	7,5	1068	170	9,4
14 H 00	2,2534	2,2602	78	87	120	7,6	1016	160	8,5
15 H 00	2,2766	2,2842	82	93	127	7,5	964	160	8,8
16 H 00	2,3039	2,3101	70	89	117	7,5	1119	150	7,8
17 H 00	2,2715	2,2801	84	102	113	7,4	1007	150	8,4
18 H 00	1,1289	1,1352	68	93	113	7,5	888	140	9,4
19 H 00	1,1276	1,1339	72	87	130	7,5	875	140	9,8
20 H 00	1,1241	1,1294	66	80	115	7,5	858	140	9,7
21 H 00	1,1170	1,1250	74	108	121	7,4	886	150	9,6
22 H 00	1,1265	1,1318	64	83	109	7,4	907	160	9,8
23 H 00	1,1253	1,1320	80	84	104	7,4	912	150	10

**D.3. Tableau des résultats des analyses sur les échantillons après ajouts d'alun et de polymère en entrée des décanteurs primaires**

heure	cup n°	m1 (g)	m2 (g)	V (mL)	turbidité	pH	conductivité	alcalinité	T (°C)
9 H 00	1	1,1209	1,1334	47	195	7,4	1085	180	10,1
10 H 00	2	1,1180	1,1313	45	227	7,3	1033	170	10,7
11 H 00	3	1,1194	1,1302	38	205	7,3	1016	160	11,2
12 H 00	4	1,1129	1,1273	46	199	7,2	1109	140	13,9
13 H 00	5	1,1150	1,1254	48	166	7,3	1211	150	13,8

**D.4 Tableau des résultats des analyses sur les échantillons après ajouts d'alun et de polymère en sortie des décanteurs primaires**

heure	cup n°	m1 (g)	m2 (g)	V (mL)	turbidité	pH	conductivité	alcalinité
9 H 00	10B	2,3140	2,3179	44	127	7,6	1160	180
10 H 00	11B	2,2801	2,2851	68	129	7,5	1068	170
11 H 00	12B	2,2534	2,2602	78	120	7,6	1016	160
12 H 00	13B	2,2766	2,2842	82	127	7,5	964	160
13 H 00	14B	2,3039	2,3101	70	117	7,5	1119	150

**D.5 Tableau des résultats de la concentration en MES en entrée et sortie des décanteurs primaires et les pourcentages d'enlèvement des MES (sans ajouts)**

Heures de prise des échantillons	MeS (mg/L)		enlèvement
	entrée	sortie	
12 H 00	234	89	62 %
13 H 00	235	74	69 %
14 H 00	254	87	66 %
15 H 00	252	93	63 %
16 H 00	240	89	63 %
17 H 00	221	102	54 %
18 H 00	192	93	52 %
19 H 00	193	87	55 %
20 H 00	194	80	59 %
21 H 00	195	108	45 %
22 H 00	198	83	58 %
23 H 00	281	84	70 %

**D.6 Tableau des résultats de la concentration en MES en entrée et sortie des décanteurs primaires et les pourcentages d'enlèvement des MES (avec ajout)**

heures de prise de l'échantillon	MeS (mg/L)		enlèvement
	entrée	sortie	
9 H 00	266	21	92 %
10 H 00	296	28	91 %
11 H 00	284	23	92 %
12 H 00	313	43	86 %
13 H 00	217	44	80 %