



**FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE**  
**Département de Génie Civil et de Génie des Eaux**  
Pavillon Adrien Pouliot  
1605, avenue de la Médecine  
Québec (QC) G1V 0A6, Canada



**INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**Département de Génie des Procédés et**  
**Environnement**  
135, avenue de Rangueil  
31 077 Toulouse Cedex 4, France

**Marine TOURNOIS**

---

# Rapport de stage

*Stage effectué du 24 juin 2013 au 13 septembre 2013*

---

## **Participation au développement de stations de mesure**

*Mise au point de procédures de maintenance, calibration régulière et contrôle de la qualité des données par comparaison statistique avec des analyses de laboratoire*

**Maître de stage :** Peter VANROLLEGHEM  
**Responsable de stage :** Janelcy ALFERES  
**Tuteur INSA :** Arnaud COCKX

# Résumé

Dans le domaine du traitement de l'eau, la mesure en ligne de la qualité de l'eau est un point essentiel. Que ce soit dans le cadre du traitement d'une eau résiduaire urbaine, ou du contrôle de la qualité d'une eau de rivière, il est important de connaître en temps réel les caractéristiques de l'eau étudiée. En effet, cela permet d'agir le plus rapidement possible en cas de problème, comme lors d'une contamination de l'eau.

Le but de ce stage est tout d'abord d'aider à la mise en œuvre d'une station de mesure en ligne *monEAU* qui, installée dans une lagune, permettra de connaître les principales caractéristiques (tels que le pH, la turbidité, la conductivité ou le taux d'oxygène dissous) en temps réel. Par ailleurs, une installation de mesure de la turbidité en ligne est installée actuellement sur un décanteur primaire, dans le cadre du traitement d'une eau résiduaire urbaine venant de la ville de Québec. Cette installation, et plus particulièrement les capteurs présents, ont été entretenus et calibrés durant tout l'été. Des expériences, permettant de relier la valeur de la turbidité aux taux de MeS réellement présents dans les effluents d'entrée et de sortie, ont permis de déceler des problèmes au sein de cette installation de mesure. Des améliorations de la configuration du système ont également été proposées.

En parallèle de cette étude, une amélioration de base de données *datEAUbase* a été effectuée. Cette base de données va permettre, à terme, de recenser toutes les données récoltées par l'ensemble du groupe *modelEAU*. Elle est composée d'une interface d'importation de données, de la base de données en elle-même et d'une interface d'exportation de données, qui permet de visualiser les données souhaitées. L'amélioration a été apportée sur l'interface d'importation de données, afin de permettre la saisie d'un plus grand nombre de paramètres.

# Remerciements

Tout d'abord, je remercie particulièrement le Professeur Peter Vanrolleghem pour son accueil au sein du groupe de recherche *modelEAU*, mais aussi pour ses conseils avisés tout au long de ce stage.

Je remercie également ma tutrice, Janelcy Alferes, post-doctorante, pour m'avoir fait partager ses connaissances dans le domaine de la calibration des capteurs, mais aussi pour m'avoir aidée à la rédaction de mon rapport.

Je remercie Giulia Bachis, doctorante, pour sa disponibilité. Elle a su être là pour répondre à mes questions, mais aussi pour m'aider lors de problèmes techniques.

Je remercie Sylvie Leduc, professionnelle de recherche, pour sa formation à la sécurité du laboratoire d'environnement, mais aussi pour les différents services rendus, notamment lors des nombreuses démarches liées à l'arrivée et au départ du Québec.

Je remercie chaleureusement Coralie Lamaire Chad, étudiante à la maîtrise, avec qui j'ai collaboré pour la calibration de la station *monEAU*.

Je remercie également toutes les personnes du groupe *modelEAU* qui ont contribué à un moment ou un autre au bon déroulement de ce stage, et à le rendre plus enrichissant.

Enfin, je remercie toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion de collaborer durant cet été, les précédents stagiaires (Ívan et Florent), pour nous avoir accueillis et transmis leurs connaissances, mais aussi mes collègues (Julie, Claire, Maxime...), pour leur soutien et leur bonne humeur au quotidien.

# Table des matières

Table des illustrations.....	1
Présentation du contexte de travail.....	2
I – L’Université Laval.....	2
II – Le groupe de recherche modelEAU.....	2
III – Le projet monEAU.....	2
Introduction générale.....	3
I – Station monEAU.....	4
1) Contexte.....	4
2) Calibration des capteurs.....	4
3) Installation de la station.....	6
II – Contrôle de la turbidité en ligne.....	7
1) La mesure de la turbidité dans le domaine des eaux usées.....	7
2) Mise en service et entretien des sondes.....	8
3) Etude de la corrélation Matières en Suspension / Turbidité.....	9
a. Mesure des MeS.....	9
b. Mesure en ligne de la turbidité.....	10
c. Corrélation MeS / Turbidité.....	11
4) Problèmes rencontrés et améliorations possibles.....	14
III – Contribution au projet datEAUbase.....	16
1) Présentation de la base de données.....	16
2) Création d’un nouveau projet.....	19
3) Problèmes rencontrés.....	19
Conclusion générale.....	20
Bibliographie.....	21
Annexes.....	I
Annexe 1 : Feuille Excel du projet monEAU.....	I
Annexe 2 : Feuille Excel du projet primEAU.....	II

# Table des illustrations

Figure 1 : Station monEAU .....	4
Figure 2 : Sonde de pH.....	5
Figure 3 : Principe d'une sonde LDO.....	5
Figure 4 : Procédure de calibration de la sonde LDO .....	6
Figure 5 : Vue du ciel de la lagune      Figure 6 : Maisonnnette.....	6
Figure 7 : Filière de traitement de l'eau usée.....	7
Figure 8 : Principe de fonctionnement de la sonde Solitax SC.....	7
Figure 9 : Photographie du système sonde + réservoir.....	8
Figure 10 : Echantillonneur automatique.....	9
Figure 11 : Banc de filtration et dessiccateur.....	10
Figure 12 : Concentration en MeS en fonction de la turbidité sur la sonde d'entrée (corrélation) .....	12
Figure 13 : Concentration en MeS en fonction de la turbidité sur la sonde de sortie .....	12
Figure 14 : Concentration en MeS en fonction de la turbidité sur la sonde de sortie (corrélation).....	13
Figure 15 : Courbe turbidité en fonction du temps (semaine du 19/08/2013) .....	14
Figure 16 : Amélioration de la configuration du réservoir de sortie avec l'ajout d'une résine .....	15
Figure 17 : Schéma de principe de la datEAUbase .....	16
Figure 18 : Interface Data Import.....	17
Figure 19 : Relations entre les différents paramètres.....	17
Figure 20 : Interface graphique de consultation de données .....	18
Figure 21 : Exemple de graphique - <i>Un paramètre mesuré par un capteur à deux stations</i> .....	18

# Présentation du contexte de travail

## I – L'Université Laval

L'Université Laval, située au cœur de la Capitale Québécoise, est l'une des plus grandes universités du Canada. Première université francophone en Amérique, le campus présente une vie culturelle, sociale et sportive très animée, avec quelques 48 000 étudiants chaque année qui y étudient.

L'université est également un milieu de recherche unique : elle possède 251 centres, chaires, instituts et regroupements de recherche (en juin 2012). Le budget accordé au domaine de la recherche s'élève aujourd'hui à 299 M\$.

L'une des particularités de l'université est aussi sa collaboration avec 500 établissements d'enseignements supérieurs, tels que l'INSA de Toulouse, dans près de 70 pays.

## II – Le groupe de recherche modelEAU

modelEAU est un groupe de recherche de l'Université Laval, affilié au département de Génie Civil et de Génie des Eaux. Le groupe s'articule autour de la Chaire de Recherche du Canada en Modélisation de la Qualité de l'Eau. Il est dirigé depuis 2006 par le professeur Peter Vanrolleghem.

L'objectif principal du groupe est l'optimisation de la qualité des eaux, des usines de traitement ainsi que dans les rivières urbaines et les bassins versants. Pour cela, les chercheurs de modelEAU travaillent sur la création de modèles des différents procédés. Il existe de nombreux projets en cours, tels que les projets monEAU (station de mesure automatisée de la qualité de l'eau), respirEAU (respirométrie avancée pour la calibration d'un modèle de boue activée), primEAU (modèle dynamique pour un décanteur primaire) ou encore alEAU (contrôle de l'ajout d'alun dans le traitement primaire à la station d'épuration de Québec).

## III – Le projet monEAU

Le but du projet est de créer, entretenir et améliorer des stations de mesure en ligne de la qualité de l'eau. Actuellement, il existe deux stations dans la ville de Québec, sur la rivière « Notre-Dame », en amont et en aval d'un quartier résidentiel. Il existe également d'autres stations monEAU dans le monde (9 en tout), notamment au Canada mais aussi au Danemark et aux Pays-Bas.

Depuis 2010, l'équipe de monEAU installe les stations, les entretient et veille à leur bon fonctionnement, notamment par le biais de calibration des capteurs et de campagnes d'échantillonnage suivies d'analyses en laboratoire. De plus, il existe aujourd'hui un programme de traitement des données recueillies en ligne par les différents capteurs, qui permet entre autres le lissage des données et la détection des erreurs.

# Introduction générale

Intégrée au sein du groupe de recherche modelEAU, plusieurs missions m'ont été confiées au cours de ce stage. Ce rapport présente dans sa globalité les objectifs, les moyens mis en œuvre pour les accomplir mais aussi les résultats obtenus et les améliorations qui peuvent être apportées.

L'objectif principal de cette étude est la connaissance en tout temps des paramètres de la qualité de l'eau, afin d'éviter ou de détecter les pollutions. Dans le domaine du traitement des eaux usées, qui est le contexte de ce stage, il est nécessaire de connaître la qualité de l'eau, d'une part pour connaître l'efficacité des procédés de traitement, mais également pour éviter de rejeter un effluent pollué dans la nature.

Les missions qui m'ont été confiées peuvent être divisées en deux catégories : une partie « terrain » et une partie « bureau ».

## **Partie « terrain » :**

Le travail de terrain effectué est relié à la calibration des sondes de la station monEAU, mais aussi à l'analyse des données effectuée sur les turbidimètres du décanteur primaire. Les principaux objectifs sont donc :

- L'entretien régulier des sondes
- L'organisation de la validation des sondes
- La rédaction d'un protocole d'entretien et de mise en service des sondes
- La validation et la calibration de nouvelles sondes, destinées à être installées sur une station monEAU

## **Partie « bureau » :**

Le travail en bureau consiste surtout à l'amélioration de la base de données datEAUbase. Les objectifs principaux sont :

- La prise en main de la base de données
- La correction des erreurs présentes au sein de l'interface d'importation de données
- L'ajout d'un nouveau projet au sein de la base
- L'intégration et l'extraction des données récoltées

## I – Station monEAU (1)

### 1) Contexte

Dans le cadre du projet monEAU, une nouvelle station est en cours d'élaboration. Elle sera installée dans une réserve amérindienne du Québec, à Wemotaci, à côté d'une lagune. En effet, l'épuration de l'eau se fait ici grâce à la technique du lagunage naturel. La présence d'une station monEAU à cet endroit-là permet de surveiller la qualité de l'eau en temps réel.

Une station comprend une enceinte en métal, dans lequel sont installés : un ordinateur (qui sera relié à Internet), un écran de contrôle où seront connectés les différents capteurs, ainsi que différents éléments de contrôle ou de maintenance (contrôle de chaleur, vanne électronique pour le nettoyage à l'air, etc.). Une photographie de la station monEAU, prise lors de la calibration des capteurs en laboratoire, est présentée sur la Figure 1 :



Figure 1 : Station monEAU

**Remarque :** la calibration des capteurs, leur maintenance et les analyses en laboratoire devaient être l'un des objectifs principaux de ce stage. Malheureusement, les capteurs n'ont été reçus à l'Université Laval que début septembre. Ainsi, seulement quelques capteurs ont pu être calibrés.

### 2) Calibration des capteurs

Il y a un grand nombre de capteurs dans une station monEAU :

- pH
- Conductivité
- Turbidité
- Spectro::lyser (spectromètre)
- Ammo::lyser (mesure de l'ammonium)
- LDO (mesure de l'oxygène dissous)

Certains de ces capteurs, dont le pH-mètre et la sonde LDO, ont été calibrés en laboratoire. Les autres capteurs seront calibrés une fois la station installée.

**Calibration de la sonde de pH :**

Fonctionnement <sup>(2)</sup> : la mesure de pH est effectuée à partir du rapport existant entre la concentration en ion  $H_3O^+$  et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit au sein du pH-mètre (voir Figure 2).



Figure 2 : Sonde de pH

La sonde de pH est tout d'abord branchée à l'écran de contrôle, afin de pouvoir afficher la valeur de pH réellement mesurée. Elle est ensuite nettoyée correctement à l'eau claire, puis à l'eau distillée. Après cette étape de nettoyage, elle doit être trempée dans deux solutions tampons (pH = 7 et pH = 10) : si la différence entre la valeur lue et la valeur attendue est acceptable alors la sonde est bien calibrée.

Dans notre cas, nous avons une différence de valeurs entre la valeur réelle et la valeur lue : nous avons donc procédé à une calibration. Cependant, nous avons remarqué un phénomène que nous n'avons pas su expliquer : lorsque la sonde était immergée dans l'une des deux solutions tampons, la valeur affichée était toujours la même (environ 7,08). Lorsqu'elle était immergée dans de l'eau, la valeur changeait. Nous avons également fait le test d'immerger la sonde dans une solution tampon (pH = 4) : la valeur affichée était toujours de 7,08.

**Remarque :** Ce problème ayant été mis en évidence la dernière semaine de mon stage, je n'ai pas eu le temps de comprendre quel était le problème. La station a été installée quand même, et le problème réglé ultérieurement.

En temps normal, la calibration se fait à partir de l'écran de contrôle. On calibre la sonde à l'aide de deux points. Le premier est la valeur mesurée lorsque la sonde est trempée dans la solution pH = 7 : une fois ce point enregistré sur l'écran, la sonde est retirée de la solution, nettoyée puis immergée dans la solution pH = 10. Deux points sont alors enregistrés et une régression linéaire peut ainsi être calculée.

### **Calibration de la sonde LDO :**

Fonctionnement : « LDO signifie Luminescent Dissolved Oxygen. La teneur en  $O_2$  est mesurée par une couche sensible à l'oxygène qui réagit à la lumière bleue (voir Figure 3). Elle renvoie la lumière rouge, un effet appelé luminescence. Le temps entre la réaction et le renvoi correspond à la teneur en oxygène. » <sup>(3)</sup>

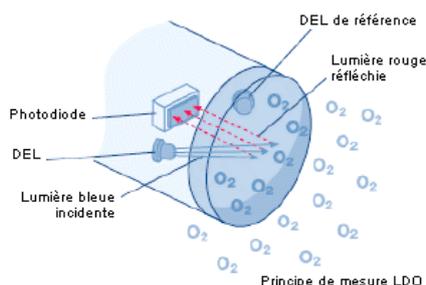


Figure 3 : Principe d'une sonde LDO

La sonde LDO mesure la concentration en oxygène dissous. Elle est livrée dans un sac hermétique en aluminium, qui va servir à la conserver mais également lors de la validation / calibration de la sonde.

Afin de déterminer si la sonde a besoin d'être re-calibrée, elle est placée dans le sac qui contient un fond d'eau (voir Figure 4) : cela permet de saturer l'air ambiant en eau (ce qui équivaut à une eau saturée en air). Si la valeur lue se stabilise rapidement, alors il n'y a pas besoin de calibration. Ce fut le cas ici.

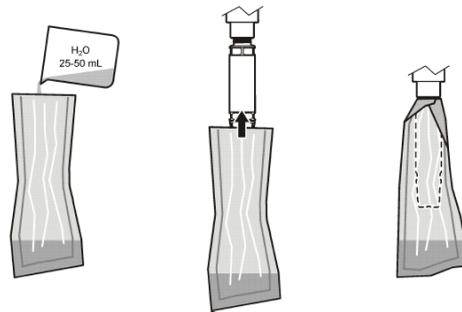


Figure 4 : Procédure de calibration de la sonde LDO

### 3) Installation de la station

La station monEAU est installée dans une petite maisonnette près de la lagune. La maisonnette est équipée de façon à ce qu'il y ait l'électricité, une connexion Internet, mais elle doit aussi protéger la station du froid (le Québec étant une région extrêmement froide en hiver) et d'éventuelles crues. Sur la Figure 5, nous pouvons voir la lagune vue du ciel (la maisonnette n'est pas encore installée). Les encadrés de couleur sur la photo montrent l'emplacement prévu pour les sondes de mesure (à régler selon la longueur de câble). La maisonnette est visible sur la Figure 6.



Figure 5 : Vue du ciel de la lagune



Figure 6 : Maisonnette

## II – Contrôle de la turbidité en ligne

### 1) La mesure de la turbidité dans le domaine des eaux usées

Dans le domaine du traitement des eaux usées, la turbidité est un paramètre très important. Etant relié à la concentration en matières en suspension (MeS), il est primordial de contrôler la turbidité, afin de permettre un traitement optimal de l'eau usée.

L'étude suivante est portée sur le contrôle de la turbidité sur un décanteur primaire, élément de la chaîne de traitement des eaux usées (voir Figure 7). Ce décanteur est situé au sein de la station d'épuration Est de la ville de Québec. L'effluent entrant est donc un effluent d'eau résiduaire urbaine, ayant subi au préalable les étapes de pré-traitement.

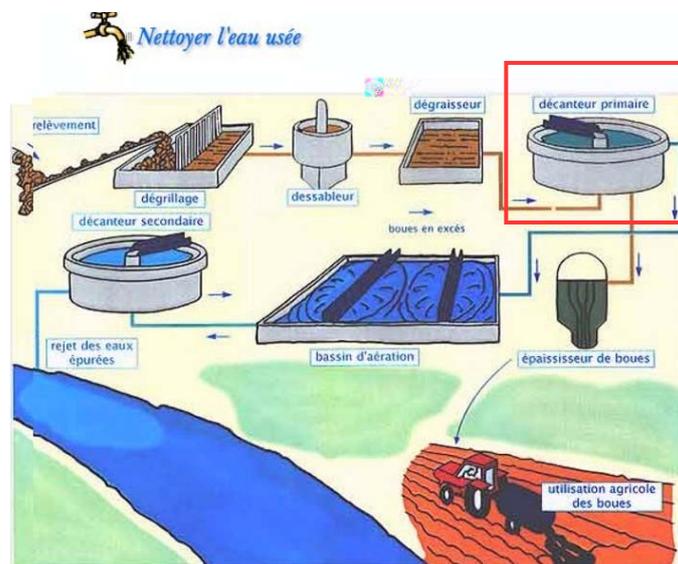


Figure 7 : Filière de traitement de l'eau usée <sup>(4)</sup>

Sur le décanteur primaire étudié, il y existe deux sondes de turbidité, en entrée et en sortie. Ses sondes sont des sondes Solitax SC : elles utilisent le principe de la néphélométrie comme méthode de mesure (voir Figure 8). Ces sondes permettent d'obtenir des données en ligne.

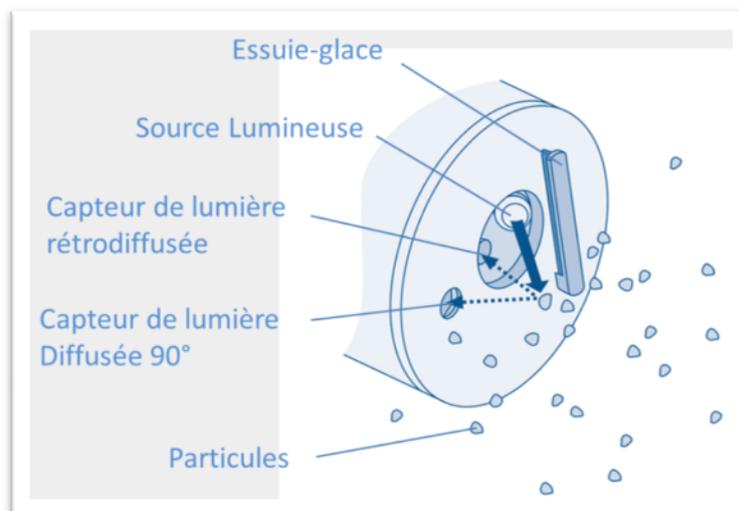


Figure 8 : Principe de fonctionnement de la sonde Solitax SC <sup>(5)</sup>

Les sondes sont plongées dans un petit réservoir, dans lequel l'eau entre par le bas et ressort par surverse (voir Figure 9). Le réservoir et la sonde sont installés en by-pass sur les courants d'entrée et de sortie : le réservoir peut donc être isolé à l'aide d'une vanne.

Chaque sonde de turbidité (ainsi qu'un pH-mètre et un conductimètre) est reliée à un panneau de contrôle qui permet de lire en temps réel les valeurs de turbidité, mais également d'afficher sous forme de graphique les évolutions de ces valeurs. Le système est relié à Internet, et les données sont envoyées une fois par jour sur un compte Gmail. La récupération des données est ainsi aisée.

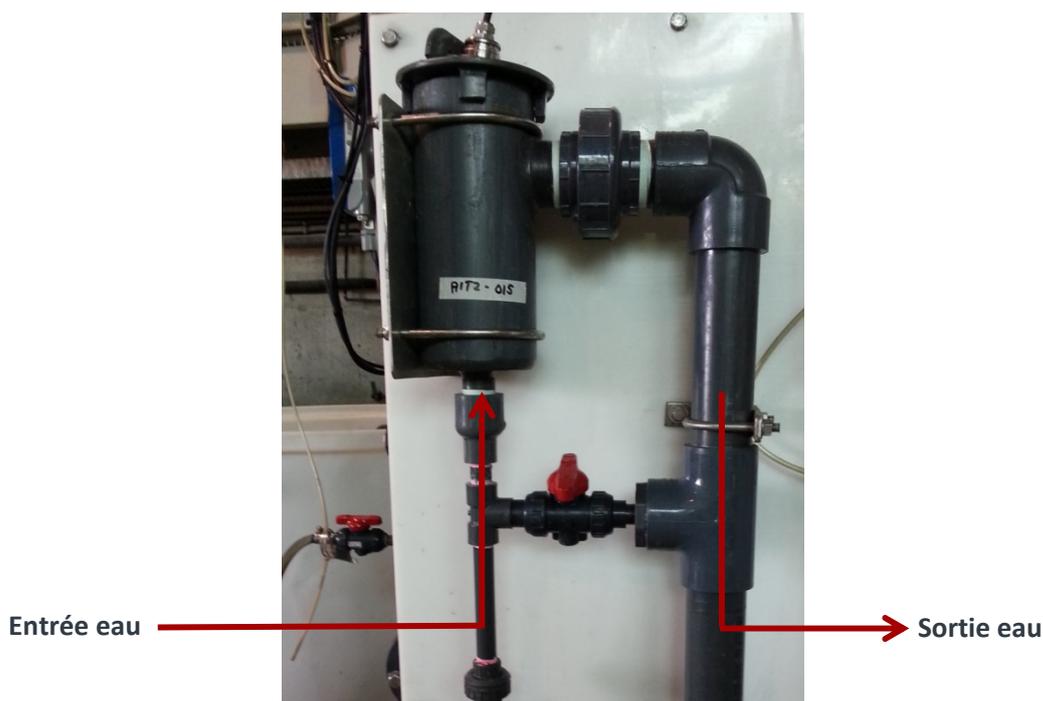


Figure 9 : Photographie du système sonde + réservoir

## 2) Mise en service et entretien des sondes

Tout d'abord, avant de récupérer les données des turbidimètres et de les exploiter, il faut s'assurer que les valeurs obtenues sont correctes. Pour cela, il faut nettoyer régulièrement les sondes, les calibrer et les mettre en service. Un SOP<sup>1</sup> a commencé à être rédigé par un ancien stagiaire de modelEAU. Améliorer ce SOP a été un des objectifs de ce stage.

Le SOP comprend ces différentes parties :

- Introduction
- Domaine d'application
- Principe
- Matériel
- Mise en service et entretien
  - o Nettoyage des sondes
  - o Nettoyage de la tuyauterie
- Récupération et exploitation des données
  - o Récupération des données

<sup>1</sup> Standard Operating Protocol : document formalisé qui permet de suivre un protocole strict durant les manipulations et expériences. Il est créé par un utilisateur et amélioré au cours du temps.

- Exploitation des données
- Calibration et étalonnage des sondes
  - Calibration des sondes
  - Etalonnage des sondes

### 3) Etude de la corrélation Matières en Suspension / Turbidité

La concentration en MeS peut être calculée à partir d'une corrélation qui est fonction de la turbidité. Pour l'estimer, on utilise des échantillons dont on peut connaître la teneur en MeS par analyse en laboratoire, puis on la relie à la valeur de turbidité lue.

#### a. Mesure des MeS

Le but de cette manipulation est de pouvoir déterminer la relation qui existe entre la turbidité et la concentration en matières en suspension. Pour cela, dans un premier temps, il faut disposer d'échantillons pour lesquels nous connaissons ces deux paramètres.

Afin d'obtenir des échantillons, nous disposons d'échantillonneurs automatiques (voir Figure 10). Ils permettent de prélever la quantité d'eau choisie à intervalle défini. Ces échantillonneurs sont composés d'une pompe, avec un tuyau d'entrée et un tuyau de sortie, qui est directement dirigé vers les bouteilles de collecte. Le tuyau d'entrée est installé dans le réservoir de la sonde, au même niveau que la sonde.

L'échantillonneur est programmé de sorte à ce qu'une bouteille de 1 L soit remplie toutes les 4 heures, et cela pendant 20 heures (6 bouteilles au total). Il y a deux échantillonneurs, un à l'entrée et un autre à la sortie. Il y a en tout 12 bouteilles de 1 L, dont la concentration en MeS sera mesurée en laboratoire.



Figure 10 : Echantillonneur automatique

#### **Protocole de mesure des MeS :**

Au laboratoire, la quantification des MeS (en mg/L) a été réalisée à l'aide du SOP correspondant (SOP-005\_TSS). Toutes les mesures sont effectuées en triplicata, ce qui permet une meilleure précision, mais aussi de pouvoir supprimer les valeurs qui paraissent aberrantes.

Chaque échantillon est filtré sur des filtres de porosité 0,45  $\mu\text{m}$ . Avant de filtrer les échantillons, il est nécessaire de conditionner les filtres à l'eau distillée. De l'eau pure est filtrée, les filtres sont récupérés, posés dans des coupelles en aluminium, séchés 2 heures au four à 105°C puis mis au dessiccateur pendant 30 minutes minimum. Une fois cette étape réalisée, les filtres avec les coupelles sont pesés : on obtient la

masse  $m_0$  (g).

Une fois les filtres conditionnés et leur masse connue, la filtration des échantillons se fait. Un volume  $V$  (mL) est filtré ; les filtres sont récupérés, posés dans les coupelles correspondantes, mis au four à 105 °C (2 heures) puis au dessiccateur (30 minutes) pour refroidir en conditions sèches. On obtient ensuite la masse des filtres  $m_1$  (g). La concentration en MeS est alors calculé de la manière suivante :

$$\text{MeS (mg/L)} = \frac{(m_1 - m_0) \times 1000}{V \times 10^{-3}}$$



Figure 11 : Banc de filtration et dessiccateur <sup>(6)</sup>

Il y a eu en tout trois campagnes d'échantillonnage durant ce stage. Un fichier Excel a été créé pour chaque campagne, il permet de calculer automatiquement les MeS, mais aussi de définir une gamme de valeurs acceptables. En effet, la marge acceptable était de +/- 10% sur la valeur moyenne des MeS. Cela a permis de supprimer les valeurs incohérentes, et ainsi d'obtenir des résultats de qualité.

Tableau 1 : Résultats de MeS pour les trois semaines d'échantillonnage

Temps (h)	Semaine du 24/07/2013		Semaine du 31/07/2013		Semaine du 07/08/2013	
	MeS <sub>entrée</sub> (mg/L)	MeS <sub>sortie</sub> (mg/L)	MeS <sub>entrée</sub> (mg/L)	MeS <sub>sortie</sub> (mg/L)	MeS <sub>entrée</sub> (mg/L)	MeS <sub>sortie</sub> (mg/L)
0	1837,1	196,0	197,3	77,6	184,1	88,5
4	194,2	111,8	184,3	107,4	154,3	122,6
8	77,2	144,8	150,2	135,0	168,8	149,0
12	85,6	171,3	113,5	140,0	164,9	148,2
16	48,6	79,3	86,3	142,9	131,4	157,9
20	15,0	48,9	75,4	88,3	183,8	200,7

#### b. Mesure en ligne de la turbidité

Une fois les valeurs de MeS pour chaque échantillon connues, il reste à connaître la turbidité. L'intérêt ici est de connaître la relation entre la concentration en MeS et la turbidité lue en ligne par les sondes : la turbidité ne peut donc pas être connue grâce à un turbidimètre de laboratoire par exemple, car cela ne présenterait aucun intérêt.

Que ce soit en entrée ou en sortie, la valeur de turbidité est issue des données enregistrées et envoyées sur le compte Gmail. Les échantillons ont été prélevés à des heures fixes connues (exemple : 12h, 16h, 20h, etc.). Le fichier Excel contenant les données indique l'heure et la date exacte pour chaque valeur de

turbidité.

**Remarque :** une valeur est collectée toutes les 10 secondes. L'heure d'échantillonnage est connue à la minute près environ : la valeur de turbidité sera une moyenne prise entre l'heure connue, à +/- 1 minute (exemple : pour 12h, on prend la moyenne des turbidités entre 11:59:00 et 12:01:00).

### c. Corrélation MeS / Turbidité

Une fois les mesures effectuées et les valeurs aberrantes éliminées, le nuage de point MeS = f(Turbidité) peut être tracé. La meilleure corrélation entre la turbidité et les MeS étant linéaire, il est également possible de tracer sous Excel une courbe de tendance linéaire afin d'obtenir notre corrélation.

#### **Résultats en entrée du décanteur**

Les résultats obtenus en entrée sont présentés dans le tableau ci-dessous ; le nuage de point obtenu à partir de ces résultats (ainsi que la corrélation) est présenté Figure 12.

Tableau 2 : Résultats de MeS et turbidité en entrée du décanteur

MeS (mg/L)	Turbidité (NTU)	
1837,1	49,3	Semaine du 24/07/2013
194,2	48,0	
77,2	47,1	
85,6	43,1	
48,6	29,5	
15,0	13,8	
197,3	120,8	Semaine du 31/07/2013
184,3	107,1	
150,2	99,3	
113,5	77,3	
86,3	108,5	
75,4	110,5	
184,1	106,3	Semaine du 07/08/2013
154,3	99,1	
168,8	114,1	
164,9	101,7	
131,4	75,7	
183,8	98,1	

**Remarque :** les valeurs sur fond rouge n'ont pas été prises en compte dans la corrélation car aberrantes ou erronées.

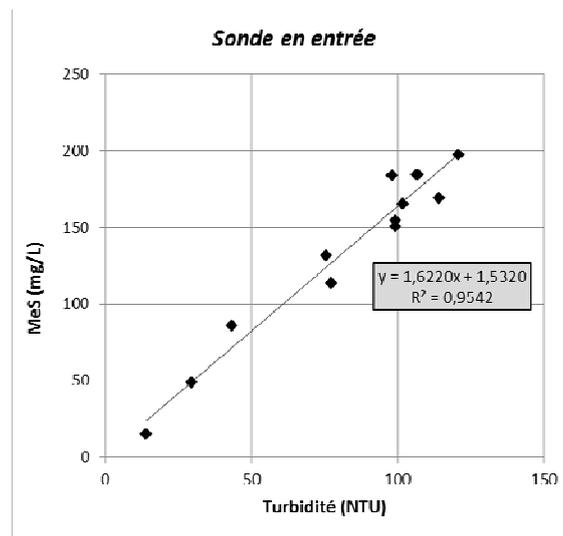


Figure 12 : Concentration en MeS en fonction de la turbidité sur la sonde d'entrée (corrélacion)

Les résultats obtenus ici sont clairement fiables. On observe une réelle tendance linéaire, après le retrait des quelques points aberrants. La corrélation issue de ces résultats peut être utilisée directement. Ainsi, lorsque nous aurons des valeurs de turbidité en entrée directement issues du turbidimètre, il sera possible de connaître une bonne estimation de la quantité de MeS présente.

La relation finale est donc :

$$\text{MeS (mg/L)} = 1,622 \times \text{Turbidité}_{\text{entrée}} \text{ (NTU)} + 1,532$$

#### Résultats en sortie du décanteur

Lorsque toutes les valeurs des trois échantillonnages (voir le Tableau 3) sont prises en compte, nous obtenons le nuage de point présenté à la Figure 13.

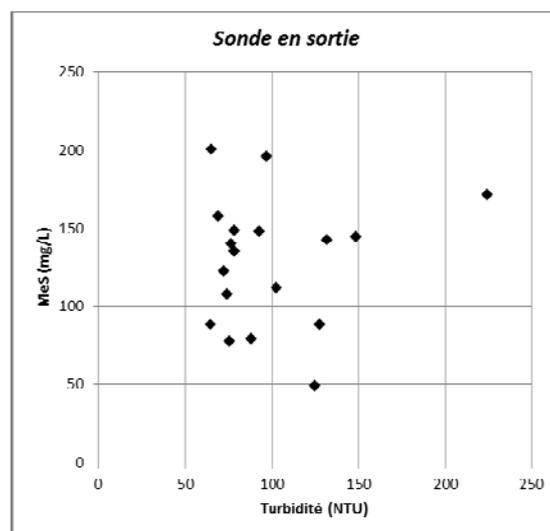


Figure 13 : Concentration en MeS en fonction de la turbidité sur la sonde de sortie

Tableau 3 : Résultats de MeS et turbidité en sortie du décanteur

MeS (mg/L)	Turbidité (NTU)	
196,0	96,7	<i>Semaine du 24/07/2013</i>
111,8	102,6	
144,8	148,7	
171,3	224,3	
79,4	88,0	
49,0	124,7	
77,6	75,7	<i>Semaine du 31/07/2013</i>
107,8	74,2	
135,4	78,2	
140,0	76,4	
142,9	131,4	
88,4	127,5	
88,6	64,6	<i>Semaine du 07/08/2013</i>
122,6	72,2	
149,0	78,4	
148,3	92,4	
158,0	69,1	
200,8	65,2	

Malheureusement, il n’y a aucune corrélation fiable à tirer de ces résultats. Même après suppression des valeurs aberrantes ou ayant subi une erreur de manipulation (colmatage lors de la filtration de l’échantillon), ces résultats restent inexploitable. Cependant, une autre solution peut être envisagée. Elle consiste à calculer le rapport Turbidité/MeS, qui doit être égal à un coefficient k constant. Une fois le rapport calculé, il suffit d’enlever toutes les valeurs qui paraissent incohérentes ou trop éloignées des autres. Nous pouvons obtenir la corrélation suivante (Figure 14) :

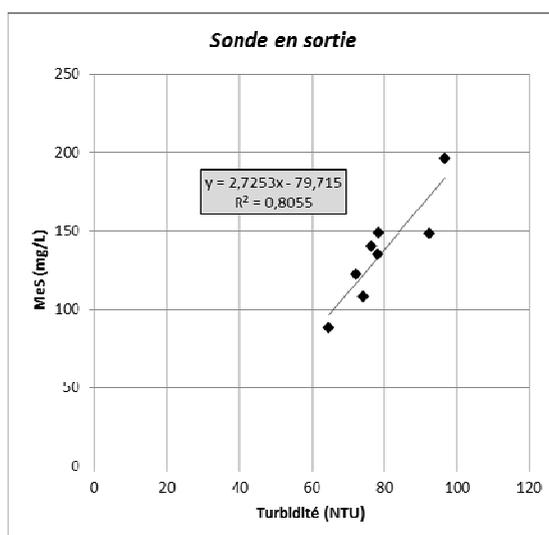


Figure 14 : Concentration en MeS en fonction de la turbidité sur la sonde de sortie (corrélacion)

#### 4) Problèmes rencontrés et améliorations possibles

D'après les résultats précédents, il y a un problème évident sur la sortie. Des tests ayant été effectués sur chacune des sondes avec de l'eau et de la formazine, il apparaît que le problème ne vient pas des sondes, car elles affichent des valeurs attendues. Le problème pourrait alors venir de la configuration de l'installation. En effet, malgré une configuration sensiblement identique (système de by-pass), il existe une différence entre l'entrée et la sortie.

En entrée, le système de by-pass est placé sur la conduite d'entrée du décanteur : il y a un plein débit qui y circule. En revanche, en sortie du décanteur, il y a deux conduites de sorties :

- La première est directement reliée à l'égout ;
- La deuxième sert pour l'échantillonnage. C'est sur cette conduite que le système de mesure de la turbidité est placé.

Le problème évident ici est que, du fait de la séparation des conduites en sortie, il y a également une séparation du débit. Le débit qui entre dans le réservoir de mesure de turbidité en sortie est bien plus faible que le débit total circulant dans le réservoir en entrée. Par conséquent, il y a peu de turbulences dans le réservoir et les particules ont une forte tendance à sédimenter et obstruer la vitre de la sonde. C'est pour cela que l'on observe (sur les courbes turbidité = f(temps)) que la sonde en sortie s'encrasse bien plus vite que celle en entrée (un exemple de ce type de courbe est présenté sur la Figure 15).

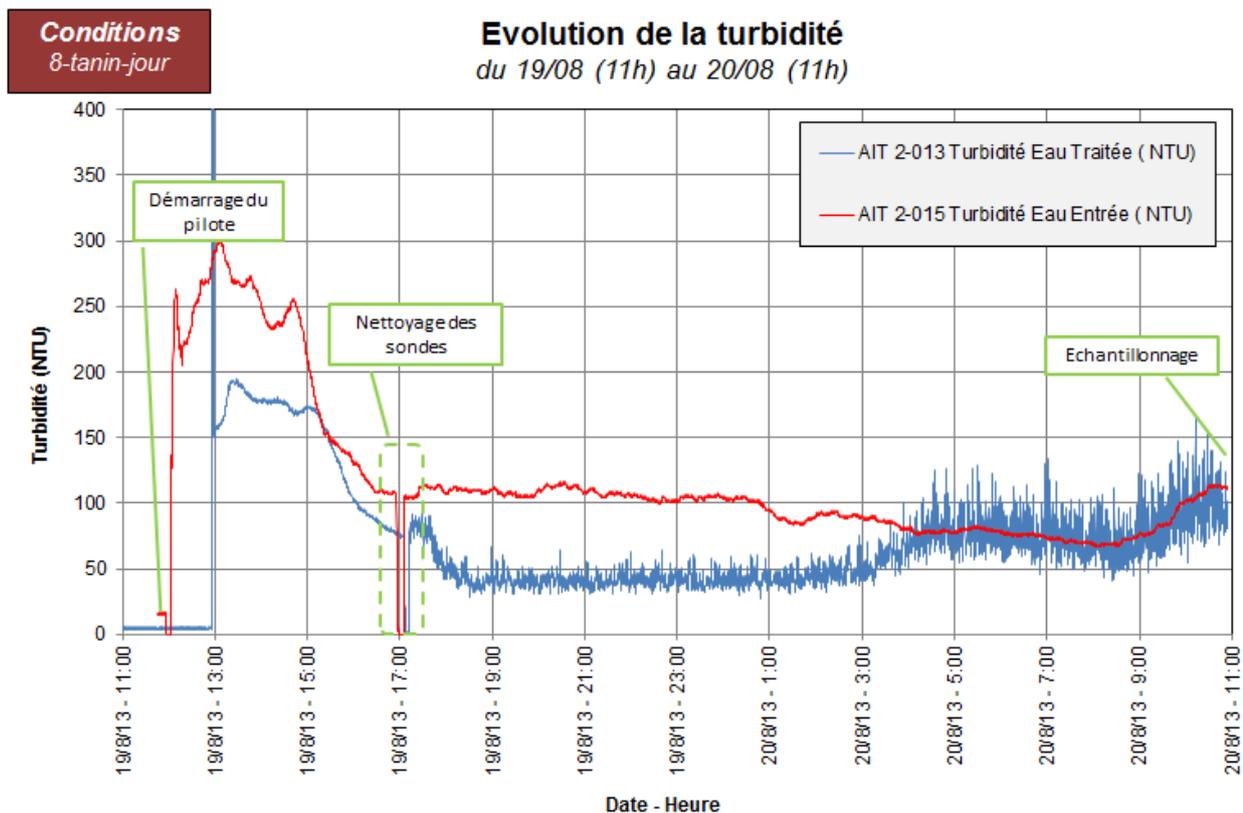


Figure 15 : Courbe turbidité en fonction du temps (semaine du 19/08/2013)

**Améliorations possibles :**

Le système peut être amélioré en déplaçant le point de by-pass, soit directement à la sortie du décanteur (avant la séparation des conduites), soit après la réunification des conduites. Cette amélioration serait la plus efficace pour obtenir des résultats exploitables.

Cependant, une autre solution à court terme peut être envisagée. Il s'agirait de modifier la configuration du réservoir en empêchant au maximum les particules de décanter en ajoutant une résine (ou autre matériau) au fond du réservoir (en rouge sur la Figure 16). Ainsi, les particules glisseraient et seraient ré-entraînées par le flux entrant.

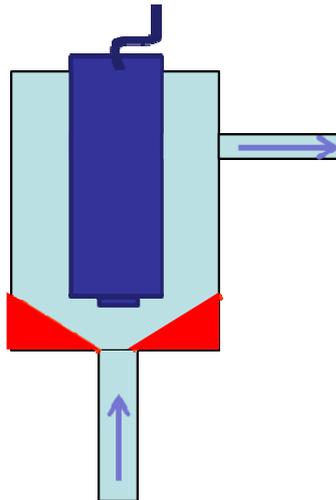


Figure 16 : Amélioration de la configuration du réservoir de sortie avec l'ajout d'une résine

### III – Contribution au projet datEAUbase <sup>(7)</sup>

#### 1) Présentation de la base de données

Dans le cadre du projet monEAU, une grande quantité de données est récoltée. En effet, la mesure de la qualité de l'eau en ligne génère un bon nombre de données, qu'il est nécessaire par la suite de stocker et de manipuler. Le principal problème réside aujourd'hui dans la quantité de données récoltée.

La solution apportée a été la création d'une base de données, la datEAUbase. Son principal objectif est de stocker une grande quantité de données, et de pouvoir par la suite les manipuler afin d'améliorer la qualité des données.

Son principe est simple. La base de données se compose en trois parties distinctes : une interface d'importation, la base de données proprement dite et une interface de visualisation des données (voir Figure 17).

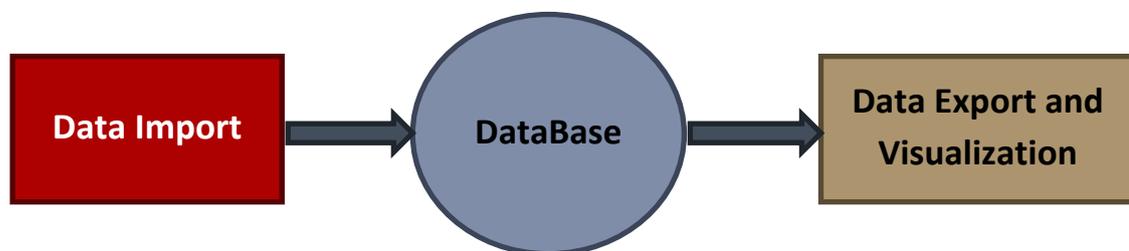


Figure 17 : Schéma de principe de la datEAUbase

#### **Data Import :**

L'interface Data Import a été créée sur Microsoft Office Excel 2010. Il s'agit d'une feuille Excel contenant des macros (voir Figure 18). L'utilisateur doit compléter la feuille « Water Quality », en renseignant, à l'aide de listes déroulantes (seulement pour les paramètres en jaune et rouge) :

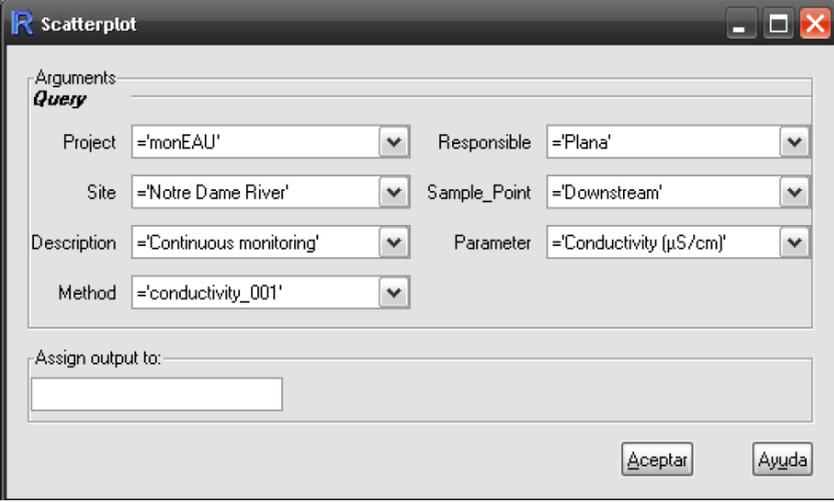
- Le projet (ex : monEAU)
- Le responsable de la manipulation
- Le site où a été prélevé l'échantillon (ou l'endroit où la mesure a été effectuée dans le cas de mesure en ligne)
- Une description (ex : Temps sec, conditions de tempête, etc.)
- Le numéro de l'expérience
- Le paramètre avec son unité
- La méthode utilisée (SOPs ou sonde utilisée)

Enfin, l'utilisateur doit entrer manuellement : la valeur obtenue, l'heure et la date de l'échantillonnage.

Il existe certaines commandes, gérées par des macros, qui permettent de faciliter l'importation des données :

- **Start/Update** : commence une acquisition de données
- **Clear** : supprime toutes les données, une fois celles-ci exportées dans la base de données
- **Copy** : copie les paramètres en jaune lorsque ceux-ci sont redondants
- **Save** : enregistre les données rentrées sous forme d'une feuille Excel
- **Export** : exporte les données vers la base de données





The screenshot shows the 'Scatterplot' window in R. It features a 'Query' section with several dropdown menus for filtering data. The parameters are as follows:

Field	Value
Project	'monEAU'
Responsible	'Plana'
Site	'Notre Dame River'
Sample_Point	'Downstream'
Description	'Continuous monitoring'
Parameter	'Conductivity (μS/cm)'
Method	'conductivity_001'

Below the query section, there is an 'Assign output to:' field which is currently empty. At the bottom right, there are two buttons: 'Aceptar' and 'Ayuda'.

Figure 20 : Interface graphique de consultation de données

Une fois les données voulues importées, le programme créé sous R va permettre de tracer des graphiques (voir Figure 21).

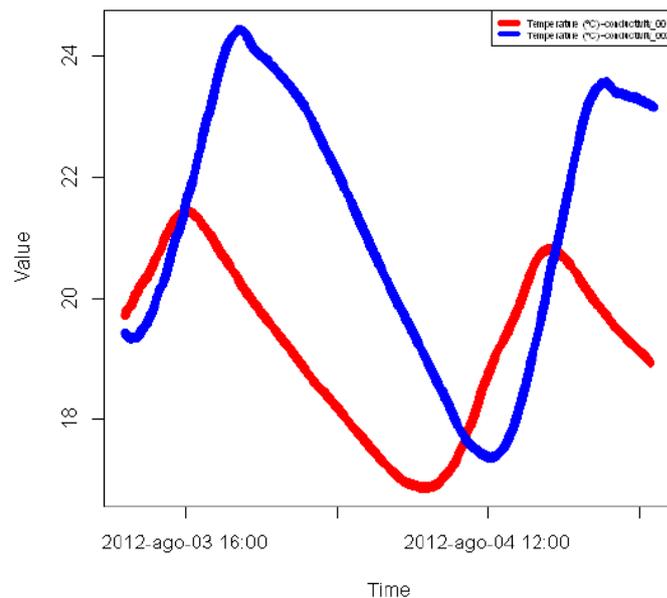


Figure 21 : Exemple de graphique - Un paramètre mesuré par un capteur à deux stations

## 2) Création d'un nouveau projet

Actuellement, seuls les projets *monEAU* et *retEAU* sont connus de la base de données. Le but ici est de créer le projet *primeEAU* au sein de l'interface d'importation de données. En effet, sur le fichier Excel, il existe une feuille pour chaque projet, avec la liste des responsables, sites, paramètres, etc. Cela permet par la suite l'affichage dans les listes déroulantes de la feuille « Water Quality ». La feuille correspondant au projet *monEAU* se trouve en Annexe 1 : Feuille Excel du projet *monEAU*.

L'objectif est donc ici de faire de même avec *primeEAU*, qui est un projet actuellement en cours. A long terme, le but est de créer tous les projets du groupe *modelEAU* afin que toutes les données récoltées puissent être stockées à un même endroit. Il est très utile pour une chaire de recherche comme *modelEAU* de posséder sa propre base de données, car elle permettra de continuer l'exploitation de données récoltées.

Dans le cadre de la création du projet *primeEAU* dans la *datEAUbase*, il a été nécessaire de collaborer avec tous les acteurs de ce projet, à savoir les postdocs, doctorants, professionnels de recherches ou stagiaires faisant (ou ayant fait) des expériences au sein de ce projet. Ainsi, chaque personne a pu renseigner un grand nombre d'informations :

- Le site d'où proviennent les échantillons
- Le point d'échantillonnage
- Une description (dans le cadre de *primeEAU*, différentes conditions sont testées chaque semaine, comme l'heure d'échantillonnage, le débit et l'ajout (ou non) de produits chimiques)
- Les expériences réalisées (avec le SOP associé ou la sonde utilisée pour la mesure)

A partir de chaque SOP, il suffit de déterminer tous les paramètres qui sont calculés, et qu'il est utile de stocker dans une base de données. Cela peut être un résultat brut comme un résultat issu d'un calcul préalable (par exemple, pour la mesure de MeS, le résultat brut est une différence de masse, mais le résultat qui nous intéresse est une concentration : il faudra d'abord faire un calcul avant de rentrer la valeur dans la base).

La feuille *primeEAU* se trouve en Annexe 2 : Feuille Excel du projet *primeEAU*. Il sera nécessaire par la suite d'ajouter des informations dans la base de données sur Access. Malheureusement, par manque de temps, je n'ai pu effectuer cette tâche.

## 3) Problèmes rencontrés

Durant ce stage, un autre objectif concernant la *datEAUbase* était de commencer à importer des données dans la base de données. Malheureusement, en raison d'un problème au sein du fichier Excel d'importation, cela n'a pas pu être réalisable.

En effet, un message d'erreur Visual Basic apparaissait à chaque tentative d'importation. Le plus étonnant est le fait que l'importation fonctionnait sur l'ordinateur de ma responsable, Janelcy Alferes, mais sur aucun autre ordinateur. N'ayant pas les connaissances VBA nécessaires, nous n'avons pu résoudre ce problème. La personne ayant créé ce fichier, une ancienne étudiante à la maîtrise, ne reviendra à l'université qu'en octobre, et tentera de régler le problème à ce moment-là.

# Conclusion générale

La connaissance de la qualité d'une eau est un point essentiel dans le domaine de l'environnement. Elle permet de repérer les éventuelles pollutions, ou alors d'étudier l'efficacité des procédés de traitements des eaux. Les stations monEAU ont pour but de mesurer tout un panel de paramètres, mais surtout de les connaître en temps réel afin de réagir le plus vite possible en cas d'anomalie. Ainsi, lors de ce stage, j'ai pu participer à la calibration des capteurs d'une station monEAU, installée aujourd'hui dans une lagune dans le cadre du traitement d'eaux usées par lagunage.

D'une part, durant tout l'été, j'ai étudié l'installation de mesure de la turbidité sur un décanteur primaire, situé à la station d'épuration de la ville de Québec. Ainsi, un entretien hebdomadaire des turbidimètres a été effectué, et a permis la réalisation d'un protocole normalisé quant à l'entretien et la mise en service de ces sondes. Une fois les sondes nettoyées et calibrées, il a été possible d'évaluer la fiabilité des données émises, en comparant les données issues des sondes aux valeurs obtenues en laboratoire. Par analyse statistique, il a été possible d'établir une corrélation fiable, dans le cas de l'effluent d'entrée, entre la valeur de turbidité lue et la valeur réelle de MeS. En revanche, l'absence de corrélation sur l'effluent de sortie a mis en évidence un problème sur la configuration du système. La prise d'eau permettant la turbidimétrie devrait être déplacée, afin d'augmenter le débit circulant dans l'enceinte de la sonde.

D'autre part, j'ai pu aider à l'amélioration de la base de données datEAUbase, toujours en cours d'élaboration à ce jour. L'interface d'importation a été améliorée de manière à ce qu'une plus grande quantité de paramètres puissent être ajoutée à la base. Cependant, il y a encore beaucoup de points à améliorer, comme par exemple l'utilisation de MS Office Access, qui risque, à long terme, de ne pas être suffisante quant à la quantité de données stockée.

## **Problèmes rencontrés**

- Tous les capteurs n'ont pas été disponibles à temps, seulement quelques validations ont pu être effectuées.
- Résultats inexploitable sur l'effluent de sortie du décanteur.
- La base de données nécessite encore des améliorations : des recherches sont menées afin de changer la plateforme informatique.

## **Acquis du stage**

- Intégration à une équipe de recherche
- Connaissances sur les différents capteurs
- Travail en autonomie et prise d'initiatives
- Réalisation d'un cafEAU (séminaire visant à améliorer le transfert de connaissances au sein du groupe modelEAU)
- Rédaction d'un SOP

# Bibliographie

1. **Alferes, Janelcy.** *Wemotaci project preparation*. Québec : Université Laval, 2013. p. 26, Rapport technique. WemotaciProjectPreparation\_20130815.
2. **Radiometer Analytical SAS.** *pH : Théorie et pratique*. Villeurbanne : s.n., 2003.
3. Oenodev. *HQD - Electrochimie numérique*. [En ligne] 2010. [Citation : 13 Octobre 2013.] [http://www.oenodev.com/outils\\_HQD.asp](http://www.oenodev.com/outils_HQD.asp).
4. Vimoutiers. *La station d'épuration de Vimoutiers est en cours de réhabilitation*. [En ligne] [Citation : 10 Septembre 2013.] <http://www.vimoutiers.fr>.
5. **Hach.** Hach Lange. *Hach-Lange France - SOLITAX ts-line sc*. [En ligne] 2010-2012. <http://www.hach-lange.fr/view/product/EU-LXV423.99.00100/SOLITAX%20ts-line%20sc?productCode=EU-LXV423.99.00100&acc=true>.
6. **Dijoud, Lucile.** *Projet monEAU du groupe modelEAU*. Québec, Canada : Université Laval, 2011. p. 40, Rapport de stage.
7. **Plana, Queralt.** *Efficient on-line monitoring of river water quality using automated measuring stations*. Québec, Canada : Département de Génie Civil et de Génie des Eaux, Université Laval, 2013. p. 143, Mémoire.



## Annexe 2 : Feuille Excel du projet primeEAU

Site	Sample Point	Description	Experiment Number	Parameter (u)
Saupt WWTP	Primary clarifier_inlet	2-day-alum	1	Acetate injector
	Primary clarifier_outlet	2-day-nothing	2	Ammonia (NH4-N)
	Primary clarifier_sludge	2-day-starch	3	Analysis time
		2-day-tannin	4	ATU injection (
		2-night-alum	5	BOD <sub>5</sub> (mg/
		2-night-nothing	6	BOD <sub>ult</sub> (mg/
		2-night-starch	7	Carbohydrate (
		2-night-tannin	8	CODsett (mg
		4-day-alum	9	CODtot (mg
		4-day-nothing	10	Conductivity (μ
	4-day-starch		Dilution fac	
	4-day-tannin		Duplicate nur	
	4-night-alum		F (V) (%)	
	4-night-nothing		Flow (m <sup>3</sup> /s	
	4-night-starch		Lipid (mg/	
	4-night-tannin		O2 (mg/L/	
	6-day-alum		Particle number pe	
	6-day-antifoaming		pH	
	6-day-nothing		rO2 (mgO2/L	
	6-day-starch		Rope-length	
	6-day-tannin		Sample injector	
	6-night-alum		Sample num	
	6-night-nothing		Sample volum	
	6-night-starch		Settling velocity	
	6-night-tannin		Sludge origi	
	8-day-alum		Sludge volum	
	8-day-nothing		Storage time	
	8-day-starch		Temperature	
	8-day-tannin		Total nitrogen	
	8-night-alum		TSS mass balar	
	8-night-nothing		TSSsett (mg	
	8-night-starch		TSSstot (mg)	
	8-night-tannin		Turbidity (N	
			VFA (mg/L	
			VSS mass balar	
			VSSsett (mg	
			VSSstot (mg)	