

*Vérification du bon fonctionnement du
pilEAUte modelEAU dans le domaine
du traitement des eaux usées, analyses
d'échantillons et maintenance des
équipements de recherche.*

Rapport de Stage Session 2015

Université LAVAL

SEVELLEC Florian
VANROLLEGHEM Peter
Laboratoire modelEAU / pilEAUte



UNIVERSITÉ
LAVAL



SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	2
I. Présentation de l'équipe modelEAU.....	3,4
II. Objectif du stage au laboratoire modelEAU et au pilEAUte...5,6	
III. Plan du pilote de traitement des eaux usées.....	7-11
IV. Présentation des équipements du laboratoire modelEAU....	12-14
V. Calcul de MeS et MVeS.....	15-17
VI. Exploitations et analyses des résultats.....	18
CONCLUSION.....	19
REMERCIEMENTS.....	20

INTRODUCTION

Afin de clôturer leur formation, les étudiants du département Génie Chimique Génie des Procédés (DUT GCGP) doivent réaliser un stage en rapport avec leur formation. Les secteurs sont diverses passant par l'environnement, la pétrochimie, le domaine pharmaceutique, la cosmétique, l'agro-alimentaire... Personnellement j'ai décidé de réaliser mon stage dans le domaine de l'environnement, plus précisément en génie des eaux en traitement de l'eau usée au sein de l'Université LAVAL. L'eau et son traitement touche de nombreux postes sur lesquels de nombreux chercheurs, doctorants, ingénieurs effectuent des recherches quotidiennes afin d'optimiser le traitement de l'eau usée en station d'épuration, notamment sur le principe de boues activées, en bassin d'aération. C'est pourquoi j'envisage de me soucier de l'eau et son avenir, en réalisant mon stage au sein de l'équipe de recherche modelEAU sous la direction de Peter VANROLLEGHEM, enseignant chercheur à l'université LAVAL.

L'université LAVAL compte à présent plus de 48 000 étudiants (dont 6600 provenant de l'étranger), 3200 professeurs agrées ainsi que 250 associations étudiantes sur le campus. La branche génie des eaux, vise sensiblement le même objectif que celle du génie environnement, à savoir, protéger la santé mais également le bien être public tout en se souciant de l'environnement. La notion de développement durable est omniprésente dans le sens où l'on doit, en tant que chercheurs, optimiser les équipements de production, de clarification de l'eau tout en ayant en tête que l'environnement sera directement impacté.

En plus de mettre l'accent sur la qualité de l'eau et sa disponibilité les ingénieurs doivent en permanence planifier et gérer la ressource en eau dans un esprit de développement durable en minimisant la pollution lors du rejet de l'eau en rivière à l'issue de son traitement par boues activées en usine de traitement de l'eau usée par exemple.

L'objectif principal de ce stage consiste à réaliser des tests, faire de la maintenance, et également réaliser des échantillonnages sur un pilote de traitement des eaux usées de 5m³ au laboratoire modelEAU. Suite aux analyses réalisées en laboratoire, il sera intéressant de résoudre les diverses problèmes concernant l'optimisation du fonctionnement du procédé. Il faut garder en tête, que la météo (précipitations), est un facteur influent sur l'eau et son traitement.



I. Présentation de l'équipe modelEAU

En février 2006, le groupe de recherche modelEAU fait son apparition sur la Modélisation de la Qualité de l'EAU, sous la directive de Peter VANROLLEGHEM, présentement reconnu comme ingénieur. Au sein du pileAUte de l'université LAVAL, deux pilotes de traitements d'eau usées de 5 m³ ont été installés. Il y en a donc un qui servira principalement de référence en conditions de fonctionnement standard puis un autre sur lequel on pourra réaliser divers tests (pH, Bicarbonate, Nitrate...).



Peter VANROLLEGHEM, est enseignant chercheur à l'Université LAVAL. Il a réalisé son doctorat sur la modélisation et le contrôle des procédés par boues activées, en insistant sur le calibrage du modèle et la conception expérimentale. Soucieux de l'eau et son avenir, lui et ses chercheurs intégrant le groupe modelEAU, s'occupent de la recherche sur la qualité de l'eau ainsi que sur la surveillance et le contrôle des systèmes de traitement de l'eau. Son équipe s'agrandit de manière exponentielle et est à présent constitué officiellement de deux assistants de recherche, 5 posts-doctorants, 9 doctorants et 6 étudiants en Master, en sachant que chaque années d'autres membres s'ajoutent à l'équipe modelEAU, en plus des différents stagiaires qui effectuent sur leur stage au sein de l'équipe modelEAU en vue de finaliser leur formation ou cursus professionnel.

Sylvie LEDUC, professionnelle au département de génie civil et de génie des eaux- (Pavillon Adrien-Pouliot) a comme projets de recherche, de s'occuper d'une station de mesure automatisée de la qualité de l'eau ainsi qu'étudier sur la respirométrie avancée pour la calibration d'un modèle de boue activée. Elle possède un baccalauréat en géologie réalisé en France et détient une maîtrise en Sciences de la terre Technologies environnementales à l'Université Laval (2007). Elle occupe un poste de professionnelle de recherche depuis mai 2010 pour la Chaire de Recherche du Canada en modélisation de la qualité de l'eau à l'Université Laval à Québec, Canada.

Sylvie, étant le bras droit de Peter VANROLLGHEM, occupe le poste de responsable de l'équipe modelEAU au laboratoire d'environnement où elle a en charge la gestion du matériel ainsi que la formation des étudiants. Elle joue également un rôle de soutien dans les projets primeEAU et monEAU.

Sey-Hana SAING, est depuis 2014, technicien supérieur au département génie civil et génie des eaux de l'Université LAVAL, Québec et travaille pour la Chaire de recherche du Canada en modélisation de la qualité de l'eau. Il occupe, présentement, le poste de responsable du laboratoire-pilote modelEAU de traitement des eaux usées ainsi que des stations de mesures sur la qualité de l'eau.

De nombreux stagiaires, viennent chaque année, effectuer leur stage dans la branche génie des eaux. C'est principalement Sey-Hana qui supervise l'organisation des manipulations à réaliser au pilEAUte sous les instructions de Peter. Il nous a principalement montré la gestion et le fonctionnement des installations.

Quoi qu'il en soit, le traitement d'une eau brute dépend systématiquement de sa qualité, dépendant de son origine (industrielle ou urbaine) et peut varier dans le temps. Il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition par le biais d'analyses régulières. Il peut arriver cependant qu'une pollution subite ou trop importante oblige l'usine à s'arrêter momentanément.

Le traitement classique et complet d'une eau s'effectue en plusieurs étapes dont certaines ne sont pas nécessaires aux eaux les plus propres.



Bâtiment du département génie civil, génie des eaux au sein de l'Université LAVAL

II. Objectif du stage au laboratoire modelEAU et au pilEAUte

Proposition de recherche

Démarrage d'une usine pilote de traitement des eaux usées :

- ❖ Tout au long du stage de recherche nous avons réalisé des expériences en laboratoire afin de vérifier le bon comportement d'une usine pilote actuellement en installation à l'université LAVAL. Les deux pilotes possèdent un bassin de stockage d'un volume de 5 m³ et fonctionnent selon le principe des boues activées.



Réacteurs biologiques aérés

Le principe étant de dégrader la matière organique (en suspension (colloïdes) ou dissoute dans les eaux usées) principalement par des bactéries, qui seront elles-mêmes mangées par des microorganismes.

Le brassage permanent du milieu permet le meilleur accès des bactéries aux particules et une aération importante nécessaire à la pérennité du système de biodégradation. Il est suivi d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération.

Les principaux objectifs sont :

- éliminer la matière organique
- éliminer la pollution azotée
- fixer le phosphore sur la matière à décanter
- équilibrer les boues

- ❖ De nombreuses analyses et expériences de performance ont été réalisées en laboratoire sur ces deux pilotes afin de les caractériser.
 - ❖ Les pilotes sont équipés d'une diversité de capteurs (pH, Nitrate, Ammonium...).
 - ❖ Ce qui permet de suivre avec précision le traitement de l'eau ainsi qu'obtenir le plus d'information à partir des analyses d'échantillonnages.
 - ❖ L'entretien des pilotes fait également parti des tâches à réaliser
-
- ❖ **Résumé:** L'objectif de ce stage est de faire des expériences en laboratoire pour vérifier le bon comportement d'une usine pilote dans le traitement des eaux usées, d'analyser des échantillons, et effectuer une maintenance sur l'installation.



III. Plan du pilote de traitement des eaux usées



Photo du pilEAUte de traitement des eaux usées (Université LAVAL / génie des eaux)

Le projet de recherche sur la qualité de l'eau et l'optimisation de son traitement sous la direction de Peter VANROLLEGHEM se passe au pilEAUte du département génie civil, génie des eaux à l'Université LAVAL. Au sein du complexe, on trouve deux pilEAUte de traitement des eaux usées d'un bassin de stockage de 5m³ fonctionnant tous les deux par aération de boues activées.

En effet, l'eau brute provient d'une résidence d'environ 200 personnes située à une centaine de mètres de l'Université LAVAL. Selon les conditions météorologiques mais également des conditions de vie des résidents, l'eau provenant de cette source voit continuellement sa composition changer. Lors de fortes précipitations (souvent le cas durant le mois de mai), on peut observer un phénomène inévitable, la conductivité chute. Les rejets industriels sont, par déduction, la plupart du temps, source de pollution. C'est pourquoi Peter a pris l'initiative de réaliser des tests dans son laboratoire afin d'étudier correctement le comportement de l'eau et de trouver les produits (biologiques ou synthétiques) les plus adaptés en vue de traiter l'eau provenant de source en vue de pouvoir la rejeter en rivière à la sortie du décanteur secondaire. Il est donc très important de connaître la composition de notre eau à la sortie du décanteur secondaire, afin de ne pas polluer nos rivières, et par conséquent l'environnement. La composition de l'eau en sortie dépend de l'aération qu'elle a subi lors du passage dans les différents réacteurs aérés par des bouches d'aération d'oxygène où le débit est contrôlé afin de mieux caractériser le procédé et de suivre la composition de l'eau.

Concrètement, l'eau brute arrive dans le décanteur primaire où elle suit un premier traitement. On obtient, suite à ça, les boues primaires qui seront stockées dans un réservoir de boues. Le traitement primaire élimine les plus grosses particules présentes dans l'eau usée, celles-ci vont ainsi se déposer au fond du décanteur primaire par le phénomène de décantation (séparation, par différence de gravité, de produits non miscibles, dont l'un au moins est liquide en l'occurrence l'eau).



En sortie du décanteur primaire, l'eau usée traverse des réacteurs biologiques basés sur le principe de boues activées. Les réacteurs biologiques sont aérés par de l'oxygène mais nous avons également la possibilité d'y ajouter de l'azote et du phosphore afin d'optimiser le traitement de l'eau. Une agitation est nécessaire afin de casser les floccs et d'éviter le phénomène de décantation en ce point du procédé. Les bassins d'aération représentent le cœur même du procédé. Ils permettent réellement de mettre en contact les bactéries (principaux acteurs du traitement biologique) en contact avec l'oxygène. Ainsi les bactéries vont consommer l'oxygène puis se développer en vue d'absorber le maximum de pollution présent dans l'eau.



Suite à son passage dans les différents réacteurs biologiques, l'eau usée va subir un traitement secondaire, en vue d'éliminer les particules polluantes, ou néfastes pour l'environnement lors de son passage dans le décanteur secondaire. La décantation secondaire vise à la biomasse de l'eau traitée et permet ainsi une solidification et un début de formation des boues biologiques décantées.



En sortie de réacteur biologique, l'eau va subir une clarification pour ensuite repartir en recirculation avec une partie de l'eau (propre et le plus dépolluée possible) rejetée en rivière ou dans le milieu naturel. En vue de maintenir une concentration constante en micro-organismes épurateurs, les boues doivent séjourner le moins possible dans le clarificateur.

Les boues issues du décanteur primaire et du décanteur secondaires sont stockées dans un réservoir de boues. Par la suite elles connaîtront un phénomène de déshydratation et on pourra en tirer du compost utilisable dans le domaine de l'agriculture une fois arrivée à maturation. Ainsi la qualité de l'eau est préservée et le traitement de l'eau usée tient compte du développement durable et de la protection de l'environnement par une dépollution constante en station d'épuration.

Afin de bien comprendre le procédé, voici des schémas de l'installation en différents points du pilEAUte modelEAU au sein du département génie civil, génie des eaux à l'Université LAVAL.

Précédant Suivant Vue Générale

OPERATEUR : **MODELEAUADMIN** PLC Date et Heure : 09 : 40 : 46 2015 / 06 / 02

UNIVERSITÉ LAVAL modelEAU VEOLIA WATER Solutions & Technologies

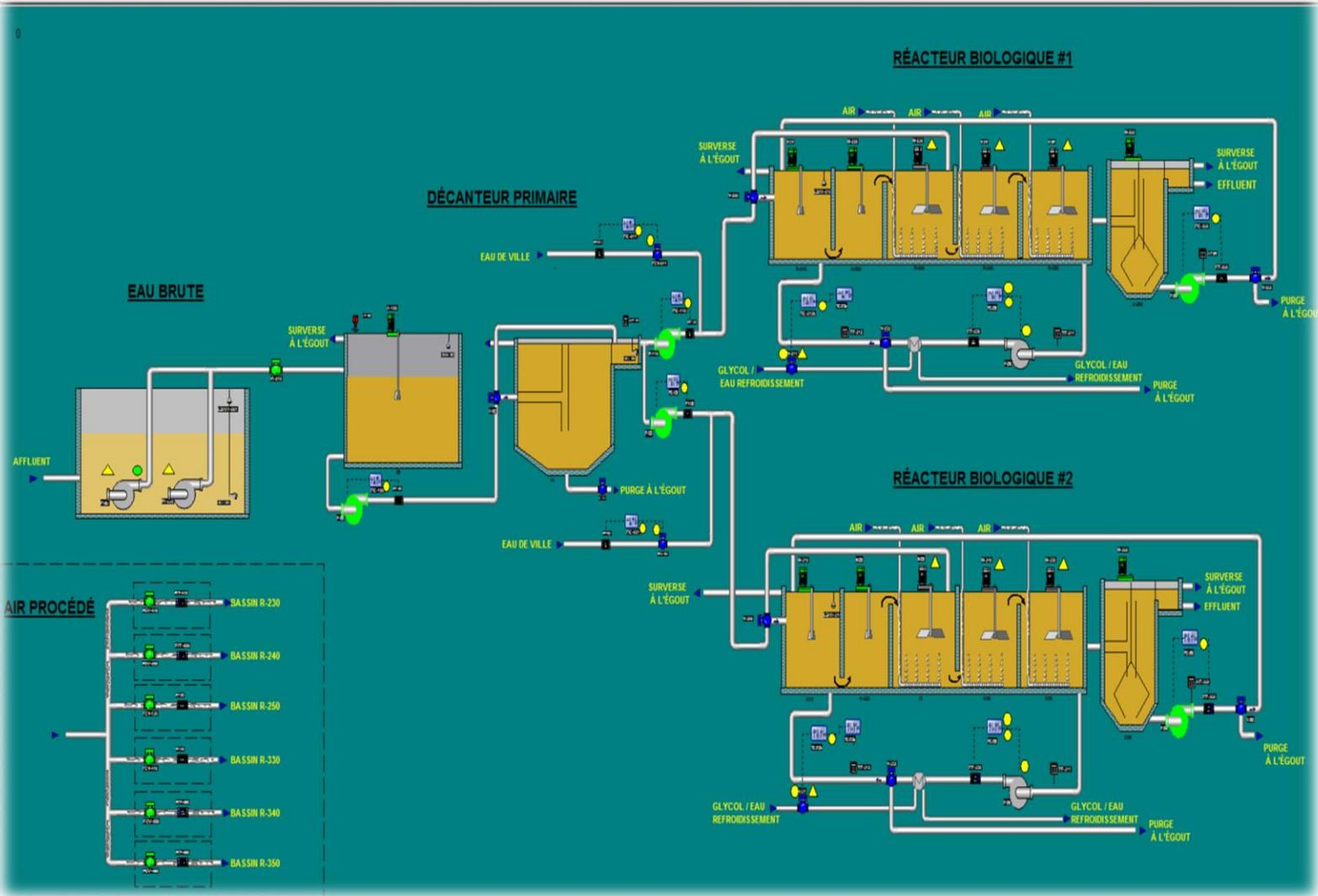
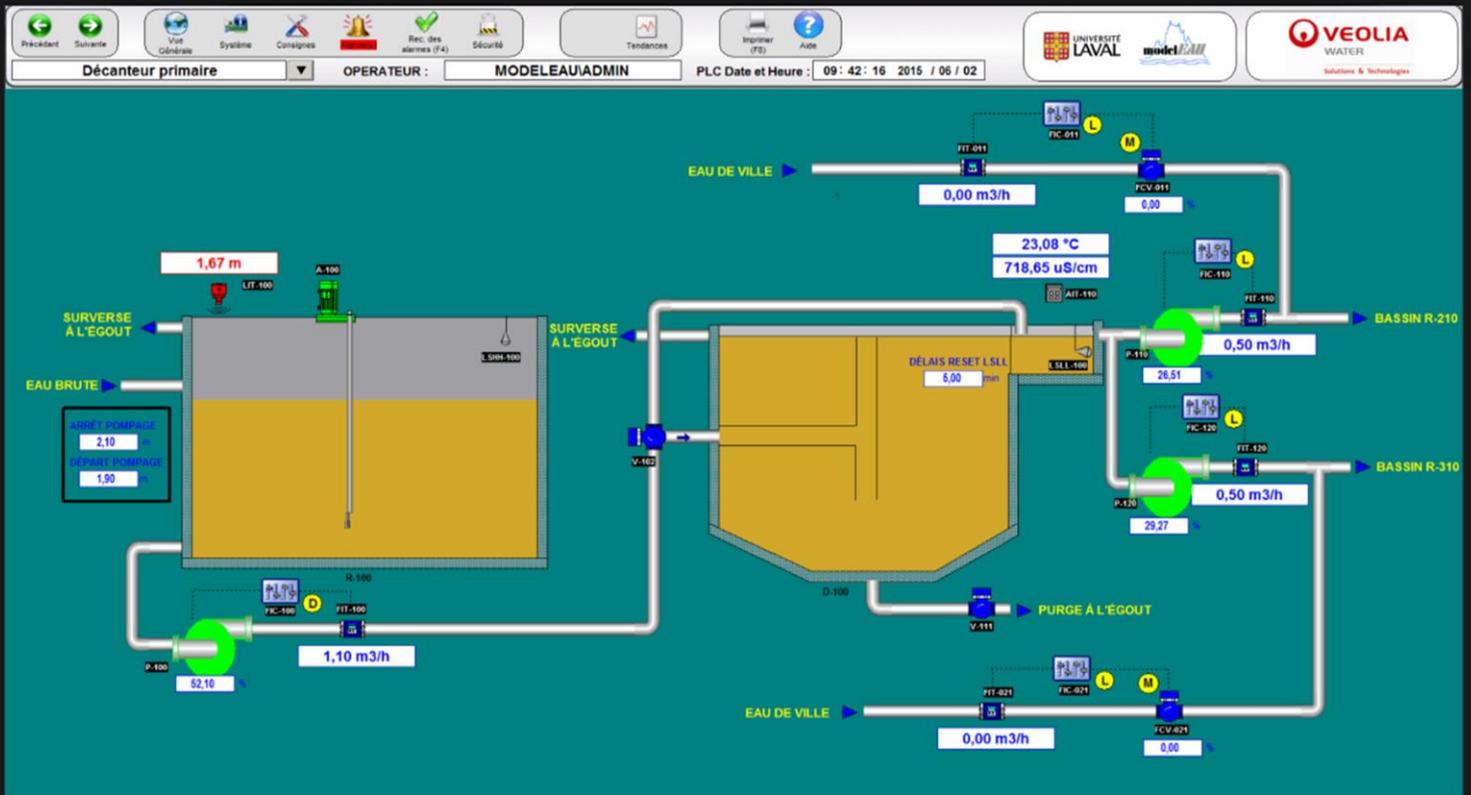


Schéma du Procédé global de traitement de l'eau usée au piEAUte



Gros plan sur l'arrivée de l'eau brute et l'entrée en décanteur primaire

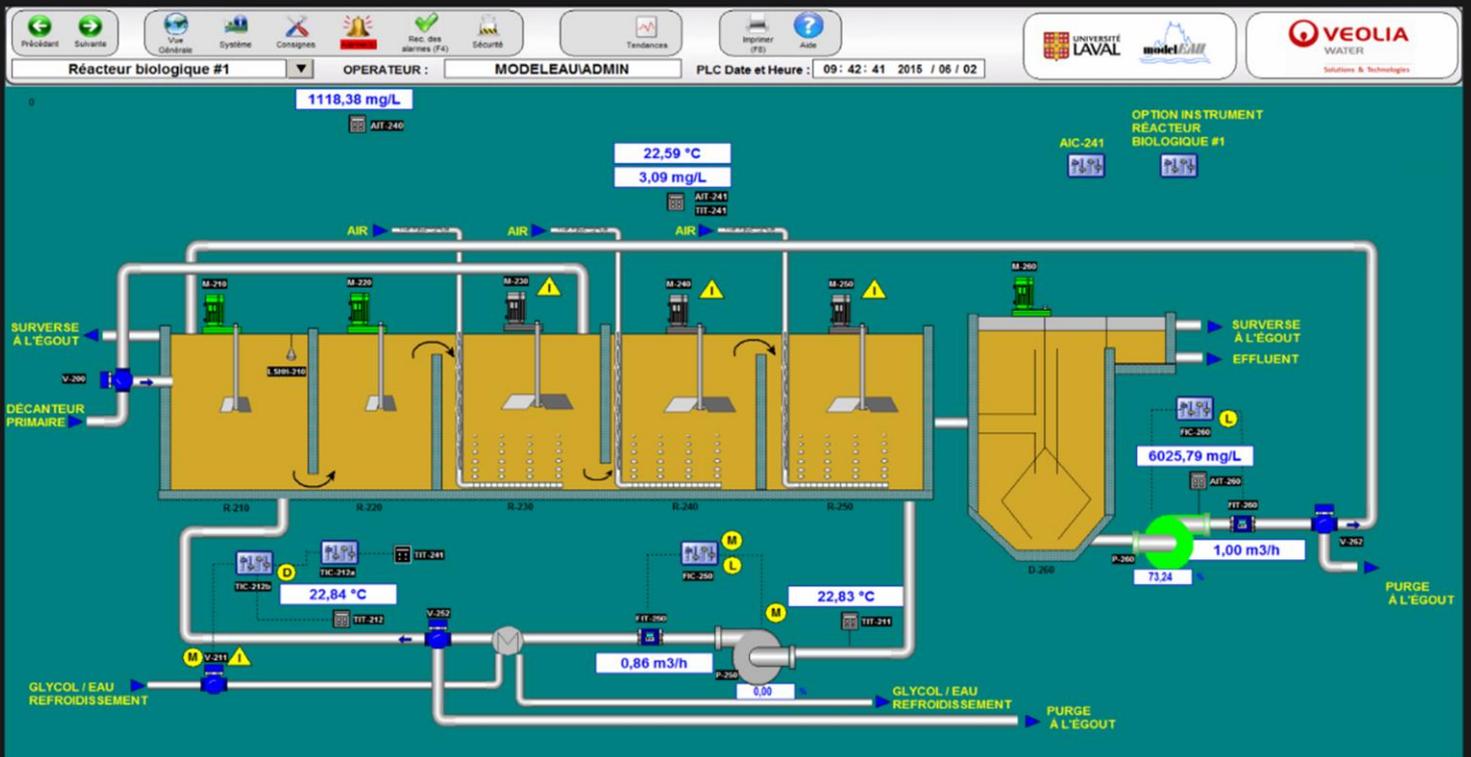


Schéma des différents réacteurs biologiques et du réacteur secondaire

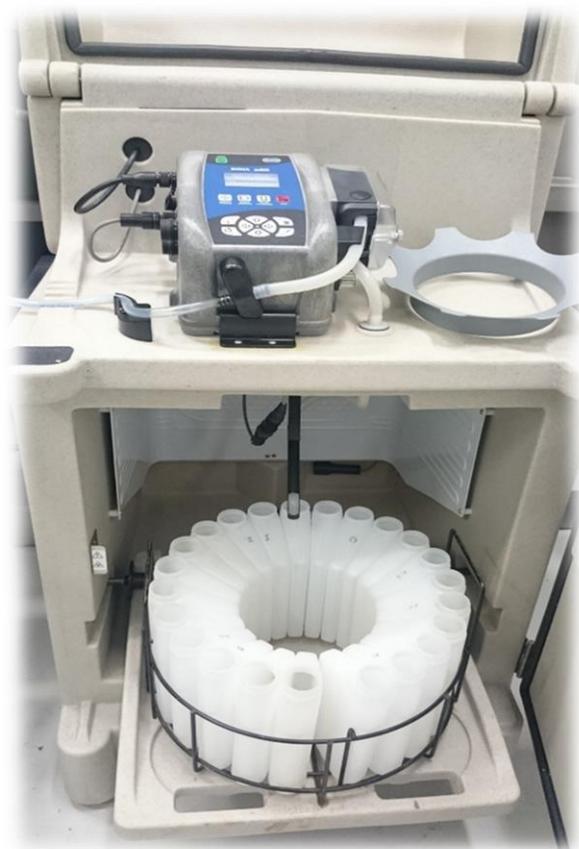
IV. Présentation des équipements du laboratoire modelEAU

Avant toute manipulation au laboratoire, il est recommandé de passer un test, le SIMDUT, afin de prendre connaissance des dangers potentiels liés aux manipulations au laboratoire modelEAU avec des produits plus ou moins toxiques pour la santé humaine et l'environnement.

Pour manipuler de l'eau usée, il est également préconisé de passer une formation biorisque. Il faut également obligatoirement être vacciné contre le tétanos mais aussi l'hépatite A et B.

Une fois cela réalisé, on peut à présent se rendre au laboratoire en vue d'effectuer des analyses sur l'eau afin de suivre son comportement et sa composition aux différents points du pilEAUte.

Afin d'analyser rapidement des échantillons provenant des différents points du pilEAUte, un échantillonneur automatique et programmable est à notre disposition. Ainsi grâce à différents programmes il est possible de réaliser une campagne d'échantillonnage sur 12 ou 24 heures, et ainsi déterminer l'intervalle de temps entre chaque prise d'échantillon. Cet outil permet un gain de temps considérable mais en outre, il offre une très grande précision concernant le volume versé.



Echantillonneur automatique



24 bidons pour une prise d'échantillons optimale sur 24 heures

Afin d'éviter une prolifération des micro-organismes, le laboratoire modelEAU est muni d'une chambre froide où chaque échantillon est rangé selon sa composition et son risque biologique pour l'environnement



Chambre froide du laboratoire modelEAU (éviter le risque de contamination)

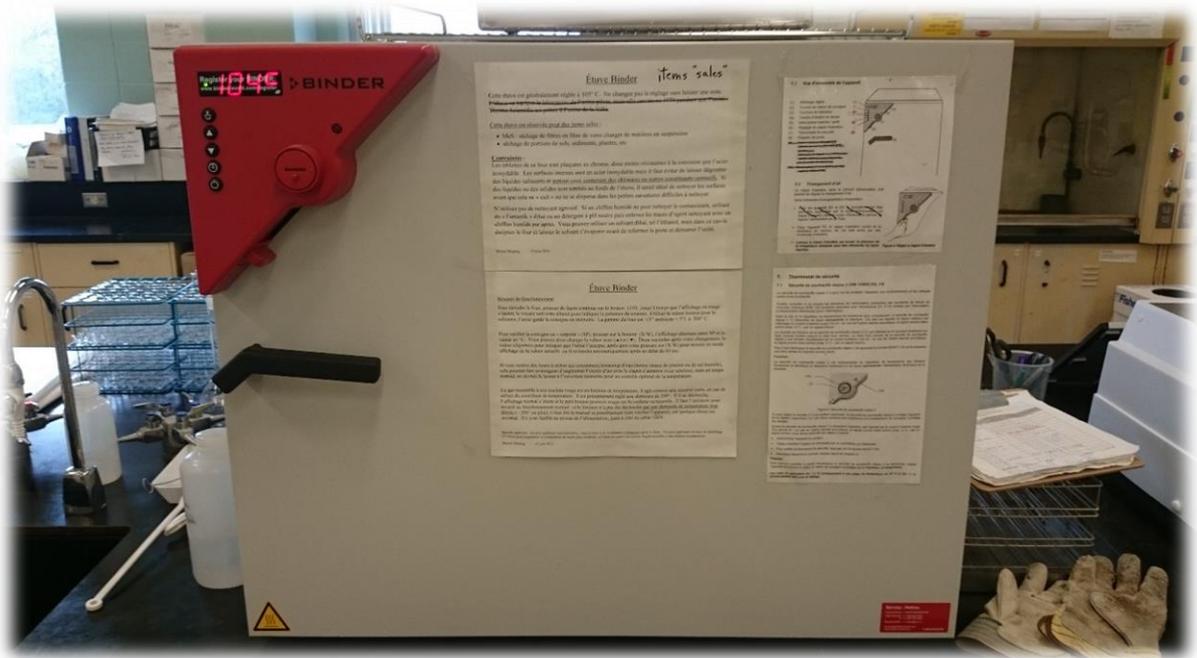
Au laboratoire on trouve un dessiccateur en vue d'éliminer les dernières humidités mais principalement pour refroidir les filtres. Une balance ultra précise (millième) est mis à disposition.



Dessiccateur

Balance ultra précise

Afin de conditionner les filtres, on les rince 3 fois avec un volume de 20 mL d'eau distillée puis on les places à l'étuve à 105 °C.



Etuve à 105 °C



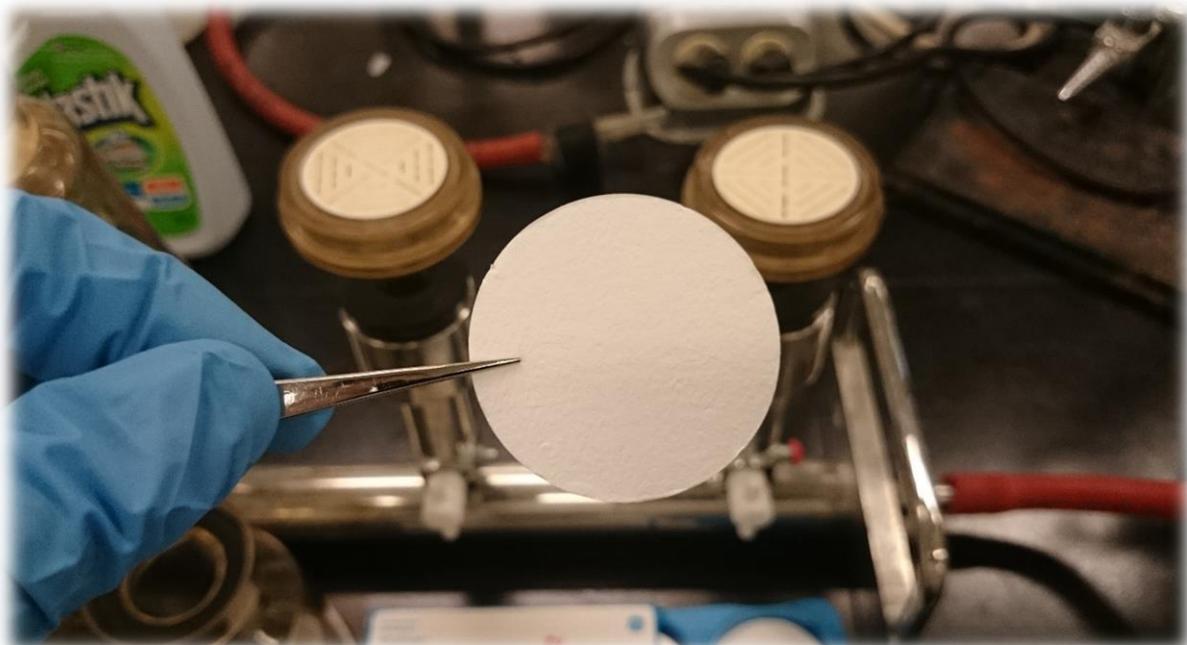
Afin d'éviter la contamination et la prolifération des micro-organismes, les déchets biologiques (filtres usagés, gants...) doivent être jeté dans une poubelle jaune comme présenté ci-contre

V. Calcul de MeS et MVeS

Les Matières en Suspension (MeS) sont de fines particules en suspension présentes dans l'eau. Elles peuvent être d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, où peuvent alors provenir des rejets industriels et domestiques.

Ainsi l'eau est polluée, et on constate une réduction de la photosynthèse en lien avec la formation de sédiments ainsi qu'un film empêchant plus ou moins la pénétration de la lumière (effet néfaste mécanique). Il existe également un effet chimique par constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments.

Afin de réaliser des MeS et MVeS, il suffit réellement d'effectuer une filtration. Cette opération unitaire consiste à faire passer notre eau usée à travers un filtre.



Disposition du filtre en vue de séparer l'eau des plus grosses particules (boues, sable...)





Possibilité de filtrer 6 échantillons à la fois

Une fois la filtration réalisée, nous obtenons des filtres avec des dépôts, plus ou moins importants selon la composition de l'eau à filtrer. Suite à ça, les filtres seront placés à l'étuve à 105 °C pour la réalisation de MeS pour une durée de 2 heures et au four à 550 °C pour une durée de 30 minutes pour la réalisation de MVeS. Après le passage à l'étuve, en vue de refroidir les filtres, ceux-ci seront placés au dessiccateur pendant une petite heure.



Obtention de dépôts suite à l'opération unitaire de filtration

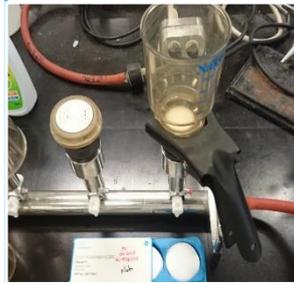
La procédure de filtration en vue de réaliser des MeS ou MVeS peut se résumer en 4 étapes :

Étape 1



Prélevement d'un échantillon suivant la concentration (turbidité)

Étape 2



Filtration de l'échantillon

Étape 3



Filtres placées à l'étuve pendant 2 heures (T=105°C) pour MeS / 30 minutes au four (T=550°C)

Étape 4



Déssicateur (30 minutes) puis on pèse les filtres → Calcul Excel

Le calcul de MeS se résume à l'opération suivante :

$$[\text{échantillon}] \left(\frac{g}{L} \right) = \frac{\text{Masse déposée sur le filtre (g)}}{\text{Volume filtrée (L)}}$$

VI. Exploitations et analyses des résultats

Voici une campagne d'échantillonnage sur 24 heures :

26- mai- 15	Moyenne [MeS] (g/L)	Ecart type MeS	Ecart relatif (%)	Moyenne [MVeS] (g/L)	Ecart type MVeS	Ecart relatif (%)	Rapport MVES/MES
EB 1							
17h	165,3	10,1	6,1	161,3	7,6	4,7	0,976
30							
19h							
30							
EB 2							
19h	141,3	8,3	5,9	126,0	8,7	6,9	0,892
30							
21h							
30							
EB 3							
21h	159,3	5,0	3,2	144,7	6,1	4,2	0,908
30							
23h							
30							
EB 4							
23h	145,3	4,2	2,9	134,0	3,5	2,6	0,922
30							
1h							
30							
EB 5							
1h	118,0	3,5	2,9	106,7	4,2	3,9	0,904
30							
3h							
30							
EB 6							
3h	134,0	7,2	5,4	122,7	8,3	6,8	0,915
30							
5h							
30							
EB 9							
9h	143,3	10,1	7,0	127,3	10,1	7,9	0,888
30							
11h							
30							
EB							
10	171,3	9,9	5,8	154,0	10,6	6,9	0,899
11h							
30							
13h							
30							

EB	276,0	7,2	2,6	251,3	8,3	3,3	0,911
11							
13h							
30							
15h							
30							
EB							
12	304,0	5,3	1,7	278,0	4,0	1,4	0,914
15h							
30							
17h							
30							

Si l'on observe les résultats de cette campagne d'échantillonnage réalisée sur 24h à date du 26 mai 2015, on constate que les concentrations en MeS et MVeS sont sensiblement constantes sur les 14 premières heures, puis après la concentration augmente nettement jusqu'à atteindre 304 mg/L pour les MeS. Si l'on regarde le rapport MeS / MVeS, nous sommes dans un bon ordre de grandeur car la valeur attendue se situe autour de 0,95 pour de l'eau brute.

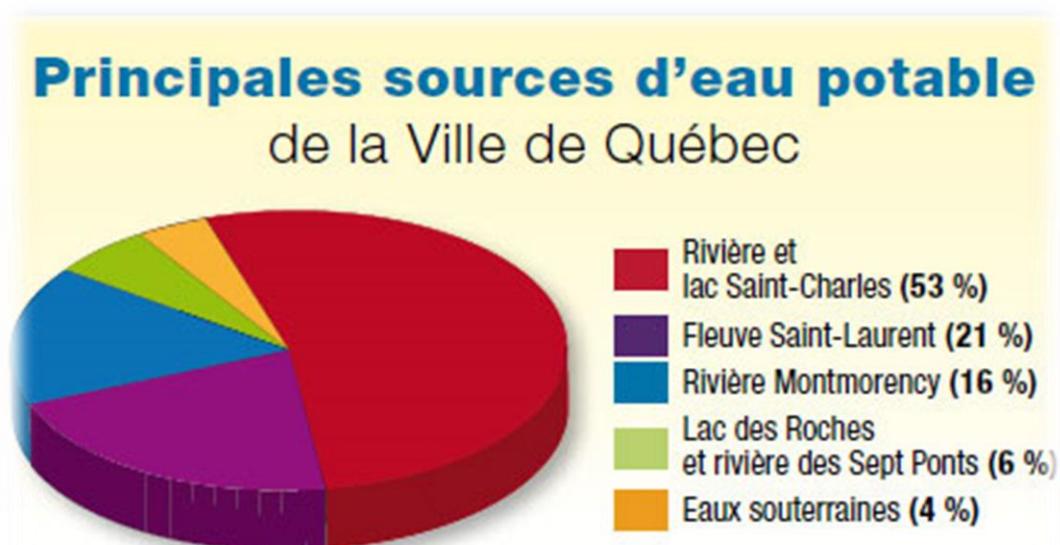
CONCLUSION

Pour conclure, ce stage au sein de l'équipe modelEAU à l'Université LAVAL m'as permis concrètement d'enrichir mes connaissances dans le domaine de l'eau et plus particulièrement, dans le traitement de l'eau usées par aération de boues activées. Cette méthode est, à l'heure actuelle très développée, notamment au Canada. Le principe d'aération de bassins se révèle très efficace pour enlever la pollution et les substances toxiques pour l'environnement et permet ainsi de traiter l'eau usée de source industrielle ou urbaine en vue de reverser l'effluent obtenu, en sortie de décanteur secondaire, dans les rivières situées à proximité de la station d'épuration.

Cependant, il est évident qu'il reste à approfondir les connaissances dans le domaine du traitement de l'eau, notamment sur le danger potentiel que peuvent produire les micros polluants sur la santé humaine et l'environnement.

Nous avons donc vu que concrètement que l'obtention de la concentration en MES se fait aisément par Excel (masse MES / volume). Il est cependant important d'émettre des hypothèses sur les valeurs sensiblement insensées (mauvaise homogénéisation de la solution à filtrer, grosse particule présente sur le filtre, ...) en vue de cerner les potentiels problèmes présents sur l'installation et ainsi optimiser son fonctionnement. Nous avons pu observer que lors de fortes pluies la conductivité avait tendance à chuter. On peut donc en conclure que la météo est défensivement un facteur influent sur l'eau et son traitement. Le comportement de la conductivité dépend ainsi directement de la météo (précipitations, acidité, pH).

Actuellement, au Québec la répartition des sources d'eau potables est la suivante :



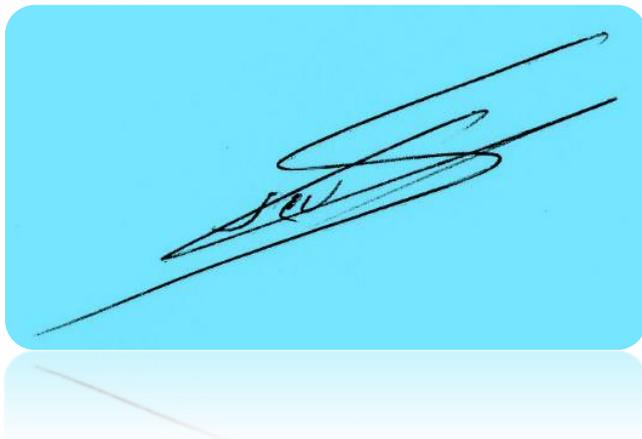
REMERCIEMENTS

Un grand merci à Peter VANROLLEGHEM, Nicolas ROCHE ainsi que Christelle CRAMPON pour nous avoir permis de bénéficier de cette expérience internationale afin de réaliser un stage dans la branche, génie des eaux, dans le domaine du traitement de l'eau usée.

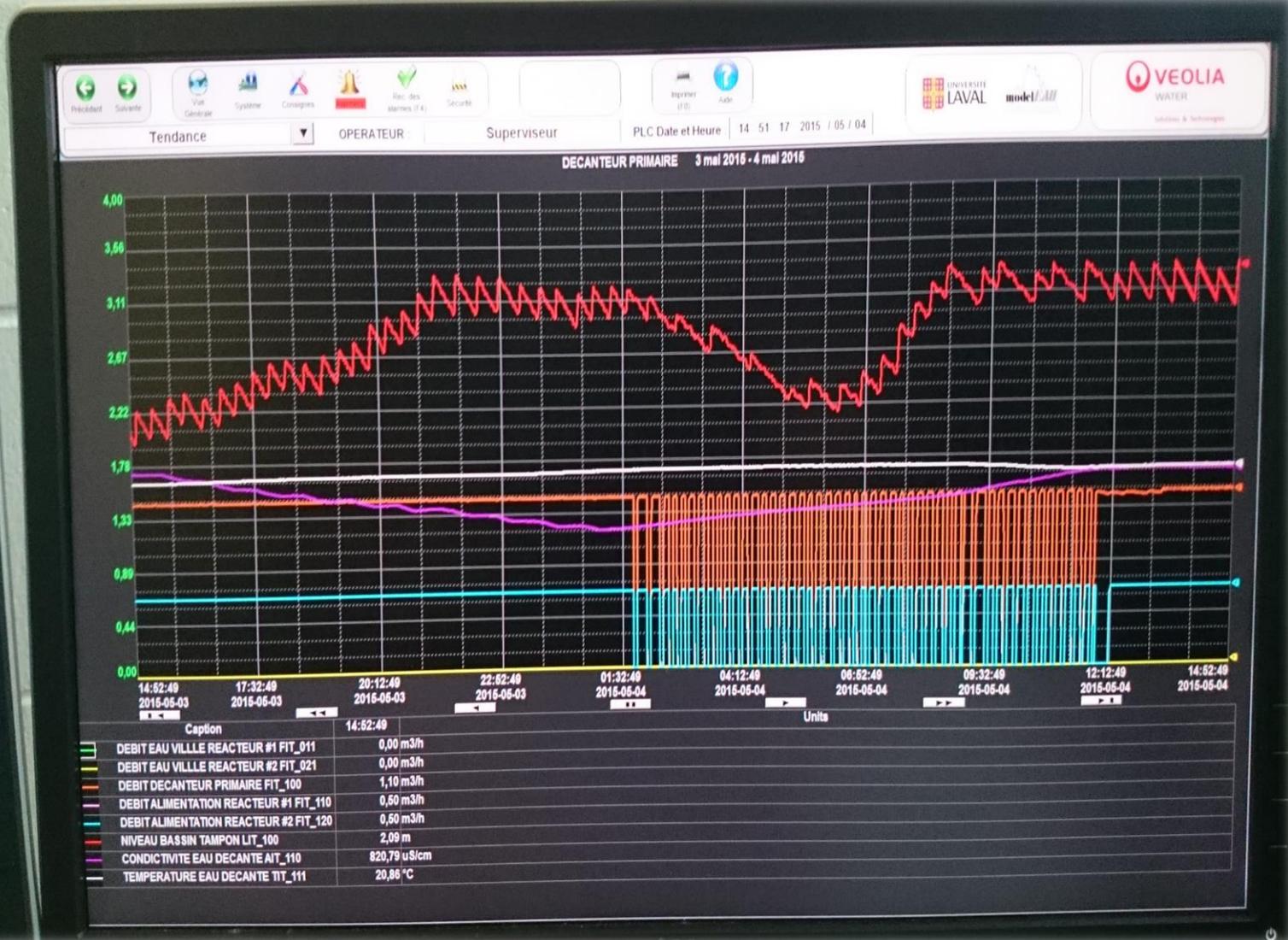
Je tiens également à remercier l'équipe modelEAU qui est formidable et avec qui il est agréable de travailler (Sylvie LEDUC, Sey-Hana SAING, Coralie, Maxence...)

Merci au soutien fourni par l'Université LAVAL

Florian



Résultats Annexes



Evolution de différents paramètres (Débit, Conductivité, Température...) au cours du temps