## RAPPORT DE STAGE

Pour obtenir le diplôme de :

## DUT Génie chimique et Génie des procédés

Stage réalise du 21/02/2012 au 29/04/2012

Maitre de Stage : Ludiwine Clouzot

Tuteur institut: Nicolas Roche



#### **IUT** De Marseille

Dép. Génie chimique et génie des procédés 142 Traverse Charles Susini, 13013 Marseille, France



## Optimisation d'un décanteur primaire

Caractérisation et variabilité temporelle de la fraction biodégradable des eaux d'un décanteur primaire par respirométrie séquencée fermée

Présenté et soutenu publiquement par :

#### FRACCAROLI MATHIAS

Le 24/05/2012



#### Université Laval

Pavillon Adrien Poulliot Dép. Génie Civil et Génie des Eaux 1065, Avenue de la Médecine, G1V0A6, Québec, CANADA

#### Remerciements

Je tiens, tout d'abord, à remercier le Professeur Peter VANROLLEGHEM pour m'avoir accueilli dans son groupe de recherche et pour ses conseils avisés en matière de respirométrie.

Je remercie également Ludwine CLOUZOT (Post-Doctorante) pour son aide dans la rédaction du rapport et durant tout le stage. Je la remercie énormément pour avoir aidé à faire de ce stage un stage inoubliable.

Je remercie aussi Giulia BACHIS (Étudiante au Doctorat), je lui adresse ma profonde reconnaissance pour sa disponibilité ainsi que pour la confiance qu'elle m'a accordée.

Je remercie Paul LESSARD (Professeur) pour son aide et pour tous les conseils qu'il m'a fournis lors de ce stage.

Je remercie Michel BISPING (Responsable du laboratoire de Recherches & Enseignement) pour m'avoir aidé dans l'élaboration de mon protocole, pour ses idées qui m'ont permis d'avancer dans les délais.

Je remercie Sylvie LEDUC (Professionnelle de Recherche) pour l'aide et les conseils qu'elle a pu me donner dans la recherche du matériel.

Je remercie Nicolas ROCHE (Professeur) pour avoir était mon tuteur durant ce stage.

Je remercie Yvan WYART (Professeur) pour m'avoir aidé dans la recherche de stage et m'avoir permis de prendre contact avec ce centre de recherche.

Je tiens à profiter de ce rapport de stage pour exprimer mes plus sincères remerciements à tous les membres du projet model*EAU* qui ont pu contribuer, à leur manière, à rendre ce stage et ce séjour au Canada si intéressant et si enrichissant.

Je remercie enfin toutes les autres personnes avec qui j'ai eu l'occasion de collaborer pendant ces trois mois de stage, et notamment mes collègues pour leur accueil chaleureux, leur bonne humeur et leur optimisme : Nicolas, Thomas, Virginie et Médiatrice ...



## Sommaire

Lexi	que	l
Intro	duction	2
	texte du Stage	
1.	La ville de Québec :	3
2.	L'université LAVAL :	4
3.	Le groupe model <i>EAU</i> :	
4.	La sécurité dans l'université :	
5.	Conclusion:	
Synt	hèse bibliographique	7
2.	Le projet prim <i>EAU</i> et mon implication :	
3.	Fractionnement ASM:	
4.	La respirométrie :	12
5.	Conclusion:	14
Mate	ériels et méthodes	15
2.	Le respiromètre :	16
3.	Principe des mesures :	18
4.	Principe des tests	20
5.	Principe des calculs	21
6.	Mesures complémentaires :	23
7.	Conclusion:	24
Rési	ıltats et Interprétations :	
2.	Optimisation du taux de dilution de la boue :	
3.	Influence du rapport So/Xo:	
4.	Vérification de la méthode :	
	clusion générale	
	clusion personnelle	
	exe 1 : Usine de traitement des eaux	
	exe 2 : Démonstration de la formule pour Veff	38
	exe 3 : Bibliographie & références	39
Ann	exe 4 : Protocole expérimental	40



## Table des figures

Figure 1: Évolution du nombre de STEP au Québec (source : MAMROT)	3
Figure 2: photo de l'Université LAVAL (source : campusdurable.ulaval.ca)	4
Figure 3: Explication projet primEAU	10
Figure 4: décomposition de la DCO d'après le modèle ASM 1 de l'IAWQ	11
Figure 5: Exemple courbe de L'OUR, rO2=f(t)	12
Figure 6: Conversion de la matière organique lors de la croissance aérobie	14
Figure 7 : Photo du respiromètre BIOS-R	17
Figure 8 : O2=f(t)	18
Figure 9 : rO2=f(t)	18
Figure 10 : Enchainement des phases dans le respiromètre BIOS-R	19
Figure 11 : Objectif de courbe	21
Figure 12 : Courbe pour acétate; calcul du Ss	22
Figure 13 : Courbe pour l'eau usée; calcul du Ss	23
Figure 14 : Variation journalière des caractéristiques des eaux usées en entrée de station par	
temps sec	23
Figure 15 : Courbe à partir du protocole existant	25
Figure 16 : Courbe pour un taux de dilution à 0.2	26
Figure 17 : Courbe pour un taux de dilution à 0.5	27
Figure 18 : Courbe pour taux de dilution à 0.8	28
Figure 19 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.42	29
Figure 20 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.12	30
Figure 21 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.31	31
Figure 22 : Courbe à l'entrée du décanteur	32
Figure 23 : Courbe à la sortie du décanteur	32



## Lexique

MES: Matières en suspensions

MVS : Matières volatile en suspension

DCO: Demande chimique en oxygène

STEP: Station d'épuration

TUO: Taux d'utilisation d'oxygène

OUR: Oxygen Uptake Rate

Ss: Fraction rapidement biodégradable

Xs: Fraction lentement biodégradable

ADM: Anaerobic digester model

ASM: Activated sludge model

DP: Décanteur primaire

ATU : Allylthiurea



#### Introduction

L'eau recouvre les trois quarts de la surface de notre planète sous forme d'océans, de fleuves, de rivières, de lacs et de glaciers. La rareté de l'eau et sa qualité écologique deviennent des enjeux de plus en plus sensibles. C'est pour cela que de nombreux scientifiques pensent qu'un des principaux enjeux internationaux du 21<sup>ème</sup> siècle sera la gestion de l'eau.

Le traitement des eaux représente donc désormais un enjeu primordial pour notre planète.

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

C'est dans cette optique que s'inscrit le projet prim*EAU* dans lequel j'ai effectué mon stage. L'objectif est en effet, la compréhension de la décantation primaire et la création d'un modèle. Cependant, la mise en place du modèle implique la connaissance de nombreux facteurs, tels que l'hydraulique, les bilans de matière, la distribution de la vitesse de chute et de la taille des particules, ou encore le taux de lipides, de carbohydrates, ou d'acides gras volatiles (AGV). Pour cela, un pilote de la décantation primaire a été installé dans l'une de stations de traitement de la ville de Québec, qui reçoit la même eau que les décanteurs primaires.

La mission qui m'a été confiée lors de mon stage était de caractériser la fraction biodégradable des eaux d'un décanteur primaire par respirométrie séquencée fermée. Par la même occasion il m'a été demandé de créer le protocole expérimental lié à cette mesure.

Dans un premier temps, je vais présenter l'Université Laval ainsi que le groupe de recherche auquel j'ai participé. Il suivra la synthèse bibliographique dans laquelle je donnerai tous les détails sur la STEP de Québec. Dans une troisième partie, je détaillerai toutes les méthodes et le matériel que j'ai utilisé. Ensuite, je présenterai les résultats obtenus, puis les conclusions apportées. Je finirai sur une conclusion générale et une conclusion plus personnelle.



## Fraccaroli Mathias

## Contexte du Stage

#### 1. La ville de Québec :

Le Canada compte parmi les pays privilégiés en ce qui concerne les ressources en eau douce. Alors que dans ce pays réside à peine 0,5 % de la population mondiale, il contient environ 9 % des ressources mondiales en eau.

Québec est la capitale du Québec, une des provinces de l'Est du Canada. Elle comptait près de 516 622 habitants en 2011 et plus de 765 000 habitants dans l'agglomération, ce qui en fait la 7<sup>e</sup> ville la plus peuplée du Canada. Avec sa faible densité de population et son réseau hydrographique important l'alimentation en eau n'est pas un problème.

Jusqu'à tout récemment, cette eau, une fois utilisée, était rejetée dans le Saint Laurent chargée de déchets domestiques et industriels.

Le traitement des eaux usées est devenu une priorité pour la capitale. En 1978 le lancement du programme d'assainissement de l'eau au Québec en 1978. Plusieurs stations d'épuration ont ainsi vu le jour à une grande vitesse, durant les années qui suivent (Figure 1: Évolution du nombre de STEP au Québec (source : MAMROT)).

Toutes les stations d'épuration au Québec sont soumises à des normes de rejets édictées par le Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du Territoire (MAMROT) selon la sensibilité du milieu récepteur.

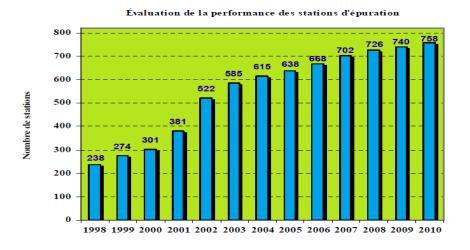


Figure 1: Évolution du nombre de STEP au Québec (source : MAMROT)



#### 2. L'université LAVAL:

#### Histoire:

L'Université Laval a été la toute première université francophone à voir le jour en Amérique (Figure 2: photo de l'Université LAVAL (source : campusdurable.ulaval.ca)). Premier évêque de la colonie, Mgr François de Montmorency-Laval, fonde à Québec le premier établissement d'enseignement de la Nouvelle-France: le Séminaire de Québec. Près de 200 ans plus tard, en 1852, cet établissement crée l'Université Laval, la source de tout l'enseignement supérieur de langue française au Québec, au Canada et en Amérique. Les effectifs étudiants s'accroissent rapidement à partir de cette période grâce à une réforme de l'éducation au Québec qui permet la création d'un vaste réseau d'éducation publique. De 1960 à 1970, la population étudiante passe de 6000 à 15000. Elle se chiffre à 44 000 aujourd'hui. Elle propose plus de 403 programmes d'étude, 607 partenariats d'échange et de mobilité avec les universités de 64 autres pays, des formations sur mesure et à distance, et 5 millions de documents en bibliothèque. Il existe 240 000 diplômés de l'université de Laval dans le monde (à raison de 8000 diplômés par an environ), elle dispose de 2500 professeurs chargés de cours, ainsi que de 200 associations étudiantes. On y trouve également 257 groupes de recherche, pour un budget de recherche de 280 millions de dollars. Elle est classée dans les 10 premières universités de recherche du Canada (7<sup>ème</sup>).



Figure 2: photo de l'Université LAVAL (source : campusdurable.ulaval.ca)



#### 3. <u>Le groupe model*EAU*:</u>

model*EAU* est un groupe de recherche qui fait partie du département de Génie civil et Génie des Eaux. Il est composé de dix étudiants gradués, trois post doctorants et deux professionnels de recherche. Ce groupe de recherche est dirigé par Peter Vanrolleghem qui détient la Chaire de Recherche du Canada en Modélisation de la Qualité de l'Eau.

model*EAU* a pour objectif l'optimisation de la qualité des eaux, des usines de traitements des eaux mais aussi des bassins versants et des rivières urbaines. Pour se faire, des modèles sont développés sur les différents procédés des systèmes.

Plusieurs projets sont en cours tel que : respir*EAU*, mon*EAU*, al*EAU*, riv*EAU*, micr*EAU*, ret*EAU*, prim*EAU*...Au total, depuis sa création en 2005, dix sept projets sont en cours d'élaboration.

Je ferai parti pendant 10 semaines de ce groupe de recherche pour mon stage.





#### 4. La sécurité dans l'université :

Il faut savoir que pour pouvoir manipuler dans le laboratoire de l'université deux formations sont obligatoires :

La première, a été une formation pour la sécurité dans le laboratoire, dans laquelle on nous a appris les gestes simples à reproduire en cas de danger. Cette formation nous a été faite par Michel Bisping, technicien, qui s'occupe du laboratoire.

La deuxième formation que j'ai suivie, est la formation SIMDUT (Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail) effectuée par Mario BOUCHER. Dans cette formation, on nous montre quelques exemples d'accident et d'incident qui se sont produits, afin de mieux comprendre l'importance de la sécurité dans un laboratoire. On nous a aussi appris à lire et comprendre les pictogrammes et les fiches de sécurité qui ne sont pas toujours les mêmes qu'en Europe, malgré de fortes similitudes.

L'université dispose également d'un impressionnant système de sécurité interne, en service 24h/24 tous les jours de l'année. Environ 700 téléphones rouges sont disséminés sur le campus; l'ensemble des portes sont numérotées et il y a également un réseau de caméras de surveillance, ainsi qu'un système d'alarme. Des forces locales de sécurité sont également présentes sur le site. Ensuite, comme dans tous les laboratoires, le port de la blouse et des lunettes sont obligatoires, ainsi qu'une tenue adéquate, c'est-à-dire des chaussures fermés, un pantalon et les cheveux attachés pour ceux ou celles qui ont les cheveux longs.

#### 5. Conclusion:

J'effectue donc mon stage à Québec qui est une ville où l'optimisation du traitement des eaux usées est devenue une priorité. Dans cette capitale, on y trouve l'université LAVAL une des plus grandes universités de recherche du Canada. Elle contient de nombreux groupes de recherche dont model*EAU*. C'est dans ce groupe de recherche que j'effectue mon stage. Nous allons voir par la suite en quoi consiste réellement mon stage dans ce groupe de recherche.



#### Fraccaroli Mathias

## Synthèse bibliographique

#### 1. Les STEP de la ville de Québec :

Il existe deux STEP qui s'occupent du traitement des eaux de la ville de Québec : La STEP Ouest et la STEP Est. Celles-ci assainissent quotidiennement prés de 400 millions de litres d'eau, de quoi remplir le Colisée trois fois et cela depuis 1992. Les eaux véhiculées par 3022 km de conduites souterraines, aboutissent à l'une des STEP de Québec. Dans les deux STEP, trois traitements sont effectués :

- 1. Le traitement des eaux usées,
- 2. le traitement des boues,
- 3. le traitement de l'air et des gaz; ce dernier fut effectué suite à la demande des habitants de cette ville.

#### Le traitement des eaux usées (Voir Annexe 1):

Nous allons tout d'abord suivre le traitement des eaux usées. On peut le diviser en cinq étapes :

- 1. <u>Le dégrillage</u>: Dans un premier temps, les matières solides grossières sont interceptées. Cette étape est nécessaire pour protéger les équipements et la tuyauterie de la station. Les déchets recueillis lors de cette première étape sont ramassés et acheminés à l'incinérateur de la ville de Québec.
- 2. <u>Le dessablage, déshuilage et dégraissage</u>: Ensuite, on retire les sables et toutes particules de densité équivalente, toujours pour éviter d'endommager les équipements. On retient aussi les flottants, composés d'huiles, de graisses et d'écume par le biais d'un procédé qui consiste à injecter de l'air dans l'eau des bassins. Les sables recueillis sont par la suite dirigés vers un site d'enfouissement et les flottants sont brulés à l'incinérateur.
- 3. <u>La décantation</u>: Cette troisième étape consiste à extraire des eaux la majeure partie des matières solides, de même que l'excédent des huiles, des graisses et des écumes. L'eau est alors acheminée vers des bassins de décantation où elle circule lentement parmi des plaques lamellaires qui retiennent les particules. Les matières moins denses sont recueillies à la surface et les boues primaires qui se sont déposées au fond du bassin sont récupérées et pompées vers des épaississeurs.



- 4. <u>La biofiltration</u>: L'eau recueillie à la décantation est d'abord relevée de 7.5 mètres de diamètre par les vis d'Archimède avant de traverser par gravité les biofiltres. Ces derniers, achèvent de retirer des eaux, les matières solides, en plus d'en éliminer la pollution organique dissoute. Les matières solides récupérées sont acheminées vers des décanteurs, puis les boues secondaires vers des épaississeurs.
- 5. <u>La désinfection par ultraviolets</u> : de juin à septembre, une cinquième opération est nécessaire pour détruire les bactéries présentes dans l'eau. L'un des objectifs de cette opération est de rendre plus sécuritaire la pratique des sports aquatiques à proximité des rejets.

L'eau traitée est finalement évacuée de chaque station par le biais d'une conduite sous-fluviale, munie d'un diffuseur qui répartit les eaux traitées dans le fleuve.

#### *Traitement des boues* :

Les boues primaires et secondaires recueillies, respectivement lors de la décantation primaire et secondaire, sont dans un premier temps acheminées vers les épaississeurs de la station Est. A cette étape, la proportion de matières solides dans les boues passe de 1% à 5%. Par la suite, la station de traitement de l'incinérateur transforme les boues en matières sèches, avant qu'elles soient brulées. Pour se faire, un système de filtre à bandes les déshydrate et produit des boues solides à 25%. Puis des gaz chauds extraits des fours de l'incinérateur les assèchent à 95%. Les 45 tonnes de boues séchées produites quotidiennement pourraient être recyclées, notamment comme engrais.

#### *Traitement de l'air et des gaz* :

Les STEP de la ville sont entièrement couvertes et nécessitent par conséquent un système de traitement de l'air et des gaz. Ce système garantit la qualité de l'air à l'intérieur des stations et élimine les odeurs à l'extérieur de l'édifice. Le traitement, assuré par des tours de lavage consiste à neutraliser, oxyder ou absorber les gaz malodorants par contact avec des réactifs.



### 2. Le projet prim*EAU* et mon implication :

Le projet prim*EAU* est dirigé par Peter Vanrolleghem et la responsable de ce projet est Ludiwine Clouzot. Actuellement dix personnes travaillent sur celui-ci. Ce projet a été créé autour de la thèse de Giulia Bachis, qui a pour objectif la modélisation d'un décanteur primaire (DP) par la création d'un modèle liant les modèles Anaerobic Digester Model (ADM) et Activated Sludge Model (ASM) déjà existant.

Il existe très peu de modèle sur la décantation primaire. L'objectif du projet prim*EAU* est donc de créer un modèle pour un DP qui pourrait être relié aux modèles utilisés actuellement en traitement des eaux usées : le modèle ASM, qui permet de connaître le traitement à boues activées et le modèle ADM, qui permet de connaître le traitement de la digestion anaérobique. Ces deux modèles ASM et ADM sont importants car ils tiennent compte des phénomènes biologiques qui se passent dans le traitement des eaux.

Pour modéliser un décanteur primaire (ou n'importe quel autre procédé) de nombreux paramètres sont à déterminer. Pour le décanteur primaire, on divisera ces paramètres en cinq parties (Figure 3: Explication projet primEAU):

Tout d'abord, il faudra caractériser le décanteur à l'aide de bilan de matière; c'est la tâche qui a été affectée à Nicolas DECOOL, que j'ai assisté dans quelques manipulations.

Puis il faudra évaluer la vitesse de chute et la taille des particules grâce au protocole de Vitesse de Chute en Assainissement (ViCAs) par exemple.

Ensuite, on effectuera le fractionnement ADM, des Lipides, Protéines, acides gras volatiles (AGV), Carbohydrates.

Puis, l'étape de coagulation, floculation dans un décanteur primaire est une étape qu'on ne peut pas négliger. L'un des objectifs du projet primEAU est de pouvoir effectuer ces deux étapes en utilisant des produits verts.

Pour finir, la tâche que l'on m'a affectée est celle d'un des fractionnements ASM, la respirométrie qui permet de fractionner la matière organique.



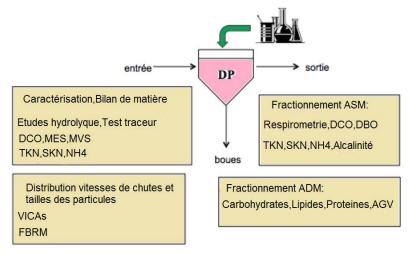


Figure 3: Explication projet primEAU

#### 3. Fractionnement ASM:

Le modèle ASM est basé sur les différentes fractions de la matière organique mesurée par DCO (Figure 4: décomposition de la DCO d'après le modèle ASM 1 de l'IAWQ) On peut diviser la DCO en quatre parties :

- Les substances rapidement biodégradables (Ss) qui correspondent aux composés de petite taille traversant directement les membranes cellulaires. Dans le cadre de notre étude, il est possible de faire l'hypothèse simplificatrice que ces composés sont solubles.
- Les substances lentement biodégradables (**Xs**) qui rassemblent les molécules plus complexes, de taille plus importante nécessitant une hydrolyse extra cellulaire pour être assimilées par les micro-organismes. Ces composés sont considérés comme peu ou pas solubles.
- Les matières organiques inertes solubles (Si) et particulaires (Xi) qui désignent quant à elles l'ensemble des substances dont la dégradation est suffisamment lente pour pouvoir les considérer comme non biodégradables.

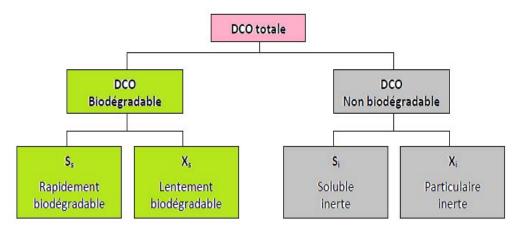


Figure 4: décomposition de la DCO d'après le modèle ASM 1 de l'IAWQ

L'objectif principal de mon stage est d'arriver à déterminer certaines valeurs de la DCO, respectivement **Ss** et **Xs**, rapidement et lentement biodégradable, dans un échantillon d'eau usée a l'entrée et à la sortie du décanteur primaire. C'est donc pour cela, qu'au cours de mon stage, j'utiliserai une méthode biologique : la respirométrie.

## 4. La respirométrie:

La multiplication des micros organismes nécessite la consommation de différentes substances appelées substrats. On parle d'une activité exogène au cours de laquelle les eaux usées peuvent constituer le substrat. Cependant, en l'absence de substrat extérieur, les microorganismes ont quand même des activités de maintenance qui conduit à une consommation d'oxygène endogène. La vitesse de consommation d'oxygène est alors constante.

Pour calculer la DCO biodégradable (Xs+Ss) il suffit alors de calculer l'aire sous la courbe de l'OUR (Oxygen Uptake Rate).

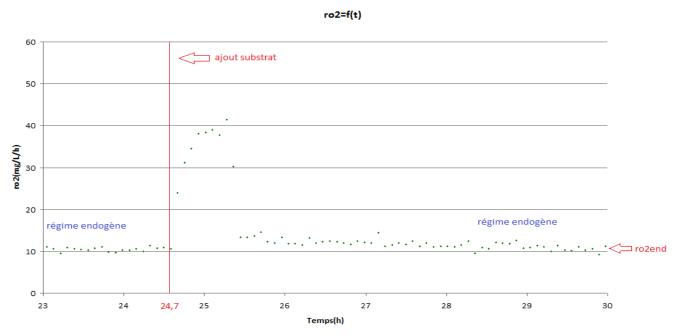


Figure 5: Exemple courbe de L'OUR, rO2=f(t)



Pour déterminer les fractions lentement (Xs) et rapidement biodégradables (Ss), il existe une relation :

$$\begin{split} X_{\scriptscriptstyle S} + S_{\scriptscriptstyle S} &= \frac{1}{d \left( 1 - Y_{\! H} \right)} \int_{t_0}^{t_1} \! \left( r_{O_{2 \, exo}} \right) \! dt \\ \\ X_{\scriptscriptstyle S} + S_{\scriptscriptstyle S} &= \frac{1}{d \left( 1 - Y_{\! H} \right)} \int_{t_0}^{t_1} \! \left( r_{O_2} - r_{O_{2 \, end}} \right) \! dt = \frac{1}{d \left( 1 - Y_{\! H} \right)} \int_{t_0}^{t_1} \! \left( - \frac{d C_{O_2}}{d t} - r_{O_{2 \, end}} \right) \! dt \end{split}$$

**d** est le taux de dilution de l'eau de l'eau dans la boue :  $d = \frac{V \text{eau usée}}{V \text{boue} + V \text{eau usée}}$ 

t<sub>o</sub> correspond au moment auquel l'eau usée est ajoutée

t<sub>1</sub> correspond à la fin de l'experience, c'est-à-dire lorsque ro2 redevient constant au cours du temps(L'activité endogène est atteinte).

Yh est le rendement de conversion hétérotrophe. Sa valeur est fixée et prise égale à équation me permet donc à partir de l'aire sous la courbe de l'OUR d'obtenir la fraction biodégradable dans l'eau usée.

L'objectif des micro-organismes est de se multiplier. Cette multiplication nécessite la consommation de différentes substances appelées substrats. On parle d'une activité exogène au cours de laquelle les eaux usées constituent le substrat. Sa dégradation s'accompagne d'une réaction qui fournit aux cellules l'énergie nécessaire à la production de nouvelles cellules. C'est une variation de DCO biodégradable qui devient alors quantifiable via la réponse respirométrique, à condition de connaître le rendement de conversion hétérotrophe en aérobie (YH). (Figure 6: Conversion de la matière organique lors de la croissance aérobie)



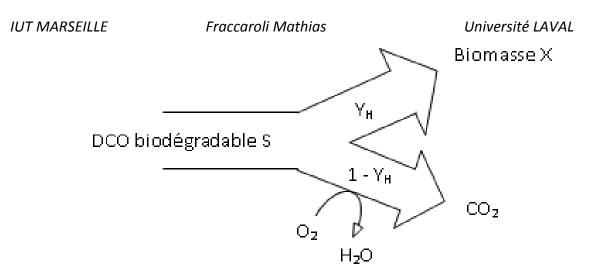


Figure 6: Conversion de la matière organique lors de la croissance aérobie

#### 5. Conclusion:

Je fais donc parti du projet prim*EAU*. Pour la création du modèle de décantation primaire qui est l'objectif de ce projet on déterminera différents paramètres grâce à différents échantillons prélevés à la STEP EST de Québec.

Mon objectif est de déterminer la fraction rapidement biodégradable dans l'eau usée et pour ce faire, j'utilise donc la respirométrie. Je vais maintenant décrire le matériel et la méthode que j'ai utilisée pour déterminer cette fraction.



#### Matériels et méthodes

## 1. Échantillonnage

#### 1 Biomasses utilisées

La biomasse que j'utilise pour mes tests provient du décanteur secondaire de la STEP de Val Cartier; celle-ci se trouve a 25 km au nord de Québec. Je n'ai pas utilisée celle de la STEP de Québec car le traitement secondaire est un traitement par biofiltres et donc la biomasse est moins active que dans celle de Val Cartier où le traitement secondaire est un traitement à boue activée.

D'ailleurs une ancienne stagiaire a effectué une respirométrie avec la boue du décanteur secondaire d'une des STEP de Québec, et l'arrachement d'un des tuyaux du respiromètre a eu lieu. De plus, elle a remarqué que la biomasse prélevée à Val Cartier nous permet d'avoir une meilleure estimation des fractions rapidement et lentement biodégradable.

#### 2. Substrats utilisés

Pour mes manipulations j'utilise deux substrats : l'acétate et l'eau usée dont je dois déterminer les fractions lentement et rapidement biodégradables.

L'acétate me sert à vérifier que mes boues sont toujours des boues activées et de vérifier la justesse de la formule utilisée car avec l'acétate je peux calculer un Ss théorique.

Pour l'eau usée, je prends des échantillons à la STEP EST de Québec directement dans le DP. J'utilise différents échantillons à l'entrée et à la sortie du DP comme substrat.



#### 2. Le respiromètre :

Le respiromètre dont l'on dispose au laboratoire est de type BIOS-R conçu par le Laboratoire d'Ingénierie des Procédés de l'Environnement de l'INSA Toulouse. Un respiromètre est un appareil qui permet de mesurer grâce à un oxymètre, la consommation en oxygène des bactéries présentes par exemple dans l'eau usée. On peut le décomposer en cinq parties : (Figure 7 : Photo du respiromètre BIOS-R).

#### 1) L'ordinateur

Relié au respiromètre, il gère les commandes. Équipé des logiciels BIOS-R et TRAIT, il acquiert et traite les données.

#### 2) Le module d'acquisition, de régulation et de commande

Il est constitué de l'oxymètre (WTW D.O. probe TriOxmatic® 701), du pH-mètre (électrode combinée SCHOTT N62) et de la chaîne de régulation d'oxygène.

#### 3) Le module de mesure du rO2

Il est composé de la cellule de mesure et de la pompe de recirculation péristaltique (MASTERFLEX easy-load 7518-00). La cellule de mesure est en verre de forme cylindrique, non aérée et étanche. Elle possède une capacité de 410 ml (incluant le volume occupé par la sonde et les tuyaux). L'agitation s'effectue à l'aide d'un agitateur magnétique (HEIDOLPH MR3000).

#### 4) Le réacteur biologique ou réacteur de contact et les pompes de régulation du pH

Le réacteur biologique cylindrique a une capacité totale de 2,9 L et une capacité utile de 2,4 L. Il est constamment aéré grâce à un tube en acier inox finement percé qui permet la formation de fines bulles. Il est également agité mécaniquement grâce à un agitateur hélice à 4 pales (régulateur de vitesse IKA-WERKE RW16 basic) positionné à l'intérieur au 1/3 inférieur du liquide. Les 2 pompes péristaltiques sont reliées à un acide (solution de H2SO4) et à une base (solution de NaOH).



#### 5) Le cryothermostat

Il assure la régulation de la température à 20°C en faisant circuler une eau thermostatée dans la double enveloppe du réacteur et dans celle de la cellule sur laquelle il est branché en série.



Figure 7 : Photo du respiromètre BIOS-R

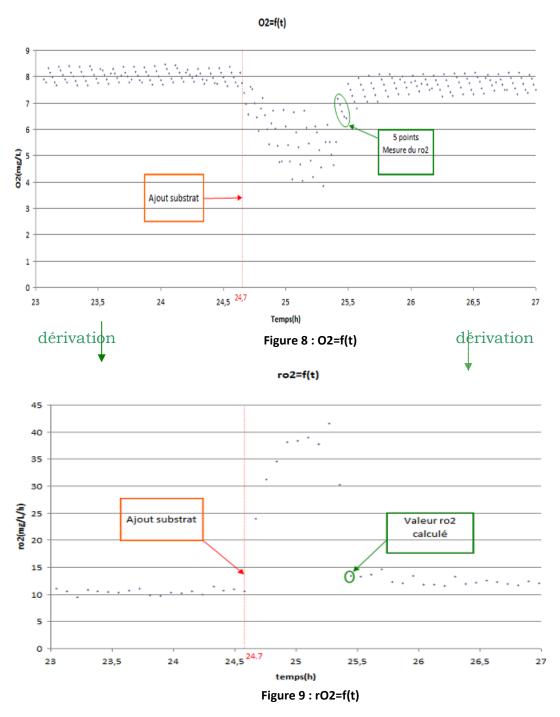
Il faut savoir qu'il existe différents principes respirométriques, la méthode qu'utilise le respiromètre BIOS-R est la respirométrie à aération semi-continue; celle-ci facilite le bilan de matière sur l'oxygène. Cette méthode consiste à aérer un réacteur de manière discontinue et à suivre l'OUR (Oxygen Uptake Rate) ou TUO (taux d'utilisation d'oxygène) lors des phases d'arrêt de l'aération :

$$rO_2$$
= $dO_2/dT$ = $OUR$ = $TUO$ 



### 3. Principe des mesures :

A l'aide d'une respiromètre on obtient deux courbes. La première est la concentration de l'oxygène en fonction du temps (Figure 8 : O2=f(t)). Cette courbe est ensuite dérivée et donne la représentation de la vitesse de la consommation d'oxygène (rO2 ou OUR) en fonction du temps. (Figure 9 : rO2=f(t))





La mesure de l'OUR est réalisée de manière cyclique, selon un enchainement de trois phases : (Figure 10 : Enchainement des phases dans le respiromètre BIOS-R)

- La phase de recirculation permet d'aérer et d'homogénéiser le contenu liquide de la cellule; elle dure 45 secondes.
- La phase de temporisation permet d'éviter une répercussion de l aération précédente sur la mesure de rO<sub>2</sub>, elle dure 30 secondes.
- La phase de mesure pendant laquelle la concentration en oxygène diminue et conduit au calcul de  $rO_2$ , elle dure au maximum 3 minutes.

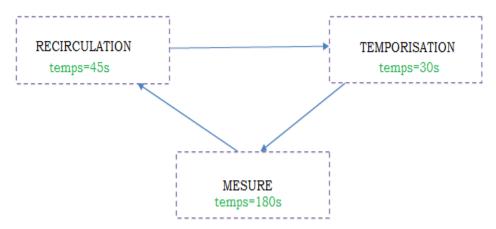


Figure 10 : Enchainement des phases dans le respiromètre BIOS-R



#### 4. Principe des tests

Pour chacun de mes tests, j'utilise le protocole suivant :

Tout d'abord, j'effectue un ajout de la boue prélevée à Val Cartier dans le réacteur biologique (2L environ).

Après plusieurs heures d'attente, quand le régime endogène est atteint, je peux verser l'ATU(Allylthiurea). L'ajout d'ATU permet de désactiver les bactéries autotrophes et d'inhiber la nitrification.

Quelques heures plus tard, j'effectue mon troisième ajout; celui de l'acétate. Environ 100 mg/L suffisent.

Ensuite, j'ajoute de nouveau de l'ATU lorsque le régime endogène est de nouveau atteint. Toujours 20 mg/L, les raisons de cet ajout sont les mêmes que pour l'ajout précédent.

Un peu avant l'ajout d'eau usée qui est la prochaine étape, il faut que j'enlève du réacteur un peu de boue, car la capacité de mon réacteur est faible (3L maximum). L'eau usée à caractériser est ensuite ajoutée dans le réacteur. La vitesse de consommation de l'oxygène augmente rapidement pendant les premières minutes puis diminue vers une valeur d'activité endogène constante.

Entre tous les ajouts il faut que j'attende le régime endogène. Le temps d'attente entre les différents ajouts dépend de la concentration exacte d'acétate ou d'ATU mis dans le réacteur biologique.

Mon plan d'expérience au départ consiste à essayer différents taux de dilution des boues durant l'ajout d'eau usée.

Avec : 
$$d = \frac{V \text{eau us\'ee}}{V \text{boue} + V \text{eau us\'ee}}$$

Et je vais vérifier l'importance du rapport So/Xo, de ce rapport exprimé en gDCO/gMVS, à travers l'allure de la courbe que je vais obtenir .Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$\frac{So}{Xo} = \frac{DCOeau \text{ usée*Veau usée}}{\frac{MVSboue*Vboue}{Vtot}} + \frac{MVSeau \text{ usée*Veau usée}}{Vtot}$$

Vtot est le volume total que peut contenir le réacteur.



Mon objectif est d'obtenir une belle courbe me permettant de calculer la fraction rapidement biodégradable le plus distinctement possible.

Pour chaque test je dois donc obtenir la courbe suivante (Figure 11 : Objectif de courbe) :

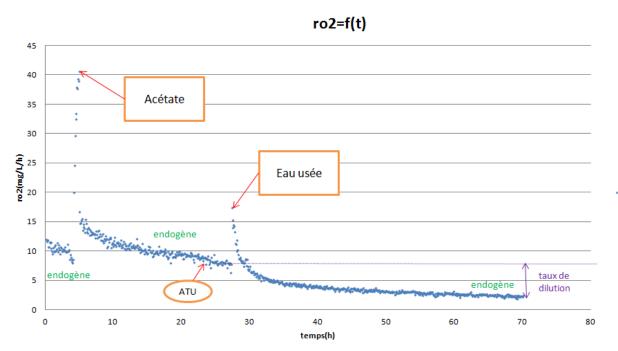


Figure 11 : Objectif de courbe

## 5. Principe des calculs

Je rappelle la formule que j'utilise :

$$\begin{split} X_{\mathcal{S}} + S_{\mathcal{S}} &= \frac{1}{d(1-Y_H)} \int_{t_0}^{t_1} \! \left( r_{O_{2\,\,exo}} \right) \! dt \\ \\ X_{\mathcal{S}} + S_{\mathcal{S}} &= \frac{1}{d(1-Y_H)} \int_{t_0}^{t_1} \! \left( r_{O_2} - r_{O_{2\,\,end}} \right) \! dt = \frac{1}{d(1-Y_H)} \int_{t_0}^{t_1} \! \left( -\frac{dC_{O_2}}{dt} - r_{O_{2\,\,end}} \right) \! dt \end{split}$$

Maintenant j'explique grâce à la figure, comment je calcule l'aire sous la courbe pour le calcul du Ss. La méthode n'est pas la même pour l'acétate et/ou pour l'eau usée.



#### a) Pour l'acétate

Il suffit de prendre l'aire sous la courbe du rO2 à partir de l'ajout du substrat ici de l'acétate jusqu'au régime endogène. Puis grâce au taux de dilution et au Yh on peut déterminer la fraction Ss. La fraction Xs est négligeable ici. (Figure 12 : Courbe pour acétate; calcul du Ss)

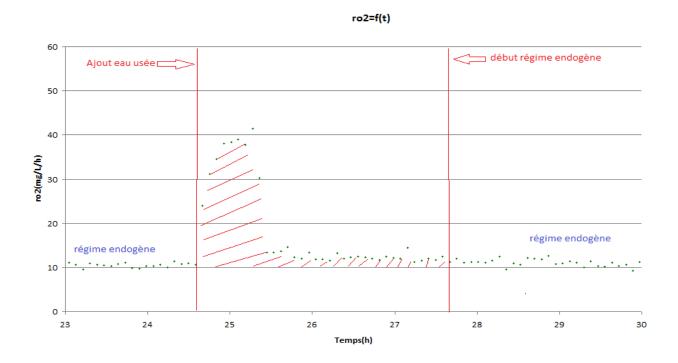


Figure 12 : Courbe pour acétate; calcul du Ss

#### b) Pour l'eau usée

J'utilise la même formule sauf que je ne prends pas l'aire sous la courbe de rO2=f(t) moins le rO2 endogène. J'utilise l'aire sous la courbe du rO2=f(t) en enlevant la partie sous le rO2 endogène et la partie sous la droite de dégradation du Xs de manière à ce qu'il reste seulement la fraction rapidement biodégradable Ss.(Figure 13 : Courbe pour l'eau usée; calcul du Ss)



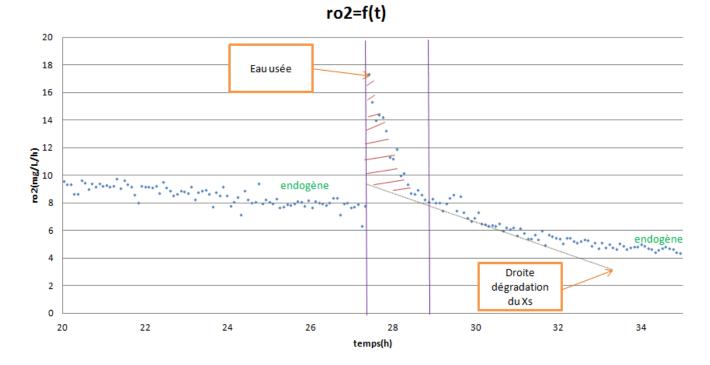


Figure 13 : Courbe pour l'eau usée; calcul du Ss

## 6. Mesures complémentaires :

Les travaux d'une ancienne stagiaire, ont permis de mesurer les changements de l'eau usée dans une même journée (Figure 14 : Variation journalière des caractéristiques des eaux usées en entrée de station par temps sec). L'heure à laquelle on effectuera notre prélèvement aura donc une importance que l'on ne peut négliger.

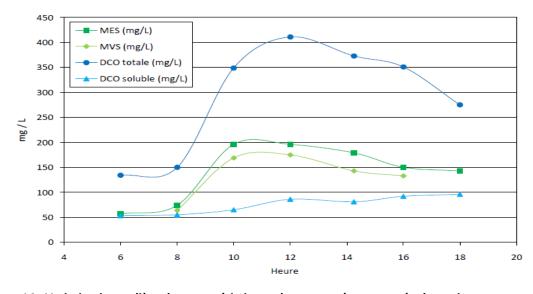


Figure 14 : Variation journalière des caractéristiques des eaux usées en entrée de station par temps sec



IUT MARSEILLE Fraccaroli Mathias Université LAVAL

La météo a aussi son importance, selon la pluviométrie, la contribution des eaux du ruissellement pluvial est différente et la composition de l'affluent s'en trouve changée. Il a notamment été observé que la concentration en DCO pouvait être très variable d'un événement pluvieux à l'autre. Il faut également ne pas oublier que ce stage s'effectue durant la période de fonte des neiges a Québec le débit d'entrée dans la station est donc plus important quand temps normal.

Ainsi, pour chaque échantillon d'eaux usées, la mesure de la DCO totale est réalisée d'après la norme ISO 6060. La mesure des Matières En Suspension (MES) et des Matières Volatiles en Suspension (MVS) est effectuée par des méthodes standards.

#### 7. Conclusion:

Pour pouvoir calculer la fraction rapidement biodégradable Ss, j'utilise un respiromètre BIOS-R conçu par l'INSA Toulouse. La biomasse utilisée est prélevée dans une station à boues activées, et les eaux usées sont échantillonnées à la STEP Est de Québec.

Durant toutes mes manipulations, j'utilise le même protocole expérimental. Avant chaque respirométrie, je mesure la MES et les MVS des boues ainsi que la DCO, MES et MVS des eaux usées prélevées. La formule de détermination du Ss et du Xs dépend grandement de l'aire sous la courbe du rO2 .Mon objectif est de pouvoir obtenir une aire sous la courbe la plus distinct possible.

Pour ce faire je vais commencer par tester la méthode utilisée dans notre groupe de recherche et essayer de l'améliorer pour pouvoir déterminer la fraction rapidement biodégradable le plus facilement possible.



## Résultats et Interprétations :

#### 1. Protocole existant

Tout d'abord j'ai vérifié la méthode de respirométrie utilisée dans mon groupe de recherche. La méthode utilisée consiste à diluer par 2 les boues, puis à effectuer une dilution sur la boue de 0.8. Grâce à cette méthode j'obtiens la courbe suivante. (Figure 15 : Courbe à partir du protocole existant)

J'ai effectué cette manipulation avec des boues datant du 22/03/2012; la MES des boues est respectivement de 5166 mg/L. Alors que la manipulation a été effectuée le 23/03/2012 avec de l'eau usée d'entrée du décanteur prélevée le 22/03/2012. La DCO et la MES du substrat sont respectivement de 189mg/L et de 223mg/L.

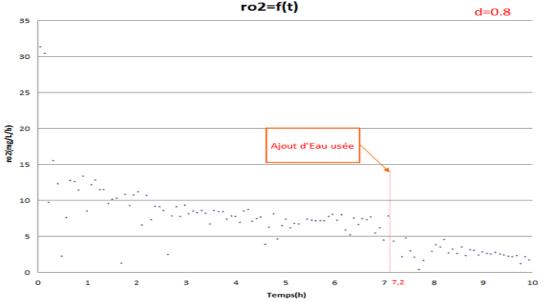


Figure 15 : Courbe à partir du protocole existant

On voit distinctement que l'on ne peut calculer l'aire sous la courbe et donc la fraction Ss à partir de cette courbe car l'on n'obtient pas de pic.

L'ajout d'eau usée fût trop important, la dilution ne nous permet pas de voir le pic. Il y a trop peu de matière organique pour le substrat présent. La dilution par deux, en plus, enlève de la biomasse donc on ne peut observer un pic; le volume d'eau usée est beaucoup trop élevé par rapport à celui de la boue.

A partir de cette courbe j'ai compris que le taux de dilution a donc une importance dans la vision du pic.



#### 2. Optimisation du taux de dilution de la boue :

J'essaye de trouver le taux de dilution optimal durant la phase d'ajout d'eau usée. Je garde la même méthode que précédemment sauf que je n'effectue plus la dilution initiale des boues par 2.

Je vais essayer différents taux de dilution des boues 0.2, 0.5 et 0.8. Pour un taux de dilution de 0.2, 0.5 et 0.8 j'obtiens donc les courbes suivantes :

#### a) Taux de dilution égal à 0.2

Pour cette manipulation j'utilise des boues prélevées le 03/04/2012, la MES de celle-ci est de 2731 mg/L.

J'utilise ici un substrat qui a été prélevé le 04/04/2012 à 11h. La MES et la DCO de celui-ci sont de 150.6 mg/L et 324 mg/L.(Figure 16 : Courbe pour un taux de dilution à 0.2)

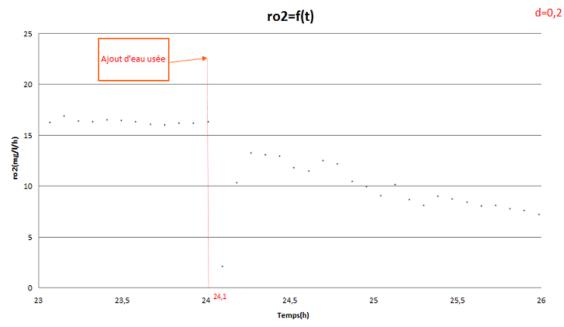


Figure 16 : Courbe pour un taux de dilution à 0.2

On peut voir qu'il est très difficile de déterminer la fraction Ss, car la courbe ne contient pas un pic bien distinct après l'ajout d'eau usée.

Cela s'explique par le manque de substrat pour la biomasse.



#### b) Taux de dilution égal à 0.5

Les boues ont été prélevées le 22/03. La MES des boues est de 5166 mg/L.

J'utilise ici un substrat qui a été prélevé le 30/03/2012 à 10h30 .La MES et la DCO de celui-ci sont 142 mg/L et 325.6 mg/L.(Figure 17 : Courbe pour un taux de dilution à 0.5)

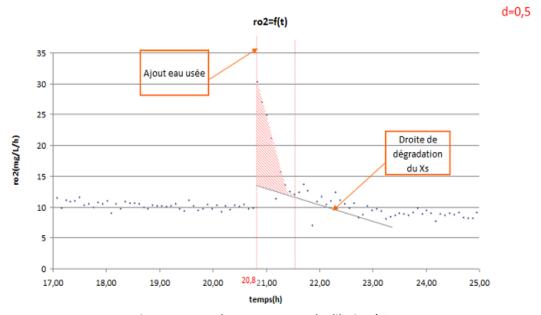


Figure 17 : Courbe pour un taux de dilution à 0.5

Ici on a un pic bien distinct, pour ce taux de dilution la courbe obtenue nous permet de calculer la fraction biodégradable ; j'obtiens ici un Ss de 49,76 mg/L.



#### c) Taux de dilution égal à 0.8

Les boues utilisés sont les mêmes qu'utiliser précédemment.

J'utilise un échantillon d'eau usée qui a été prélevé le 28/03/2012 à 14h. La MES et la DCO sont de 134.6 mg/L et 152 mg/L.(Figure 18 : Courbe pour taux de dilution à 0.8)

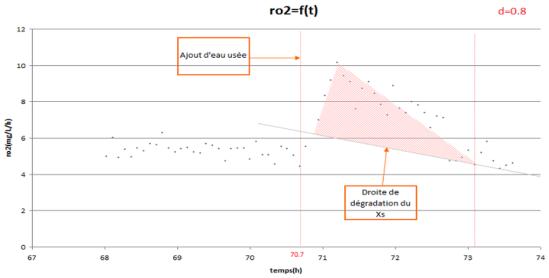


Figure 18: Courbe pour taux de dilution à 0.8

Pour un taux de dilution de 0.8 la courbe est aplatie comme me le donne les résultats suivants; je peux calculer l'aire sous la courbe du rO2; Dans ce cas la détermination du Ss est donc possible.

#### d) Comparaison

En résumé, grâce aux courbes précédentes on voit bien que le taux de dilution optimal est 0.5 pour les boues d'entrée du décanteur. C'est le seul taux pour lequel le pic de la courbe est très distinct.

date échantillonnage	taux de dilution	erreur acétate (%)	Ss(mgO2/L)	So(mgDCO/L)	Ss (%DCO biodégradable)
04/04/2012	0,2	12,5	Impossible	324	impossible
30/03/2012	0,5	5	49.76	325.6	15.2
28/03/2012	0.8	15.8	27.8	152	18.3

On remarque que l'erreur dans le calcul du Ss pour l'acétate est faible dans les trois cas cela montre aussi les limites de la formule utilisée car la mesure de l'aire sous une courbe n'est pas très précise.



## 3. Influence du rapport So/Xo:

Maintenant que j'ai trouvé le bon taux de dilution je renouvelle l'expérience trois fois avec un taux de dilution de 0.5 en modifiant le rapport So/Xo, ainsi je pourrai trouver le rapport optimal pour effectuer la manipulation.

Les boues que je vais utiliser sont des boues datant du 03/04. La MES de ces boues est de 2731 mg/L.

#### J'obtiens les résultats suivants :

#### a) Rapport So/Xo égal à 0.42

Pour ce rapport, j'utilise de l'eau d'entrée du décanteur prélevée le 12/04/2012 à 11h. Le substrat a été prélevé le 12/04 à 15h. La DCO et la MES de celle-ci est de 394 mg/L et de 50 mg/L.(Figure 19 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.42)

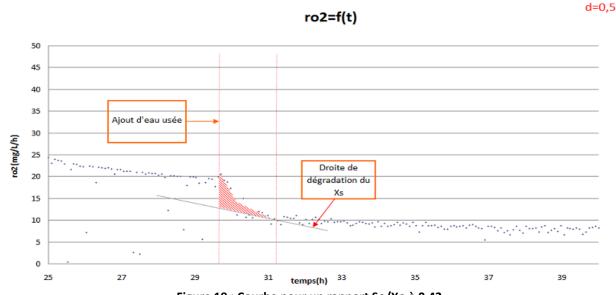


Figure 19 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.42



#### b) Rapport So/Xo égal à 0.12

Pour ce rapport, j'utilise de l'eau d'entrée du décanteur prélevée le 30/03/2012 à 11h.L'eau a une MES de 73.8 mg/L et une DCO de 242.7 mg/L. (Figure 20 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.12)

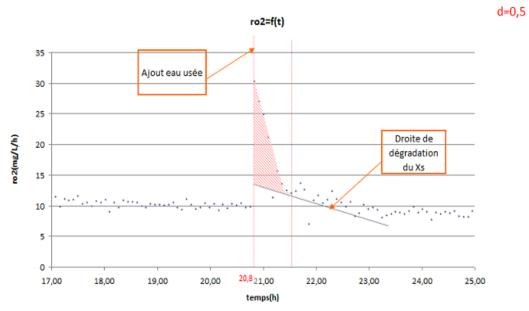


Figure 20 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.12

#### c) Rapport So/Xo égal à 0.31

Pour ce rapport, j'utilise de l'eau d'entrée du décanteur prélevée le 10/04/2012 à 14h. L'eau usée a une MES et une DCO de 193.8 mg/l et de 403.6 mg/l.(Figure 21 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.31)



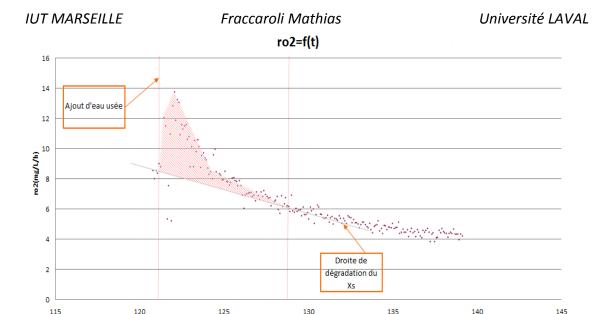


Figure 21 : Courbe pour un rapport So/Xo à 0.31

#### d) Comparaison et discussion

On remarque ici que l'allure de la courbe dépend du rapport So/Xo comme prévu, je répertorie donc tous mes résultats obtenus dans un tableau que l'on peut voir ci-dessous :

Rapport So/Xo	erreur acétate (%)	Ss(mgO2/L)	So(mgDCO/L)	Ss (%DCO biodégradable)
0.018	15,8	27.8	152	18.3
0.12	5.3	49.76	325.6	15.2
1.108	12.5	Impossible		impossible
	·			16.4
				15.8
	0.018	0.018     15,8       0.12     5.3       1.108     12,5       0.331     15.3	0.12     5.3     49.76       1.108     12,5     Impossible       0.331     15.3     66.13	0.018     15,8     27.8     152       0.12     5.3     49.76     325.6       1.108     12,5     Impossible     324       0.331     15.3     66.13     403

On peut voir que l'erreur de l'acétate est environ constante toujours entre 10 et 15 % en moyenne ce qui confirme la limite de la formule.

Pour chaque expérience on peut voir aussi que le pourcentage est constant, la valeur moyenne est de 15% ce qui signifie que la fraction rapidement biodégradable représente environ 15% de la DCO biodégradable.

On observe que pour un rapport So/Xo égale à 0.12, la courbe me permet systématiquement de bien calculer la fraction rapidement biodégradable.

J'ai remarqué que quand le rapport est inférieur à 0.2, j'obtiens un pic bien visible.



#### 4. Vérification de la méthode :

Je vérifie donc cette méthode par 2 expériences avec l'entrée et la sortie du décanteur, j'obtiens les courbes suivantes :

#### a) Pour l'entrée :

Pour ce rapport, j'utilise de l'eau d'entrée du décanteur prélevée le 16/04/2012 à 11h avec une MES de 142 mg/ et une DCO de 325 mg/L.(Figure 22 : Courbe à l'entrée du décanteur)

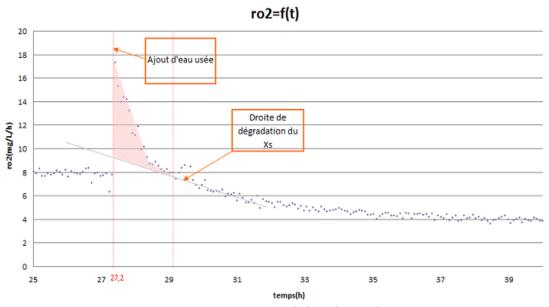


Figure 22 : Courbe à l'entrée du décanteur

#### b) Pour la sortie:

Pour ce rapport, j'utilise de l'eau de sortie du décanteur prélevée le 30/03/2012 à 11h. La MES et la DCO de cette eau sont de 73.8 mg/L et de 342.7 mg/L.(Figure 23 : Courbe à la sortie du décanteur)

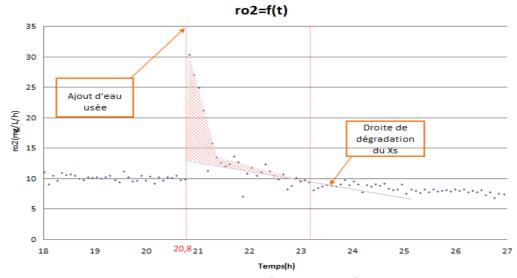


Figure 23 : Courbe à la sortie du décanteur



#### c) Comparaison et discussion

date échantillonnage	Rapport So/Xo	erreur acétate (%)	Ss(mgO2/L)	So(mgDCO/L)	Ss (%DCO biodégradable)
16/04/2012	0.12	15.6	36.09	325	11
18/04/2012	0.18	13.1	87.3	342.7	21

On peut voir que pour les deux expériences, on peut calculer précisément la fraction Ss .Les résultats se sont confirmés; on obtient ici encore une fraction rapidement biodégradable qui représente en moyenne 15% de la DCO biodégradable. Maintenant, que j'ai trouvé le rapport So/Xo optimal, je peux en déduire une relation qui permettra à chaque manipulation de connaître le volume exact de substrat à insérer dans le respiromètre :

$$Veff = \frac{\theta}{1+\theta} *Vt$$

$$\theta = \frac{So*MVSb}{Xo*DCOeff}$$
Avec

avec

**Veff**: Volume effluent

Vt: Volume total

**b**: boue

eff: effluent

(Voir démonstration en Annexe 2)

Voilà, grâce à tous ces résultats je peux maintenant écrire un protocole expérimental pour le respiromètre pour déterminer la fraction rapidement biodégradable.

## Conclusion générale

Le premier objectif de mon stage était de déterminer un moyen de calculer la partie rapidement dégradable (Ss) de la DCO biodégradable en utilisant une méthode biologique, la respirométrie, utilisée au sein de mon groupe de recherche.

La détermination précise de la fraction de la DCO biodégradable (Ss) s'effectue en se basant sur le calcul de l'aire comprise entre la droite de dégradation du Xs et la courbe de dégradation du Ss, d'où la nécessité d'avoir une belle courbe.

Après avoir étudié et mis en pratique la méthode de respirométrie, j'ai effectué différentes expériences permettant la recherche du taux de dilution optimal de la boue.

Une fois ce taux de dilution fixé, j'ai analysé l'influence du rapport So/Xo sur la courbe rO2=f(t). Ensuite, j'ai établi une formule déterminant ce rapport optimal pour effectuer la manipulation qui me donnerait les meilleurs résultats et donc de calculer le volume de substrat à insérer dans le respiromètre.

Suite à l'ensemble de ces expériences effectuées, j'ai écris un protocole expérimental pour le respiromètre.

Pour le futur, grâce à ce protocole expérimental on devrait pouvoir déterminer la fraction rapidement biodégradable (Ss) pour n'importe quel échantillon d'eau usée.

Un des problèmes restant à résoudre, permettant l'amélioration de la précision de calcul du Ss, est celui de la détermination de la droite de dégradation du Xs, car celle-ci était déterminée avec peu de précision. Pour cela l'établissement d'un modèle est nécessaire.



## Conclusion personnelle

Ce stage de 10 semaines fut un stage très enrichissant pour moi que ce soit au niveau professionnel que personnel. C'est ma première découverte du monde professionnel et j'ai beaucoup appris au contact de mon groupe de recherche.

J'ai aussi pu constater qu'un stage de 10 semaines est vraiment très court, malgré une intégration rapide dans le groupe; je pense que j'aurais pu apporter plus. C'est un de mes regrets de partir, au moment où je commençais à fournir des résultats opérationnels.

J'ai compris que mon manque d'organisation a été un problème pour pouvoir travailler avec plus de précision et plus d'efficacité. Sans ce stage, j'aurais mis plus de temps à m'en rendre compte.

Je me suis amélioré en présentation orale grâce à la réunion tous les mardi matin dans laquelle on devait présenter notre avancement.

Mon stage m'a permis aussi de voir que l'anglais est une langue que l'on se doit de maitriser si l'on veut travailler dans un tel domaine et ce stage m'a permis de progresser en anglais.

J'ai aussi appris que le travail en groupe est très important; comme le disait un de mes collègues « même le meilleur chercheur ne pourrait avancer sans une équipe »; et prim*EAU* est un groupe de recherche, mais avant tout une équipe de chercheur, dans lequel une aide est toujours apportée à ceux qui le souhaite.

Ma vision du travail a donc changé durant mon stage. Ce stage me conforte aussi dans mes choix effectués, premièrement du domaine de Génie des Procédés et deuxièmement de poursuivre mes études vers un cycle d'ingénieur.

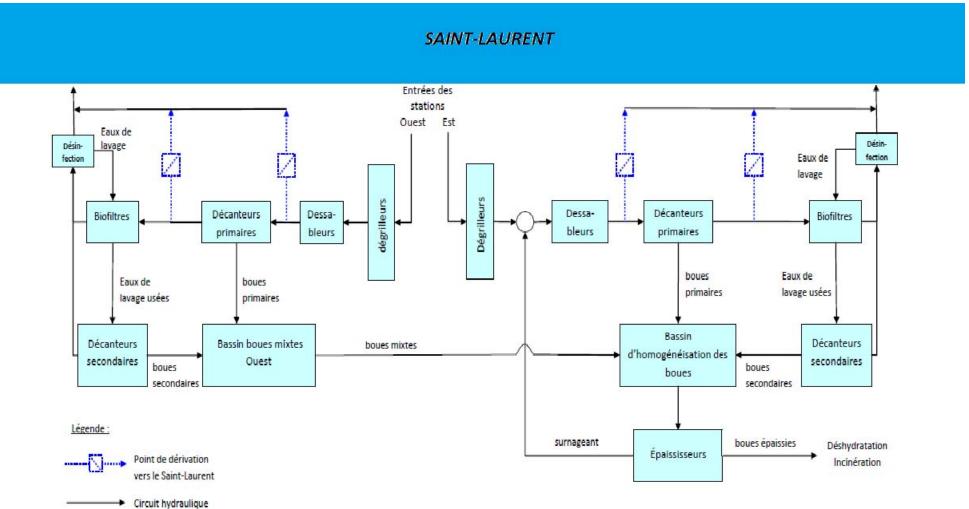
Au niveau personnel, ce stage fut exceptionnel; j'ai « grandi » durant tout le stage, par la découverte d'un nouveau continent, à travers la rencontre de nouvelles personnes, de nouvelles cultures, et de nouveaux paysages.



## ANNEXES



Annexe 1: Usine de traitement des eaux





## Annexe 2 : Démonstration de la formule pour Veff

On sait que :  $\frac{So}{Xo} = \frac{DCOeffluent*Veffluent}{\frac{MVSboue*Vboue}{Vtot} + \frac{MVSeffluent*Veffluent}{Vtot}}$ 

Or Vtot=Vb+Veff

Pour la suite, on prendra comme indice « eff » pour effluent et « b » pour boue

Si on fait l'hypothèse que MVSb\*Vb>>MVSeff\*Veff

On a :  $Veff*(1 + \frac{So}{Xo}*\frac{MVSb}{DCOeff}) = \frac{So}{Xo}*\frac{MVSb}{DCOeff}*Vtot$ 

On obtient :  $Veff = \frac{So}{Xo} * (Vtot-Veff) * \frac{MVSb}{DCOeff}$ 

Donc:  $Veff = \frac{\frac{So}{Xo} * \frac{MVSb}{DCOeff}}{1 + \frac{So}{Xo} * \frac{MVSb}{DCOeff}} *Vtot$ 

Ainsi:

Veff= $\frac{\theta}{1+\theta}$ \*Vt avec  $\theta = \frac{\text{So*MVSb}}{\text{Xo*DCOeff}}$ 

## Annexe 3 : Bibliographie & références

Rapport de stage 2eme année d'école d'ingénieurs - 2010/2011 : Determining and comparing biomass activity of activated sludge as a function of substrate by using respirometry - COURTOT Laura - Centre de Recherche Public Henri Tudor

http://www.cawq.ca/en/docs/eastern\_symp/021/proceedings.pdf

http://engees.unistra.fr/site/fileadmin/user\_upload/pdf/shu/ABaudouin04.pdf

http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/49/98/28/PDF/these Jerome Dispan.pdf

http://beline.homelinux.net/IMG/pdf/These Rousseau 2009.pdf

http://beline.homelinux.net/IMG/pdf/these\_boursier.pdf

http://catherine.safronieva.free.fr/rapportDEA.pdf

http://engees.unistra.fr/site/fileadmin/user\_upload/pdf/shu/ABaudouin04.pdf



# Annexe 4 : Protocole expérimental Mesure de la biodégradabilité de l'eau usée par respirométrie

