



**Université Laval**

Pavillon Adrien Pouliot  
Dep. Génie Civil et Génie des Eaux  
1065 Avenue de la Médecine  
GIV 0A6 Québec, Canada

**Université de Nantes**

Campus de Gavy Océanis  
Dep. Génie des Procédés  
Bd de l'Université  
44600 Saint Nazaire, France

# **RAPPORT DE STAGE :**

## **CARACTÉRISATION DE LA VITESSE DE CHUTE DES PARTICULES DANS UN DÉCANTEUR PRIMAIRE**

---

Du 5 mars 2012 au 31 août 2012

Virginie LAURET  
Master 1 ICA parcours Génie des Procédés

Maître de stage à l'Université Laval : Ludiwine CLOUZOT  
Tuteur à l'Université de Nantes : Luc MARCHAL

Année Universitaire 2011-2012



# SOMMAIRE

---

Table des figures.....	5
Abréviations.....	6
Remerciements.....	7
Introduction.....	8
<b>I. Présentation de la formation .....</b>	<b>9</b>
<b>II. Présentation de l'entreprise.....</b>	<b>10</b>
II.1. L'université Laval.....	10
II.2. modelEAU.....	10
II.3. Le projet primEAU.....	10
II.4. Les stations d'épuration de la ville de Québec.....	11
<b>III. Gestion de projet.....</b>	<b>13</b>
III.1. Note de cadrage.....	13
III.1.i.  Objet du projet .....	13
III.1.ii. Motifs et contexte .....	13
a  Déclencheurs du projet.....	13
b  Contexte .....	13
III.1.iii. Objectifs de qualité .....	13
a  Produits du projet.....	13
b  Fonctions des produits .....	14
III.1.iv.  Objectifs de temps.....	14
III.1.v.  Contraintes sur objectifs .....	14
a  Qualité .....	14
b  Temps .....	14
c  Charge.....	14
d  Coûts.....	14
III.1.vi.  Adéquation entre les objectifs : .....	14
a  Objectifs à maintenir .....	14
b  Objectifs à négocier.....	15
c  Résultats de la négociation .....	15
III.2. Suivi du projet.....	15
<b>IV. Présentation du projet.....</b>	<b>16</b>
IV.1. Bibliographie.....	16
IV.1.i.  La décantation primaire .....	16
IV.1.ii. La modélisation de la décantation primaire.....	17

IV.1.iii.	La caractérisation des particules dans un décanteur primaire .....	18
IV.1.iv.	La vitesse de chute des particules dans un décanteur primaire .....	19
IV.1.v.	Synthèse et conclusion .....	21
<b>IV.2.</b>	<b>Matériels et méthodes .....</b>	<b>22</b>
IV.2.i.	Les échantillons .....	22
a	Au niveau du décanteur primaire.....	22
b	Au niveau du pilote .....	22
IV.2.ii.	Protocoles de caractérisation des particules .....	24
a	Matières en suspension (MeS) .....	24
b	Matières volatiles en suspension (MVS) .....	25
IV.2.iii.	Plan expérimental.....	28
a	Relation entre les MeS et la turbidité .....	28
b	Caractérisation de la vitesse de chute des particules .....	30
<b>IV.2.</b>	<b>Résultats et discussions .....</b>	<b>32</b>
IV.2.i.	Corrélation entre les MeS et la turbidité.....	32
a	Corrélation obtenue en laboratoire .....	32
b	Corrélation obtenue à partir du pilote .....	33
IV.2.ii.	Caractérisation de la vitesse de chute des particules .....	36
a	Reproductibilité des tests ViCAs.....	36
b	Influence du temps hydraulique du pilote sur les ViCAs.....	37
c	Influence de la concentration des MeS.....	38
d	Influence de la météo.....	40
e	Influence du changement de station .....	41
<b>Conclusion .....</b>		<b>43</b>
<b>Bilan personnel.....</b>		<b>44</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>45</b>

# TABLE DES FIGURES

---

Figure 1 : Localisation des stations d'épuration de Québec .....	11
Figure 2 : Plan des stations d'épuration de Québec .....	12
Figure 3 : Nouveau modèle obtenu grâce au couplage du modèle ASM et ADM .....	18
Figure 4 : Principe de mesure de la sonde de turbidité SOLITAX SC .....	19
Figure 5 : Schéma du dispositif ViCAs .....	20
Figure 6 : Pilote primEAU .....	22
Figure 7 : Schéma du pilote de décantation primaire .....	23
Figure 8 : Échantillonnage en entrée (à gauche) et en sortie (à droite) du pilote .....	23
Figure 9 : Autoéchantillonneur Sigma SD 900 de Hach .....	24
Figure 10 : Sonde avec le tuyau de l'échantillonneur .....	24
Figure 11 : Banc de filtration pour MeS avec 6 supports .....	25
Figure 12 : Colonne ViCAs .....	26
Figure 13 : Fichier Excel du protocole ViCAs .....	26
Figure 14 : Ajustement de la courbe M(t) .....	27
Figure 15 : Passage de la masse cumulée au pourcentage de masse avec une vitesse de chute inférieure à $V_c$ ..	27
Figure 16 : Bac de la sonde d'entrée .....	28
Figure 17 : Liaison pilote (Sonde d'entrée) .....	28
Figure 18 : Liaison pilote (Sonde de sortie) .....	28
Figure 19 : Analyse de la turbidité des boues (à droite) et panneau de contrôle (à gauche) .....	29
Figure 20 : Les écarts entre les deux sondes .....	32
Figure 21 : Corrélation obtenue par dilutions de boues pour la sonde d'entrée et de sortie du pilote .....	32
Figure 22 : Turbidité après 8 h de fonctionnement .....	33
Figure 23 : Turbidité sur 1 h comprenant l'heure où le nettoyage a été effectué après 24h de fonctionnement	34
Figure 24 : Turbidité de la sonde sur 24h, après 18h de fonctionnement l'encrassement cause une augmentation de la turbidité .....	34
Figure 25 : Sonde d'entrée (à gauche), sonde de sortie (au milieu) après 24h de fonctionnement et emplacement du tuyau de la sonde de sortie sur un volume mort (à droite) .....	35
Figure 26 : MeS en fonction de la turbidité, superposition des échantillonnages et des courbes de corrélations laboratoires .....	35
Figure 27 : MeS en fonction de la turbidité, superposition des échantillonnages et de la courbe de corrélation laboratoire pour la sortie .....	36
Figure 28 : Reproductibilité des ViCAs sur 3 jours sur des eaux d'entrée et de sortie du décanteur prélevées entre 9 h et 10 h .....	37
Figure 29 : Influence du temps hydraulique du pilote avec 3 débits différents 2, 4 et 10 m <sup>3</sup> /h .....	38
Figure 30 : Influence de la concentration en diluant l'échantillon 3 fois .....	39
Figure 31 : Influence de la concentration avec les heures de prélèvement différentes: 14, 18, 22, 2 et 6 h .....	40
Figure 32 : Influence de la météo en comparant un temps sec à un temps de pluie .....	41
Figure 33 : Influence du changement de station, zone A : Entrée, zone B : Sortie .....	42
Tableau 1 : Temps de décantation des particules isolées de tailles différentes, obtenues d'après la loi de Stokes. ....	17
Tableau 2 : Tableau récapitulatif .....	31

# ABRÉVIATIONS

---

ASM : Activated Sludge Model

ADM : Anaerobic Digester Method

ViCAs : Vitesse de Chute en Assainissement

FBRM : Focused Beam Reflectance Method

MeS : Matières en Suspension

MVS : Matières Volatiles en Suspension

# REMERCIEMENTS

---

Je remercie tout d'abord le professeur Peter VANROLLEGHEM pour m'avoir accepté en tant que stagiaire au sein du projet primEAU.

Je tiens tout particulièrement à remercier Ludiwine CLOUZOT, post-doctorante, pour son aide et ses conseils avant et pendant mon stage.

Je remercie également, Giulia BACHIS, doctorante, et Imen BEL HADJ, étudiante à la maîtrise, pour leur disponibilité et leur aide sur mes manipulations.

Pour finir, je voudrais remercier tous les membres de modelEAU, plus particulièrement l'équipe primEAU, pour leur accueil chaleureux et leur bonne humeur.

# INTRODUCTION

---

Le traitement de l'eau est devenu très important dans la société actuelle. L'augmentation des activités humaines et donc des rejets polluants nuit à la qualité de l'eau et de l'environnement. De plus, les besoins en eaux des populations ne font qu'augmenter. Ce qui fait de la gestion de l'eau un enjeu majeur du XXI<sup>ème</sup> siècle. Le seuil limite du pouvoir auto-épurateur de la nature étant atteint, la mise en place d'un système de traitement des eaux usées permet de mieux gérer la qualité des rejets.

Au Canada, la gestion de l'eau est une problématique très présente étant donné que le pays possède 20 % des réserves mondiales en eau douce. À Québec, le problème est que les réseaux de collecte ne sont pas en totalité séparatif. En effet, pour éviter le débordement des eaux usées dans les milieux récepteurs, les nouveaux réseaux sont dotés de réservoirs accueillant les eaux usées. Ainsi lors de précipitations, les eaux usées sont stockées et les eaux pluviales peuvent être rejetées dans le fleuve. À ce jour, seulement 30% du réseau est de type séparatif. Le cas de Québec n'est pas isolé et la gestion des eaux est une problématique de nombreuses villes dans le monde.

Dans le cadre de ma première année de master ICA, le groupe de recherche modelEAU m'a accueilli pour un stage de six mois au sein du projet primEAU à Québec, au Canada. Ce projet cherche à modéliser et optimiser les performances de la décantation primaire et aussi de réduire les coûts de fonctionnement en rendant les stations d'épuration autosuffisantes. Un pilote de décantation primaire placé dans une des stations d'épuration de Québec est étudié dans ce but.

Mon objectif de stage principal est de mieux connaître la décantation primaire en me concentrant sur la caractérisation des particules dans le décanteur. D'abord, je déterminerais l'influence de différents facteurs sur la distribution de la vitesse de chute des particules comme la concentration de matières en suspension, du débit et de la météo. Ensuite, une relation entre la turbidité et les matières en suspension sera déterminée.

Dans ce rapport, Je vais d'abord présenter ma formation ainsi que l'entreprise dans laquelle j'ai effectué mon stage. Je poursuivrais par la gestion de mon projet et la présentation de mon stage.

# I. PRÉSENTATION DE LA FORMATION

---

Je suis actuellement en master 1 Ingénierie Chimique et Agro-Alimentaire parcours génie des procédés au sein de l'université de Nantes. Cette 1<sup>ère</sup> année de master s'inscrit dans une formation en génie des procédés du niveau Licence 3 au niveau master 2 s'effectuant sur le site de Gavy-Océanis à Saint Nazaire. L'équipe enseignante fait partie du laboratoire GEPEA (Génie des Procédés Environnement et Agroalimentaire) qui est un des pôles de recherche et de transfert de technologie les plus importants en génie des procédés en France.

Ce cursus permet une spécialisation dans les procédés de transformation physique et chimique plus particulièrement dans le domaine de l'environnement et de l'Agro-Alimentaire. Il s'appuie sur des connaissances en génie des procédés (thermodynamique, mécanique des fluides, phénomènes de transfert, calcul de réacteurs), en bioprocédés (génie biochimique, microbiologie industrielle et biochimie) et sur une bonne maîtrise des méthodes de calcul et de l'informatique. Cette formation permet d'intégrer différents secteurs industriels comme la chimie lourde ou fine, l'environnement, l'agroalimentaire ou les biotechnologies.

Dans le cadre de la formation, deux stages de 6 mois doivent être effectués pour les deux années de master. J'ai choisi d'effectuer ce stage au Canada à l'université Laval à Québec dans le groupe de recherche modelEAU.

## II. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

---

### II.1. L'UNIVERSITÉ LAVAL

C'est en 1663, dans la ville de Québec qu'est créé le Séminaire de Québec par François de Montmorency-Laval, le premier évêque de la Nouvelle-France, qui permettait de former des prêtres pour les villages de la colonie. Mais ce n'est qu'en 1852 que l'Université Laval voit le jour. Pour pallier au manque d'établissement universitaire, la reine Victoria signe une charte Royale permettant au Séminaire d'avoir « tous les droits, pouvoirs et privilèges d'Université ». Cette Université devient la première université francophone en Amérique. De nos jours, cet établissement compte 44000 étudiants dont 4000 d'origine étrangère, répartis dans 392 programmes d'études, ainsi que 9000 employés. L'université Laval se situe au 7<sup>ème</sup> rang des grandes universités de recherche du Canada et comprend 79 chaires de recherche du Canada, ainsi que 37 centres de recherche, 77 groupes de recherche et 8 instituts.

### II.2. MODELEAU

Le groupe de recherche modelEAU fait partie du département de Génie Civil et de Génie des Eaux de la Faculté des Sciences et de Génie de l'Université Laval. modelEAU a été créé par le Dr. Peter Vanrolleghem en février 2006 grâce à la Chaire de recherche qui lui a été attribuée.

L'objectif de modelEAU est d'améliorer la qualité des eaux en bassins versants, rivières urbaines, réseaux d'égouts et en usines de traitement d'eaux usées. Pour cela, des modélisations et des simulations sont utilisées dans le but d'optimiser les systèmes d'eau. Ainsi, différents projets ont été créés pour chaque problématique : par exemple, le projet alEAU, qui étudie la coagulation et la floculation dans un décanteur primaire ou bien le projet primeEAU dans lequel j'effectue mon stage.

La plupart des entreprises partenaires de modelEAU se situe en Amérique du nord ou en Europe, citons John Meunier, filiale de Véolia au Canada, et la ville de Québec.

### II.3. LE PROJET PRIMEAU

Le projet primeEAU est le projet dans lequel j'effectue mon stage. Il a été financé en partie par John Meunier et par le gouvernement du Canada. Il est dirigé par Peter VANROLLEGHEM. Le doctorat de Giulia BACHIS fait partie intégrante de primeEAU. Ce projet a pour but d'améliorer la décantation primaire grâce à une meilleure compréhension du procédé et la création d'un modèle. La décantation primaire est un des premiers traitements de la filière de traitement des eaux usées et peut donc agir sur la performance des unités suivantes. C'est pourquoi optimiser la décantation permettrait d'améliorer toute la filière de traitement. Les modèles des décanteurs primaires n'ont pas été beaucoup développés par rapport à d'autres unités comme les boues activées. La digestion anaérobie

des boues issues du décanteur permettrait la production de biogaz qui peut être convertie en électricité. Avec l'augmentation de la performance, une plus grande quantité de boues seraient produites et donc plus de biogaz. Ainsi, cette électricité produite rendrait les stations d'épuration autosuffisantes.

Le projet est découpé en plusieurs parties permettant d'obtenir les données nécessaires à la modélisation. Une partie permet d'avoir les données hydrauliques et les bilans de matières du décanteur. Ensuite, les données des deux modèles ASM (Activated Sludge Method) et ADM (Anaerobic digester Method) qui seront reliés au nouveau modèle. Aussi, la partie sur la distribution de la vitesse de chute et de la taille des particules, qui constitue mon projet de stage. Et enfin, l'ajout de coagulant-floculant est étudié. Pour cela, un décanteur pilote a été installé à la station d'épuration Est de Québec, et relié au même effluent que le décanteur primaire réel.

## **II.4. LES STATIONS D'ÉPURATION DE LA VILLE DE QUÉBEC**

La ville de Québec possède deux stations d'épuration : les stations Est et Ouest, qui se répartissent 400 000 m<sup>3</sup>/j d'eaux usées à traiter (60% à l'est et 40% à l'ouest) et qui desservent 540 000 habitants (Figure 1). C'est en 1992 que les stations commencent à assainir les eaux de Québec. Auparavant, un réseau d'égout permettait de déverser les eaux usées dans le fleuve où la dilution avec celui-ci devait permettre le renouvellement de l'eau. Depuis 2002, 14 réservoirs de rétention ont été ajoutés au réseau pour pallier les débordements dans le fleuve en temps de pluie.

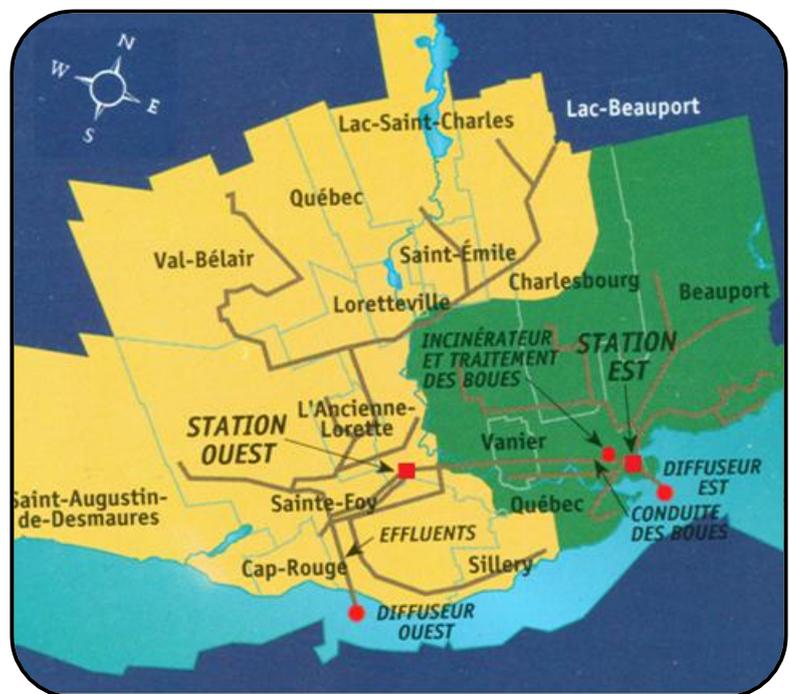


Figure 1 : Localisation des stations d'épuration de Québec

Les deux stations d'épuration possèdent les mêmes équipements, seul le nombre diffère. Cinq étapes sont réalisées pour le traitement de l'eau (Figure 2). D'abord, un dégrillage qui permet l'élimination des matières solides grossières. Ensuite, l'eau entre dans des dessableurs, les particules de sable tombent au fond du bassin et sont éliminées grâce à un racleur. De plus, une injection d'air dans le bassin permet aux huiles et graisses de remonter à la surface et d'être enlevées par un racleur de surface. L'étape suivante est celle de la décantation. Elle permet d'éliminer, sous l'effet de la pesanteur, une grande partie des matières en suspension toujours présentes dans l'eau. Grâce à l'ajout de coagulant et de floculant, cette décantation se fait plus rapidement et plus efficacement. L'eau est ensuite relevée et entre dans les biofiltres. Les bactéries présentes dans les filtres se nourrissent alors de la matière organique dissoute dans l'eau, c'est-à-dire les sources de carbone, d'azote et de phosphore.

Les boues primaires et secondaires sont envoyées vers des épaisseurs situés à la station Est, ensuite incinérées pour obtenir de la matière sèche qui sera alors brûlée avec des ordures domestiques. Les stations sont aussi équipées d'un procédé de récupération des gaz malodorants. Grâce à différents réactifs, les gaz sont neutralisés, oxydés ou absorbés.

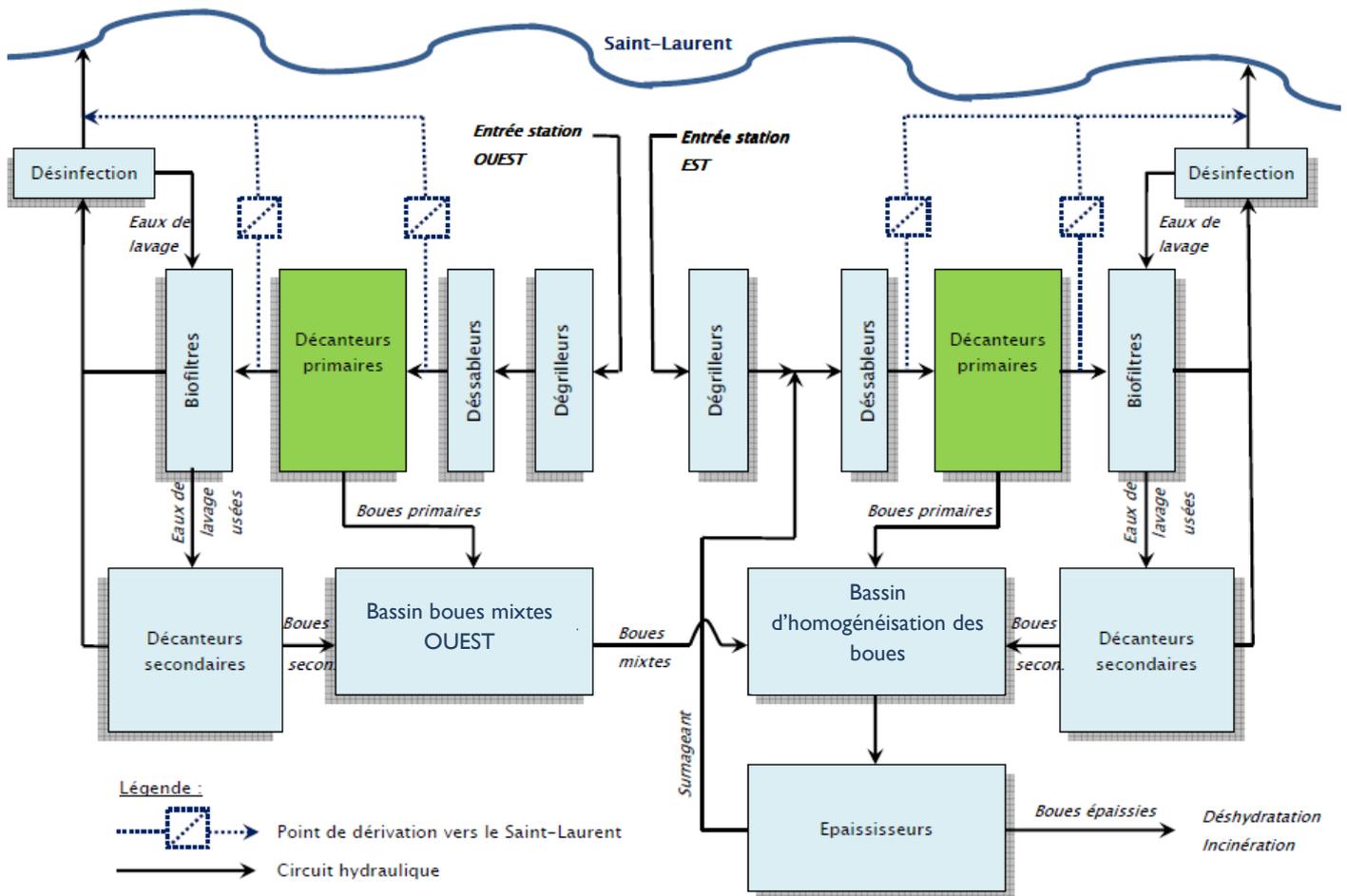


Figure 2 : Plan des stations d'épuration de Québec

# III. GESTION DE PROJET

---

## III.1. NOTE DE CADRAGE

### III.1.i. Objet du projet

Ce stage entre dans le cadre de l'optimisation de la décantation primaire dans une filière de traitement des eaux usées. Pour cela, je dois caractériser la distribution de la taille des particules issue de l'entrée, de la sortie et des boues du décanteur pilote installé à la station Est de Québec. En parallèle, je dois caractériser la vitesse de chute des particules dans le décanteur grâce au protocole ViCAs (vitesse de chute en assainissement). De plus, les sondes de turbidité du pilote doit être vérifiées. Une corrélation entre les MeS et la turbidité doit être déterminée.

### III.1.ii. Motifs et contexte

#### a Déclencheurs du projet

J'effectue mon stage au sein du laboratoire de recherche modelEAU. Mon sujet de stage s'inscrit au sein du projet primEAU du laboratoire. Ce projet a pour but d'améliorer la décantation primaire grâce à une meilleure compréhension du procédé et à la création d'un modèle à partir de modèles déjà existants.

Pour cela, différentes données sont nécessaires telles que les informations hydrauliques, les bilans de matières, les taux de lipides, de carbohydrates, d'acides gras volatiles ainsi que la distribution de la vitesse de chute et de la taille des particules.

#### b Contexte

L'élimination d'une partie des particules au niveau de la décantation primaire agit directement sur la performance des traitements suivants. Ainsi le décanteur primaire peut être considéré comme un composant fondamental des usines de traitement des eaux usées. Pourtant peu de modèles de décanteur ont été développés par rapport aux autres unités de traitements des eaux usées.

Connaître la taille et la vitesse de chute des particules est essentielle pour la modélisation du décanteur. J'utiliserais l'appareil Lasentec pour déterminer la taille des particules. Cet appareil vient d'être installé au laboratoire. Pour la vitesse de chute, j'utiliserais le protocole ViCAs. Celui-ci a seulement été utilisé pour des eaux de rétention. Il faut maintenant l'appliquer aux eaux usées. Aussi, j'étalonnerais les sondes de turbidité et optimiserais le temps entre chaque nettoyage. Enfin, je trouverais une corrélation permettant à partir de la mesure de turbidité de la sonde de trouver les MeS correspondantes sans avoir à effectuer les analyses standard.

### III.1.iii. Objectifs de qualité

#### a Produits du projet

Distribution de la taille des particules

Distribution de la vitesse de chute des particules  
Relation entre les MeS et la turbidité  
Temps entre chaque nettoyage

**b**      Fonctions des produits

Distribution de la taille des particules

L'appareil Lasentec permet de déterminer la distribution de la taille des particules grâce à la méthode FBRM (Focused Beam Reflectance Method). Grâce à un laser, l'appareil mesure la longueur des particules qu'il traverse. Ainsi la distribution de la taille des particules est obtenue. Cela permettra de connaître la taille des particules de l'entrée, de la sortie et des boues du décanteur à différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année.

Distribution de la vitesse de chute des particules :

Le protocole VICAS permet de déterminer la vitesse de chute des particules. En effet, grâce à une colonne de décantation, la quantité de matière en suspension décanté est mesurée au cours du temps et grâce à une corrélation la vitesse de chute est obtenue. De même que pour la distribution de la taille des particules, cette vitesse sera déterminée avec des échantillons d'entrée, de sortie et de boue du décanteur à différentes heures de la journée.

J'analyserais les eaux des décanteurs réels et celles du pilote installé à la station d'épuration Est de Québec.

**III.I.iv.**      Objectifs de temps

Un macro-planning se trouve en annexe I

**III.I.v.**      Contraintes sur objectifs

**a**      Qualité

Sans Objet.

**b**      Temps

Contraintes bloquées : Date de fin le 31/08/2012

**c**      Charge

Sans objet.

**d**      Coûts

Sans objet.

**III.I.vi.**      Adéquation entre les objectifs :

**a**      Objectifs à maintenir

Le calendrier et notamment la date impérative du 31/08/2012

b Objectifs à négocier

Sans objet.

c Résultats de la négociation

Sans objet.

### **III.2. SUIVI DU PROJET**

Mon projet de stage s'est bien déroulé, mis à part quelques retards de planning. Cependant, mon projet s'est fini dans les temps (Annexe 2).

Tout d'abord, le premier problème rencontré a été que la pompe du pilote devait être changée en mai, les premiers tests ont donc été effectués sur le décanteur primaire en attendant la nouvelle pompe. Une fois la pompe mise en place, les tests ont été effectués sur le pilote.

Les facteurs à étudier était la reproductibilité, l'influence de la concentration des MeS, le temps hydraulique, la météo, le changement de station. Tous ces facteurs pouvant influencer les ViCAs ont pu être testés, cependant certains tests doivent être renouvelés à cause des mauvais bilans de masse obtenus.

Ensuite, un de mes objectifs en début de stage était de caractériser la distribution de la taille des particules grâce à l'appareil Lasentec. Il a été décidé de me concentrer sur la distribution de la vitesse de chute des particules avec le protocole ViCAs. Les tests sur le Lasentec ont donc été effectués par une autre personne. Une nouvelle charge m'a été confiée. Les sondes de turbidité ont donc été étudiées pour vérifier d'abord leur bon fonctionnement et ensuite trouver une corrélation entre les MeS et la turbidité.

Enfin, la prise en main du protocole ViCAs a été plus longue que prévu. En effet, le protocole doit être réalisé avec précision sinon les erreurs sur les bilans de masse sont grandes. Cela prend quelques temps avant d'avoir cette précision.

# IV. PRÉSENTATION DU PROJET

---

## IV.1. BIBLIOGRAPHIE

### IV.1.i. La décantation primaire

La décantation primaire est une unité de traitement qui permet l'élimination d'une partie des particules en suspension dans l'eau usée. Sous l'effet de la gravité, les particules plus denses que l'eau vont tomber au fond du bassin. Les matières décantées vont être sous tirées au bas du décanteur et envoyées vers le traitement des boues. L'eau traitée va rejoindre le traitement suivant grâce à une surverse. C'est un des principaux processus physique dans les stations d'épuration.

Pour que les particules décantent, leurs vitesses de chute doivent être plus élevées que la vitesse limite de sédimentation ou vitesse de Hazen. Pour un décanteur rectangulaire avec un flux horizontal, la vitesse de Hazen (eq.1) correspond au débit d'entrée  $Q$  rapporté à la surface horizontale du bassin  $S_H$ .

$$V_c > V_H = \frac{Q}{S_H} \quad (\text{eq.1})$$

Avec :

$V_c$ , la vitesse de chute en m/s

$V_H$ , la vitesse de Hazen en m/s

$Q$ , le débit d'entrée en m<sup>3</sup>/s

$S_H$ , la surface horizontale en m<sup>2</sup>

Dans le cas d'un régime laminaire et avec des particules sphériques, la vitesse de chute peut être calculée grâce à la loi de Stokes :

$$V_s = \frac{(\rho_s - \rho_f)gd^2}{18\mu} \quad (\text{eq. 2})$$

Avec :

$V_s$ , la vitesse de chute en m/s

$\rho_s$ , la masse volumique du solide en kg/m<sup>3</sup>

$\rho_f$ , la masse volumique du fluide en kg/m<sup>3</sup>

$g$ , l'accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>

$d$ , le diamètre de la particule en m

et  $\mu$ , la viscosité dynamique du fluide en kg/m.s

La vitesse de sédimentation est ainsi proportionnelle au carré du diamètre. Plus le diamètre est grand plus les particules décantent rapidement (Tableau 1).

**Tableau I : Temps de décantation des particules isolées de tailles différentes, obtenues d'après la loi de Stokes.**

Type de particule	Diamètre (mm)	Temps de décantation pour 1 m d'eau
Gravier	10	1 s
Sable	1	10 s
Sable fin	$10^{-1}$	2 min
Limon	$10^{-2}$	2 h
Bactérie	$10^{-3}$	8 j
Colloïdes	$10^{-4}$ à $10^{-5}$	2 à 20 ans

En pratique, beaucoup de facteurs peuvent affecter la décantation. Dans un décanteur primaire, les particules floculées sont le plus représentées. Lors de la décantation de ces matières, la masse de celle-ci augmente avec le temps ainsi que la vitesse de chute. Donc, l'augmentation du diamètre des particules grâce à l'ajout d'un coagulant/floculant favorise la décantation.

Des lamelles peuvent aussi être placées dans le décanteur. Cela permet l'augmentation de la surface spécifique du bassin, ainsi la décantation est améliorée.

Pendant la clarification de l'eau usée, la matière organique, les particules en suspension et les polluants associés sont éliminés. Un décanteur basique permet l'enlèvement de 50 à 70 % des matières en suspension. C'est une étape importante dans le traitement de l'eau usée et qui influence grandement les traitements suivants. De plus, la digestion anaérobie des boues issues du décanteur permet la production de biogaz. Cette énergie peut être convertie en électricité et rendre la station d'épuration autosuffisante.

#### **IV.1.ii. La modélisation de la décantation primaire**

Un modèle permet la représentation simple d'un système à un moment donné dans le but de répondre à une question concernant ce système. Un modèle est donc un outil qui représente le procédé en temps réel. Les modèles sont de plus en plus utilisés pour la recherche, le développement et l'optimisation des procédés de traitement de l'eau.

Peu de modèles ont été réalisés pour les décanteurs primaires par rapport à d'autres unités de traitement. Pour les boues activées, plusieurs modèles ont été proposés depuis 1987. Le modèle ASM (Activated Sludge Models) (Henze et al, 2000) est basé sur les différentes fractions de la matière organiques, les substances rapidement biodégradables (Ss), les substances lentement biodégradables (Xs) et les matières organiques inertes solubles (Si) et particulaires (Xi). En 2002, un autre modèle est proposé pour simuler les procédés anaérobiques (Batstone et al, 2002). Le modèle ADM (Anaérobic Digestion Model) se sert des données sur les lipides, les protéines, les sucres et les AGV (Acide Gras Volatil).

Il est possible de créer un modèle de décanteur primaire (Bachis, 2010) qui puisse être relié à un bassin de boues activées (incluant les bassins primaires et secondaires) et un digesteur anaérobie de boues (Figure 3). Cependant, les variables de ces deux autres modèles sont différentes. D'une part, il faut donc trouver des liens entre ces variables. D'autres part, dans le projet primEAU, trois classes de particules caractérisées par une vitesse de chute sont utilisées. Ces classes correspondent à trois types de particules : 1) une fraction de particules avec une vitesse de chutes  $V_c$  très basse qui ne décante pas et se retrouve dans le surnageant à la sortie ; 2) une fraction intermédiaire qui ne

décante pas complètement et 3) une fraction qui décante rapidement. À partir de ces classes, trois couples de variables (MeS, Vc) sont obtenus et peuvent être liés aux variables ASM et ADM.

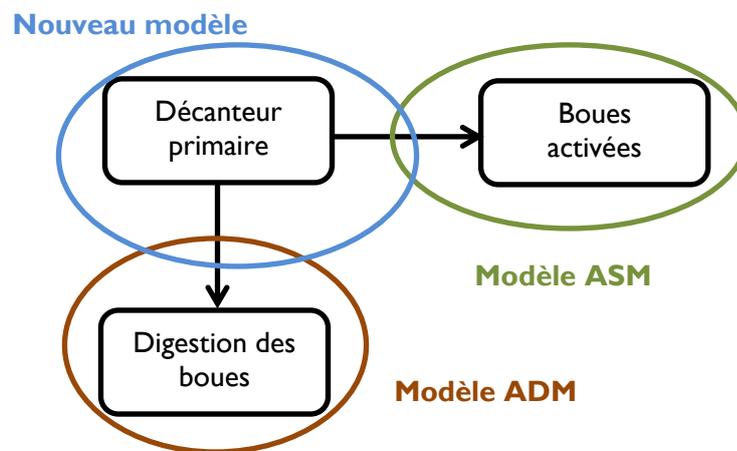


Figure 3 : Nouveau modèle obtenu grâce au couplage du modèle ASM et ADM

L'ajout de produit coagulant-floculant sera ajoutée ensuite au modèle. La taille des particules sera aussi incluse dans le modèle, ce qui est la spécificité de ce projet. Cela permettra d'observer l'effet de la coagulation-floculation sur la taille des particules et de pouvoir le simuler.

Jusqu'à maintenant, peu de modèles de décanteur primaire ont été développés et encore moins sont couplés directement avec le modèle ASM et ADM.

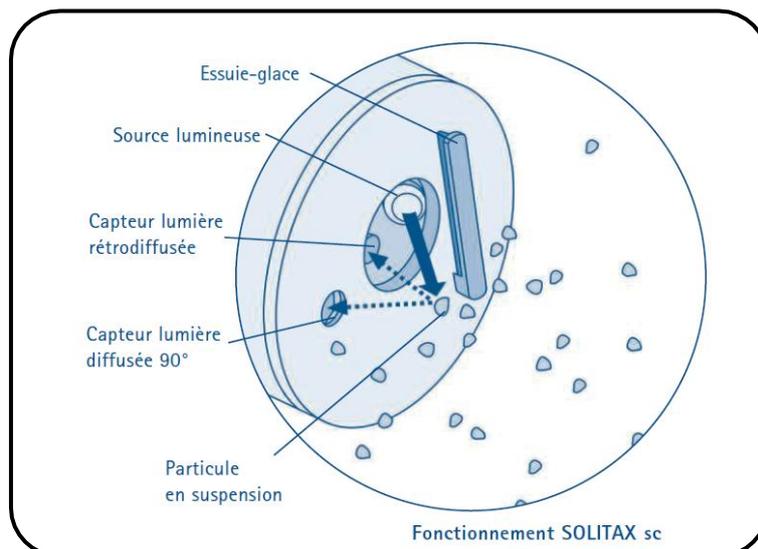
#### **IV.1.iii. La caractérisation des particules dans un décanteur primaire**

Les particules dans un décanteur sont d'abord caractérisées par la concentration de Matières en Suspension (MeS). Cette concentration est obtenue grâce à la filtration d'un échantillon, les particules insolubles retenues par le filtre constituent les MeS.

Les MeS peuvent être déterminés sans analyse de laboratoire. En effet, grâce aux sondes SOLITAX sc présentes sur le pilote, les MeS peuvent être données directement. Les sondes mesurent la turbidité de l'échantillon et grâce à une corrélation, les MeS sont calculées.

La turbidité est permet de déterminer la qualité de l'eau grâce à la clarté et la transparence de celle-ci. Elle est définie comme étant la « réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières dissoutes » (définition donnée dans la norme NF EN ISO 7027 de mars 2000). Il est nécessaire de faire référence à un étalon pour pouvoir comparer les mesures de turbidité, ici c'est la formazine qui est utilisée. La mesure de turbidité peut être obtenue grâce à la néphélométrie, c'est-à-dire, la mesure de la concentration des particules dans l'eau grâce à la photométrie par diffusion à 90°. Des détecteurs multiples peuvent être utilisés.

C'est le cas sur pilote, les sondes SOLITAX sc utilisent cette méthode de mesure par lumière diffusée à deux rayons (Figure 4). Une source lumineuse est diffusée dans l'échantillon, quand une particule passe devant la lumière, une partie de celle-ci est réfléchiée et les deux capteurs mesurent son intensité (HACH LANGE, s.d.).



**Figure 4 : Principe de mesure de la sonde de turbidité SOLITAX SC**

Au début de mon stage, ces sondes donnaient directement la valeur des MeS. Ne connaissant pas la corrélation utilisée, nous avons décidé d'en trouver une nous-même.

Dans la littérature, cinq étapes sont utilisées pour estimer les charges en MeS à partir de la turbidité in situ (Bertrand-Krajewski, et al., 2007). La première étape est d'étalonner la sonde grâce à des solutions étalon de formazine. Pour chaque solution, cinq lectures minimum sont effectuées. Ainsi une fonction d'étalonnage est déterminée, elle représente la valeur mesurée de turbidité  $Y$  en fonction de la valeur réelle  $T$  de la solution étalon.

La deuxième étape utilise la fonction d'étalonnage. A partir des valeurs de turbidité mesurées, la valeur vraie est déterminée grâce à la fonction d'étalonnage inverse. Ensuite, des échantillonnages sont effectués en récoltant 1 L d'eau à chaque prélèvement. Les MeS sont ensuite analysées en triplicata sur ces échantillons selon les méthodes normalisés. La turbidité mesurée est convertie en valeur vraie. Ainsi, la turbidité et les MeS sont connus.

La quatrième étape permet la détection de valeurs suspectes ou aberrantes dans les séries de valeurs. Pour cela, les valeurs trop éloignées de la valeur moyenne ainsi que les valeurs moyennes avec des incertitudes trop importantes sont éliminées. Une méthode de détections de valeurs suspectes peut aussi être utilisée.

La dernière étape permet la détermination des fonctions de corrélation avec les valeurs validées.

#### **IV.1.iv. La vitesse de chute des particules dans un décanteur primaire**

Pour une meilleure caractérisation des polluants et une meilleure description du phénomène de décantation, il est nécessaire d'évaluer précisément la distribution de la vitesse de chute des particules dans un décanteur. Comme on l'a vu précédemment, la vitesse de chute peut être déterminée grâce à la loi de Stokes. Cependant, les particules sont assimilées à des sphères et leurs densités sont supposées identiques. En réalité, ce n'est pas exactement le cas, la densité des particules est hétérogène et leur forme peut s'éloigner du modèle sphérique. Cela peut donc créer une imprécision sur la distribution de la vitesse. Une autre méthode peut être utilisée. Elle est basée sur une évaluation directe de la vitesse de décantation grâce à des tests en colonnes simulant une sédimentation statique (Berrouard, 2012).

Différents protocoles existent, utilisant une suspension homogène (ViCAs, CEGRENE) ou une couche surnageante (ASTON). Avec cette dernière, les particules concentrées sont introduites en haut d'une colonne de sédimentation remplie d'eau distillée ou d'eau filtrée alors que pour l'autre méthode, l'échantillon homogénéisé est directement introduit dans la colonne.

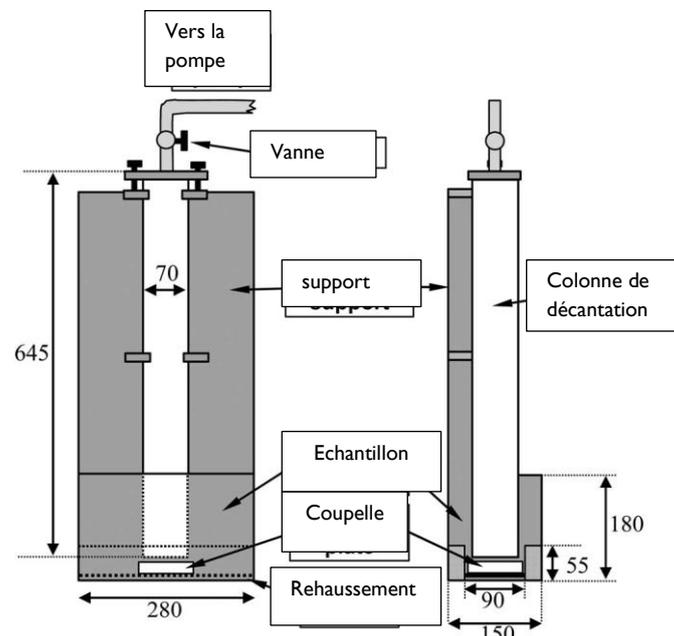


Figure 5 : Schéma du dispositif ViCAs

Dans le projet primEAU, c'est le protocole ViCAs qui est utilisé (Chebbo & Gromaire, 2003). Les ViCAs sont des colonnes peu encombrantes, pas chères et faciles à manipuler. Ceux-ci sont basés sur le principe de la suspension homogène qui évite un prétraitement ou une modification des échantillons. La suspension homogène suppose que la décantation dans la colonne est indépendante. Les particules décantent indépendamment les unes des autres, sans s'agglomérer et sans diffusion.

Les solides étant uniformément répartis dans la colonne, la difficulté de cette méthode est que toutes les particules ne décantent pas à partir du même point dans la colonne. Ainsi, le dépôt récupéré au bas de la colonne pendant un intervalle  $[t_i ; t_{i+1}]$  contient des particules avec une vitesse de chute supérieure à  $H/t$  ( $H$  : hauteur d'eau dans la colonne) mais aussi des particules avec une vitesse de chute inférieure à  $H/t$  se trouvant plus bas dans la colonne. Cela peut s'écrire de la façon suivante :

$$M(t) = S(t) + t \frac{dM(t)}{dt} \quad (\text{eq. 3})$$

Avec :

$M(t)$ , la masse accumulée de particules décantées au bas de la colonne entre  $t=0$  et  $t$

$S(t)$ , la masse accumulée de particules décantées avec  $V_s > H/t$  entre  $t=0$  et  $t$

Et  $t [dM(t)/dt]$ , la masse accumulée de particules décantées avec  $V_s < H/t$  entre  $t=0$  et  $t$ .

Notre objectif est de connaître la masse  $S(t)$  pour ensuite la transformer en  $F(V_s)$ , le pourcentage cumulé en masse des particules avec une vitesse de chute inférieure ou égal à  $V_s$ . Pour l'obtention de la courbe  $F(V_s)$ , une équation a été proposée par Gromaire et Chebbo en 2003 :

$$F(V_s) = 100 \left( 1 - \frac{S(t)}{M_{dec} + M_{fin}} \right) \quad (\text{eq. 4})$$

Avec :

$$S(t) = M(t) - t \frac{dM(t)}{dt} \quad (\text{eq. 5})$$

Or, une expression de M(t), la masse cumulée, a été proposée par Bertrand-Krajewski (2001) :

$$M(t) = \frac{b}{1 + \left(\frac{c}{t}\right)^d} \quad (\text{eq. 6})$$

Ainsi, S(t) correspond à :

$$S(t) = \frac{\left(b(1-d)\left(\frac{c}{t}\right)^d\right)}{\left(1 + \left(\frac{c}{t}\right)^d\right)^2} \quad (\text{eq. 7})$$

Les coefficients b, c et d sont calculés par la méthode des moindres carrés avec  $b > 0$ ,  $c > 0$  et  $d \in ]0; 1[$ .

Les masses Mdec et Mfin sont calculées de la façon suivante :

Mdec, la somme des différentes masses récupérées au cours de l'essai :

$$M_{dec} = \sum_i m_i \quad (\text{eq. 8})$$

Mfin, la masse de particules restant dans la colonne à la fin de l'essai :

$$M_{fin} = \frac{C_{fin} H \pi R^2}{1000} \quad (\text{eq. 9})$$

À partir des masses accumulées, il est donc possible de retrouver la distribution de la vitesse de chute des particules.

#### **IV.1.v. Synthèse et conclusion**

La décantation des particules permet l'enlèvement d'une grande partie des particules. C'est une des premières unités de traitement, en augmentant sa performance, les unités suivantes seront grandement influencées.

C'est pour cela qu'une modélisation est essentielle. Elle permettra l'augmentation de la performance du procédé mais aussi de faire le lien avec les unités suivantes grâce à des variables reliées entre elles. Aussi, le modèle prendra en compte la vitesse de chute et la taille des particules. Enfin, l'ajout de coagulant-floculant pourra être optimisé.

La caractérisation des particules dans le pilote sera donnée par plusieurs informations. D'abord, grâce au MeS mesurées in situ avec les turbidimètres. Les MeS seront obtenues grâce à la corrélation avec la turbidité. Et ensuite, la vitesse de chute des particules permettra de caractériser les particules.

## IV.2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Mon projet de stage consistait en la caractérisation des particules dans un décanteur primaire et se divisait en deux parties. La première avait pour but de vérifier la fiabilité des sondes de turbidité du pilote et de trouver une corrélation permettant, en mesurant la turbidité, d'obtenir les MeS correspondantes. Quant à la deuxième partie, la vitesse de chute des particules a été caractérisée à l'aide du protocole ViCAs. Ainsi la distribution de la vitesse de chute était obtenue en fonction de différents facteurs.

### IV.2.i. Les échantillons

#### a Au niveau du décanteur primaire

Lors des manipulations effectuées, l'eau usée de la station Est de Québec est généralement utilisée. Au niveau du décanteur réel, l'eau d'entrée est prélevée au niveau de la sortie des dessableurs. L'eau de sortie est prélevée à la sortie du décanteur. Pour les manipulations avec des boues, le prélèvement se fait au bas du décanteur réel.

Plusieurs manipulations ont été effectuées avec de l'eau usée d'autres stations. La station Charny ne possède pas de décanteur primaire mais un réacteur biologique. J'ai donc prélevé seulement l'entrée du réacteur à la sortie des dessableurs pour pouvoir comparer à l'eau d'entrée de la station Est. La dernière station d'épuration visitée est celle de Valcartier où j'ai pu analyser les eaux d'entrée et de sortie du décanteur primaire.

#### b Au niveau du pilote



Figure 6 : Pilote primEAU

Le pilote est installé à la station Est de Québec (Figure 6). C'est un décanteur primaire de 3,2 m de haut. Son volume total est de 4,85 m<sup>3</sup> et son taux de rétention varie d'environ 0,5 h à 2,5 h pour un débit d'entrée de 2 à 10 m<sup>3</sup>/h. Il y a deux circuits d'eau reliés au pilote : l'eau de la station prélevée à la sortie des dessableurs ainsi que l'eau recyclée prélevée à la sortie de la station. Selon nos besoins, nous pouvons choisir l'un ou l'autre des circuits : l'eau recyclée est utilisée pour nettoyer le pilote ou pour effectuer des tests traceurs. Pour mes analyses, je me suis donc servie de l'eau des dessableurs.

Le débit d'entrée est contrôlé par une vanne automatique (Figure 7, A) et un by-pass. Les débits sont indiqués grâce aux débitmètres présents à l'entrée et à la sortie (B et C). Le pilote comprend 4 sondes de turbidité SOLITAX SC, une à l'entrée (D), une à la sortie (E), une au niveau des boues (F) et une dernière en haut du pilote (G). Celle-ci peut changer de hauteur et ainsi peut mesurer la turbidité au niveau que l'on souhaite dans le pilote.

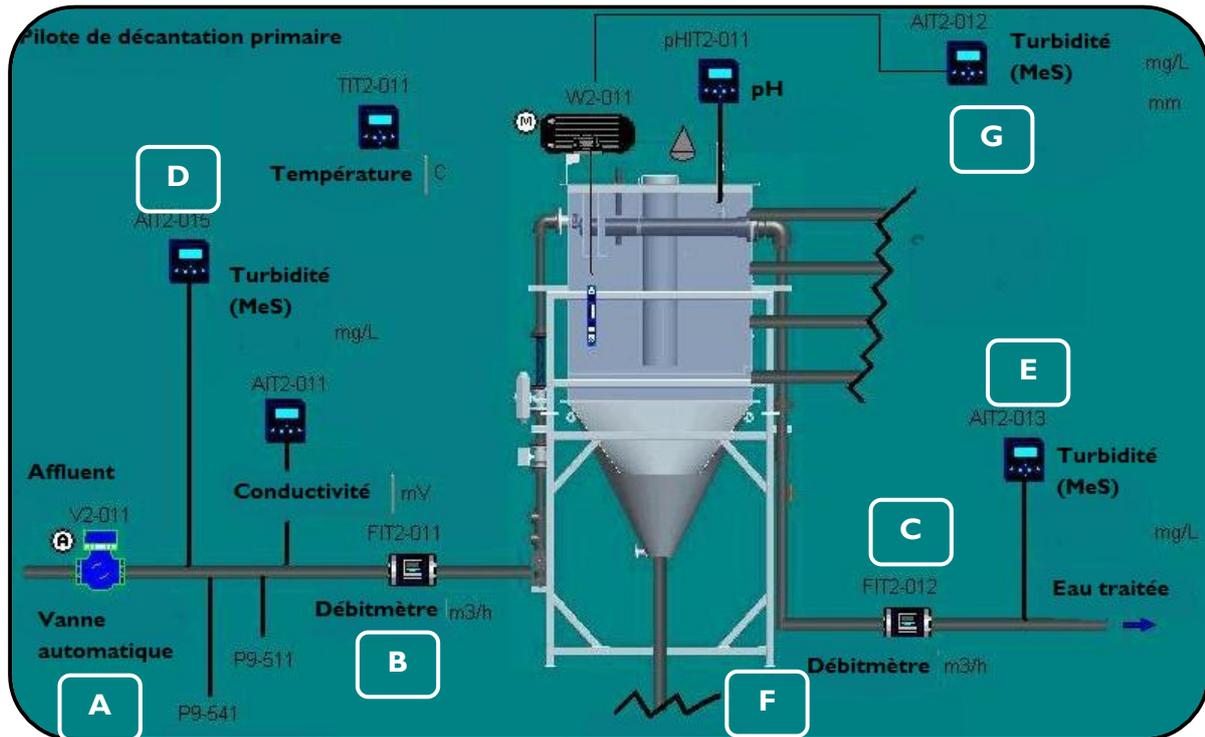


Figure 7 : Schéma du pilote de décantation primaire

Au cours de mon stage, la pompe d'entrée a été changée. Les essais sur le pilote ont donc commencé à partir de mai quand la nouvelle pompe a été mise en place.

Au niveau des prélèvements, l'entrée est prélevée grâce à un robinet inséré dans le tuyau d'entrée (Figure 8, A). Quant à l'eau de sortie du pilote, l'eau est recueillie au bas du tuyau de sortie (B).

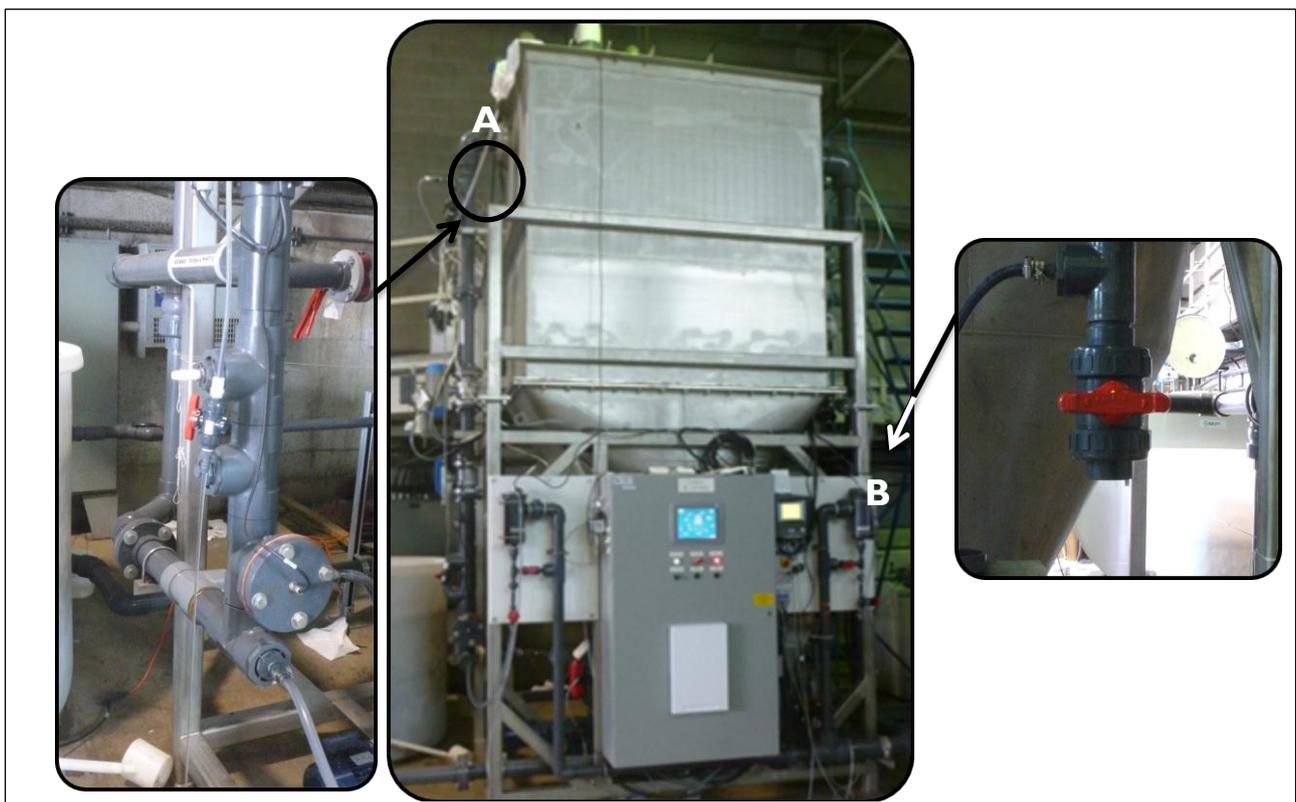


Figure 8 : Échantillonnage en entrée (à gauche) et en sortie (à droite) du pilote

Deux échantillonneurs automatiques de type Sigma SD 900 de la marque Hach ont été utilisés (Figure 9). Cela permettait d'échantillonner l'eau d'entrée et de sortie du pilote directement au niveau des sondes de turbidité. Les tuyaux des échantillonneurs étaient plongés dans le bac des sondes (Figure 10). Ainsi l'eau de la sonde d'entrée et de la sonde de sortie ont été prélevées toutes les heures sur 24h.



Figure 9 : Autoéchantillonneur Sigma SD 900 de Hach



Figure 10 : Sonde avec le tuyau de l'échantillonneur

## **IV.2.ii. Protocoles de caractérisation des particules**

### **a Matières en suspension (MeS)**

L'analyse des MeS permet de déterminer la concentration en solides en suspension dans l'eau usée ce qui est une des caractéristiques des particules.

Matériels nécessaires :

- ✚ Filtres de 47 mm et de diamètre de pores de 1,2  $\mu\text{m}$
- ✚ Banc de filtration Büchner avec 6 supports de filtre (Figure 11)
- ✚ Erlenmeyer à vide
- ✚ Pompe à vide Gast
- ✚ Étuve à 105°C
- ✚ Dessiccateur

Tout d'abord, les filtres sont conditionnés, c'est-à-dire que nous filtrons 30 mL d'eau distillée sur un filtre propre que nous plaçons ensuite à l'étuve à 105°C pendant 2 heures. À la sortie de l'étuve, les filtres sont placés au dessiccateur pendant 30 minutes pour stabiliser leurs masses. Après cela, ils sont pesés pour obtenir la masse  $m_0$ . Ensuite, l'échantillon à analyser est homogénéisé, et un volume quelconque (le plus grand possible pour être représentatif) est relevé grâce à une éprouvette graduée. La difficulté est d'éviter la saturation du filtre, surtout pour les eaux d'entrée du décanteur plus chargées. Le volume mesuré est filtré sur le banc. Une fois la filtration complète, le filtre est récupéré et mis à l'étuve pendant 2 heures. Il est ensuite de nouveau mis au dessiccateur pendant 30 min et enfin pesé pour avoir la masse  $m_1$ .



Figure 11 : Banc de filtration pour MeS avec 6 supports

Il est ensuite possible de calculer les MeS présents dans l'échantillon. C'est la masse de particules déposées sur le filtre en tenant compte du volume filtré :

$$MeS = \frac{(m1 - m0)}{V} * 1000 \quad (\text{eq. 10})$$

Avec : MeS, les matières en suspension en mg/L

m0, la masse initiale du filtre en mg

m1, la masse finale après séchage à 105°C en mg

et V, le volume de l'échantillon à filtrer en mL

**b** Matières volatiles en suspension (MVS)

Les MVS s'effectue à la suite des MeS. Cette analyse permet de connaître la partie volatile des matières en suspension. Après avoir pesé les masses m1, les filtres sont déposés dans un four à 550°C pendant 30 minutes. À la sortie, ceux-ci sont laissés au dessiccateur pendant 30 minutes et enfin pesé pour obtenir la masse m2.

$$MVS = \frac{(m1 - m2)}{V} * 1000 \quad (\text{eq. 11})$$

Avec : MVS, les matières volatiles en suspension en mg/L

m1, la masse après séchage à 105°C en mg

m2, la masse après calcination à 550°C en mg

et V, le volume de l'échantillon en mL

c ViCAs



Figure 12 : Colonne ViCAs

Le protocole ViCAs est utilisé pour connaître la distribution de la vitesse de chute d'un échantillon. Tout d'abord, la colonne doit être fixée dans son support grâce à un élastique (Figure 12). Le haut de la colonne est relié à un système sous vide (erlenmeyer et pompe). Une coupelle vide est déposée dans le bac. L'échantillon prélevé est homogénéisé et passé dans une maille à 2 mm pour éliminer les grosses particules pouvant gêner le test. Un échantillon est prélevé pour mesurer les MeS initiales en triplicata. L'échantillon restant est de nouveau homogénéisé et versé dans le bac sous la colonne. En même temps, la vanne du ViCAs est ouverte et l'eau usée est aspirée dans la colonne jusqu'à un niveau supérieur à 50 cm. L'opération doit être rapide pour un meilleur résultat. La coupelle est ensuite déplacée sous la colonne et le chronomètre est déclenché. À différents temps donnés, 2, 6, 14, 30, 62, 126 et 254 min, les coupelles sont changées délicatement, pour perdre le moins de particules. Le contenu des coupelles est ensuite filtré pour obtenir les MeS au cours de la décantation. Après le 7<sup>ème</sup> et dernier changement de coupelle, la colonne est fermée et son contenu est récupéré et filtré pour obtenir les MeS finale. Les MVS sont aussi analysées.

Les données sont ensuite saisies dans un fichier Excel où les calculs sont faits automatiquement (Figure 13, A, B et C). Tout d'abord, le bilan de masse E est calculé pour évaluer la qualité de la mesure (D). Si le pourcentage n'est pas compris entre [-15% ; +15%], le test n'est pas validé.

$$E = \frac{M_{ini} - (M_{dec} + M_{fin})}{M_{ini}}$$

Avec : E, le pourcentage d'erreur en %

$M_{ini}$ , la masse initiale en mg

$M_{dec}$ , la masse décantée cumulée en mg

$M_{fin}$ , la masse finale en mg

Informations échantillon				Informations colonne				Calcul			
Référence	RV2 Q=4,5			Hauteur de chute (cm)				Nouvelle feuille			
Date prélèvement				Rayon (cm)		3.5		Calcul			
Conservation								Calcul des masses initiales, finales et décantées			
Début d'analyse											
Fin d'analyse											
<b>Etat initial</b>				<b>concentration initiale</b>				<b>masse initiale dans la colonne</b>			
	Volume (ml)	m0 (mg)	m1 (mg)	m2 (mg)	[MES] mg/l	[MVS] mg/l	MES (mg)	MVS (mg)	$M_{ini}$		
Echantillon 1											
Echantillon 2											
Echantillon 3											
<b>Etat final</b>				<b>concentration finale</b>				<b>masse finale dans la colonne</b>			
	Volume (ml)	m0 (mg)	m1 (mg)	m2 (mg)	[MES] mg/l	[MVS] mg/l	MES (mg)	MVS (mg)	$M_{fin}$		
Echantillon 1											
Echantillon 2											
Echantillon 3											
<b>Décantation</b>				<b>masse décantée par pas de temps</b>				<b>masse décantée cumulée</b>		<b>masse décantée/masse initiale</b>	
dt (min)	Temps (min)	m0 (mg)	m1 (mg)	m2 (mg)	MES (mg)	MVS (mg)	MES (mg)	MVS (mg)	% MES	% MVS	
2	2.0										
4	6.0										
8	14.0										
14	30.0										
32	62.0										
64	126.0										
128	254.0										
				<b>Masse totale (mg)</b>				<b>Bilan de masse (%)</b>		<b>D</b>	

Figure 13 : Fichier Excel du protocole ViCAs



### IV.2.iii. Plan expérimental

#### a Relation entre les MeS et la turbidité

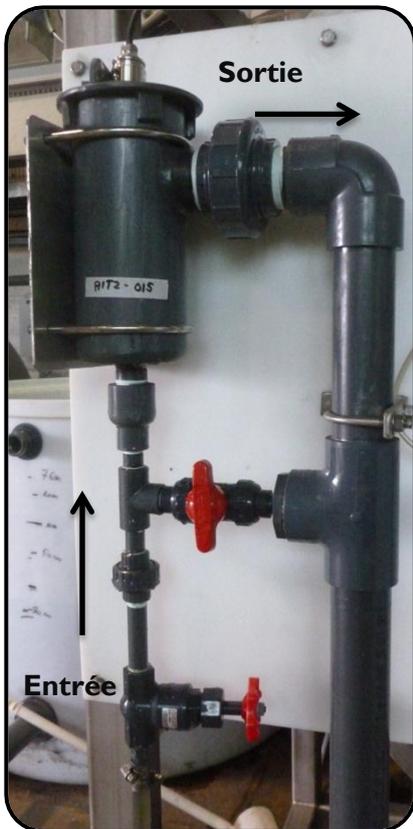


Figure 16 : Bac de la sonde d'entrée

#### Sonde de turbidité

La turbidité sur le pilote est mesurée grâce aux sondes de turbidité SOLITAX SC. Durant mon stage, je me suis surtout intéressée aux sondes de l'entrée (Figure 7, A) et de sortie (Figure 7, B). Ces deux sondes sont placées dans des contenants opaques (Figure 16) reliés au pilote grâce à des tuyaux flexibles (Figure 17 et Figure 18). L'eau arrive ainsi par le bas du bac et sort par le tuyau en haut de ce dernier. Un robinet permet d'apporter ou non l'eau jusqu'à la sonde et un by-pass est utilisé pour régler le niveau d'eau dans le bac. Un essuie-glace se trouve sur la sonde et fonctionne toutes les minutes pour éviter l'encrassement. Les sondes sont reliées au tableau de commande du pilote où les données recueillies pendant les tests y sont enregistrées.

Quand je suis arrivée dans le projet, ces sondes donnaient les valeurs des MeS. Cependant, nous avons préféré changer et mesurer en turbidité. En effet, le turbidimètre mesurait la turbidité de l'eau et grâce à une corrélation, la valeur des MeS correspondantes était donnée. Ne connaissant pas la corrélation utilisée, nous avons préféré en trouver une nous-même pour s'assurer du bon fonctionnement des sondes.



Figure 18 : Liaison pilote (Sonde de sortie)



Figure 17 : Liaison pilote (Sonde d'entrée)

#### Relation entre les MeS et la turbidité trouvée en laboratoire

Nous recherchons une corrélation linéaire entre les MeS et la turbidité. Pour cela, nous devons d'abord chercher la gamme de MeS où il y a une relation linéaire avec la turbidité. C'est dans ce but que j'ai effectué une dilution de boue.

La boue prélevée sous les décanteurs est diluée avec de l'eau de sortie de la station filtrée. Cela évite un changement dans la chimie de l'eau usée. L'eau est filtrée grâce à des filtres de 125 mm de

diamètre. Pour cette manipulation, une quinzaine de dilutions différentes a été effectuée pour obtenir des MeS compris entre 0 et 1000 mg/L. Cette gamme correspond aux MeS généralement trouvées au pilote, 1000 mg/L étant une eau très chargée, généralement, l'eau d'entrée contient entre 200 et 300 mg/L de MeS. La turbidité a été mesurée en plongeant les sondes de l'entrée et de la sortie dans un béccher opaque agité contenant chaque solution (Figure 19, à droite). Les sondes sont nettoyées au début et entre chaque solution pour ne pas encrasser les sondes. La mesure est lue, après stabilisation de la valeur, sur le panneau de contrôle (Figure 19, à gauche). Ensuite, les MeS sont analysées grâce à la méthode décrite dans la partie Matières en suspension (MeS).



Figure 19 : Analyse de la turbidité des boues (à droite) et panneau de contrôle (à gauche)

#### Relation entre les MeS et la turbidité trouvée au pilote

Avant d'obtenir la corrélation, le temps entre chaque nettoyage a été optimisé. Les sondes sont nettoyées par un essuie-glace toutes les minutes. Cependant, au bout d'un certain temps, l'encrassement devient trop important et il faut donc nettoyer les sondes manuellement.

Pour optimiser le temps, les sondes étaient nettoyées jusqu'à enlèvement de tout l'encrassement visible. Elles étaient ensuite replacées dans leurs bacs pendant le fonctionnement du pilote. Au bout d'un pas de temps de 8 h ou 24 h, le nettoyage des sondes était de nouveau effectué. Les sondes étaient replacées ensuite dans leurs bacs pendant quelques minutes. Les mesures de turbidité étaient ensuite récupérées pour voir si le nettoyage avait un effet sur la turbidité.

Enfin, des échantillonnages ont été effectués dans le but de trouver une corrélation. La turbidité était mesurée par les sondes et les MeS étaient analysées sur les échantillons prélevés. Ainsi, les corrélations trouvés en laboratoire et au pilote peuvent être comparés.

## **b** Caractérisation de la vitesse de chute des particules

Les premiers tests ont été effectués sur le décanteur réel. Puis, quand la nouvelle pompe a été installée sur le pilote, les manipulations ont eu lieu sur les échantillons du pilote. À chaque ViCAs, l'entrée et la sortie du pilote ou décanteur réel sont analysées (Tableau 2).

### Reproductibilité des ViCAs

Les premiers tests ViCAs ont été réalisés sur le décanteur primaire dans le but de vérifier la reproductibilité des ViCAs. Ceux-ci devaient être reproductibles dans les mêmes conditions pour pouvoir comparer les tests entre eux.

### Influence du temps hydraulique :

Le temps hydraulique du pilote a été étudié dans le but de connaître le débit optimal à appliquer. Le débit d'entrée a varié de 2 à 10 m<sup>3</sup>/h. Deux séries ont été réalisées, les eaux ont été prélevées d'abord vers 10 h et ensuite vers 6 h. Ainsi, l'influence de la concentration des MeS peut aussi être pris en compte.

### Influence de la concentration

La concentration des MeS a d'abord été étudiée sur le même échantillon. Un ViCAs a été effectué sur l'échantillon d'entrée du décanteur et un autre sur une dilution de cette entrée. L'échantillon a été dilué trois fois en diluant 2 L d'entrée avec 4 L de sortie filtrée.

D'autres manipulations ont été réalisées sur le décanteur réel en changeant l'heure d'échantillonnage. Les rejets étant différents au cours de la journée, les concentrations en MeS sont aussi variables.

En comparant, les échantillons de 10h30 et de 6h30, l'influence de la concentration peut aussi être déterminée sur le pilote. Cependant, les tests à 2 et à 10 m<sup>3</sup>/h de 6h30 ont des mauvais bilans et n'ont pas été pris en compte.

### Influence de la météo :

Des tests en temps de pluie ont été réalisés pour connaître l'influence de la météo sur les ViCAs. Les prélèvements ont été effectués sur le pilote pour pouvoir les comparer à ceux en temps sec avec un débit de 4 m<sup>3</sup>/h.

### Influence du changement de station

Les dernières manipulations ont été effectuées sur des stations d'épurations différentes : Charny et Valcartier. Les courbes obtenues jusqu'à présent ne représentaient que la station Est. Donc, il était nécessaire de savoir comment se comporter les particules dans d'autres stations. Ainsi, les courbes de ViCAs obtenues peuvent être généralisées à d'autres stations.

Les tests avec une erreur de plus de 15% sur le bilan de matière n'ont pas été pris en compte.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif

Décanteur	Date	Heure	Débit pilote (m <sup>3</sup> /h)	Tests
Réel	4 avril au 25 avril	Entre 9h et 10h		Prise en main protocole ViCAs
Réel	2,3 et 4 mai	Entre 9h et 10h		Reproductibilité
Pilote	16 août	10h30	2	Temps hydraulique
	22 juin	10h30	4	
	21 juin	10h30	6	
	6 juillet	10h30	10	
Pilote	26 juillet	6h30	2	Temps hydraulique
	24 juillet	6h30	4	
	23 juillet	6h30	10	
Réel	4 juin	9h30		Concentration (dilution)
Réel	15 mai	6h		Concentration
	4 mai	9h30		
	14 mai	14h		
	17 mai	18h		
	17 mai	22h		
	18 mai	2h		
Pilote	27 juin	10h30	4	Météo
	10 août	10h30		
Charny	18 juin	9h		Changement de station
	8 août	9h		
Valcartier	3 juillet	10h		

## IV.2. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### IV.2.i. Corrélation entre les MeS et la turbidité

#### a Corrélation obtenue en laboratoire

Avant la corrélation, la fiabilité des sondes a été vérifiée. Les deux sondes ont été plongées dans les mêmes échantillons de boues diluées. Les turbidités mesurées sur les deux sondes ont des écarts compris entre 3 et 28% (Figure 20). Les plus grandes différences (supérieur à 10%) se trouvent entre 100 et 200 NTU qui est la gamme de turbidité généralement mesurée par les sondes d'entrée et de sortie. De plus, les mesures effectuées avec la sonde de sortie sont toujours plus basses que l'entrée. Il faudra donc prendre en compte cette différence dans nos essais suivants. Pour cela, deux corrélations doivent être trouvées, une pour la sonde d'entrée et l'autre pour la sonde de sortie.

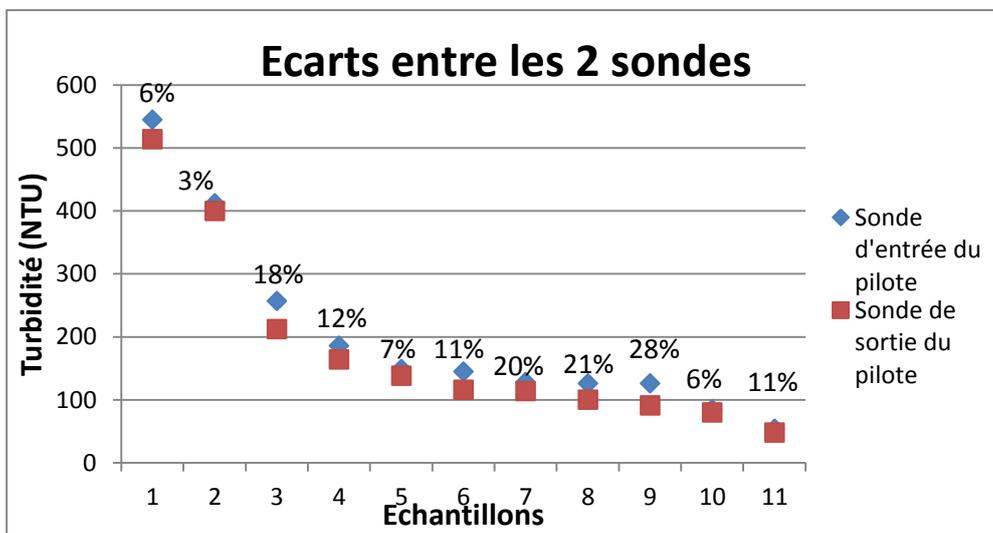


Figure 20 : Les écarts entre les deux sondes

Les courbes de corrélation sont obtenues grâce à ces dilutions effectuées sur les boues primaires. Pour une gamme de MeS allant de 40 à 1000 mg/L (Figure 21), une corrélation linéaire est obtenue pour la sonde d'entrée et de sortie. Les pentes sont à peu près identiques (autour de 1,8) mais l'ordonnée à l'origine diffère à cause de l'écart constaté entre les deux sondes. Cet écart est compris 12 et 50 %.

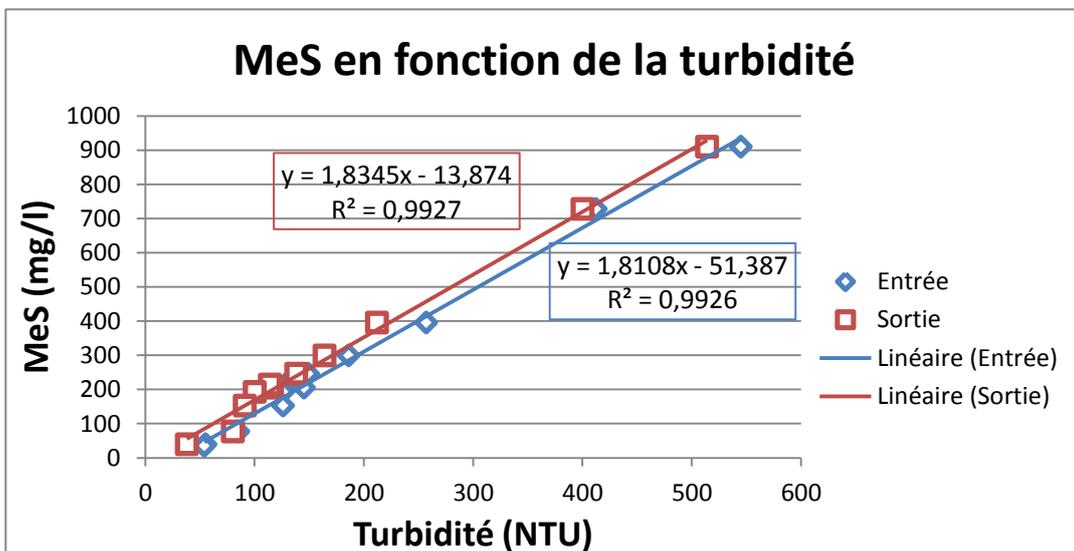


Figure 21 : Corrélation obtenue par dilutions de boues pour la sonde d'entrée et de sortie du pilote

## b Corrélation obtenue à partir du pilote

Avant de déterminer la corrélation, il est nécessaire de connaître le temps où nous pouvons laisser le pilote fonctionner sans avoir des valeurs de turbidité erronées. Pour cela, le pilote a été laissé en fonctionnement pendant différents pas de temps, et la turbidité a été comparée avant et après le nettoyage.

Tout d'abord, le pilote a fonctionné pendant 8 heures (Figure 22). La turbidité mesurée avec la sonde d'entrée est présentée en bleu et avec la sonde de sortie en rouge. La turbidité avant et après nettoyage est la même et au niveau des deux sondes, un peu plus de 100 NTU pour l'entrée et un peu moins de 150 NTU pour la sortie. Nous pouvons donc considérer qu'après 8 h de fonctionnement l'encrassement des sondes n'est pas assez important pour donner des valeurs fausses de turbidité donc le nettoyage n'est pas nécessaire.

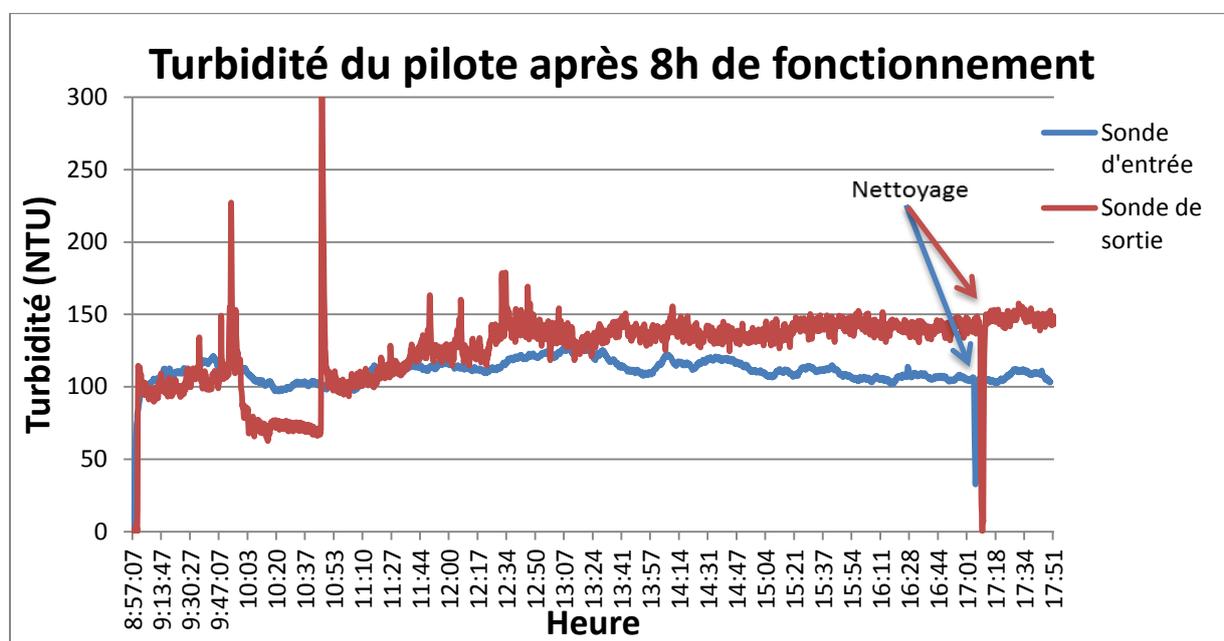


Figure 22 : Turbidité après 8 h de fonctionnement

Le temps de fonctionnement a ensuite été augmenté de 8 à 24 h et l'expérience a été renouvelée (Figure 23). Au niveau de la sonde d'entrée, le nettoyage n'a pas d'effet, la turbidité reste la même avant et après nettoyage. L'encrassement ne gêne pas la mesure de la turbidité. Au niveau de la sonde de sortie, par contre, une différence est constatée. En effet, la turbidité est élevée avec de fortes variations avant le nettoyage alors qu'après celle-ci se stabilise aux alentours de 200 NTU. Ici, l'encrassement est trop important pour que la turbidité ne varie pas.

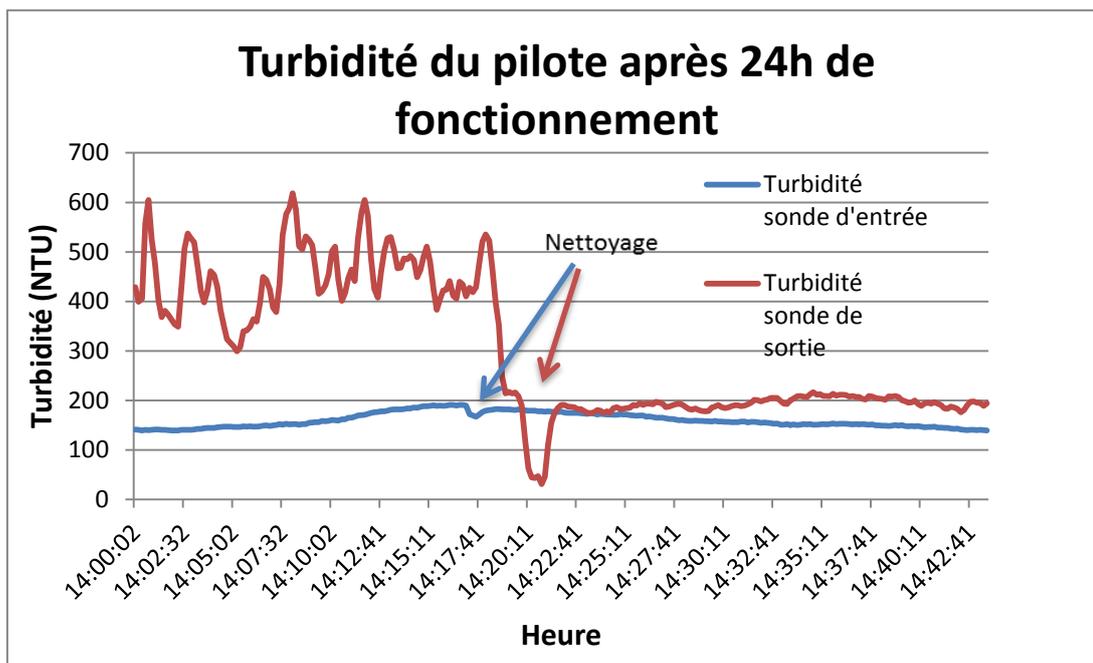


Figure 23 : Turbidité sur 1 h comprenant l'heure où le nettoyage a été effectué après 24h de fonctionnement

Il faudra donc nettoyer plus régulièrement cette sonde, après 18 h la turbidité commence à varier (Figure 24).

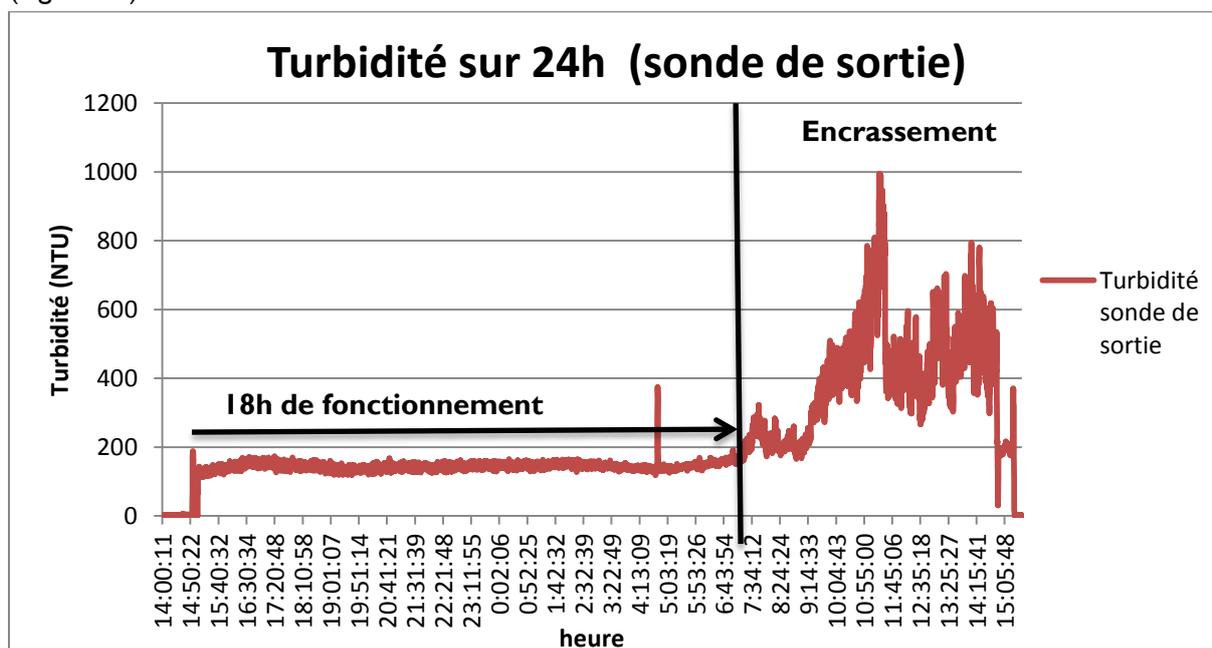


Figure 24 : Turbidité de la sonde sur 24h, après 18h de fonctionnement l'encrassement cause une augmentation de la turbidité

En plus du fort encrassement de la sonde de sortie après 18h de fonctionnement, la turbidité de celle-ci est plus haute que la sonde d'entrée. Ce qui n'est pas normal. L'eau d'entrée est normalement plus chargée que la sortie qui a subi la décantation. Donc le bac subit un encrassement inhabituel. La différence entre les deux sondes est due à l'emplacement différent. En effet, la sonde d'entrée prélève l'eau avant la vanne automatique et le by-pass. Le débit n'est donc pas celui imposé de 4 m<sup>3</sup>/h mais un débit supérieur qui permet aux particules de ne pas stagner dans le bac de la sonde. Au contraire, la sonde de sortie s'encrasse plus vite (Figure 25), le débit étant limité dans le

contenant de celle-ci. De plus, le prélèvement au pilote se situe au niveau d'un volume mort. Donc l'eau qui entre dans le bac de la sonde n'est pas représentatif de la sortie du pilote. Pour pallier à cet encrassement, un dispositif doit être mis en place. Cela permettra d'envoyer de l'air comprimé sur la sonde à intervalle régulier pour la nettoyer. Le changement du point de prélèvement de la sonde est aussi envisagé.



Figure 25 : Sonde d'entrée (à gauche), sonde de sortie (au milieu) après 24h de fonctionnement et emplacement du tuyau de la sonde de sortie sur un volume mort (à droite)

À présent, des courbes de corrélations ont été obtenues sur le pilote grâce à des échantillonnages sur 24 h permettant d'avoir des concentrations différentes en MeS. Au niveau de l'entrée, les points d'échantillonnage (Figure 26) suivent une pente similaire à la corrélation obtenue en laboratoire. Cependant, la courbe des dilutions est plus basse que les échantillonnages. Il y a donc un biais. Les échantillonnages suivent cependant la courbe de corrélation obtenue en laboratoire pour la sonde de sortie. Donc comme précédemment, le biais est compris en 12 et 50 %.

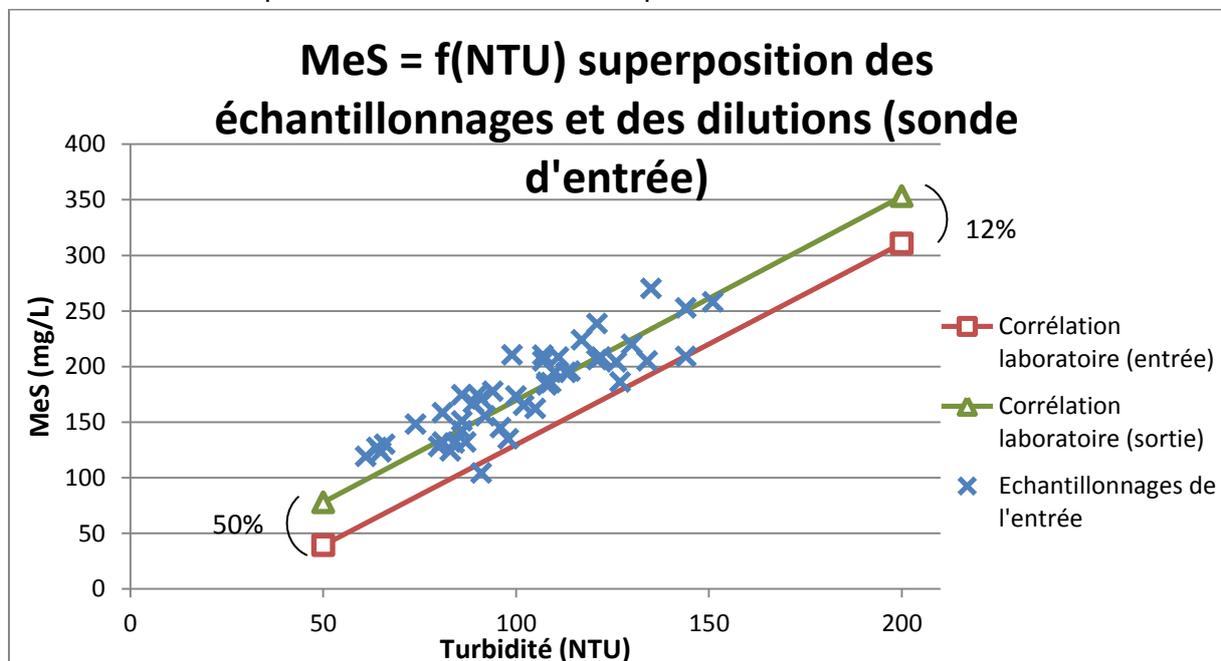


Figure 26 : MeS en fonction de la turbidité, superposition des échantillonnages et des courbes de corrélations laboratoires

Au niveau de la sortie (Figure 27), les points de l'échantillonnage sont très éloignés de la corrélation. Ceci est dû au problème d'encrassement de la sonde vu précédemment. En ne considérant que les points des 18 premières heures de fonctionnement (A), les points n'ont pas de tendance et sont

toujours écartés de la corrélation. Ici, les échantillonnages devront être refaits lorsque le problème d'encrassement sera résolu pour déterminer si les points d'échantillonnage sont valables.

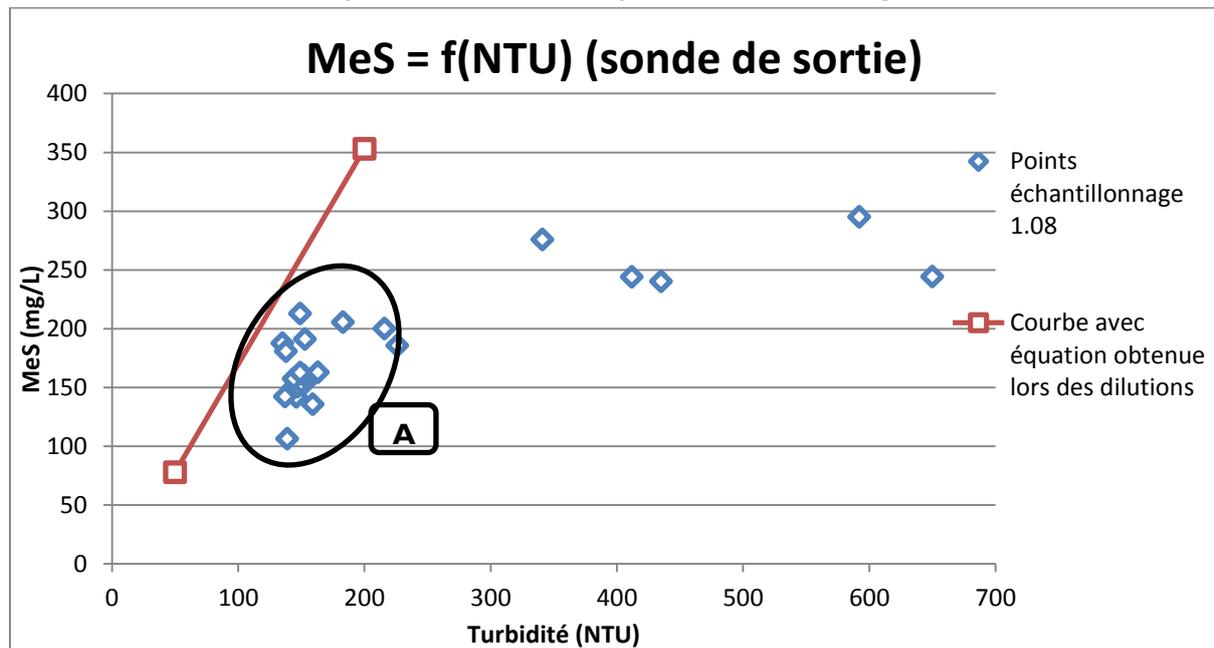


Figure 27 : MeS en fonction de la turbidité, superposition des échantillonnages et de la courbe de corrélation laboratoire pour la sortie

#### IV.2.ii. Caractérisation de la vitesse de chute des particules

##### a Reproductibilité des tests ViCAs

Tout d'abord, la reproductibilité des ViCAs a été étudiée entre le 2 et le 4 mai (Figure 28). Les eaux d'entrée du décanteur sont plus chargées en MeS que les eaux de sortie qui ont subi la décantation. Sur les courbes ViCAs, cela se traduit par une courbe plus basse, c'est-à-dire un pourcentage de particules avec une vitesse inférieure à  $V_c$  plus faible. 55 % des particules en entrée ont une vitesse inférieure à 1,6 m/h qui est la vitesse minimale de sédimentation utilisé pour dimensionner le décanteur primaire, contre 90% en sortie. Ainsi, seulement 10% de la masse des particules en sortie décante lors du test ViCAs contre 45% pour l'entrée. Cela veut dire qu'entre l'entrée et la sortie une décantation a eu lieu. C'est pourquoi, deux zones sont observées. L'entrée possède des particules ayant des vitesses plus élevées donc se situe au bas du graphique et la sortie a des particules avec des vitesses de chute plus basses puisque les échantillons ont déjà subi la décantation.

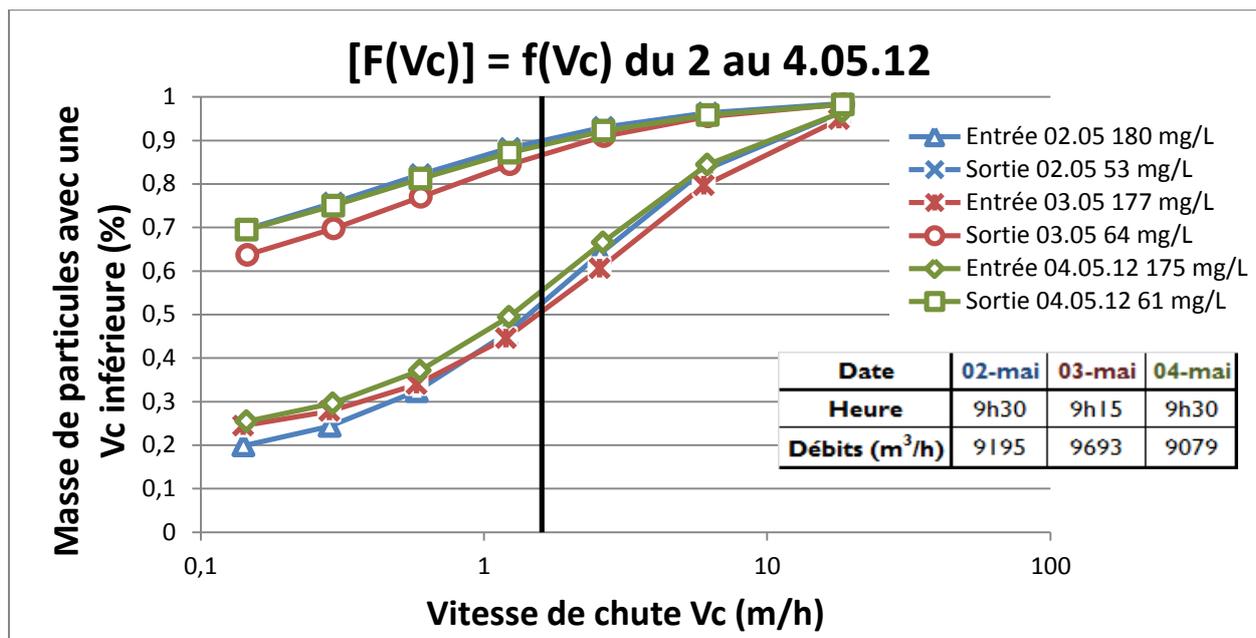


Figure 28 : Reproductibilité des ViCAs sur 3 jours sur des eaux d'entrée et de sortie du décanteur prélevées entre 9 h et 10 h

Les courbes des entrées ont la même allure et sont proches. De même, les MeS mesurées sont similaires sur les trois jours. Ainsi, nous pouvons en déduire que les tests ViCAs sont reproductibles dans les mêmes conditions de prélèvement. Au niveau des sorties, les mêmes conclusions peuvent être appliquées.

#### b Influence du temps hydraulique du pilote sur les ViCAs

L'effet du temps hydraulique du pilote sur la composition de l'eau a été étudié (Figure 29) afin de définir le débit optimal. En entrée, les courbes sont similaires ce qui est logique puisque les prélèvements sont fait à la même heure alors qu'à la sortie les trois courbes divergent pour des particules ayant une vitesse inférieure à 1 m/h. La décantation est donc différente pour les trois débits. L'échantillon de 2 m<sup>3</sup>/h a la courbe de sortie la plus haute (entre 72 et 98 %). Les particules chutent plus lentement. Alors que pour 10 m<sup>3</sup>/h, la courbe est basse (entre 54 et 100%) donc les particules décantent plus vite que pour 2 m<sup>3</sup>/h. Ainsi plus la courbe est basse, plus les particules ont une vitesse de chute plus importante. Sur la sortie, avoir les vitesses de chute les plus petites montre que la décantation a été la meilleure sur cet échantillon. Ici, l'échantillon de 2 m<sup>3</sup>/h a plus décanté que ceux de 4 et 10 m<sup>3</sup>/h. Ce dernier étant l'échantillon avec la décantation la plus limitée.

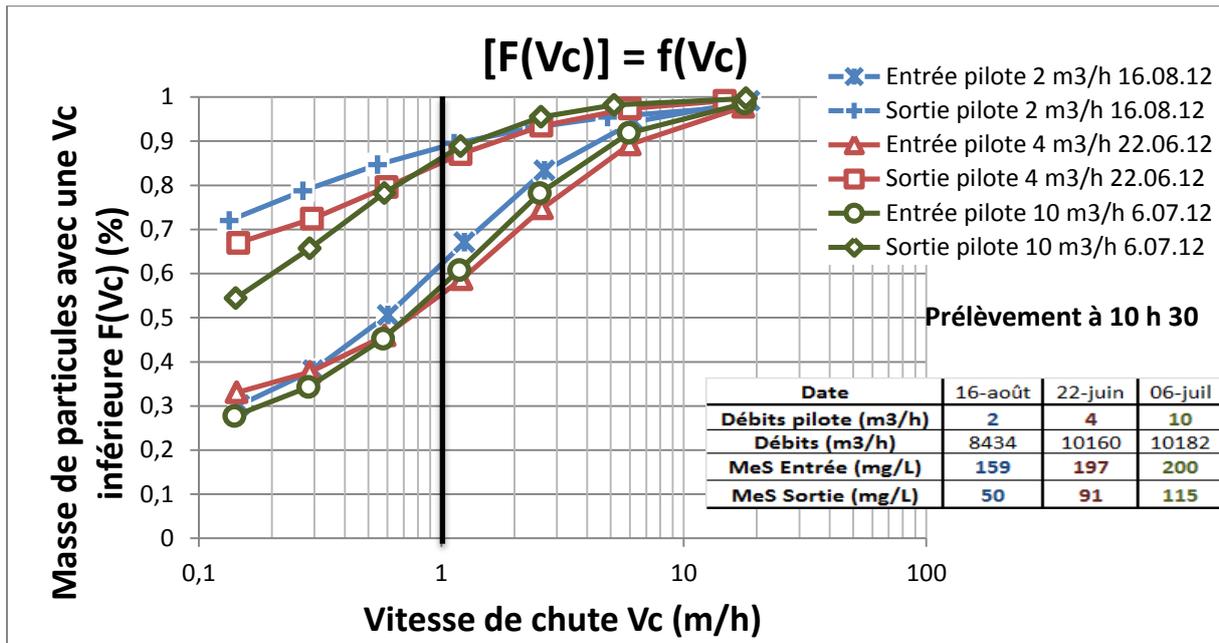


Figure 29 : Influence du temps hydraulique du pilote avec 3 débits différents 2, 4 et 10 m<sup>3</sup>/h

Ces résultats sont logiques. En effet, plus le débit est petit plus le temps de séjour des particules est long dans le décanteur. Les particules ont le temps de décanter avant la sortie. Et à l'inverse, quand le débit est grand les particules avec une vitesse de chute lente n'ont pas le temps de décanter et sortent directement du décanteur.

Cependant, il n'est pas possible de prendre le plus petit débit possible, ici 2 m<sup>3</sup>/h, pour la décantation. D'une part, le temps de séjour des particules peut être long (2,5 h pour un débit de 2 m<sup>3</sup>/h) et la mise en régime est encore plus longue, trois fois le temps de séjour (ici, 7,5 h). Le choix du débit dépend donc des conditions opératoires que nous voulons. De plus, les biofiltres ont besoin d'un minimum de matière organique pour que les bactéries survivent. La décantation ne doit donc pas être trop élevée. Enfin, lors de tests traceur effectués sur le pilote, un volume mort a été observé avec un débit de 2 m<sup>3</sup>/h. Le débit de 10 m<sup>3</sup>/h n'enlève pas assez de matière, les particules ayant une vitesse minimale de décantation de moins de 5 m/h décanteront difficilement et se retrouveront en sortie. C'est le débit de 4 m<sup>3</sup>/h qui se rapproche le plus des conditions du décanteur réel.

### c Influence de la concentration des MeS

Après avoir étudié le temps hydraulique, nous nous sommes concentrés sur l'effet de la concentration en MeS sur les ViCAs. Pour cela, un ViCAs de l'entrée a été comparé avec la même entrée diluée trois fois (Figure 30). Les courbes obtenues ont la même allure. Cependant, l'entrée diluée possède des particules qui décanteront plus lentement. L'entrée diluée possède plus de particules que l'entrée non diluée. Des floccs peuvent donc plus facilement se former ce qui expliquerait cet écart de maximum 10 % entre les deux courbes. Ici, la concentration en MeS influence la distribution de la vitesse de chute.

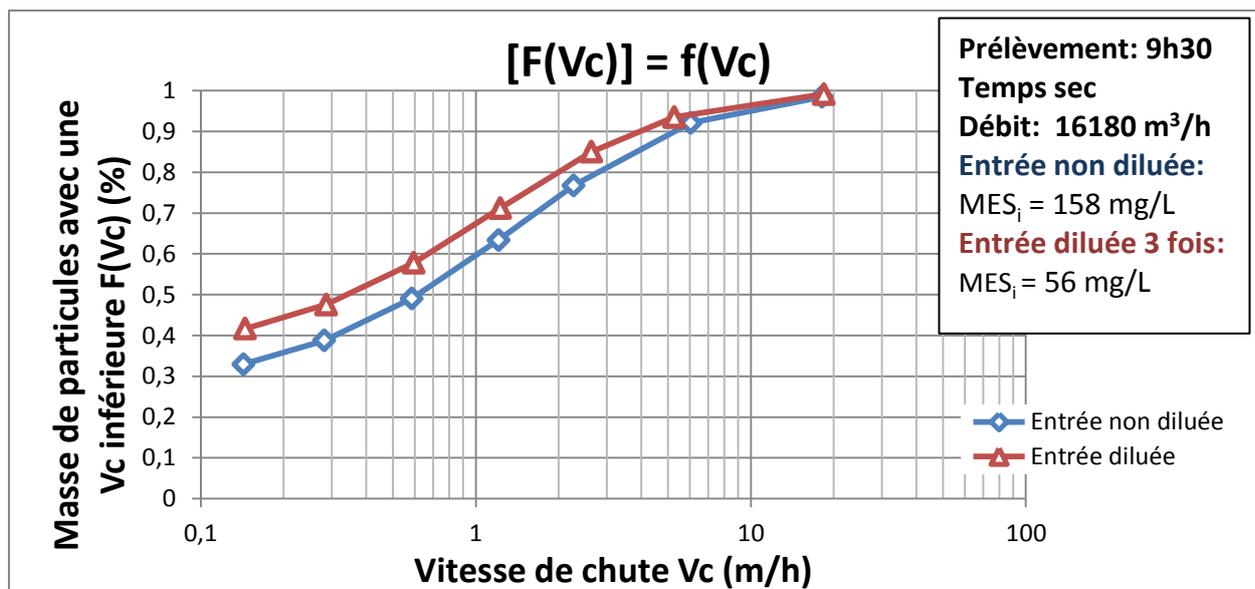


Figure 30 : Influence de la concentration en diluant l'échantillon 3 fois

Des échantillonnages à différentes heures ont été effectués pour vérifier si l'influence de la concentration en MeS est la même sur des échantillons différents (Figure 31). Sur les entrées, trois entrées sont similaires avec des MeS compris entre 200 et 270 mg/L. La courbe du 14 mai est plus basse avec des MeS légèrement plus fortes de 283 mg/L. Enfin, la courbe du 17 mai (18 h) est celle où l'échantillon possède le plus de particules avec de fortes vitesses et le plus de MeS. Nous pouvons donc en déduire que plus la concentration en MeS est élevée plus les particules décantent vite.

Cependant, les courbes du 18 mai et du 14 mai ont des MeS autour de 280 mg/L et pourtant ces deux courbes sont espacées de 10 % voire 20 % pour une vitesse de 1,6 m/h. L'écart est donc dû à un autre effet. Ces échantillons ont été pris à des moments différents (Annexe 3, Figure a). Le 18 mai à 2h du matin le débit de la station est bas peu de personnes utilise l'eau alors que le 14 mai à 14 h l'échantillon a été pris lors d'un pic de consommation d'eau. Cette différence peut donc donner une variation de la composition de l'eau entre ces deux échantillons. Plusieurs particules plus légères peuvent avoir les mêmes MeS qu'une seule particule plus lourde. Ainsi pour la même concentration en MeS, la composition de l'échantillon changera. Sur une courbe ViCAs cela se traduit par une courbe plus haute pour des particules plus légères et donc plus longues à décanter et une courbe plus basse pour des particules plus lourdes et plus facilement décantables.

La courbe du 4 mai confirme ces conclusions. Avec des MeS de 175 mg/L, l'échantillon possède des particules qui décantent plus vite que celui de 2h ayant des MeS plus grandes. À 9h30, le prélèvement a aussi été fait lors d'un pic de consommation où il y a plus de rejets et donc de particules. Les particules sont plus facilement décantables lorsqu'il y a une plus grande consommation d'eau, les floccs peuvent se former plus facilement.

Au niveau de la sortie, la tendance de l'augmentation des vitesses de chute avec l'augmentation des MeS n'est pas constatée. La concentration en MeS est trop faible pour qu'il y ai un effet, donc c'est l'effet des grosses particules qui fait varier la distribution.

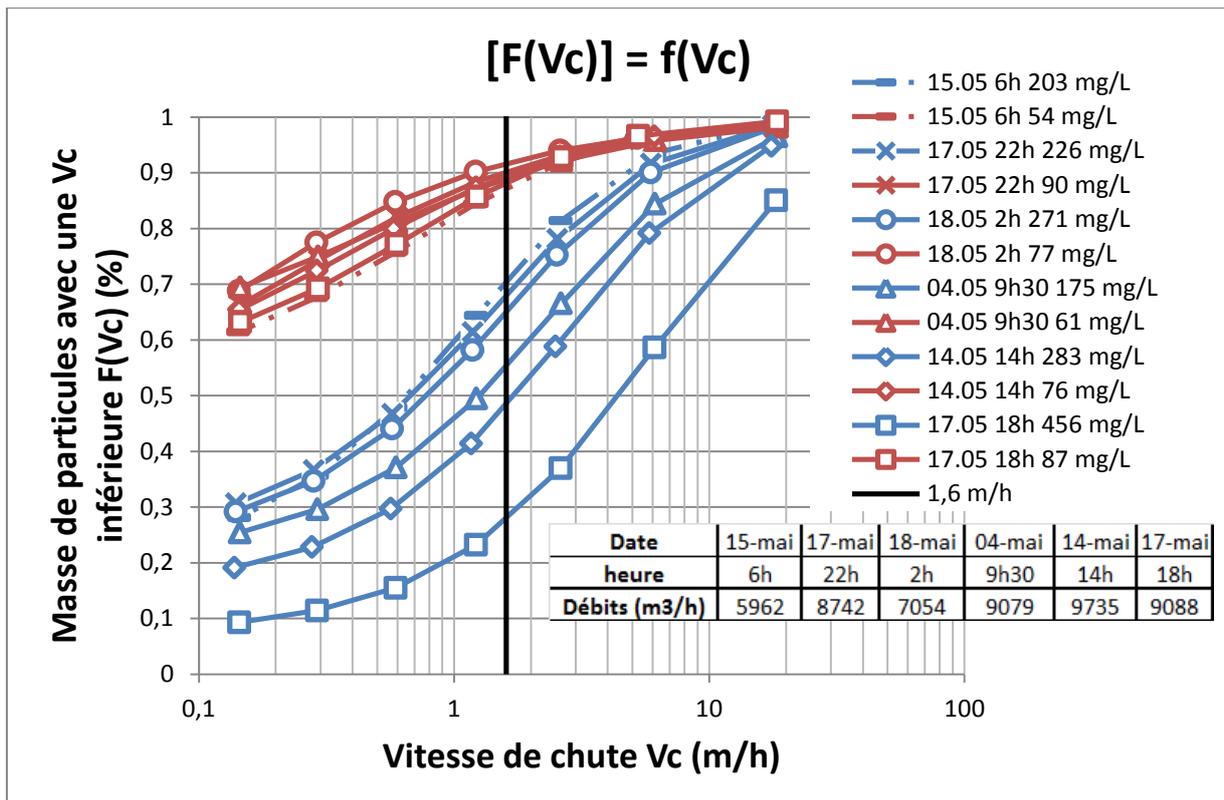


Figure 31 : Influence de la concentration avec les heures de prélèvement différentes: 14, 18, 22, 2 et 6 h

Au niveau du pilote, l'effet de la concentration a aussi été étudié (Annexe 3, Figure b). Comme précédemment, à l'entrée plus il y a de MeS plus la courbe est basse.

#### d Influence de la météo

Des ViCAs en temps de pluie ont été effectués pour se rendre compte de l'influence de la météo (Figure 32). Ces deux temps de pluie ont été prélevés en fin de pluie. À l'entrée, les échantillons en temps de pluie n'ont pas la même allure que celui en temps sec. Les particules des temps de pluie décantent plus lentement.

Au niveau de la sortie, les courbes se superposent. La sortie est de même qualité qu'en temps sec donc la pluie n'a pas d'effet sur la décantation du pilote.

Nous pourrions penser que lors d'un temps de pluie, l'entrée subit une dilution. Comme nous l'avons vu précédemment, lors d'une dilution, l'allure des courbes est similaire. Ici, ce n'est pas le cas, les courbes d'entrée ont un profil similaire aux courbes de sortie. Donc, la dilution n'est pas le seul phénomène présent en temps de pluie puisqu'il y a une modification de la composition.

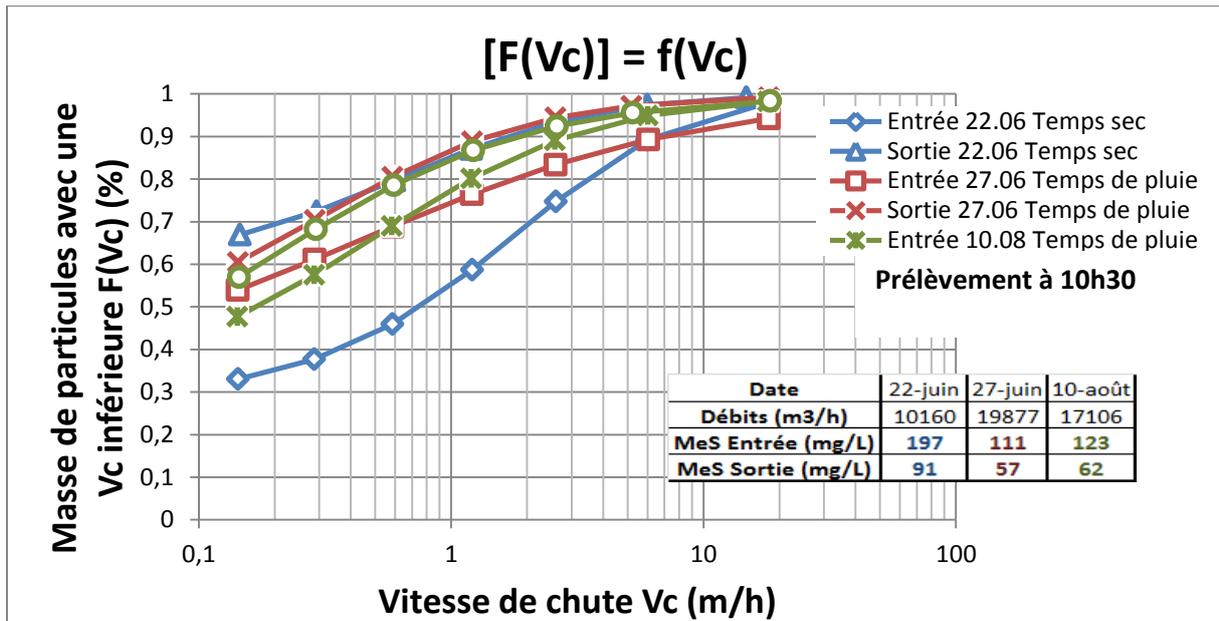


Figure 32 : Influence de la météo en comparant un temps sec à un temps de pluie

e Influence du changement de station

Enfin, des prélèvements sur d'autres stations d'épuration ont été réalisés (Figure 33). A la station de Valcartier, les courbes d'entrée et de sortie suivent l'allure de celles de la station Est. A la station de Charny, la courbe du 8 août est superposée à plusieurs courbes de la station Est. La deuxième courbe de Charny du 18 juin est décalée de 12% vers le bas pour les vitesses les plus faibles. Ce jour-là, les MeS étaient supérieures (359 mg/L) à celles du 8 août (140 mg/L). Les particules ayant une vitesse entre 0,1 et 1,2 m/h étaient donc plus nombreuses le 18 juin.

Les courbes obtenues sur ces stations sont comprises dans les mêmes zones que celles obtenues à la station Est. La zone A est la zone où les courbes des entrées se trouvent la plupart du temps et la zone B celles des sorties. Les courbes ViCAs obtenues sont donc la plupart du temps dans les mêmes zones même avec des échantillons d'autres stations.



# CONCLUSION

---

Au cours de ce stage, la caractérisation des particules a été étudiée. Tout d'abord, la relation entre la turbidité et les MeS a été déterminée. Et ensuite, l'influence de différents facteurs a été étudiée sur le protocole ViCAs et la décantation.

Tout d'abord, les sondes de turbidité à l'entrée et à la sortie du pilote ont été vérifiées. Un écart entre les deux sondes a été constaté ainsi ce biais doit être pris en compte dans la détermination de la corrélation. Pour rectifier cet écart, les sondes pourraient être recalibrées, une seule corrélation serait donc obtenue pour les valeurs de l'entrée et de la sortie.

Ensuite, c'est le temps entre chaque nettoyage qui a été optimisé. La sonde d'entrée n'est que très peu encrassée après 24 h de fonctionnement du pilote, le nettoyage n'est donc pas nécessaire. D'autres tests pourraient être effectués pour savoir si la conclusion est la même au bout de 3 jours voire une semaine de fonctionnement. Au niveau de la sonde de sortie, l'encrassement devient trop important après 18 h de fonctionnement. De plus, les valeurs de turbidité sont plus importantes tout au long des tests que celles en entrée. Ce qui n'est pas normal, la sortie subit la décantation dans le pilote et donc les particules sont éliminées par rapport à l'entrée. Un débit faible dans le contenant de la sonde et un mauvais emplacement de la sonde au niveau d'un volume mort ne donne pas une eau représentative de la sortie. L'emplacement de la sonde de sortie doit donc être changé et placé à un endroit où l'eau ne stagne pas.

Lors des échantillonnages, un biais est obtenu entre la corrélation trouvée précédemment en laboratoire et la corrélation obtenue sur le pilote. Ceci est dû à la différence de la dynamique de l'eau entre les deux expériences. Donc pour obtenir des valeurs de MeS cohérentes, la corrélation obtenue par le pilote est utilisée. À présent, les deux autres sondes de turbidité doivent être étudiées, la sonde des boues et la sonde se trouvant en haut du pilote.

Au niveau des protocoles ViCAs, ceux-ci sont reproductibles sur plusieurs jours dans les mêmes conditions d'échantillonnage. Sur le pilote, une meilleure décantation est obtenue avec un débit de 2 m<sup>3</sup>/h. Cependant, la mise en régime est longue et il doit rester une quantité suffisante de matières organiques pour le traitement suivant. Le débit optimal est donc celui de 4 m<sup>3</sup>/h qui est celui utilisé en station.

Plus la concentration en MeS est importante plus les particules ont des vitesses de chute importantes. Cela est dû à la facilité de formation des floccs quand il y a une plus grande quantité de particules. En changeant l'heure de prélèvement, le même phénomène est observé mise à part deux échantillons prélevés à des heures où les rejets d'eau sont importants. Ici aussi, les floccs se forment plus facilement. Enfin, un changement de composition a été étudié en comparant la météo.

D'autres tests peuvent être effectués par la suite, la température de l'échantillon peut être étudiée. En effet, entre l'hiver et l'été une différence de plus de 10°C sur l'échantillon peut être constatée. Il serait donc intéressant de pouvoir étudier cette influence. Ensuite, l'ajout de coagulant flocculant devra être considéré.

# BILAN PERSONNEL

---

Durant ce stage de six mois, j'ai découvert le travail en laboratoire de recherche. J'ai pu me servir de mes connaissances en traitement de l'eau apprises en cours et pendant mon stage d'iuut dans une station d'épuration pour mener à bien mon projet. De plus, effectuer ce stage au Québec, m'a permis de rencontrer et de travailler avec des personnes venues de différents horizons.

Mon projet m'a permis de devenir plus autonome dans mon travail. J'ai aussi du gérer mon planning de manipulation et le respecter. Un travail de réflexion sur mes données a été effectué pour ensuite synthétiser les conclusions obtenues et les présenter chaque semaine à l'équipe. Ainsi, le travail en équipe était très important.

Je retire un bilan positif de ce stage, travailler au sein du projet primEAU a conforté mon envie de travailler dans le domaine du traitement de l'eau. De plus, la recherche m'a beaucoup intéressé, notamment le lien entre les données recueillies de mes manipulations avec la création du modèle de décanteur primaire. De plus, participer aux autres parties du projet m'a permis de suivre le projet dans sa globalité.

# BIBLIOGRAPHIE

---

Bachis, G., 2010. *Examen oral Development of a dynamic model for primary clarification connectable to ASM/ADM modelling approach*, s.l.: s.n.

Berrouard, E., 2012. *Mémoire sur la caractérisation de la décantabilité des eaux pluviales*, s.l.: s.n.

Bertrand-Krajewski, J.-L. et al., 2007. *Event and annual TSS and COD loads in combined sewer overflows*. s.l.:s.n.

Chebbo, G. & Gromaire, M.-C., 2003. VICAS—An Operating Protocol to Measure the Distributions of Suspended Solid Settling Velocities within Urban Drainage Samples. *Journal of environmental engineering*.

HACH LANGE, s.d.

[http://www.fr.hach-lange.be/shop/action\\_q/download%3Bdocument/DOK\\_ID/10880/type/pdf/ikz/BE/spkz/fr/TOKEN/lqRAlkj-9hEhfzZVkiHjaOTcjU0/M/UtFV0g](http://www.fr.hach-lange.be/shop/action_q/download%3Bdocument/DOK_ID/10880/type/pdf/ikz/BE/spkz/fr/TOKEN/lqRAlkj-9hEhfzZVkiHjaOTcjU0/M/UtFV0g). [En ligne].

PELLETIER C. 2009, Mesure de turbidité, techniques de l'ingénieur (Référence R2355)

# ANNEXE

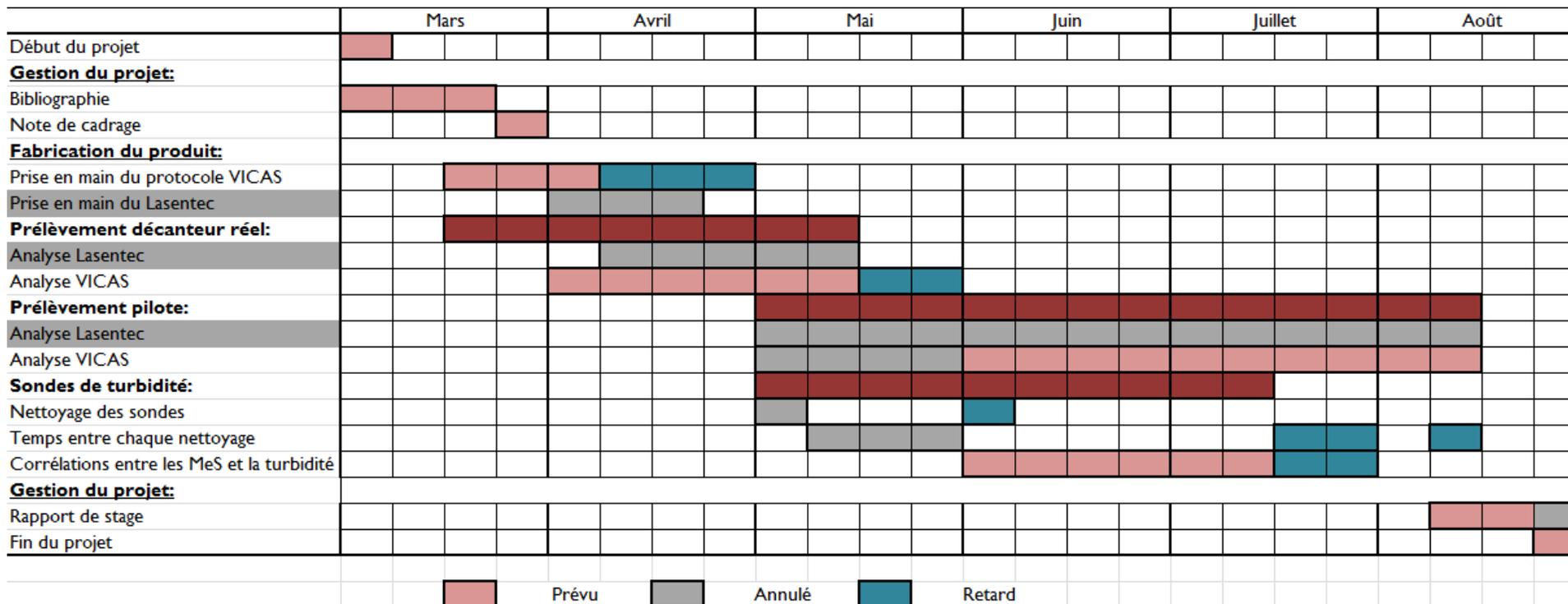
---

Annexe 1 : Planning .....b  
Annexe 2 : Planning final.....c  
Annexe 3 : ViCAs.....d

# ANNEXE I : PLANNING

	Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet			Août		
Début du projet	■																	
<b>Gestion du projet:</b>																		
Bibliographie	■	■	■															
Note de cadrage			■															
<b>Fabrication du produit:</b>																		
Prise en main du protocole VICAS		■	■	■														
Prise en main du Lasentec			■	■	■	■												
<b>Prélèvement décanteur réel:</b>		■	■	■	■	■	■	■										
Analyse Lasentec			■	■	■	■	■	■										
Analyse VICAS			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
<b>Prélèvement pilote:</b>																		
Analyse Lasentec																		
Analyse VICAS																		
<b>Sondes de turbidité:</b>																		
Nettoyage des sondes																		
Temps entre chaque nettoyage																		
Corrélations entre les MeS et la turbidité																		
<b>Gestion du projet:</b>																		
Rapport de stage																		
Fin du projet																		

# ANNEXE 2 : PLANNING FINAL



# ANNEXE 3 :VICAs

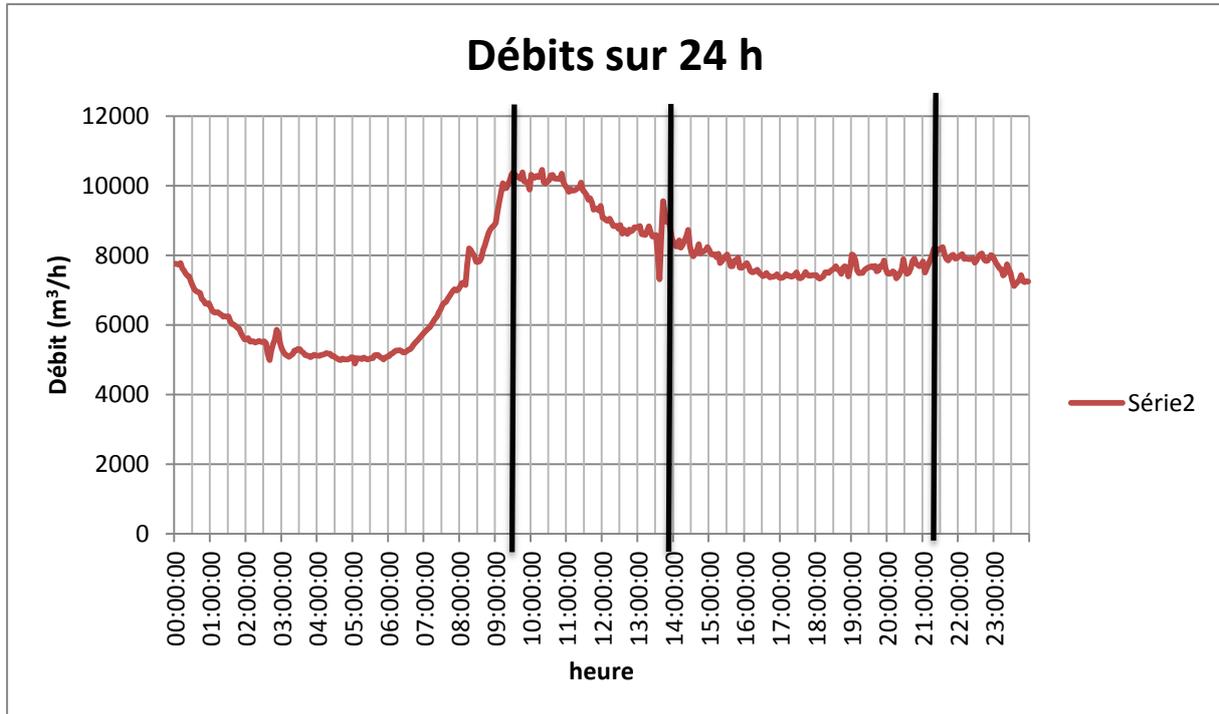


Figure a : Débits de la station sur 24 h. Avec les pics de consommation du matin, du midi et du soir.

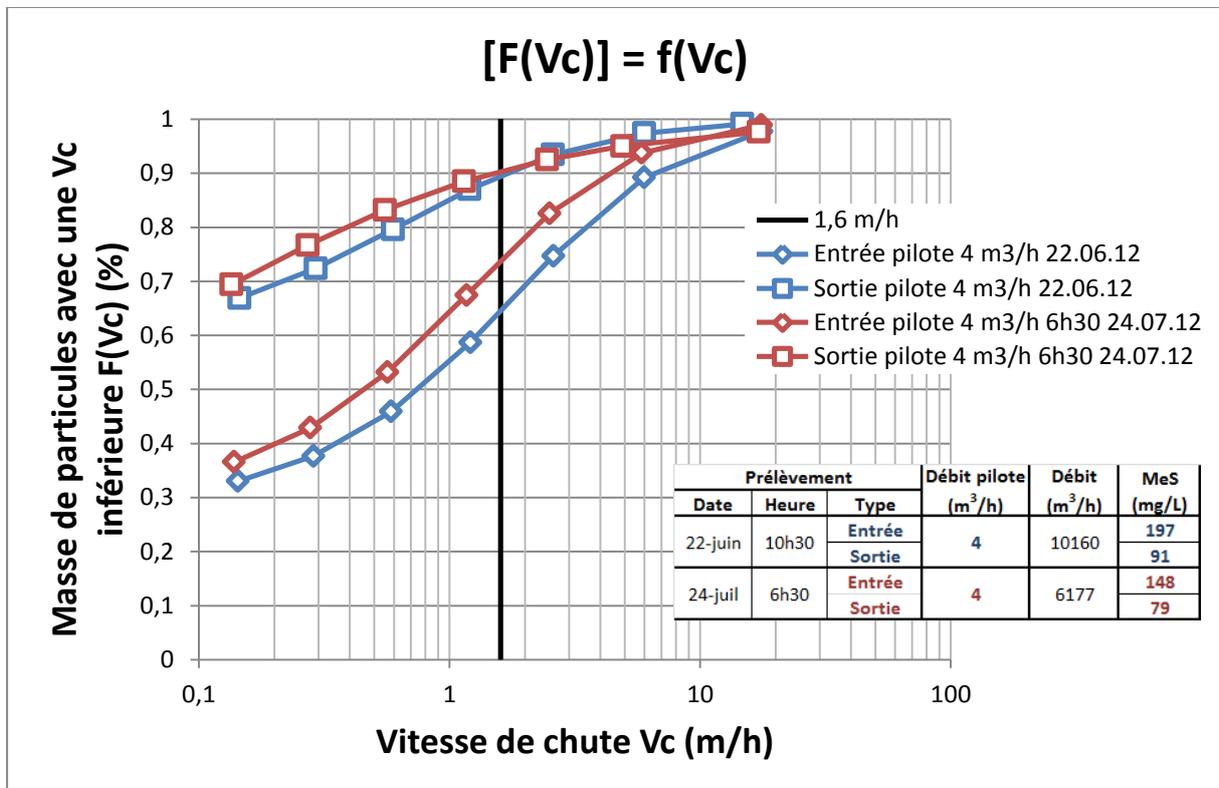


Figure b : Influence de la concentration avec le même débit d'entrée 4 m<sup>3</sup>/h

# RÉSUMÉ

---

Le traitement des eaux est devenu indispensable dans la société actuelle du fait de l'augmentation du besoin en eau et des rejets toujours plus nombreux. Les stations d'épuration permettent de réduire cette pollution et de protéger le milieu aquatique. L'optimisation des traitements utilisés en station permet une meilleure qualité de l'eau et un coût de fonctionnement réduit.

J'ai effectué ce stage dans le cadre de ma première année de master ICA, du 5 mars 2012 au 31 août 2012, au sein du groupe de recherche modelEAU à l'université Laval, à Québec, au Canada. Ce stage fait partie du projet primEAU qui a pour but l'optimisation de l'unité de décantation primaire. Pour cela, un pilote de décanteur primaire a été installé à la station d'épuration de Québec.

Durant ces six mois, je me suis plus particulièrement intéressée à la caractérisation des particules dans le décanteur. Mon projet se découpait en deux parties, une première partie sur la relation entre les MeS et la turbidité et la deuxième partie sur la caractérisation de la distribution de la vitesse de chute des particules.

La fiabilité des sondes de turbidité du pilote a été tout d'abord vérifiée grâce à des solutions standard. Le temps entre chaque nettoyage des sondes a été optimisé pour s'assurer du bon fonctionnement de celles-ci. Ensuite, des corrélations entre les MeS et la turbidité a été obtenue pour chaque sonde. Ainsi, en mesurant la turbidité grâce aux sondes, les MeS peuvent être calculés sans avoir à les analyser. Aussi, la distribution de la vitesse de chute des particules a été étudiée grâce au protocole ViCAs. L'influence de plusieurs facteurs a ainsi été mise en avant. Les facteurs influant sont la concentration en MeS, le temps hydraulique du pilote, l'heure de prélèvement et la météo.

# ABSTRACT

---

Water treatment has become essential in today's world. This is due to the increase of water need and waste. Waste water treatment plants help to reduce pollution and protect the aquatic environment. The optimization of treatments used in stations allows a better water quality and reduced operating cost.

I conducted this internship as part of my first year of MSc. ICA from March 5, 2012 to August 31, 2012 within the research group modelEAU at Laval University in Quebec, Canada. This internship is part of the primEAU project which aims to optimize the primary settling unit. For this, a primary clarifier pilot was installed at the wastewater treatment plant in Quebec.

During last six month I have been particularly interested in characterizing particles in the clarifier. My project was outlined in two parts, a first part on the relationship between TSS and turbidity and the second part on the characterization of the distribution of particles settling velocity.

Reliability of pilot turbidity sensors was first checked thanks to standards solutions. The time between each cleaning of sensors has been optimized to ensure their proper functioning. Then, correlations between TSS and turbidity were obtained for each sensor. So by measuring the turbidity thanks to sensors, TSS can be calculated without analyzing them. Also, distribution of particles settling velocity was studied using the ViCAs protocol. The influence of several factors was then highlighted. Affecting factors are TSS concentration, pilot hydraulic time, sampling time and weather.