



**Université Laval**

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



**Institut National des Sciences Appliquées**

Dép. Génie des Procédés et Environnement  
135, Avenue de Rangueil  
31077 Toulouse, France

**Vincent SAVIGNAC**

## **Rapport Stage 4<sup>ème</sup> Année GPE INSAT**

*Stage réalisé du 28/06/2010 au 17/09/2010*

**Mise en route d'un Décanteur Primaire Pilote**

**Tests traceurs sur une installation pilote**

**Projet primEAU**

*Enseignant superviseur à l'INSA : Arnaud COCKX*

*Maître de Stage à l'Université Laval : Peter VANROLLEGHEM*

## Résumé

Le traitement des eaux usées est un enjeu environnemental majeur et la réglementation impose des normes de rejets de plus en plus rigoureuses. Dans ce contexte, les opérations unitaires des filières de traitement doivent être améliorées, optimisées ou remplacées. Le projet primEAU vise à accroître les connaissances sur l'opération de décantation primaire et à la modéliser dans un contexte de traitement biologique aux boues activées. Le recueil d'information va se faire par le biais d'une vaste campagne d'échantillonnage sur une installation pilote de décantation primaire.

Le pilote primEAU, fourni par l'entreprise John Meunier, doit subir une phase de mise en route avant de pratiquer des tests traceurs examinant son hydrodynamique.

Ce rapport donne un aperçu du phénomène de la décantation primaire puis décrit brièvement la phase de mise en route avec les dysfonctionnements et les précautions d'emploi des sondes. Une dernière partie est orientée sur les tests traceurs mis en place et réalisées. Ces traçages ont soulevé un éventuel phénomène de court-circuit et des possibles recyclages. Un approfondissement de ces tests devra être fait pour confirmer ou infirmer ces mécanismes avant de débiter la campagne d'échantillonnage.

**Mots clés :** *Décantation primaire, Eaux usées, Hydrodynamique, Modélisation, Tests Traceurs*

## Remerciements



**UNIVERSITÉ  
LAVAL**

*Université Laval*

*Laboratoire de Recherche modelEAU*



Tout d'abord, je tiens à remercier le Professeur Peter VANROLLEGHEM pour m'avoir accueilli et encadré pour ce stage. Je remercie aussi Giulia BACHIS (étudiante au Doctorat) pour m'avoir fait confiance, soutenu et épaulé sur le projet primEAU. Je remercie aussi Michel BISPING (Responsable du Laboratoire Recherche & Enseignement) pour m'avoir guidé et conseillé en termes de manipulation et de qualité de mesure. Je remercie tout particulièrement Pascal POIRIER (Etudiant à la maîtrise) pour toutes les informations et l'aide concernant les sondes et leur système d'acquisition et la découverte de la culture québécoise. De la même manière, je remercie Sylvie LEDUC (Professionnelle de Recherche) pour son aide précieuse au laboratoire et pour ses conseils sur la découverte du Québec. Enfin, je remercie l'ensemble du groupe de recherche modelEAU pour leur accueil chaleureux.

*John MEUNIER Montréal*

**JOHN MEUNIER**

Je remercie Edith LAFLAMME (Ingénieure Procédés, Responsable Unités Pilotes) et Michael FRANKHAUSER (Etudiant Stagiaire) pour tous les conseils sur le démarrage des installations et sur les capteurs. Je remercie également Alain SANSCARTIER (Responsable Informatique/Electronique) et Mathieu CHARLEBOIS (Coresponsable Informatique/Electronique) pour leur écoute et leur soutien informatique et électronique pour l'interface et les sondes. Enfin, je remercie l'ensemble de l'équipe responsable des installations pilotes chez John MEUNIER pour la collaboration efficace.

*Pôle Anjou Recherche Veolia*



Je remercie Stéphane Délérés (Responsable à la Direction Technique) pour m'avoir mis en contact avec les personnes qui m'ont accueilli pour ce stage.

*Ville de Québec, Station de Traitement des Eaux Usées*

Je remercie chaleureusement Denis Dufour (Technicien Responsable Assainissement) pour son implication dans les projets de recherche à la station et son aide précieuse à tout moment.



*Région Midi-Pyrénées et INSA Toulouse*

Je remercie la Région Midi-Pyrénées et les Relations Internationales de l'INSA qui m'ont aidé à financer mon séjour au Québec.



## Sommaire

<b>Résumé</b>	<b>1</b>
<b>Remerciements</b>	<b>2</b>
<b>Les principaux partenaires du Projet primEAU</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>Objectifs</b>	<b>5</b>
<b>I. Etudes préliminaires</b>	<b>6</b>
<b>1) Décantation Primaire</b>	<b>6</b>
<b>2) Matériel et Méthodes</b>	<b>8</b>
<b>II. Pilote primEAU</b>	<b>10</b>
<b>1) Description de l'installation</b>	<b>10</b>
a) Décanteur Primaire Pilote	10
b) Capteurs en ligne et Système d'acquisition	11
<b>2) Caractéristiques des eaux</b>	<b>13</b>
a) Eau brute ou usée	13
b) Eau Recyclée	14
<b>3) Phase de mise en route</b>	<b>15</b>
<b>III. Étude de l'hydrodynamique</b>	<b>17</b>
<b>1) Principe des tests traceurs</b>	<b>17</b>
<b>2) Mode d'injection</b>	<b>18</b>
<b>3) Tests traceurs</b>	<b>19</b>
a) Tests NaCl	19
b) Tests Rhodamine WT	20
c) Test Potassium et Ions Spécifiques	23
<b>Conclusion</b>	<b>25</b>
<b>Retour d'expérience</b>	<b>26</b>
<b>Références Bibliographiques</b>	<b>27</b>
<b>Glossaire</b>	<b>28</b>
<b>Table des annexes</b>	<b>29</b>

## Les principaux partenaires du Projet primEAU

### **Présentation de l'Université Laval**

L'Université Laval a été la première université francophone à voir le jour en Amérique. En 1663, le premier évêque de la colonie, Monseigneur François de Montmorency-Laval, fonde à Québec le premier établissement d'enseignement de la Nouvelle-France : le Séminaire de Québec. Près de 200 ans après, en 1852, cet établissement crée l'Université Laval, la source de tout enseignement supérieur de langue française au Québec, au Canada et en Amérique.

L'Université Laval avec ses 11000 personnes en poste reçoit chaque année près de 45000 étudiants dans ses 17 facultés et ses 66 départements, écoles et instituts.

C'est le département de Génie Civil et Génie des Eaux de la Faculté des Sciences et de Génie qui accueille le groupe de recherche modelEAU. L'équipe modelEAU est regroupée autour de la Chaire de recherche du Canada en Modélisation de la Qualité de l'Eau. Cette dernière a été décernée en février 2006 à Peter VANROLLEGHEM. Le projet primEAU fait partie des projets en cours au sein de modelEAU. Ce projet est dirigé par Peter VANROLLEGHEM et fait partie intégrante du doctorat de l'étudiante Giulia BACHIS. J'ai rejoint l'équipe modelEAU et mon stage s'est inscrit dans le projet primEAU pour réaliser le démarrage du décanteur primaire pilote et débiter les tests traceurs.

### **Présentation de l'entreprise John Meunier**

Même si l'entreprise John Meunier ne m'a pas accueilli comme stagiaire, sa présentation m'a semblé nécessaire par la collaboration fréquente et utile que j'ai dû réaliser avec ses employés. En effet, c'est l'entreprise John Meunier qui a principalement financé et conçu l'installation pilote de décantation primaire nécessaire au projet primEAU.

Spécialiste du traitement de l'eau potable, des eaux de procédés, des eaux usées et de la gestion des eaux d'orage, John Meunier dessert les municipalités et les industries nord-américaines depuis 1948. John Meunier est désormais membre du groupe Veolia Water, qui œuvre dans plus d'une centaine de pays à travers le monde. Ainsi, John Meunier a accès à une vaste panoplie de technologies éprouvées et reconnues, supportée par des compétences spécialisées et un solide savoir-faire.

Au Canada et plus largement sur le continent américain, John Meunier est l'un des plus importants manufacturiers d'équipements dédiés au traitement des eaux industrielles et municipales. Ses équipes de spécialistes peuvent gérer l'ensemble d'un projet depuis le diagnostic jusqu'à la mise en œuvre et au suivi des installations.

Le système qualité de l'entreprise John Meunier est documenté et maintenu selon les exigences définies à l'intérieur de la norme ISO 9001:2008 ainsi que par sa propre politique en matière de qualité.

## Introduction

Toutes les activités humaines, qu'elles soient industrielles ou individuelles, nécessitent une grande quantité d'eau. La conséquence directe de cette large utilisation en eau est la décharge de pollutions directement vers cet élément indispensable à la vie. L'eau ainsi polluée s'avère dangereuse pour l'Homme, les écosystèmes et les ressources en eau elles-mêmes. En effet, les milieux récepteurs ne peuvent recevoir plus de pollution que leur capacité de purification ne le permet sans compromettre la qualité des eaux et l'équilibre des écosystèmes. Il apparaît donc comme une évidence de traiter ces eaux usées avant leur retour vers les milieux récepteurs.

Les traitements des eaux usées engagent des procédés et des opérations dépendants des types de réaction que l'on veut mettre en jeu, à savoir biologiques ou chimiques. La modélisation de chaque opération dans les stations de traitements des eaux usées devient un outil utile à leur optimisation au niveau des performances, de l'énergétique et des coûts.

De nombreux modèles ont été proposés pour les décanteurs afin d'estimer les paramètres de la décantation. Cependant, dans le contexte de la modélisation, les décanteurs primaires ont souvent été négligés et considérés comme peu sensibles [6]. Dans cette situation, le comportement de ce type de décanteur est bien souvent simulé par des modèles simples.

Le projet primEAU cherche à approfondir les connaissances pour ensuite créer un nouveau modèle dynamique de la décantation primaire. Ce nouveau modèle devra s'intégrer facilement dans l'approche traditionnelle des modèles à boues activées proposés par l'IWA (International Water Association). L'identification des principaux mécanismes régissant les décanteurs primaires est très importante pour la mise en place du modèle. Il faut notamment étudier l'hydraulique et les phénomènes biologiques et chimiques qui pourraient affecter les particules, leur vitesse de sédimentation et leur récupération. La capacité de récupération des particules par les décanteurs primaires influe directement sur les étapes du traitement en amont. Il est donc essentiel de considérer le décanteur primaire comme un composant fondamental de la station de traitement des eaux usées.

Dans ce contexte, une campagne d'expérimentation sera menée sur un décanteur primaire pilote spécialement conçu pour le projet primEAU. Dans un premier temps, le pilote servira à dégager les paramètres prépondérants de la décantation primaire. Il sera ensuite utile à la définition de la robustesse du modèle et pour garantir sa généralisation.

## Objectifs

Au commencement, l'objectif de mon stage a été calqué sur les objectifs du projet primEAU. Par conséquent, l'objectif principal résidait dans la modélisation de la décantation primaire. Néanmoins et étant donnée la période de stage impartie, les objectifs se sont recentrés et affinés. Voici les principaux objectifs qui ont été fixés pour ce stage :

- ✚ S'informer sur les décanteurs et l'opération de décantation primaire
- ✚ Prendre en main l'installation pilote de décantation primaire
- ✚ Rendre compte de l'avancement des travaux et du fonctionnement du pilote
- ✚ Mettre en place des tests traceurs pour suivre l'hydrodynamique dans le pilote
- ✚ Réaliser des tests traceurs et modéliser l'écoulement
- ✚ Modéliser la décantation primaire via des expérimentations sur le pilote (**pour l'avenir**)

## I. Etudes préliminaires

Une prise d'information sur la fonction des décanteurs primaires et les méthodes de caractérisation des eaux est requise avant toute expérimentation en relation avec le sujet et d'autant plus sur une installation pilote.

### 1) Décantation Primaire

Le projet primEAU cherche à modéliser le phénomène de la décantation primaire intégré dans une filière de traitement des eaux de type boues activées. Il apparaît donc comme une nécessité de s'informer sur le principe de la décantation primaire et des décanteurs associés.

La séparation des matières solides présentes dans une phase liquide par décantation ou sédimentation est l'un des procédés physique les plus utilisés dans les stations de traitements des eaux usées. La plupart de ces stations utilisent des décanteurs ou bassins de décantation dotés de racleurs mécaniques. Ces décanteurs sont de forme circulaire ou rectangulaire, suivant respectivement un modèle d'écoulement radial ou horizontal.

Les bassins de décantation primaire reçoivent les effluents des autres opérations unitaires du traitement primaire comme le dégrillage, le dessablage et le dégraissage. Un écoulement relativement calme au sein des décanteurs permet aux particules solides de sédimenter et de former une couche épaissie au fond du décanteur. Cette couche forme les boues primaires qui vont bien souvent être soutirées vers des bassins d'épaississement. En plus du flux vertical de sédimentation, l'entrée d'eau vient générer un second flux vertical. Le surnageant ainsi clarifié quitte le décanteur par le biais de surverses.

Dans un procédé de séparation physique fonctionnant sous l'influence de la gravité, les particules solides vont décanter si :

- Dans un écoulement vertical ascendant, la vitesse ascendante de l'eau est plus faible que la vitesse de sédimentation limite.
- Dans un écoulement longitudinal, le rapport de la longueur par la hauteur du bassin est plus important que le rapport entre la vitesse de l'eau et la vitesse de sédimentation limite.

Selon la relation de Stokes, dans le cas d'un écoulement laminaire, supposé discret, de particules sphériques, la vitesse de sédimentation limite peut être calculée comme suit :

$$V_S = \frac{g(\rho_p - \rho_w) \cdot d_p^2}{18\mu}$$

Avec :  $V_s$  : la vitesse de sédimentation en  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $g$  : l'accélération de la pesanteur en  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$   
 $\rho_p$  : la masse volumique des particules en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$   
 $\rho_w$  : la masse volumique de l'eau en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$   
 $d_p$  : le diamètre des particules en  $\text{cm}$   
 $\mu$  : la viscosité dynamique de l'eau en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Théoriquement, cette équation peut être utilisée pour concevoir des installations, ainsi toutes les particules avec une vitesse de sédimentation supérieure à  $V_s$  devraient décanter vers le fond du décanteur. Cependant, en pratique, des conditions idéales de décantation ne sont pas réalistes en raison de nombreux paramètres influant sur la décantation. Ces paramètres peuvent être interconnectés et rendent la compréhension des décanteurs primaire complexe. Parmi de nombreux paramètres, les plus récurrents sont le design et l'hydraulique du décanteur primaire, les phénomènes et les réactions physico-chimiques et biologiques mais aussi la distribution de la taille des particules.

Les opérations unitaires du traitement primaire, dont fait partie la décantation primaire, sont principalement conçues pour clarifier les eaux usées, épaissir des boues primaires, réduire la quantité de matières flottantes, organiques et en suspension aussi bien que leurs polluants associés. Un décanteur primaire classique retient 50 à 70% des matières en suspension et 25 à 40% des matières organiques en termes de DBO [8]. Cependant, le traitement primaire ne peut pas atteindre un taux plus élevé d'élimination de la DBO étant donné que la majorité de la charge organique se retrouve sous forme soluble ou sous la forme de fines particules qui ne peuvent toutes deux pas être décantées efficacement.

La diminution de la charge organique est particulièrement importante dans le cadre d'un traitement biologique par boues activées car des concentrations plus importantes en solides dans l'effluent à traiter amènent à des volumes d'aération, des besoins en oxygène et des quantités de boues tout trois plus importants. Par conséquent, la réduction de la quantité de matière organique envoyée au traitement biologique permettra de réduire tous les volumes en jeu (du bassin d'aération, d'oxygène pour l'aération et de boues) dans le traitement secondaire et les coûts associés.

Concernant la taille des particules, la récupération des grosses particules plus dures à traiter vers les boues primaires permet d'améliorer l'efficacité des procédés de traitement en aval. Notamment lorsque l'adsorption est un phénomène important comme dans le traitement biologique aux boues activées.

D'autres avantages résultants du positionnement d'un décanteur primaire en amont d'un procédé par boues activées peuvent être :

- La minimisation des problèmes opérationnels lors du traitement biologique (le décanteur a un rôle de bassin d'égalisation) [3].
- L'enlèvement, lors de l'aération, d'une plus grande partie de substrat soluble [4].

Les boues produites lors du traitement primaire peuvent être dirigées vers une étape de digestion anaérobie pour la production de biogaz. Le biogaz ainsi formé représente une source d'énergie et plus particulièrement un carburant renouvelable, convertible en électricité, en vapeur ou en chaleur via des technologies de cogénération.

D'autre part, un enlèvement excessif de la DCO au cours du traitement primaire a prouvé qu'il pouvait se faire au détriment du traitement ultérieur de l'azote. Ainsi, un rapport DCO/N faible engendre une faible récupération des nitrates lors de la dénitrification.

En résumé, le traitement primaire avec la décantation primaire est une étape clé de la chaîne de procédés d'une station de traitement des eaux usées et sa performance influence étroitement les opérations unitaires du traitement secondaire.

Néanmoins, la décantation primaire peut être omise dans des petites stations d'épuration des eaux où des alternatives de traitement sont préférées, ou dans les régions chaudes où des contraintes olfactives peuvent devenir significatives [8].

## 2) Matériel et Méthodes

Le matériel plus imposant comme le décanteur primaire pilote, ses sondes embarquées et son système d'acquisition sont décrits à la partie II. 1).

Les méthodes utilisées lors de ce stage ont tout d'abord été testées et pratiquées en laboratoire avant tout échantillonnage sur le pilote. Ceci a permis de prévoir les commandes de matériel et de produits, d'être plus alerte sur le type d'échantillon, sa quantité et son conditionnement avant de commencer toute campagne d'échantillonnage. Néanmoins, étant donnée que la campagne d'échantillonnage pour modéliser la décantation primaire n'a pas encore démarré, la plupart des méthodes décrites ci-dessous et en annexe n'ont été pratiquées qu'à titre d'apprentissage.

La mesure de **MES (Matières En Suspension)** ou en anglais TSS (Total Suspended Solids) correspond aux particules solides retenues lors d'une filtration sur un filtre avec des pores d'environ 1 $\mu$ m. Cette mesure permet d'obtenir une concentration en particules plus grandes qu'une taille donnée qui se retrouvent en suspension dans une eau. Cette valeur est représentative des solides pouvant d'une part se déposer par sédimentation et d'autre se décomposer en induisant une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Le protocole de mesure des MES est donné en Annexe A. 1).

La mesure de **MVS (Matières Volatiles en Suspension)** ou en anglais VSS (Volatile Suspended Solids) correspond à la matière qui se volatilise dans un four à 500°C. Cette mesure permet de caractériser la part organique d'une eau usée ou d'une boue. Le protocole de mesure des MVS est donné en Annexe A. 2).

La mesure de la **DCO (Demande Chimique en Oxygène)** ou en anglais COD (Chemical Oxygen Demand) permet de quantifier les besoins en oxygène d'une eau pour dégrader ou oxyder de la matière organique. Cette mesure est caractéristique des composés organiques (biodégradables ou non) présents dans une eau. Le protocole DCO Totale est donné en Annexe A. 3).

La méthode **ViCAs (Vitesse de Chute en Assainissement)** a été développée et validée par Chebbo et Gromaire (2009). Cette analyse est récente et est utile lorsque l'on désire caractériser le phénomène de décantation. Cette méthode a été testée au laboratoire de recherche par l'équipe du projet primEAU et va être très utile lors de la campagne de mesure prochaine. En effet, cette méthode étudie le comportement des particules au repos et se focalise particulièrement sur la mesure de la distribution des vitesses de sédimentation des matières en suspension. Le protocole ViCAs amène à des courbes de distribution des vitesses de chute des particules d'une eau usée en pourcentage de la masse totale de particules. Cette vitesse est une caractéristique importante car elle détermine en quelque sorte le temps nécessaire aux particules pour décanter. La méthode ViCAs est décrite en Annexe A. 4).

Le **Test Potassium** a servi à quantifier la concentration en Potassium présente dans l'eau. Ceci permet de connaître le seuil présent dans l'eau usée et de préparer un éventuel test traceur au potassium. Le protocole du test Potassium est donné en Annexe A. 5).

Pour les tests traceurs réalisés avec de la Rhodamine WT, décrits dans la partie III. 2) b), le suivi du traceur en sortie du décanteur pilote vers les surverses est caractérisé par fluorimétrie. Des échantillons sont prélevés à hauteur des surverses pour ensuite être analysés au plus vite dans un laboratoire de l'Université Laval. Le fluorimètre utilisé pour ces analyses est représenté sur la figure 1

avec son matériel de commande et d'acquisition. Cet appareil appartient à la série Eclipse commercialisé par l'entreprise Varian. Le principe est le suivant : un rayon émis à la longueur d'onde d'excitation des molécules de Rhodamine WT (environ 536nm) va faire passer ces molécules à un état supérieur. En retournant à leur état fondamental, ces mêmes molécules émettent de la fluorescence à une longueur d'onde dite d'émission spécifique (environ 580nm). Cette émission va être recueillie sur une plage de longueur d'onde par un photo-détecteur à gain réglable. En résumé, un faisceau excite à 536nm les molécules de Rhodamine WT qui vont ensuite émettre une fluorescence détectée autour d'un maximum d'intensité à 580nm environ. Sur le même principe que de nombreuses méthodes d'analyse, l'intensité de la fluorescence émise (au pic ou maximum d'intensité) est directement liée à la concentration de l'échantillon en Rhodamine WT. De cette manière, la concentration en sortie du décanteur pilote et donc le test traceur peuvent être suivis par un échantillonnage et une analyse fluorimétrique.



**Figure 1 : Fluorimètre Varian et son système de commande et d'acquisition**

## II. Pilote primEAU

### 1) Description de l'installation

#### a) Décanteur Primaire Pilote

En vue d'accroître les connaissances sur la décantation primaire, une vaste campagne d'échantillonnage et de mesure va être menée sur une installation pilote de Décanteur Primaire. Cette installation pilote est le fruit d'une collaboration entre l'entreprise John MEUNIER et le groupe de recherche modelEAU. Ce pilote devrait pouvoir satisfaire aux besoins des travaux de recherche du projet primEAU. Ce projet vise à modéliser la décantation primaire dans un contexte de traitement biologique des eaux usées. Dans un premier temps, de nombreux tests vont être pratiqués afin de mieux comprendre les caractéristiques et les phénomènes mis en jeu lors de la décantation primaire. Par la suite, la masse de données recueillies servira à la modélisation de l'opération unitaire relative. L'accès à une installation pilote est donc une condition sine qua non à l'avancement du projet primEAU. L'installation pilote représentée sur les trois photos de la figure 2 a été livrée par l'entreprise John Meunier au début du mois de juillet 2010. Pour des besoins évidents en eaux usées et spatiaux, le pilote est hébergé dans les Halles du Centre de Recherche Industrielle du Québec ou CRIQ. Ces halles sont situées sur le site de l'Usine Est de Traitement des Eaux Usées de la Ville de Québec, dans le quartier de Beauport. Sa filière de traitement est décrite en Annexe C.



Figure 2 : Décanteur Pilote sous 3 vues à la station d'épuration Est de Québec

Cette installation, d'échelle relativement grande pour un pilote de recherche, s'apparente à un décanteur primaire rectangulaire d'un volume d'environ  $5 \text{ m}^3$ . La hauteur effective du pilote est de 3,20 m et le volume utile est de  $4,85 \text{ m}^3$  selon les données calculées lors de la conception de l'installation.

L'alimentation du pilote en eau usée ou eau brute est réalisée par une pompe immergée en amont du 7<sup>ème</sup> décanteur primaire de la Station d'Épuration voisine. La pompe peut fournir un débit supérieur à  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  mais un débit au-delà de 4 à  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  n'est pas utile lorsque l'on travaille en décantation primaire sans lamelle avec ce pilote. En effet, si l'on suit les recommandations pour le dimensionnement d'un décanteur primaire, la vitesse ascensionnelle (de l'eau usée) ne doit pas excéder 1 à 2 m/h. Pour calculer rapidement le débit maximum, il suffit de multiplier la vitesse d'ascension en question et la surface de décantation proposée par le pilote. Sans lamelles, la surface

de décantation est simple à calculer :  $S = L \times l = 1,85\text{m} \times 1,10\text{m} = 2,035 \text{ m}^2$ . Pour cette installation le débit maximum serait autour de  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , dans le cas d'une vitesse ascensionnelle de  $2 \text{ m/h}$ .

Pour un débit de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , le temps de rétention donné par le rapport entre le Volume et le Débit est de 58 minutes soit environ 1 heure.

Les entrées et sorties de matière du pilote sont représentées sur la figure 3. Plusieurs points d'échantillonnage sont remarquables : 1 sur le tube d'alimentation et 4 à différentes hauteurs de la cuve de décantation. Les purges de boues sont effectuées par une pompe de boues. Le volume et la fréquence des purges sont choisis par l'opérateur directement sur l'interface du panneau de commande. Les boues sont mélangées à l'eau traitée pour ne pas rejeter directement des boues primaires dans les égouts du CRIQ.

L'installation présente des supports à l'intérieur de la cuve pour rendre possible l'installation de lamelles pour l'avenir. Dans la continuité du projet primEAU, des produits chimiques seront ajoutés. Ces produits sont principalement des coagulants-floculants (par exemple des sels métalliques de fer) et de la soude pour réguler les variations de pH dues à l'ajout du coagulant. Ils seront injectés par un système de deux pompes péristaltiques greffées sur deux entrées du tube d'alimentation en eau brute.

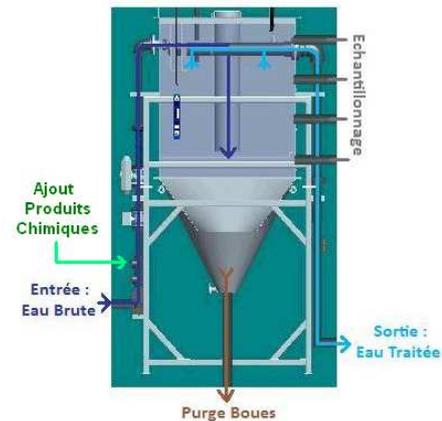


Figure 3 : entrées et sorties du pilote

## b) Capteurs en ligne et Système d'acquisition

Les capteurs embarqués sur le pilote primEAU sont ceux que l'entreprise John Meunier conseille et vend pour des installations industrielles comme pour des pilotes. Pour suivre un grand nombre de paramètres en ligne, le pilote est équipé de multiples sondes disposées comme la figure 4 les représente. La figure 4 correspond à l'un des visuels de l'interface du panneau de commande. Les sondes installées sont des turbidimètres, des débitmètres, un pHmètre, un conductimètre et un détecteur de niveau d'eau ou « flotte ».

La sonde conductimétrique inductive installée est de la série 3700 SC fabriquée par l'entreprise Hach. Elle est aussi dotée d'un thermomètre qui peut permettre d'afficher cette donnée mais aussi d'ajouter une correction en fonction de la température. Elle fonctionne avec un mécanisme toroïdal (sans électrode ni contact) et son principe repose sur un phénomène électromagnétique. Une 1<sup>ère</sup> bobine (dite émettrice) génère un champ magnétique alternatif qui induit une tension électrique dans le liquide étudié. Les ions présents dans ce liquide sont traversés par un courant, qui augmente avec la concentration en ions. Une 2<sup>ème</sup> bobine (dite réceptrice) récupère le courant induit qui est proportionnel à la conductivité. Ceci permet de suivre la conductivité de l'eau brute en entrée de pilote et va aussi servir pour les tests traceurs avec du sel (NaCl) développés dans la partie III. 2) a). La valeur correspondante apparaît sur la figure 4 dans le cadre noté **C. entrée**.



Les 4 Turbidimètres embarqués sont de la série Solitax SC de la marque Hach. Ces Turbidimètres permettent de suivre les effets de la décantation primaire en termes de turbidité ou de MES tout au long du traitement. Un turbidimètre est positionné sur une boucle dérivée en entrée d'eau brute et un autre de la même manière en sortie d'eau traitée. Un troisième est suspendu à un système { câble + treuil } pour suivre la turbidité en fonction de la hauteur dans le décanteur. Enfin, un dernier est positionné en sortie de la purge de boues. Les données peuvent être affichées en MES

ou en NTU (Nephelometric Turbidity Units). Cependant il faut être prudent car des capteurs donnant des valeurs en MES directement n'existent pas. En effet, les données de MES sont déduites des valeurs de turbidité et un étalonnage est donc requis et obligatoire. Pour pratiquer l'étalonnage, il faut confronter une mesure de MES en laboratoire et une mesure avec l'appareil en NTU. Cet étalonnage doit être répété 10 fois et il doit être vérifié souvent pour avoir confiance en des valeurs lues directement en MES. Les valeurs apparaissent dans les cadres de la figure 4 notés **MES entrée**, **MES sortie**, **MES = f(H)** et le dernier cadre est disposé sur le visuel de la purge de boue. Dans le cadre **H sonde** donne la position en hauteur depuis le point haut du treuil du turbidimètre correspondant à la mesure  $MES=f(H)$ .



La sonde différentielle de pH avec un thermomètre intégré est aussi de marque Hach. Elle est disposée en haut du décanteur de façon à suivre les possibles évolutions du pH tout au long des manipulations. Un ajout de produit chimique comme un coagulant-floculant peut engendrer une variation de pH. Sur la figure 4 la valeur de pH est donnée dans le cadre nommé **pH surface**.



Les 3 Débitmètres de marque Krohne sont disposés en entrée d'eau brute, en sortie d'eau traitée et en purge de boues. Ces derniers sont des débitmètres utilisés pour des installations préindustrielles voire industrielles et donnent donc parfois lieu à quelques imprécisions sur des installations d'échelle plus réduite comme dans le cas d'un pilote. Les débits sont lus dans les encadrés de la figure 4 annotés **Q entrée** et **Q sortie**. Le débit de purge se retrouve sur le visuel des purges de boues.

Le flotteur ou flotte de détection du niveau d'eau permet de déclencher une alarme en cas de colmatage des surverses et de la canalisation de trop plein situées en haut du décanteur (ce qui est quasi impossible). La flotte est représentée sur la figure 4 par une sorte de poire grise entre le treuil et le pHmètre.



L'acquisition des signaux émis par ces sondes est réalisée par un contrôleur de type SC1000 de marque Hach avec sa propre interface tactile. Ce contrôleur est relié à un panneau de commande et de contrôle ou PLC muni également d'une interface tactile. L'association de ces deux éléments permet de recueillir des données à des fréquences élevées sur les débits, les turbidités, la conductivité, la température et le pH. La disposition des sondes représentée sur la figure 4



correspond au visuel que l'opérateur a directement sur le panneau de commande dans les Halles du CRIQ mais aussi à distance via Internet. En effet, le panneau de commande est relié à un routeur qui confère un accès à distance aux personnes habilitées à l'interface tactile présente sur le PLC. La connexion à distance à l'interface peut se faire avec un navigateur web ou avec le logiciel VNC. Les données recueillies sont stockées dans la mémoire du PLC pour ensuite être envoyées quotidiennement par mail à une adresse mail propre au pilote et aux utilisateurs du pilote.

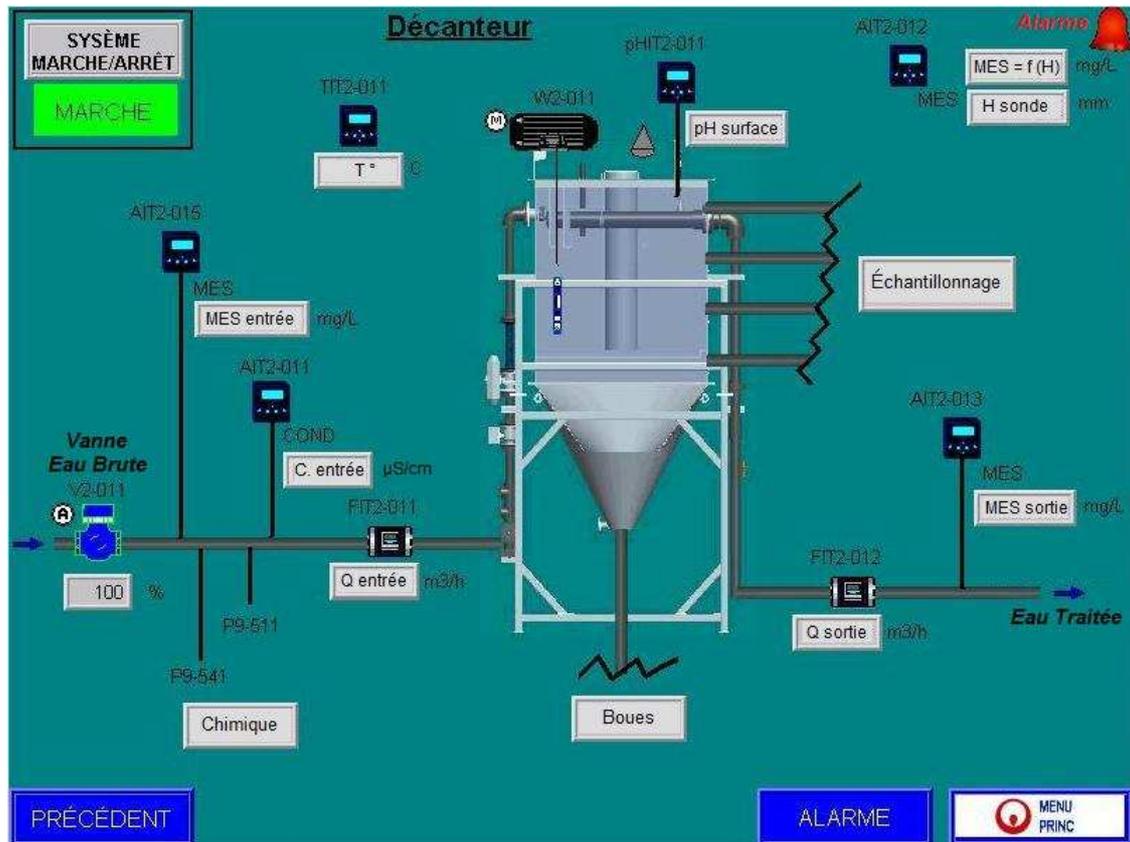


Figure 4 : Interface tactile du Décanteur Primaire Pilote connectée au PLC

## 2) Caractéristiques des eaux

Les eaux à disposition du personnel et des installations dans les halles du CRIQ sont les suivantes :

- Eaux Brutes ou Usées, voir a).
- Eau de Service Recyclée, voir b).
- Eau de Service ou Eau Extérieure : eau potable perdant ce statut à cause de son stockage dans un grand bassin. Elle sert aux nettoyages des installations de petite échelle.
- Eau Potable : c'est l'eau du réseau qui sert pour les nettoyages de verrerie, d'instruments de mesure ou pour les besoins du personnel.

### a) Eau brute ou usée

Ce sont des eaux usées prélevées par le biais d'une pompe immergée en amont du 7<sup>ème</sup> décanteur primaire de la station d'épuration. C'est l'eau qui sera étudiée pour la campagne d'échantillonnage du projet primEAU. La photo de la figure 5 a été prise au dessus du décanteur pilote au début d'une vidange de la cuve.



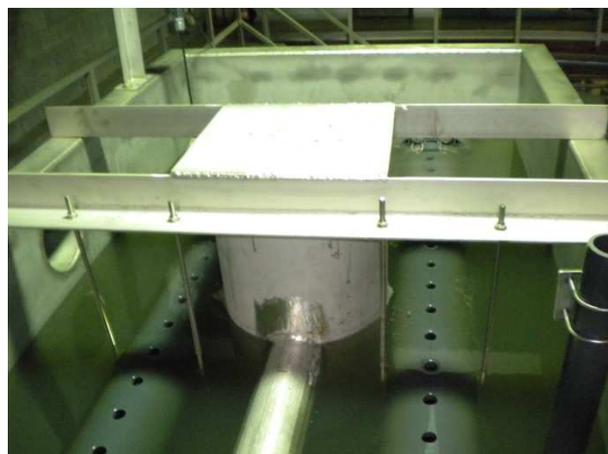
**Figure 5 : Photo prise au dessus du Pilote primEAU en cours de vidange après fonctionnement avec de l'eau usée**

Parmi des observations succinctes sur la « qualité » de cette eau usée, sont remarquables : la couleur marron foncé à verte (kaki), l'opacité, une couche épaisse de mousse ou d'écume, le caractère très chargé et très odorant. Selon des données fournies par Denis Dufour (Technicien responsable en assainissement à la station EST), voici quelques caractéristiques et plages de données sur l'année passée concernant l'eau usée :

- La température varie entre 8,8 °C l'hiver et 21°C l'été
- Le pH varie sensiblement entre 7 et 7,5 pour une moyenne annuelle de 7,2
- La DCO varie entre 205 et 464 mg/L pour une moyenne annuelle de 365 mg/L
- La DBO<sub>5</sub> varie entre 102 et 263 mg/L pour une moyenne annuelle de 198 mg/L
- Les MES varient entre 147 et 339 mg/L pour une moyenne annuelle de 259 mg/L

#### **b) Eau Recyclée**

C'est de l'eau épurée, c'est-à-dire de l'eau qui sort de la station. Elle sert aux concentrateurs d'écumes, aux lavages des sables, aux nettoyages des bio-filtres et des autres filtres comme pour toute opération de nettoyage sur une installation de grande échelle ou du moins qui nécessite une grande pression et/ou un débit important. La photo de la figure 6 est prise au même endroit que la précédente mais avec le pilote en fonctionnement à un débit de 5 m<sup>3</sup>/h.



**Figure 6 : Photo prise au dessus du Pilote PrimEAU en fonctionnement avec de l'eau recyclée**

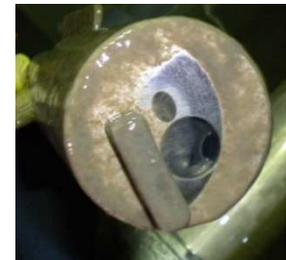
Par simple observation, les caractéristiques de l'eau de service recyclée sont : la couleur verdâtre, son apparence translucide (claire mais pas transparente), faiblement chargée et légèrement odorante. Selon les mêmes batteries de données fournies par le personnel de la station, les tendances concernant les eaux à la sortie sont :

- Proches de l'eau usée précédente en termes de température et de pH
- Une conductivité moyenne sur l'été 2010 proche de 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Une DCO variant entre 50 et 102 mg/L pour une moyenne annuelle de 69 mg/L
- Une DBO<sub>5</sub> variant entre 15 et 41 mg/L pour une moyenne annuelle de 24 mg/L
- Des MES variant entre 11 et 30 mg/L pour une moyenne annuelle de 18 mg/L
- La concentration faible mais pas nulle en potassium avec des relevés entre 4 et 5 mg/L

### 3) Phase de mise en route

Une fois que la période de prise d'information sur la décantation primaire et que l'appréhension des outils et des méthodes sont achevées, la prise en main de l'installation pilote est rendu possible. L'installation de décanteur primaire pilote a été livrée avec quelques mois de retard mais la phase de mise en route d'une installation est toujours très formatrice. Lors de cette phase de mise en route du pilote primEAU, il faut être attentif à chaque dysfonctionnement, détail ou interrogation concernant tous les éléments composant l'installation. Ainsi, certaines erreurs de mesure et de représentativité, certains problèmes d'opération et de maintenance pourront être évités à l'avenir. Il est important de pratiquer les modifications nécessaires sur le pilote lors de cette phase pour assurer la qualité des résultats qui seront obtenus par la suite et la facilité d'utilisation du pilote à l'avenir. Lors d'une campagne de mesure, il devient délicat de modifier l'installation car cela pourrait venir interférer avec les paramètres de la décantation étudiés.

Dans un premier temps, un travail en collaboration entre l'équipe primEAU et l'entreprise John Meunier a dû se mettre en place pour la phase de démarrage et de prise en main de l'installation. Au début le pilote a fonctionné avec de l'eau brute ou usée et les premières observations sur le fonctionnement des turbidimètres n'ont pas été très réjouissantes. En effet, au bout de quelques heures de fonctionnement, l'essuie glace ne suffisait pas à nettoyer les optiques de mesure des turbidimètres. Le visuel ci-contre le montre. Les solutions trouvées ont été d'augmenter la fréquence de balayage de l'essuie-glace et de nettoyer manuellement de manière quotidienne l'optique de mesure.



Par ailleurs, concernant le paramétrage des turbidimètres, il est possible d'afficher des valeurs en NTU ou même directement en MES. Cependant, une calibration et un étalonnage sont nécessaires. Cet étalonnage doit se faire par des mesures de MES en laboratoire et de NTU avec le turbidimètre à étalonner en MES. Ceci fait, le coefficient peut être intégré au contrôleur SC1000 pour un affichage en MES.

Avant de pouvoir paramétrer finement les boucles de régulation des débits d'entrée d'eau et de purge de boues, il faut vérifier les données fournies par les débitmètres. L'installation en fonctionnement sans purge de boues a montré une erreur de calibration de l'un des débitmètres car le débit d'entrée d'eau n'était pas identique à celui de la sortie en surverse. Le seul moyen de mesurer le débit a été la « méthode de la planche en bois ». Une planche fixée à un mètre à ruban permet de mesurer une différence de hauteur d'eau dans le décanteur. A partir de cette hauteur et des dimensions du pilote, il est possible de calculer un volume d'eau. Au cours d'un temps chronométré, les valeurs données par le débitmètre sont notées, moyennées et comparées à la valeur obtenue avec la mesure volumique de « la planche de bois ». Ainsi, cette comparaison donne

un coefficient correcteur qui est apporté dans le paramétrage du débitmètre. L'opération est répétée jusqu'à obtenir des débits égaux entre la valeur affichée et celle mesurée. Pour calibrer le débitmètre de purge des boues, le remplissage d'un seau chronométré puis une pesée permettent de remonter au volume puis au débit à vérifier. Une fois les 3 débitmètres vérifiés, les deux boucles de régulation peuvent recevoir un réglage plus fin.

Concernant le pHmètre, il faut simplement vérifier de manière hebdomadaire avec plusieurs solutions tampon la valeur affichée puis effectuer une calibration si une dérivation est observée avec ces mêmes solutions tampon de pH égaux à 4, à 7 et à 10 généralement.

Pour la sonde de conductivité, il est recommandé de pratiquer une calibration au-delà des valeurs que l'on pense mesurer par la suite. En outre, il faut tracer une courbe d'étalonnage avec des solutions à conductivité connue pour ajuster les données acquises ultérieurement. Pour le test traceur au sel ordinaire (NaCl), il est apparu comme une nécessité de raccorder une seconde sonde de conductivité en sortie d'eau traitée pour suivre l'évolution du sel. Il a donc fallu se renseigner auprès des personnes compétentes et de la documentation technique pour comprendre comment faire le raccordement de nouvelles sondes sur le contrôleur SC1000.

Étant donnée la composition des eaux brutes, un souci d'interférence entre des produits de traçage et les particules de l'eau s'est posé. Un raccordement à l'eau de service recyclée a donc été sollicité puis mis en place afin de travailler dans des meilleures conditions aussi bien d'hygiène, de sécurité et de qualité de mesure pour les tests traceurs. La modification de l'alimentation en eau du pilote a été réalisée par l'ajout de 3 vannes (1 pour l'eau brute, 1 pour l'eau recyclée et une 3 voies pour sélectionner l'eau utilisée), de divers raccords et d'un tuyau souple.

Les dernières modifications apportées lors de cette phase de démarrage du pilote se situent au niveau de l'interface du panneau de commande et de l'accessibilité à distance. Le visuel de l'interface a été modifié, le mode de calcul des purges de boues a été corrigé et les procédures de connexion à distance à l'interface sont encore pour l'heure en cours d'amélioration.

Les quelques recommandations et modifications apportées au pilote citées précédemment ne sont pas exhaustives car de nombreux petits incidents techniques surviennent sur des installations de cette échelle. Il n'est pas toujours possible de les prévoir et il n'y a pas lieu de tous les décrire. La règle est donc d'acquérir une capacité d'adaptation, d'analyse du problème et d'ingéniosité pour arriver à faire face à tout type d'imprévu lors de l'exploitation du pilote.

Une fois que le pilote, ses sondes embarquées et le système d'acquisition sont opérationnels, l'étude de l'hydrodynamique du décanteur primaire pilote par des tests traceurs va pouvoir se mettre en place.

### III. Étude de l'hydrodynamique

#### 1) Principe des tests traceurs

Les tests traceurs sont communément utilisés pour obtenir des informations concernant l'hydrodynamique d'une installation. En pratique, les résultats de ce type de tests sont habituellement utilisés pour déterminer le modèle d'écoulement prédominant et les divers phénomènes menant à des écoulements non-idéaux. Ces phénomènes peuvent être des courts-circuits, des recyclages, des volumes morts, etc. [3] / [5] / [7] .

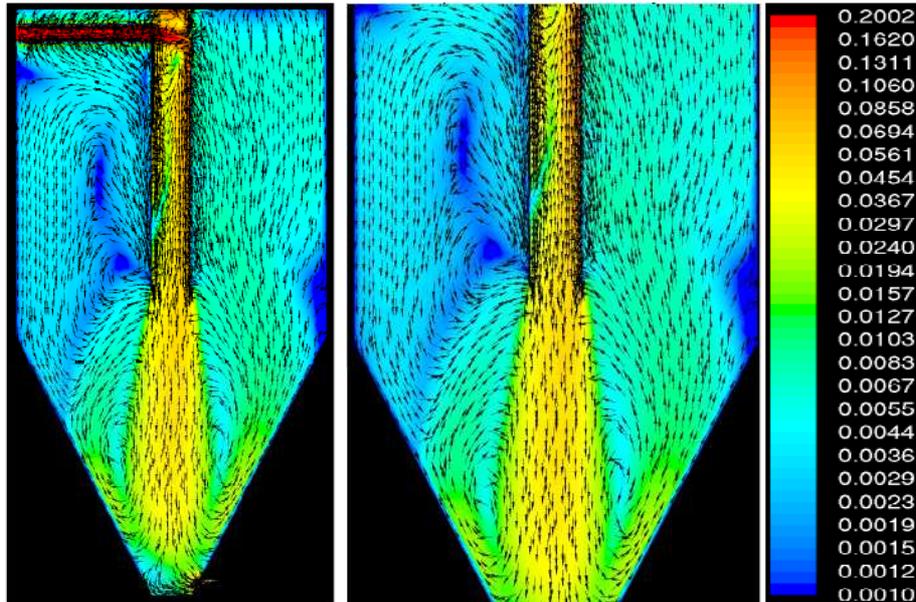
L'injection d'un traceur peut se faire sous la forme d'une impulsion de Dirac ou d'un échelon. La quantité de traceur injectée est connue et le suivi de la concentration en traceur en sortie se fait au cours du temps. Ainsi, une courbe de la concentration en fonction du temps peut être tracée. Connaissant le débit imposé à l'installation, il est possible de calculer la quantité de traceur récupérée en sortie.

Un traceur chimique doit être dissout dans l'eau à des concentrations qui ne doivent pas changer la densité du milieu transporteur, l'eau usée dans le cas étudié. De plus, les traceurs utilisés doivent être conservatifs et ne doivent pas pouvoir s'adsorber sur les particules ni même réagir avec ces dernières. Avant de commencer tout test, la concentration en traceur dans l'effluent mis en jeu doit être mesurée, afin de s'assurer qu'elle est constante et de pouvoir la différencier de la quantité injectée

Les colorants fluorescents, bien que beaucoup utilisés pour des tests traceurs dans des décanteurs, ne donnent que des résultats qualitatifs à cause de la difficulté à récupérer toute la masse injectée, probablement due à une interaction avec les fines particules de l'eau. En outre, ces colorants présentent l'avantage de pouvoir être détectés à de très faibles concentrations en utilisant un Fluorimètre. La Rhodamine W. T. (Water Tracer) n'est pas un traceur totalement conservatif mais est probablement le colorant au meilleur rapport qualité-prix. C'est un traceur très populaire grâce à sa haute détectabilité.

Lors de l'usage de traceurs ioniques, il est souvent nécessaire d'injecter de hautes concentrations pour outrepasser l'interférence avec la concentration déjà présente en ions dans les eaux usées (ou « background »). Ces mêmes hautes concentrations sont à l'origine de courants de densité et qui faussent toute étude de l'hydrodynamique d'une installation. Les traceurs ioniques, comme le chlorure de sodium plus connu comme sel de table, ne sont donc pas très recommandés à cause de cette tendance à générer des courants de densité. Le principe qui suit ce type de traceur est le suivant : l'addition de traceurs ioniques engendre une augmentation de la conductivité qui peut être directement reliée à une augmentation de la concentration en ions dans l'eau. Par conséquent, les mesures de conductivité sont les plus utilisées pour ce type de test traceur.

Avant que la campagne de mesures sur la décantation primaire ne soit lancée, des tests traceurs doivent être menés sur le pilote primEAU en comparant les résultats avec deux types de traceurs : la Rhodamine WT (colorant fluorescent) et le chlorure de sodium (traceur ionique). Une fois que ces tests auront été réalisés, ils seront comparés aux résultats obtenus par l'étude numérique préliminaire en CFD réalisée par un ingénieur du pôle Anjou Recherche de Veolia Eau. La figure 7 montre l'un des résultats de la CFD avec la répartition décroissante des vitesses entre l'alimentation du décanteur et les surverses. Des vortex sont remarquables et cela pourrait induire des phénomènes de recirculation ou de recyclages à l'intérieur de la cuve. Le visuel n'est pas assez fin pour interpréter un éventuel court-circuit.



**Figure 7 : Exemple de simulation numérique de l'hydrodynamique du pilote pour un débit de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ .  
Les vecteurs noirs indiquent la direction de l'écoulement et les vitesses d'écoulement sont représentées par le dégradé de couleurs suivant une échelle logarithmique**

## 2) Mode d'injection

L'injection du traceur sélectionné se fait généralement sous la forme d'une impulsion ou d'un Dirac mais une injection en échelon peut parfois être plus appropriée. L'installation telle qu'elle a été livrée ne présente pas de point d'injection simple à utiliser. Il est donc apparu difficile d'injecter la solution de traçage avec le pilote en fonctionnement sans pratiquer de modification sur l'installation. Une des solutions proposées a été de réaliser une injection pendant un bref arrêt du pilote. Il suffit de remplir le pilote et de le laisser fonctionner quelques dizaines de minutes pour ensuite arrêter son alimentation en fermant toutes ses vannes. Une fois l'alimentation coupée, la vidange d'une partie du tuyau d'alimentation permet de dégager un volume suffisant pour pouvoir injecter le traceur. La figure 8 représente la position de l'injection sur la canalisation d'alimentation en eau. La solution de traçage est injectée par l'une des entrées qui servira plus tard pour les produits chimiques. Ensuite les vannes sont réouvertes et le test débute dès cet instant.



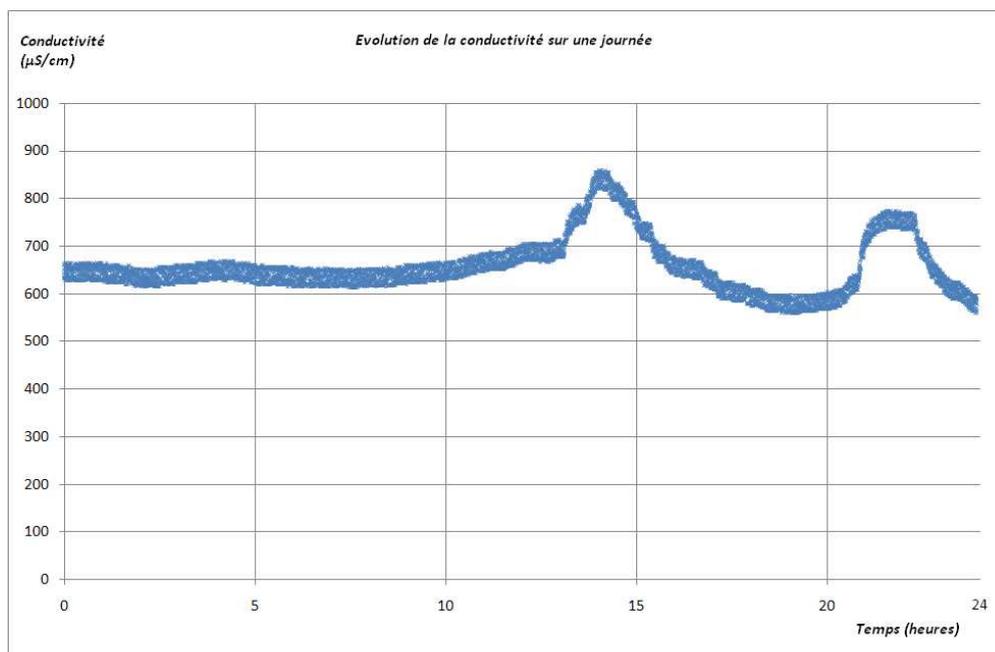
**Figure 8 : Point d'injection des solutions de traçage**

### 3) Tests traceurs

Plusieurs tests traceurs ont donc été mis en place et deux d'entre eux ont été effectués : l'un par un suivi conductimétrique d'une injection de chlorure de sodium ou sel (NaCl) et l'autre par un suivi fluorimétrique d'une injection de Rhodamine WT (Water Tracer). Enfin des tests traceurs ont été mis en place pour l'avenir : un suivi du Potassium en ligne avec un Ammolyser S::Can d'une injection de chlorure de potassium KCl ou d'un engrais standard K-N-P, et le suivi de façon discontinue par des sondes à ions spécifiques d'une injection des ions respectifs.

#### a) Tests NaCl

Les premiers tests traceurs pratiqués sur le décanteur pilote ont été des tests avec une injection d'une solution homogène de sel suivi par conductimétrie. Avant de lancer des tests, un suivi de la conductivité dans l'eau recyclée est étudié. Au cours de l'été, les valeurs de conductivité se situaient dans un intervalle allant de 500 à 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  suivant l'heure de la journée et la qualité de l'eau recyclée. L'évolution de la conductivité de l'eau recyclée en entrée du pilote a été suivie sur plusieurs jours afin de choisir à quel moment de la journée la conductivité est relativement stable. Ainsi, en pratiquant le test traceur sur ces périodes de stabilité, l'évolution de la conductivité en sortie du pilote sera seulement induite par l'ajout de sel NaCl et non pas par une fluctuation venant de l'eau recyclée. Le graphique 1 représente l'évolution type de la conductivité sur une journée. Entre minuit et midi, c'est la période où la conductivité est stable. Ce sont les périodes auxquelles les tests pourront être pratiqués.



**Graphique 1 : Evolution type de la conductivité au cours d'une journée (0h à 24h) en semaine de juillet 2010**

Néanmoins, le seuil de conductivité (ou background en anglais) est très élevé avec une valeur moyenne proche de 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aux périodes choisies. Une telle conductivité correspond à une concentration en NaCl d'environ 325 mg/L (ou ppm). Dans le décanteur pilote de 4850 L, pour doubler la conductivité et donc la concentration en NaCl, il faudrait injecter une solution composée d'une masse d'environ 1,58 kg de NaCl dans de l'eau déminéralisée. Pour pouvoir écraser le seuil de conductivité rémanent dans l'eau recyclée, la masse de sel à injecter est donc considérable. Un essai

à quand même été tenté avec l'injection d'une solution homogène composée de 2kg de gros sel pur dilués dans 10L d'eau déminéralisée. Comme prévu, ce test traceur n'a rien donné de plus qu'une légère augmentation de la conductivité en sortie du décanteur. En outre, à cette concentration, la solution injectée a une densité beaucoup plus élevée l'eau recyclée. Il est donc probable que des courants de densité voire une décantation de la solution dans le pilote apparaissent. Le traceur ne suit plus vraiment les mouvements de l'eau et le test n'est donc pas représentatif de l'hydrodynamique du décanteur.

Une conductivité seuil dans l'eau recyclée élevée pousse à injecter une masse de NaCl très élevée. Ceci peut générer des courants de densité et rendre le test non-représentatif de l'écoulement dans le pilote. Par conséquent, l'importante conductivité d'une eau usée même recyclée rend impossible un test traceur suivi par conductimétrie.

### b) Tests Rhodamine WT

Dans le secteur de l'eau, l'usage de la Rhodamine WT est très répandu. Notamment dans l'étude des écoulements d'eaux souterraines ou pour des installations relatives aux eaux usées.

Sur le même principe que lors du test traceur avec le sel NaCl, il est de rigueur de vérifier la teneur en traceur dans l'eau recyclée. Dans le cas de la Rhodamine WT, il est évident mais quand même vérifié qu'il n'y a pas de particules de ce colorant fluorescent dans l'eau recyclée. L'injection se fait de la même manière et à la même position que décrit précédemment.

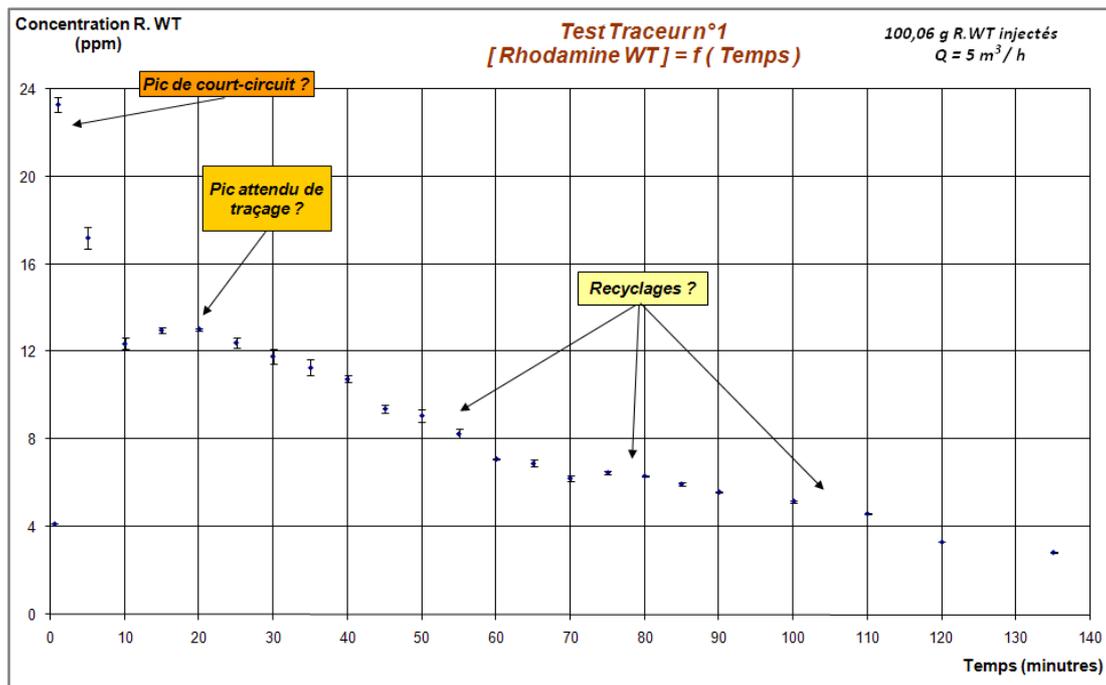
Lors de la documentation sur les tests traceurs avec de la Rhodamine WT, une étude coécrite par Paul LESSARD, un professeur du Département de Génie Civil et Génie des Eaux, a été menée sur un décanteur pilote de même échelle. La publication relative à cette étude traite aussi de la modélisation de la décantation primaire et un test traceur à la rhodamine a aussi été pratiqué [5]. Cette publication a servi de base pour le choix de la masse de Rhodamine WT à injecter lors du premier test. La masse  $M_0$  de Rhodamine injectée pour le premier traçage est d'environ 100 g, comme celle de l'étude précédemment citée.

Le point d'échantillonnage le plus haut dans la cuve du pilote est choisi pour le prélèvement. Ce point d'échantillonnage se situe à hauteur des surverses et correspond donc au point le plus représentatif technologiquement pour suivre l'évolution de la concentration en traceur à la sortie du décanteur. Avec la Rhodamine WT, l'aspect visuel est aussi utile, l'annexe D et la figure 11 en annexe B représentent l'évolution de la coloration de l'eau recyclée au cours d'un traçage à la RWT. La fréquence d'échantillonnage  $F_{ech}$  est comprise entre  $4h^{-1}$  et  $12h^{-1}$ , soit 1 échantillon respectivement toutes les 15 minutes à 5 minutes. Dans les 5 premières minutes, trois à quatre échantillons sont pris avant de passer aux prélèvements à fréquence plus régulière. La figure 9 représente le poste d'échantillonnage avec le rack d'échantillons vue du palier haut de la plateforme.



Figure 9 : Point d'échantillonnage Rhodamine WT à hauteur des surverses, vue de la plateforme

Les échantillons sont analysés comme décrit dans la partie II. 2) dès le retour à l'Université Laval de suite après la fin du test. Une courbe d'étalonnage de concentrations en Rhodamine WT connue est tracée en fonction de l'intensité de fluorescence indiquée par le fluorimètre. L'analyse donne des valeurs en intensité qui sont traduites en concentration avec la courbe d'étalonnage. Les courbes de traçage : Concentration RWT en fonction du temps sont disposées en annexe B. Le graphique 2 donne un aperçu d'une courbe de traçage réalisée lors du premier test traceur. Les barres d'erreur des 3 graphes sont positionnées à partir d'un calcul d'écart-type sur les 4 mesures pratiquées par échantillon. Cet écart-type tient compte des erreurs inhérentes à l'appareil de mesure, des erreurs de manipulation lors des dilutions des échantillons comme lors de la préparation des échantillons étalons.



Graphique 2 : Exemple de courbe de traçage (Test Traceur n°1)

La masse de traceur récupérée est calculée comme décrit dans les cours de Génie des Réacteurs et de Détermination du Temps de Séjour :

$$M_{RWT} = Q \cdot \sum_i C_i \cdot \Delta t_i$$

Avec :  $M_{RWT}$  la masse de rhodamine WT récupérée en sortie en g  
 $Q$  le débit moyen au cours du test de traçage en  $L \cdot s^{-1}$   
 $C_i$  la concentration pour un temps  $i$  donné en  $g \cdot L^{-1}$   
 $\Delta t_i$  l'intervalle de temps entre deux échantillons en s

**Test Traceur RWT n°1 :**

$$Q = 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$M_0 = 100,06 \text{ g de RWT injectés}$$

$$M_{\text{RWT}} = 86,34 \text{ g soit } 86,28 \% \text{ récupérés en masse}$$

La courbe de traçage de ce test traceur présente trois spécificités. La première est le pic le plus important qui peut s'apparenter à un pic de court-circuit. La seconde correspond au deuxième maximum de la courbe, il correspond probablement au pic de traçage normalement attendu. Enfin la dernière particularité est la partie de la courbe qui présente trois « bosses » à 50, 75 et 105 minutes de traçage. Ce phénomène pourrait mettre en lumière la présence de recyclages ou recirculations au sein du décanteur primaire pilote. Ces « bosses » ne sont pas très marquées donc il n'est pas possible d'affirmer ce phénomène mais ceci se rapprocherait de ce qui a été aperçu à la CFD. Ces résultats sont à nuancer par le fait que la fraction de RWT récupérée n'est que de 86 % en masse et que le test n'a pu durer que 135 minutes. Il serait cependant possible d'extrapoler la courbe via un modèle et intégrer la masse supposée après l'arrêt de l'échantillonnage.

**Test Traceur RWT n°2 :**

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$M_0 = 28,39 \text{ g de RWT injectés}$$

$$M_{\text{RWT}} = 26,27 \text{ g soit } 92,53 \% \text{ récupérés en masse}$$

La durée du test a été augmentée à 255 minutes afin de récupérer une masse plus conséquente de RWT et d'observer si les « bosses » du premier test se reproduisent. Par ailleurs, l'appareillage de mesure étant capable de détecter des concentrations beaucoup plus basses de RWT, la masse injectée a été réduite. Le débit d'alimentation en eau recyclée a aussi été réduit en passant à 4 m<sup>3</sup>/h.

La courbe associée à ce second test présente aussi un premier pic imposant au regard du reste du graphe. L'idée d'un court-circuitage de l'écoulement semble se confirmer. Les « bosses » remarquées lors du premier test ne sont pas apparues cette fois-ci.

**Test Traceur RWT n°3 :**

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$M_0 = 10,5 \text{ g de RWT injectés}$$

$$M_{\text{RWT}} = 8,28 \text{ g soit } 78,88 \% \text{ récupérés en masse}$$

Lors de ce troisième test, la masse de rhodamine injectée a encore été réduite. Le débit d'alimentation n'a pas été changé afin de pouvoir comparer ce test au précédent de manière qualitative. Ce test a duré 210 minutes.

La courbe de traçage obtenue est toujours composée d'un premier pic mais ne présente pas d'autre particularité significative. Par contre, la masse de RWT récupérée ne représente que 79 % de la masse injectée initialement.

### **Interprétation globale sur le traçage à la Rhodamine WT :**

De manière globale, concernant les trois tests à la RWT, le premier pic est remarquable et généralement représentatif d'un court-circuit dans une installation. Néanmoins, il est aussi possible de s'interroger sur le mode d'injection. En effet, l'action de couper l'alimentation et de la ré-ouvrir pour lancer un test pourrait générer un coup de bélier dans les canalisations. Ce phénomène pourrait amplifier ou simplement être l'unique responsable du court-circuit supposé précédemment. Dans des conditions idéales, l'injection devrait être faite alors que le pilote est en régime de fonctionnement permanent. Une solution pour pratiquer d'autres tests pourrait être de raccorder une pompe péristaltique au même point d'injection et d'utiliser ce dispositif pour injecter la Rhodamine alors que le pilote est en fonctionnement.

Il serait intéressant à l'avenir d'extrapoler les courbes de traçage avec un modèle afin de pouvoir intégrer la masse en RWT supposée au-delà de la fin de l'échantillonnage. Ainsi, le ratio de RWT récupérée se verrait croître.

Le pic attendu de traçage et les phénomènes de recyclages n'étant observés que lors du premier test, il n'est pas possible d'assurer leur existence.

D'autres tests doivent être pratiqués pour pouvoir conclure sur l'hydrodynamique du décanteur primaire pilote.

### **c) Test Potassium et Ions Spécifiques**

Le Potassium se retrouve en faible quantité dans l'eau recyclée : seulement à hauteur de 4 à 5 mg/L. Plusieurs sondes d'analyse en ligne du potassium sont détenues par le groupe de recherche modelEAU, ce sont des sondes de la série Ammolysers commercialisées par la compagnie S::Can. Ces deux premiers éléments motivent la mise en place d'un test traqueur au potassium. L'élément potassium est vendu dans la grande distribution sous la forme d'engrais d'horticulture et agriculture. Ce type de produit est généralement bon marché et est composé de trois éléments (N-K-P) à savoir respectivement Azote, Potassium et Phosphore. Un autre type de produit composé de potassium et de coût modéré est le Chlorure de Potassium (KCl) généralement présent en laboratoire à une pureté de 99 %.

Ce traçage semble assez intéressant et donc une modification de l'installation a été pensée pour venir accueillir le dispositif de mesure en ligne représenté sur la figure 10. Le montage bricolé est composé d'un bac avec une surverse, d'un raccordement à l'une des surverses du pilote, de la sonde Ammolysers et d'un ordinateur portable équipé au logiciel d'acquisition du signal émis par la sonde. Ce test est viable pour l'avenir car il présente a priori toutes les qualités requises pour effectuer un traçage dans de bonnes conditions. Il restera simplement à s'assurer qu'il n'y ait pas d'interaction entre le potassium et les composés présents dans l'eau usée recyclée.



**Figure 10 : Dispositif de suivi en ligne du Potassium**

Un dernier dispositif a été envisagé en solution de secours : ce sont les sondes à ions spécifiques. Des tests traceurs avec des solutions d'ions spécifiques comme des bromures ou des chlorures pourraient être mis en place. Les ions bromures qui a priori ne sont pas présents dans l'eau recyclée n'auraient pas besoin d'être ajoutés en grandes quantités. Cependant, ce sont des tests qui ne se réaliseraient pas en ligne et comme pour la Rhodamine, il faudrait prendre des échantillons pour les soumettre à la sonde. Ces sondes ne supportent pas les turbulences donc la mesure ne pourra pas se faire en ligne. L'avantage étant tout de même que ces sondes sont portatives et que l'analyse des échantillons et donc du test pourraient être lus sur site. De nombreuses sondes à ions spécifiques existent pour des éléments qui ne sont pas dans les eaux en temps normal. Par conséquent, si l'élément pris comme traceur n'est pas dangereux pour l'opérateur, présente une possibilité de rejet vers les égouts, ne comporte pas d'interaction avec les composés de l'eau usée recyclée et se trouve en infimes quantités dans l'eau recyclée, ce type de dispositif pourrait être appliqué pour pratiquer des tests traceurs.

## Conclusion

Dans un contexte de prise de conscience de la pollution des eaux, le traitement des eaux usées joue un rôle de plus en plus important. Chaque acteur de l'eau propose des projets en visant à améliorer l'efficacité des traitements et de chaque opération unitaire les composant. Cela passe souvent par un travail de modélisation de chaque opération dans un contexte particulier. Le projet primEAU vise à modéliser l'opération de décantation primaire dans un contexte global de traitement biologique à boues activées. Une vaste campagne d'échantillonnage va être lancée sur une installation pilote afin de récolter suffisamment de données et de paramètres nécessaires à l'étape de modélisation.

Après avoir donné quelques éléments sur la décantation primaire, ce rapport traite de la phase de mise en route du pilote primEAU et des tests sur l'hydrodynamique associés.

Le fonctionnement de l'installation et les tests préliminaires réalisés sur les sondes et leur système d'acquisition ont permis d'observer quelques dysfonctionnements. Des modifications du pilote ont été apportées et des précautions d'emploi des sondes sont requises pour la suite des opérations.

Plusieurs tests traceurs ont été mis en place pour étudier l'hydrodynamique du pilote primEAU. Les tests traceurs mis en place et pratiqués sont au nombre de deux : un suivi conductimétrique d'une injection de sel ordinaire (NaCl) et un suivi fluorimétrique d'une injection de Rhodamine WT. Ces deux tests ne sont pas assez concluants pour dégager un type d'écoulement particulier ou un dysfonctionnement dans le pilote. La présence d'un court-circuit et de recyclages ne sont donc que supposées. Il faudra donc pratiquer d'autres tests et notamment avec un autre mode d'injection pour conclure sur l'écoulement au sein du pilote primEAU.

Pour approfondir cette étude d'hydrodynamique, d'autres tests traceurs viables ont été mis en place : d'une part avec une injection de Potassium suivie en ligne par une sonde Ammolysér S::Can et d'autre part avec des injections de solutions ioniques suivies après échantillonnage par des sondes à ions spécifiques.

La campagne de d'échantillonnage et de mesure pourra démarrer après une vérification de l'écoulement au sein du pilote. Si les phénomènes de court-circuit et de recyclages se confirment, l'installation devra être modifiée.

## Retour d'expérience

### **Les acquis :**

- ✓ Formation au SIMDUT (Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail)
- ✓ Communication, rencontres et réunions avec des professionnels de recherche et des industriels
- ✓ Recherche d'information directement chez les spécialistes industriels ou dans le milieu de la Recherche (Publications et Professionnels de Recherche)
- ✓ Connaissance des capteurs, des contrôleurs, des interfaces de commande et d'acquisition
- ✓ Expérience sur la prise en main et le démarrage d'un pilote de grande envergure
- ✓ Faculté d'adaptation face à des problèmes et des situations. Recherche d'alternatives constructives (solutions mécaniques et techniques, d'ingénierie et de bricolage)
- ✓ Application des connaissances théoriques et expérimentales sur les tests traceurs, la caractérisation et l'analyse des eaux usées

### **Les points à améliorer :**

- ◇ Communiquer plus et dès le début du projet avec tous les collègues et tous les collaborateurs
- ◇ Essayer de prévoir au maximum les phénomènes et les problèmes mis en jeu
- ◇ Trouver un équilibre entre la prévision, la prise d'information et l'expérimentation
- ◇ S'imposer plus de jalons, de réunions et de rapports (plutôt de façon hebdomadaire)

## Références Bibliographiques

### **Littérature :**

- [1] APHA (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater, 21<sup>st</sup> Edition. American Public Health Association, Washington, DC, USA
- [2] Chebbo G. and Gromaire M.-C. (2009). VICAS - An operating protocol to measure the distributions of suspended solid settling velocities within urban drainage samples. *J. Env. Eng.*, 135(9), 768-775.
- [3] Heinke G.W., Tay J-H.A. and Qazi M.A. (1980). Effects of chemical addition on the performance of settling tanks. *J. Wat. Poll. Control Fed.*, 52(12), 2946-2954.
- [4] Kuo M.C., Fan L.T. and Erickson L.E. (1974). Effects of suspended solids on primary clarifier size optimization. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 46, 2521-2532.
- [5] Lessard P., Martel D. and Desjardins B. (1993). Modélisation du comportement des matières en suspension à l'effluent d'un décanteur primaire lamellaire. *Can. J. Civ. Eng.* 20, 767-777.
- [6] Otterpohl R. and Freund M. (1992). Dynamic models for clarifiers of activated sludge plants with dry and wet weather flows. *Wat. Sci. Tech.*, 26(5-6), 1391-1400.
- [7] Tay J-H. (1982). Development of a settling model for primary settling tanks. *Wat. Res.*, 16, 1413-1417.
- [8] Tchobanoglous G., Burton F.L. and Stensel H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4<sup>ème</sup> édition, Metcalf & Eddy, McGraw-Hill, New York, USA.
- [9] Protocoles du Laboratoire de Recherche, Pavillon Adrien Pouliot de l'Université Laval

### **Sites Internet :**

Université Laval : [www2.ulaval.ca](http://www2.ulaval.ca)

John Meunier : [www.johnmeunier.com](http://www.johnmeunier.com)

Entreprise Hach : [www.hach.com](http://www.hach.com)

### **Images :**

Images des sondes des entreprises Hach et Krohne

Photos prises par Vincent SAVIGNAC et Giulia BACHIS

Impressions d'écran des entreprises John Meunier et Veolia Eau

## Glossaire

**CFD** : Computational Fluid Dynamics

**DBO** : Demande Biologique en Oxygène

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**MES** : Matières En Suspension

**MVS** : Matières Volatiles en Suspension

**NTU** : Nephelometric Turbidity Units

**PLC** : Programmable Logic Controller

**RWT** : Rhodamine Water Tracer

**ViCAs** : Vitesse de Chute en Assainissement

## Table des annexes

<b>Annexe A</b>	Méthodes d'analyse et de caractérisation des eaux usées	30
<b>Annexe B</b>	Courbes de traçage à la Rhodamine WT et évolution de la coloration	36
<b>Annexe C</b>	Filière de traitement des eaux usées à la station Est de la Ville de Québec	38
<b>Annexe D</b>	Vidéo exemple de traçage à la Rhodamine WT	(sur clé USB)

## Annexe A

### Méthodes d'analyse et de caractérisation des eaux usées

#### 1) Mesure des MES [1]

L'analyse des MES est réalisée sur des filtres de 47 ou 150 cm de diamètre et dont le diamètre des pores est de 1,2 µm. Les filtres de grand diamètre seront préférés pour des échantillons très chargés.

- Préparation des filtres :
  - o Filtrer de l'eau distillée à travers les pores d'un filtre neuf
  - o Placer le filtre sur une coupelle en aluminium de même diamètre et mettre à chauffer le tout à l'étuve à 103/105°C pendant 1h30
  - o Laisser refroidir dans le dessiccateur pendant 30min
  - o Peser l'ensemble [filtre + coupelle]
  - o Répéter l'opération à partir du chauffage jusqu'à ce que la variation de masse soit inférieure à 4% ou 50mg →  $m_A$  (en mg)
  - o Stocker l'ensemble dans un Tupperware jusqu'à utilisation
- Analyse de l'échantillon :
  - o Filtrer un volume d'échantillon  $V_{\text{échantillon}}$  (en mL) compris entre 50 et 150 mL d'eau usée (de manière à obtenir une masse de matière sèche comprise entre 2,5 et 200mg)
  - o Chauffer l'ensemble [coupelle + filtre + échantillon] à 103/105°C pendant 1h30
  - o Placer l'ensemble [coupelle + filtre + échantillon] dans le dessiccateur pendant 30min
  - o Peser l'ensemble
  - o Répéter l'opération à partir du chauffage jusqu'à ce que la variation de masse soit inférieure à 4% ou 50mg →  $m_B$  (en mg)
- Calcul des MES :

$$MES (mgMES/L) = \frac{(m_B - m_A)}{V_{\text{échantillon}}} \times 1000$$

#### 2) Mesure des MVS [1]

L'analyse des MVS est réalisée sur des filtres de 47 ou 150 mm de diamètre et dont le diamètre des pores est de 1,2 µm. Les filtres de grand diamètre seront préférés pour des échantillons très chargés.

- Préparation des filtres :
  - o Filtrer de l'eau distillée à travers les pores d'un filtre neuf
  - o Placer le filtre sur une coupelle en aluminium de même diamètre et mettre le tout à chauffer à 103/105 °C pendant 2h puis à 550°C pendant 1h30
  - o Laisser refroidir dans le dessiccateur pendant 30min
  - o Peser l'ensemble filtre + coupelle

- Répéter l'opération à partir du chauffage jusqu'à ce que la variation de masse soit inférieure à 4% ou 50mg →  $m_A$  (en mg)
- Stocker l'ensemble dans un Tupperware jusqu'à utilisation
- Analyse de l'échantillon :
  - Après avoir déterminé les MES, chauffer l'ensemble [coupelle + filtre + échantillon] à 550°C pendant 1h30
  - Placer l'ensemble [coupelle + filtre + échantillon] dans le dessiccateur pendant 30min
  - Peser l'ensemble
  - Répéter l'opération à partir du chauffage jusqu'à ce que la variation de masse soit inférieure à 4% ou 50mg →  $m_C$  (en mg)
- Calcul des MVS :

$$MVS (mgMVS/L) = \frac{(m_C - m_A)}{V_{\text{échantillon}}} \times 1000$$

### 3) Mesure de la DCO totale [1]

La mesure de DCO est effectuée selon la méthode standard ISO 6060 à l'aide de tubes prêts à l'emploi. Selon la charge de l'échantillon, la mesure de DCO sera pratiquée sur la gamme basse ou la haute.

- Préparation préalable
  - Calibrer la micropipette à 2 mL
  - Préparer le « blanc » en ajoutant 2 mL d'eau distillée à la solution acide réactive (dichromate de potassium) contenue dans les tubes prêts à l'emploi
- Mesure de la DCO de l'échantillon d'eau usée
  - Homogénéiser l'échantillon par une agitation et le verser dans un bécher de 10 mL
  - Broyer les fines particules à l'aide d'un broyeur de laboratoire
  - Prélever 2 mL à l'aide de la micropipette et les verser dans un tube prêt à l'emploi contenant la solution acide réactive
  - Réaliser un triplicata
  - Agiter les tubes et les chauffer pendant 2h à 150°C dans un système de digestion DCO
  - Laisser refroidir à température ambiante et à l'obscurité pendant 30 min
- Mesure de la DCO de l'échantillon : elle est réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre à UV préprogrammé (Hach DR 5000)
  - Réaliser le blanc en insérant le tube approprié dans la cellule de mesure du spectrophotomètre
  - Effectuer la mesure de DCO en introduisant les autres tubes dans le spectrophotomètre

### 4) Distribution des vitesses de sédimentation : test ViCAs [2]

Protocole selon Berrouard É. (2009). Procédure à suivre lors d'un essai ViCAs, Université Laval, 4p Inspiré par [2] (Gromaire M.C. et Chebbo G. 2003. Mesure de la vitesse de chute des

particules en suspension dans les effluents urbains, Protocole VICAS, Manuel de l'utilisateur. CEREVE, École Nationale des Ponts et Chaussées, ENGREF, Paris XII, 35p.)

#### **MATÉRIEL :**

- ❖ Montage VICAS (colonne, bac de réception, pompe à vide, système anti-retour)
- ❖ Coupelles d'aluminium
- ❖ Portes-coupelles (minimum de 3)
- ❖ Spatule d'agitation
- ❖ Chronomètre (préférable 90h ou plus, selon la durée de l'essai)
- ❖ Filtres MES et MVS prétraités

#### **PROCÉDURE :**

##### **Prélèvement et conservation des échantillons à fractionner**

Réaliser le fractionnement dès réception des échantillons. Dans le cas contraire, la conservation la plus appropriée est la réfrigération à 4°C pour une durée inférieure à 24 heures. Il est préférable de ramener l'échantillon à température ambiante avant de procéder à l'essai. L'enregistrement des dates de prélèvement, de fractionnement et d'analyse des MES et MVS est fondamentale pour juger de la qualité du mesurage réalisé : les caractéristiques des MES évoluent avec le temps. Lorsque les délais sont trop importants (>24h) l'influence de cette évolution sur les résultats de la mesure des vitesses de chute rend difficile les comparaisons et les interprétations ultérieures.

##### **Préparation de l'appareil**

- Vérifier le positionnement de la colonne au-dessus du bac. Le bas de la colonne de sédimentation doit être situé dans la cannelure pour maintenir le vide pendant l'essai. La distance entre le fond du bac et le pied de la colonne doit être réduite au minimum, mais permettre la libre circulation des coupelles sous le pied de la colonne. L'ajustement se fait au moyen des deux vis situées en haut de la colonne.
- Vérifier au moyen d'un niveau à bulle la verticalité de la colonne. Au besoin modifier le réglage des deux vis pour retrouver la verticalité.
- Préparer les 3 premières coupelles servant aux premiers prélèvements qui s'effectuent à des temps très rapprochés : placer les coupelles sur leurs porte-coupelles et les remplir d'eau potable.

##### **Préparation de l'échantillon**

- Très bien homogénéiser l'échantillon initial à l'aide de la spatule. S'il est jugé nécessaire, tamiser à 2mm 4,5L d'échantillon afin d'éliminer les papiers et très gros éléments qui gêneraient la mesure.
- Prélever trois sous-échantillons de 100 à 300 ml chacun. Ces sous-échantillons serviront à déterminer sur trois répliques la concentration initiale en MES et en MVS.

##### **Fractionnement de l'échantillon**

###### **Remplissage de la colonne (version originale)**

- Ouvrir la vanne  $\frac{1}{4}$  de tour située au sommet de la colonne.
- Mettre en service la pompe à vide reliée au sommet de la colonne.

- Bien homogénéiser l'échantillon avant de le verser rapidement dans le bac de mélange.
- Aspirer le liquide dans la colonne (montée dure de 2 à 5 secondes selon la puissance de la pompe). Lorsque la colonne est remplie, fermer la vanne quart de tour située au sommet de la colonne. Le niveau d'eau dans le bac doit demeurer juste au-dessus des rebords supérieurs de la cannelure.

*Cette phase de remplissage nécessite un peu d'entraînement car elle est très rapide. Le niveau d'eau dans le bac doit être minimal pour limiter les dépôts de particules au fond du bac. Il doit cependant être suffisant pour que le pied de la colonne soit couvert de 1 à 2 cm d'eau.*

*Un volume d'échantillon insuffisant où une fermeture trop tardive de la vanne ¼ de tour conduira à l'aspiration d'air dans la colonne (gros remous, risque de retour d'eau vers la pompe\*). Le remplissage doit alors être recommencé.*

*\* La mise en place d'un dispositif de protection de type flacon de Woulff est indispensable pour protéger la pompe en cas de mauvaise manipulation.*

### **Remplissage de la colonne (version modifiée)**

- Bien homogénéiser l'échantillon avant de le verser rapidement dans le bac de mélange jusqu'à ce que le niveau d'eau soit juste au-dessus des rebords supérieurs de la cannelure.
- Ré-homogénéiser l'échantillon et remplir la colonne (dont le sommet est étanche par la vanne quart de tour ou un autre dispositif) directement.
- Une fois remplie, boucher le bas de la colonne et continuer l'homogénéisation.
- Installer la colonne le plus rapidement possible sur les supports de fixation.

### **Démarrage de la décantation**

- Mettre en place immédiatement après fermeture de la vanne ¼ de tour, ou l'enlèvement du bouchon, la première coupelle de prélèvement : placer doucement le porte-coupelle et sa coupelle dans la cannelure, puis le faire glisser jusque sous le pied de la colonne.
- Déclencher le chronomètre au même moment.
- Arrêter la pompe à vide.
- Noter la hauteur d'eau dans la colonne, la date et l'heure.

### **Changement des coupelles**

- Changer la coupelle au bout des temps prédéterminés. La durée totale de décantation doit être adaptée en fonction du type d'échantillon à analyser ou de ce que l'on cherche à mesurer.

*Le changement de coupelle est une étape relativement délicate. L'opérateur doit être minutieux pour ne pas perdre leur contenu et pour limiter les turbulences dans le bas de la colonne. Autant que possible, changer d'opérateur d'un changement de coupelle à l'autre.*

- Quelques secondes avant le temps de changement de coupelle, introduire doucement dans la cannelure un porte-coupelle muni d'une coupelle remplie d'eau potable et approcher le matériel de filtration. A l'heure du changement des coupelles, faire glisser doucement les deux porte coupelles

(celui situé sous la colonne et le nouveau), jusqu'à positionner le nouveau porte-coupelle sous la colonne.

- Retirer doucement l'ancien porte-coupelle de la cannelure. Si le changement de coupelle n'a été fait exactement au temps prédéterminé, noter sur la feuille d'analyse l'instant exact de remplacement de la coupelle.

- Verser le contenu de la coupelle dans le système de filtration apporté à côté du montage.

*La taille du porte-coupelle doit être parfaitement ajustée à celle de la coupelle. Dans le cas contraire la coupelle risque de se défaire de son porte coupelle lors de l'introduction dans la cannelure. On pourra au besoin améliorer le maintien de la coupelle en ajoutant une bande antidérapante autocollante à l'intérieur du porte-coupelle.*

### Détermination de la concentration finale

- Une fois le dernier prélèvement réalisé, boucher l'extrémité de la colonne au moyen du bouchon et, tout en maintenant le bouchon d'une main, retirer la colonne de son support.

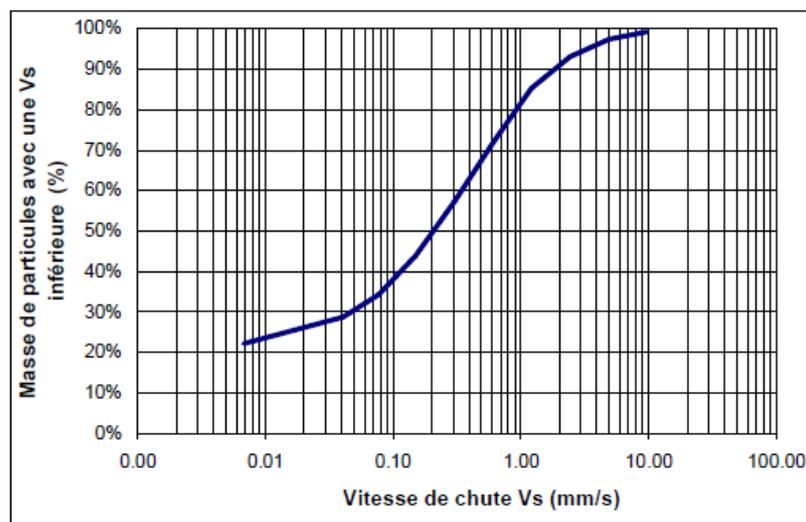
- Verser le contenu de la colonne dans un pichet propre.

- Bien homogénéiser le contenu du pichet.

- Prélever trois sous-échantillons de 250 ml chacun (ou plus, selon la durée de l'essai réalisé). Ces sous-échantillons serviront à déterminer sur trois réplicas la concentration finale en MES et en MVS.

### Traitement mathématique des données

La masse des particules ne peut pas être directement associée à une classe de vitesse de sédimentation car les particules ne décantent pas à partir de la même hauteur dans la colonne. Par conséquent, des calculs sont requis pour obtenir la masse cumulative depuis le début de l'expérimentation. Tous les calculs sont décrits dans l'article-manuel de « Mesure de la vitesse de chute des particules en suspension dans les effluents urbains, Protocole ViCAs, Manuel de l'utilisateur » par Gromaire M.C. et Chebbo G. en 2003, voir [2]. Une fois le traitement mathématique effectué, une courbe de distribution des vitesses de chute telle que l'illustre le graphique 3 est obtenue.



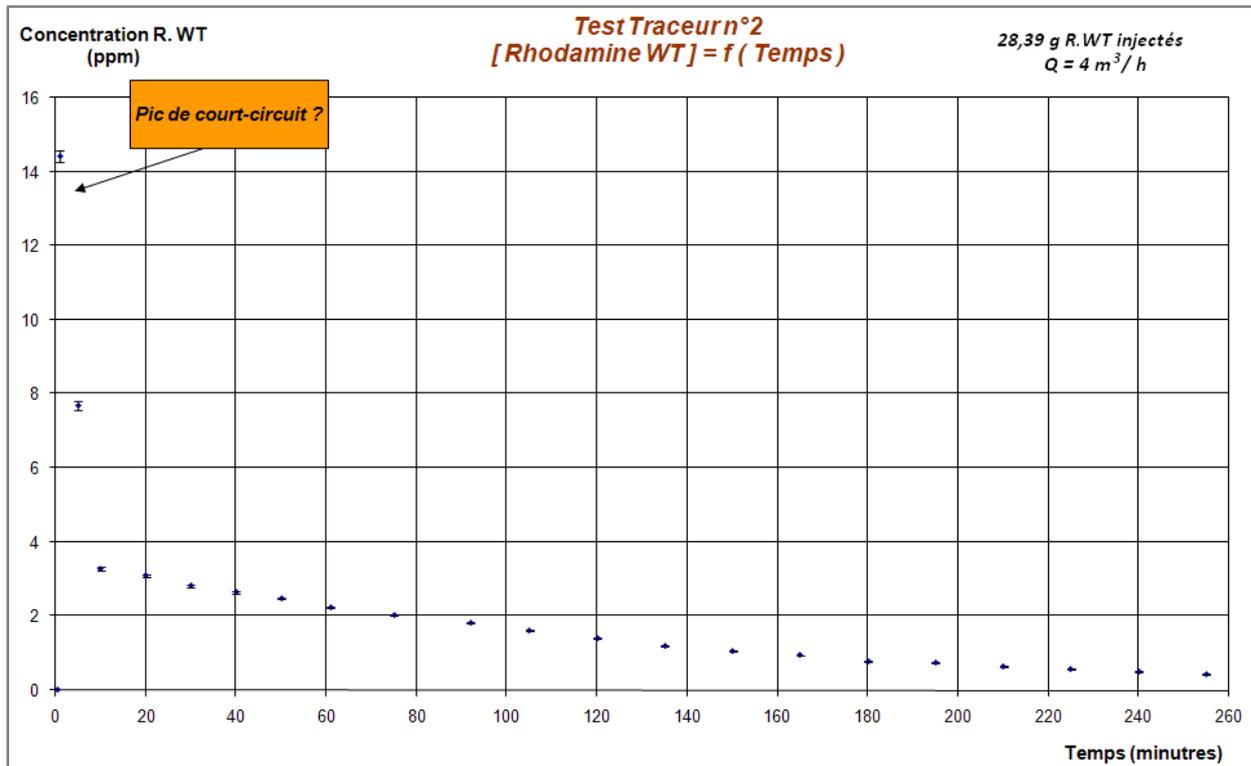
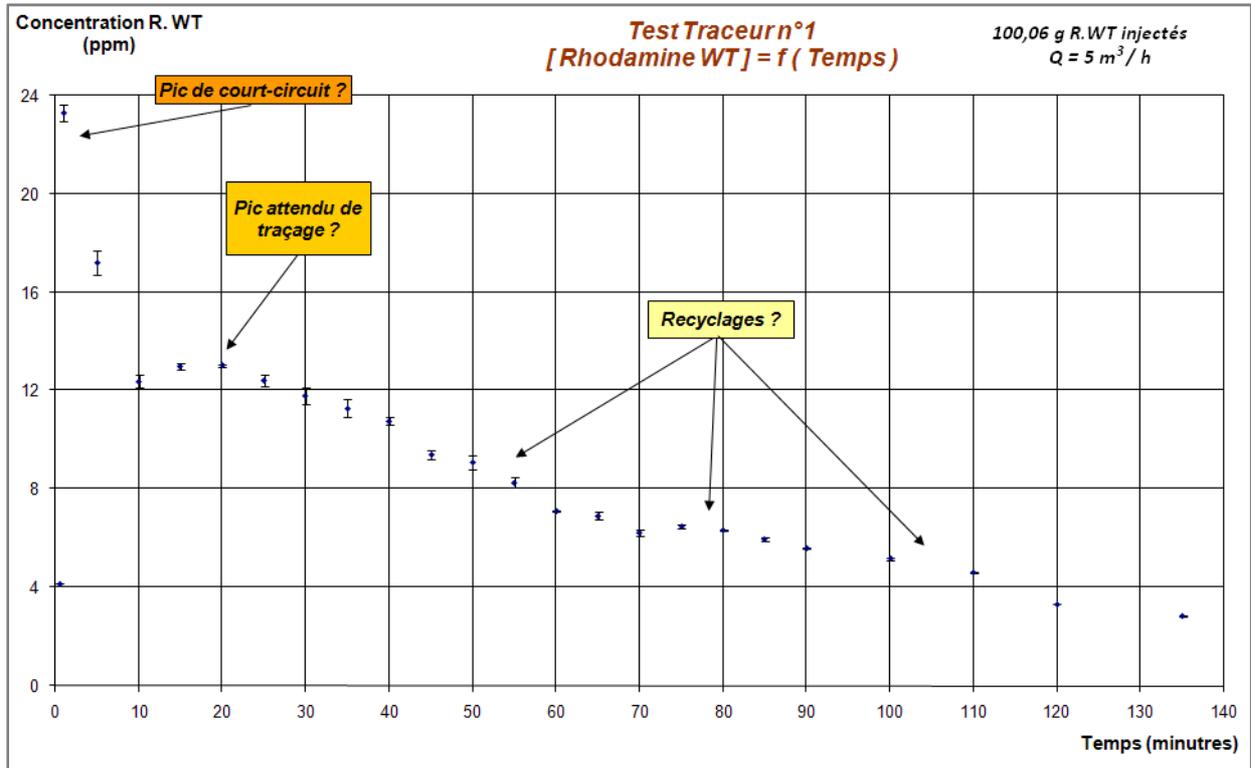
Graphique 3 : Exemple de courbe de distribution des vitesses de chute  $F(V_s)$

**5) Test Potassium [9]**

- Allumer le spectrophotomètre UV et sélectionner le programme correspondant au test  $K^+$
- Remplir une éprouvette graduée avec 25 mL de l'échantillon à analyser
- Ajouter la contenu d'un sachet de réactif  $K^+$  n°1 et d'un sachet de réactif  $K^+$  n°2
- Boucher et agiter vigoureusement
- Ajouter le réactif  $K^+$  n°3 après que la solution se soit éclaircie
- Boucher et agiter la solution pendant 30 secondes, une turbidité blanche se forme s'il y a présence de potassium
- Déclencher un compte à rebours de 3 minutes, une période de 3 minutes de réaction commence alors
- Préparation du tube d'échantillon : remplir au moins 10 mL de la solution de l'éprouvette vers une cellule de mesure adaptée au spectrophotomètre
- Préparation du tube de blanc : remplir au moins 10 mL de l'échantillon initial (qui n'a pas réagit) vers une cellule de mesure adaptée au spectrophotomètre
- Essuyer la cellule de blanc et faire le zéro
- Dans les sept minutes suivant l'expiration du compte à rebours, essuyer la cellule d'échantillon et soumettre à la mesure, le résultat est en mg/L de potassium

Annexe B

Courbes de traçage à la Rhodamine WT



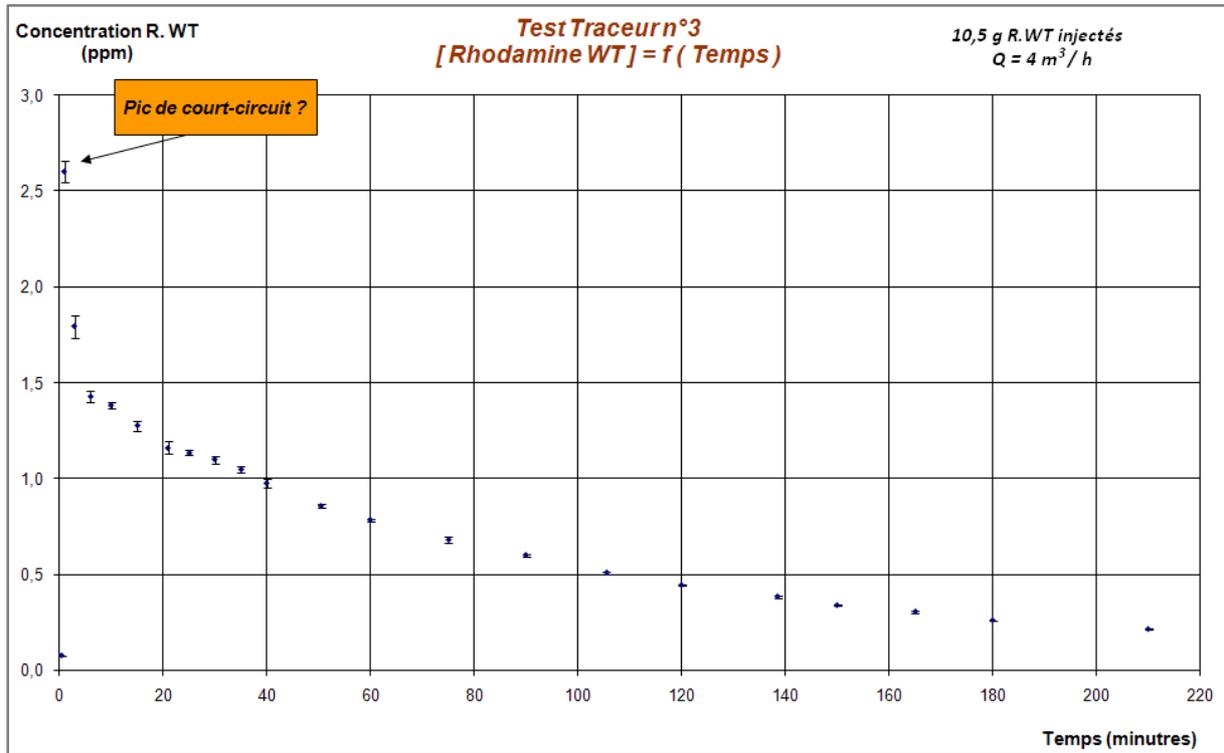


Figure 11 : Evolution de la coloration de l'eau recyclée lors d'un test traceur à la RWT, vue du haut du pilote

## Annexe C

### *Filière de traitement des eaux usées à la station EST de la ville de Québec*

Lors du stage, une visite de la station d'épuration EST de la Ville de Québec a été proposée et voici un résumé des opérations unitaires utilisées pour cette filière de traitement des eaux usées.

Une première étape de *dégrillage* (1) permet tout d'abord d'intercepter et d'éliminer les matières grossières telles que le papier, le gravier. Cette opération vise à protéger les équipements et la tuyauterie de la station. Les déchets recueillis sont ensuite acheminés à l'incinérateur.

L'étape de *dessablage* (2), *déshuilage* et *dégraissage* permet ensuite de retirer les sables, toute particule de densité équivalente ainsi que les flottants composés d'huiles, de graisse et d'écumes par injection d'air dans les bassins. Les sables sont dirigés vers un site d'enfouissement et les flottants vers l'incinérateur afin d'y être brûlés.

Au cours de la troisième étape, la *décantation* (3), la plupart des matières solides ainsi que l'excédent des huiles, des graisses et des écumes est extraite des eaux. L'eau circule au sein de décanteurs lamellaires qui retiennent les particules. Les boues primaires qui se sont déposées au fond du bassin sont récupérées et pompées vers des épaisseurs.

L'eau recueillie subit une *bio-filtration* (4). Après avoir été relevée au moyen de vis d'Archimède, elle traverse par gravité des bio-filtres qui terminent d'en retirer les matières solides. Ces bio-filtres sont aérés et la dégradation de la matière organique soluble est réalisée par des bio-films fixés sur la biolite (matériau de support des bio-filtres). Après lavage des bio-filtres, ces matières sont acheminées vers des décanteurs et produisent des boues secondaires qui sont conduites vers des épaisseurs.

Enfin, la *désinfection* par lampes ultra-violet permet de détruire les bactéries présentes dans l'eau. Cette opération n'est réalisée qu'en période estivale afin de satisfaire aux conditions sanitaires pour la pratique des sports nautiques.

Les boues primaires et secondaires sont épaissies dans les épaisseurs puis transformées en matières sèches et brûlés à l'incinérateur.

La station est complètement recouverte, d'où la nécessité d'un système de traitement de l'air et des gaz. Il est assuré par des tours de lavage et consiste à neutraliser, oxyder ou absorber les gaz par contact avec des réactifs.

**Plan de la station d'épuration EST**



*Dépliant : « Les Stations de traitement des eaux usées de la ville de Québec »  
Service des communications de la ville de Québec*