



UNIVERSITÉ
LAVAL



ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE DE L'EAU
ET DE L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG

Rapport de stage Pratique de l'ingénierie

2 mai 2016 – 29 juillet 2016

CLERMONT Gwennaëlle

FORMATION D'INGENIEUR

2014/2017

Promotion PARIS

**Suivi d'un pilote de traitement des eaux usées :
échantillonnage, analyse des échantillons,
entretien des capteurs et analyse des données. Lancement d'un
capteur de DBO.**



Organisme d'accueil - ville - pays :

modelEAU – Université Laval, Québec, Canada

Maître de stage : Peter VANROLLEGHEM

Référent école : Julien LAURENT

Sommaire

Remerciements	5
Présentation de l'organisme d'accueil	6
Présentation du projet dans lequel s'est inscrit le stage.....	6
Descriptif du projet d'ingénierie traité.....	8
Entretien des capteurs en place et analyse des résultats	8
Campagne de mesure	11
ROD TOX.....	13
Analyse critique	17
Bibliographie	18
ANNEXES	- 1 -

Table des illustrations

FIGURE 1: GOULOTTES DU DECANTEUR PRIMAIRE	8
FIGURE 2: EXEMPLE DE COURBE DE CALIBRATION DU SPECTRO::LYSER	9
FIGURE 3: COURBES ANALYSEES DU SYSTEME SCADA.....	10
FIGURE 4: COURBES ANALYSEES DU SYSTEME MONEAU	10
FIGURE 5: RECAPITULATIF DES DONNEES RECOLTEES LORS DE LA CAMPAGNE DE MESURE.....	11
FIGURE 6: ELEMENTS DU COUVERCLE DU REACTEUR DU RODTOX.....	13
FIGURE 7: REACTEUR DU RODTOX.....	13
FIGURE 8: COURBES DE CALIBRATIONS (2) ET DE MESURES (4) DU RODTOX.....	15
FIGURE 9: EXPERIENCE AVEC CHLORURE D'AMMONIUM	15
FIGURE 10: EXPERIENCE AVEC INJECTION D'ATU	16
ANNEXE 1: SCHEMA RECAPITULATIF DE LA STATION PILEAUTE	- 2 -
ANNEXE 2: CAPTEUR RODTOX	- 2 -
ANNEXE 3: COUVERCLE DU REACTEUR DU RODTOX	- 2 -

Remerciements

Je tiens à remercier pour ce stage toute l'équipe modelEAU que j'ai côtoyé durant ces trois mois, et en particulier l'équipe pilEAUte.

Merci d'abord à Peter VANROLLEGHEM, professeur titulaire, pour m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein de son équipe de recherche et pour ses conseils sur le capteur RODTOX.

Merci à Elena TORFS pour son aide sur le pilote et sur WEST.

Merci à Sylvie LEDUC pour son accueil et pour toutes les démarches administratives.

Merci à Sey-Hana SAING, technicien du pilote, pour son accueil, son aide sur le pilote et sa gentillesse.

Merci à Claudia Ines CONTRERAS, étudiante à la maîtrise, pour son aide et son partage de connaissances sur le pilote.

Merci enfin aux autres stagiaires avec qui j'ai partagé ces quelques mois à Québec et qui m'ont permis de profiter au maximum de cette expérience à l'étranger.

Présentation de l'organisme d'accueil

L'Université Laval est une des plus grandes universités du Canada, située dans la ville de Québec. Elle regroupe de très nombreux laboratoires de recherche dans une grande variété de domaines au sein de 17 facultés et 67 départements.

Le laboratoire *modelEAU* fait partie du centre de recherche CentrEau, un centre multidisciplinaire se concentrant sur les problèmes de gestion de l'eau avec une vision élargie permettant d'imaginer des solutions novatrices.

Le laboratoire *modelEAU* en lui-même est centré autour de la Chaire de recherche en modélisation de la qualité de l'eau détenue par Peter Vanrolleghem depuis 2006. Le laboratoire regroupe une vingtaine de professionnels de recherche, de post-doctorants, et principalement des étudiants à la maîtrise et au doctorat répartis sur plusieurs projets.



Présentation du projet dans lequel s'est inscrit le stage

Le projet pilEAUte concerne un pilote de traitement des eaux usées installé dans le pavillon de génie civil et de génie des eaux en janvier 2015. Le but principal de ce pilote est d'étudier l'élimination de l'azote à moindre utilisation de ressources financières, énergétiques, chimiques et autres.

Le pilote reçoit les eaux usées des résidences étudiantes du campus et se compose de deux files de traitements par boues activées (cf. Annexe 1), qui serviront à terme à comparer différentes conditions de traitement, comme par exemple un climat froid, problématique très présente au Canada.

Les eaux usées des résidences situées sur le campus sont récoltées dans un poste de pompage puis envoyées par deux pompes déchiqueteuses (il n'y a en effet pas de dégrillage) dans un bassin tampon. Depuis ce bassin tampon, une pompe achemine l'eau dans un décanteur primaire afin de réduire la fraction particulaire de l'eau usée avant le traitement biologique. La filière de traitement se divise ensuite en deux lignes, appelées pilote et co-pilote. Chaque file est composée de deux bassins anoxiques permettant la dénitrification suivis de trois bassins aérobies permettant notamment la nitrification. Chaque file est finie par un décanteur secondaire pour séparer l'eau traitée des boues biologiques. Deux circuits de recirculation sont présents dans chaque file : un circuit de recirculation des boues depuis le décanteur secondaire vers le premier bassin anoxique et un circuit de recirculation interne depuis le troisième et dernier bassin aérobie vers le premier bassin anoxique. Cette dernière recirculation permet de réacheminer les nitrates en tête de filière pour optimiser la dénitrification. Deux échangeurs de chaleur sont installés sur les circuits de recirculation interne pour agir sur la température des filières.

Depuis son installation, le travail effectué sur le pilote a principalement été un travail de stabilisation du fonctionnement de la filière de traitement. Un travail a aussi été effectué sur les principaux capteurs qui permettent le suivi du traitement dans le pilote (mesure de turbidité, d'oxygène dissous, de nitrates, d'ammonium,...).

Maintenant que le fonctionnement du pilote est relativement stabilisé et globalement bien compris, de nouveaux capteurs sont installés pour permettre un suivi plus poussé ou pour étudier l'utilisation de tels capteurs dans une filière de traitement.

L'arrivée de stagiaires dans l'équipe permet justement de lancer des expériences sur ces nouveaux capteurs et de lancer des campagnes de mesures. En effet, pour le moment, aucun membre du laboratoire n'ayant de projet concernant complètement le pilote, les expériences sur celui-ci sont donc en suspens. Cette situation devrait néanmoins évoluer avec l'arrivée d'un doctorant sur le pilote en septembre 2016.

Descriptif du projet d'ingénierie traité

Entretien des capteurs en place et analyse des résultats

Dès le début du stage, les premières tâches qui nous ont été confiés, aux deux autres stagiaires et moi, ont été l'entretien du pilote et l'analyse bihebdomadaire des données récoltées.

De nombreux capteurs sont installés sur le pilote (cf. Annexe 1) et leur bon fonctionnement nécessite un nettoyage régulier. Un système de nettoyage automatique par injection d'air est installé sur plusieurs capteurs, comme les Varions, mais il ne suffit malheureusement pas. Les capteurs du pilote sont donc nettoyés chaque semaine, pour éliminer les matières organiques qui se déposent dessus. Seuls les Solitax des retours de boues ne sont nettoyés que toutes les deux semaines en raison de leur difficulté d'accès. Le nettoyage doit être fait avec minutie, afin de ne pas endommager les électrodes. Le nettoyage des goulottes d'écoulement des décanteurs (cf. Figure 1) était également réalisé chaque semaine pour éviter leur colmatage.



Figure 1: Goulottes du décanteur primaire (après vidange partielle du décanteur pour entretien)

Des analyses de validation des résultats étaient aussi à effectuer régulièrement, environ une fois par semaine. Ces analyses correspondaient à des mesures de Matière En Suspension (MES), par filtration et pesée des filtres après passage au four à 105°C, et à des mesures par tubes Hach, méthode où les tubes contiennent déjà les réactifs et où la lecture du résultat se fait par spectrophotométrie. Cette méthode est utilisée pour les mesures de nitrates, nitrites, ammonium, DCO totale et soluble. Ces analyses permettent de vérifier l'exactitude des valeurs données par les capteurs et éventuellement de procéder à des calibrations des capteurs si les valeurs ne sont pas correctes. Pour les capteurs que nous avons dû calibrer régulièrement, par exemple le spectro::lyser, la calibration se faisait de façon assez simple, par un bouton à cliquer lors de la prise d'échantillon afin que le logiciel garde en mémoire les valeurs mesurées par le capteur puis des champs à remplir avec les valeurs obtenues en laboratoire. Le logiciel procède ensuite automatiquement à une calibration (cf. Figure 2).

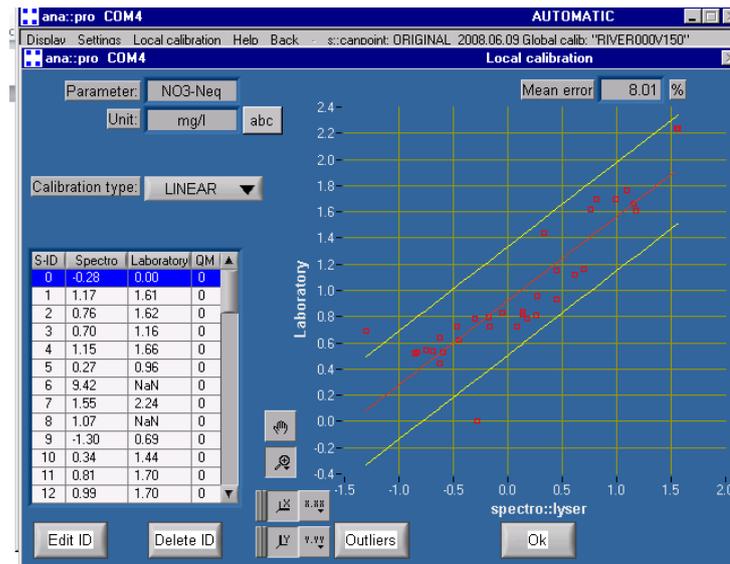


Figure 2: Exemple de courbe de calibration du spectro::lyser

Ce travail d'entretien nous a permis de nous familiariser rapidement avec le pilote et ses différents capteurs.

Nous étions également en charge de l'analyse bihebdomadaire des résultats. Cette tâche que nous réalisons à tour de rôle consiste à extraire les résultats fournis par les capteurs sur les deux dernières semaines et tracer des courbes avec un code Matlab pour les capteurs monEAU ou faire des captures d'écran pour le système SCADA puis analyser ces courbes.

Cette analyse rapide consistait à repérer sur les courbes les éléments marquants comme les nettoyages ou les calibrations (cf. Figure 3 et Figure 4). Cette analyse était ensuite présentée à l'équipe lors de la réunion pilEAUte et permettait un suivi du fonctionnement du pilote par toute l'équipe et des discussions sur les points qui ne fonctionnaient pas bien.

Ces analyses nous ont à mon avis permis de mieux comprendre le fonctionnement du pilote car elles nous obligeaient à réfléchir à ce qui avait pu se passer à un moment donné, et donc à mettre en relation toutes les données dont nous disposions et envisager plusieurs causes possibles. De plus, comme nous n'avions pas encore les connaissances suffisantes sur le pilote pour distinguer tout de suite les évolutions normales des évolutions anormales, nous cherchions à comprendre tout ce que les courbes présentaient, comme par exemple une grosse diminution de la charge entrante due finalement seulement à un orage survenu dans la nuit qui avait dilué l'affluent.

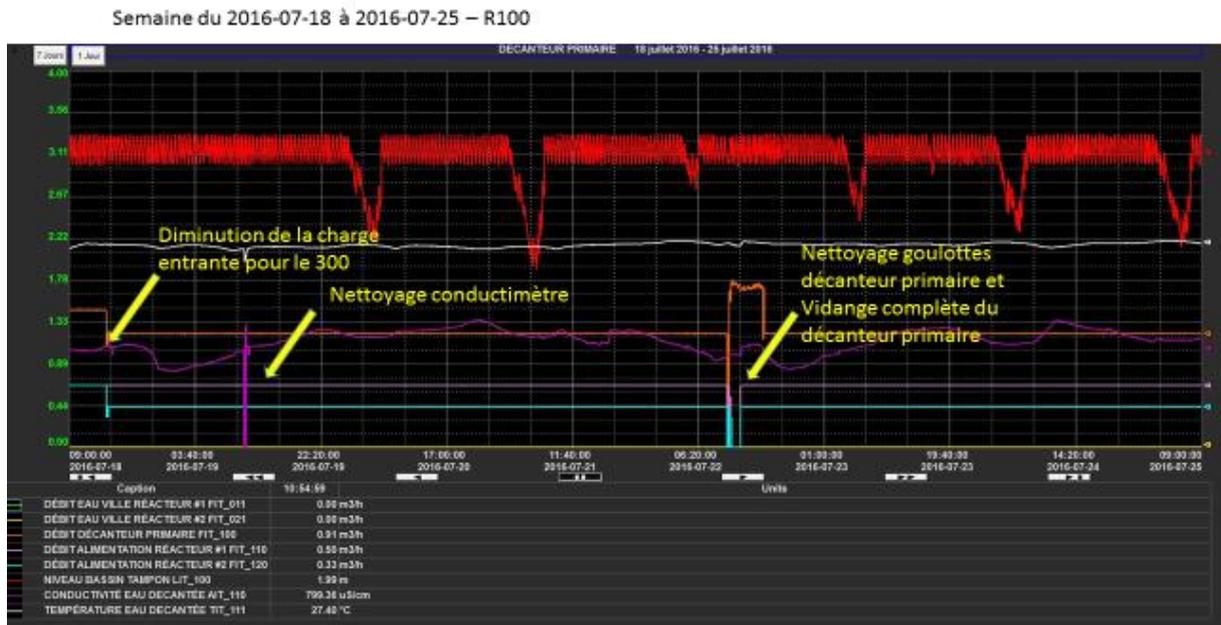


Figure 3: Courbes analysées du système SCADA

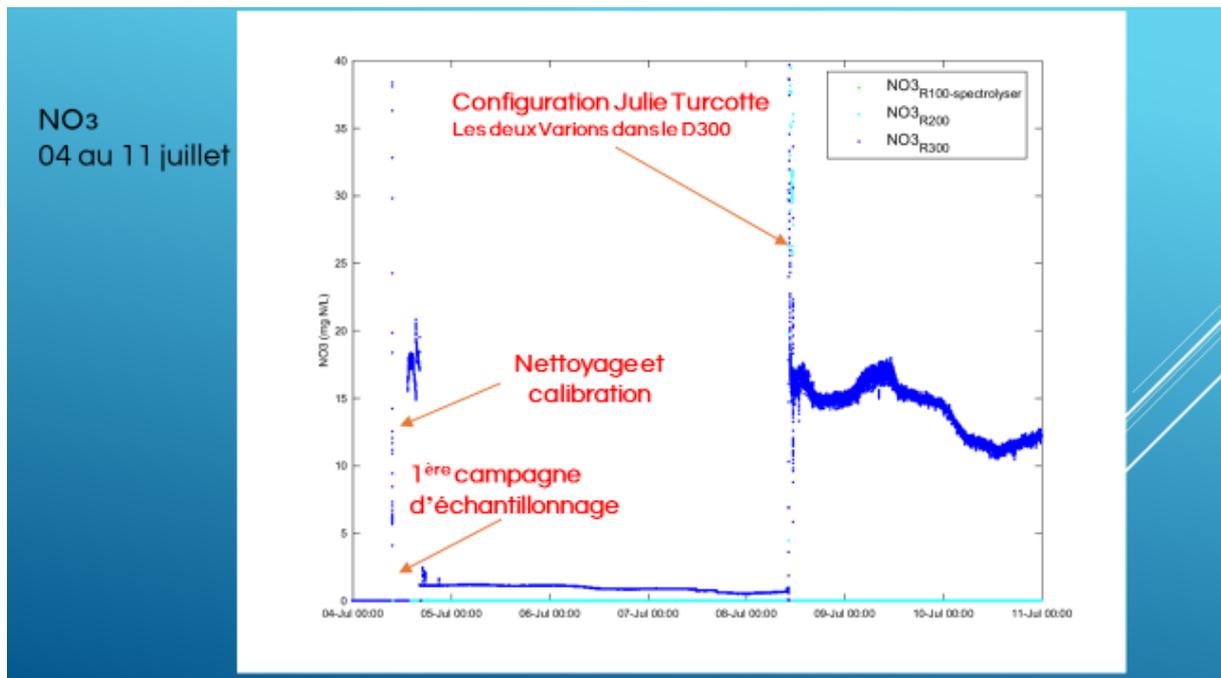


Figure 4: Courbes analysées du système monEAU

Campagne de mesure

L'installation des capteurs sur lesquels nous devons travailler n'étant toujours pas finie, il fut décidé d'organiser une campagne de mesure pour suivre le traitement de l'azote dans l'usine pilote, et en particulier l'effet d'une diminution de la température du co-pilote par rapport au pilote.

Nous étions trois stagiaires à organiser cette campagne de mesure. Nous avons décidé de partir sur une campagne en trois temps : d'abord deux créneaux de 24h, puis 2 semaines de suivi de l'évolution de façon plus diffuse.

Les créneaux de 24h ont eu lieu par temps sec, le premier en conditions habituelles de fonctionnement du pilote, et le deuxième après démarrage de l'échangeur de chaleur sur le co-pilote (réglage à 16°C). Ce deuxième créneau fut suivi immédiatement par la période de deux semaines de suivi.

Il a été décidé d'utiliser au maximum les valeurs mesurées par les capteurs en place pour limiter le nombre de tests à réaliser en laboratoire, qui étaient déjà élevés étant donné que nous voulions suivre le plus de paramètres possibles (cf. Figure 5). Cependant certains capteurs ne donnant vraiment pas des valeurs cohérentes ont été exclus (Variations mesurant les concentrations d'azote à la sortie des décanteurs secondaires).

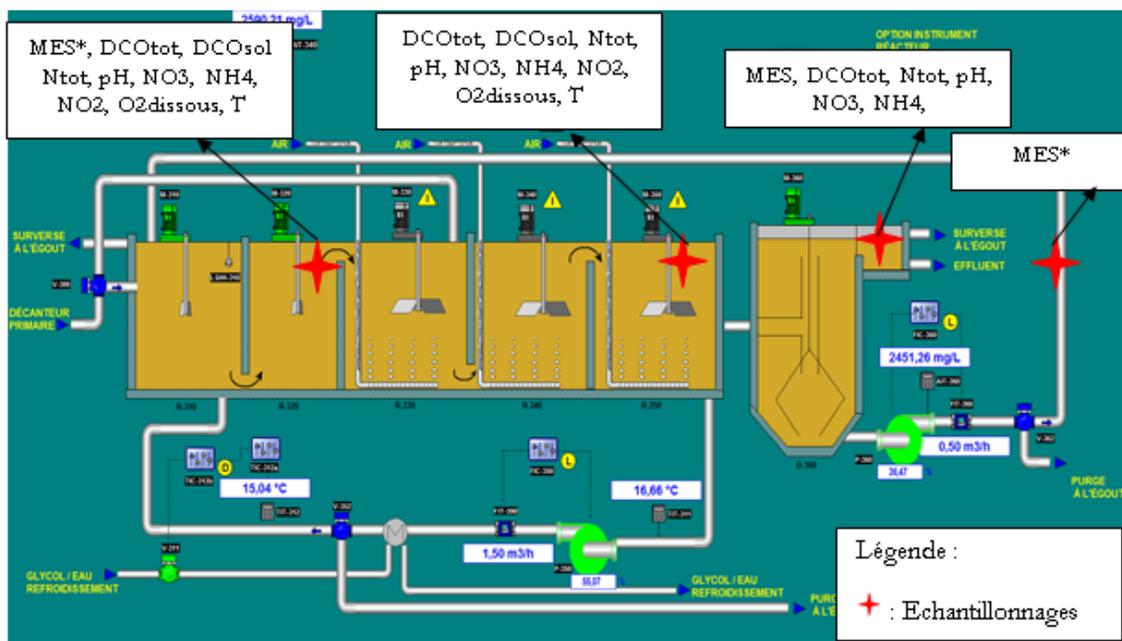


Figure 5: Récapitulatif des données recueillies lors de la campagne de mesure

Au cours du premier créneau de 24h, les échantillonnages étaient réalisés toutes les 4h. Néanmoins, nous ne disposions que de 4 emplacements de chauffage pour les tubes d'azote total. Nous avons donc décidé de réaliser les échantillonnages et les tests concernant les décanteurs secondaires décalés de 2h par rapport au reste. Pour la deuxième période de 24h, les échantillonnages avaient lieu toutes les 2h afin de suivre au plus près l'impact du changement de température. L'azote total n'était alors testé que sur le décanteur primaire.

Pendant la période de suivi de deux semaines, qui avait pour but de faire un suivi à plus long terme du changement de température, des échantillonnages étaient effectués deux fois par jour, à 9h et 16h, et une fois seulement par jour pendant le weekend.

Il a fallu organiser des créneaux de passages avec les membres du groupe de recherche qui ont acceptés de nous aider, ainsi que des mini-formations pour ceux qui ne fréquentent pas le laboratoire pilote régulièrement. Pour limiter les erreurs, nous avons fait des affichettes pour signaler les différents postes de travail dans le laboratoire ainsi que les tests à réaliser et leurs protocoles. Nous avons également dans la mesure du possible constitué des binômes comprenant au moins une personne ayant l'habitude de réaliser ces tests. Les retours de l'équipe sur l'organisation des campagnes étaient très positifs.

J'ai finalement participé à la première campagne de 24h, mais j'étais absente pour la seconde. De plus, le RODTOX, le capteur sur lequel je devais travailler, a été opérationnel à ce moment-là et il a donc été décidé que je laisse les deux autres stagiaires finir cette campagne tandis que je me concentrerai sur ce capteur. Je n'ai donc suivi l'interprétation des résultats que de loin.

Cette campagne a entre autre permis de calculer des taux d'abattement de différents paramètres à différents stades de la file de traitement, et de détecter un problème d'alcalinité pouvant avoir des conséquences sur la performance du système (pH descendant parfois en dessous de 5).

ROD TOX

Le capteur RODTOX (Rapid Oxygen Demand and Toxicity Tester) est un capteur dont la fonction principale est la mesure de la Demande Biologique en Oxygène (DBO), de façon beaucoup plus rapide que la méthode traditionnelle qui nécessite 5 jours d'attente. Ce capteur repose donc sur une électrode d'oxygène dissous.

Le RODTOX est un capteur qui a été très peu étudié, et la littérature le concernant se limite aux articles publiés par Peter Vanrolleghem lors de son doctorat dans les années 1990.

➤ Description du capteur

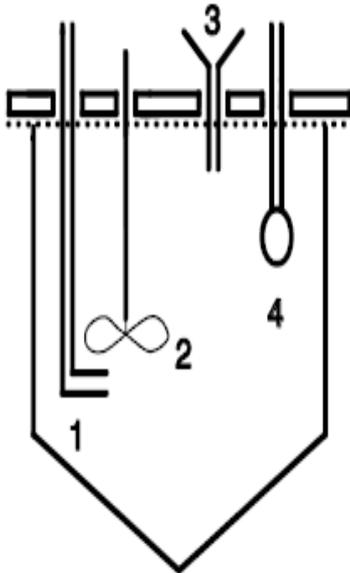


Figure 6: Éléments du couvercle du réacteur du RODTOX (1:Tuyau d'aération, 2:Agitateur, 3:Orifice d'injection manuelle, 4:Sonde d'oxygène dissous)

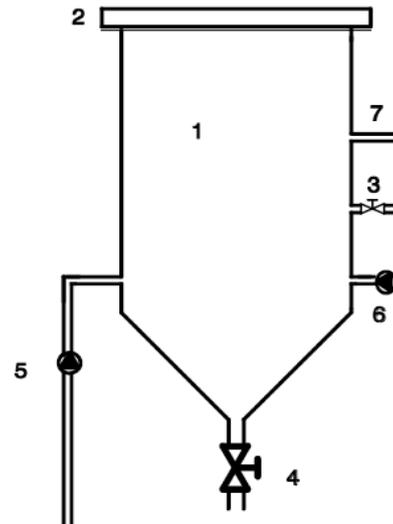


Figure 7: Réacteur du RODTOX (1:Réacteur, 2:Couvercle, 3:Valve de décantation, 4:Valve de vidange, 5:Pompe de calibration, 6:Pompe de mesure, 7:Trop-plein)

Le RODTOX est composé d'un réacteur de 15L, sur le couvercle duquel sont disposés un agitateur, un aérateur et une électrode de mesure de l'oxygène dissous (cf. Figure 6 et Annexe 3). A ce réacteur sont également reliées deux pompes, l'une de calibration, l'autre de mesure (cf. Figure 7 et Annexe 2).(KELMA, Niel, Belgique)

Tous les éléments du capteur et les paramètres de fonctionnement sont gérés par l'ordinateur interne.

➤ Fonctionnement

Pour fonctionner, le RODTOX nécessite l'ajout de 10L de boues activées (MES comprises entre 3 et 8g/L) dans le réacteur. Le RODTOX procède ensuite à une phase d'acclimatation d'une heure pendant laquelle le réacteur est porté à une température donnée (25°C) et les boues sont oxygénées jusqu'à ce que l'oxygène dissous atteigne un équilibre.

Une double calibration est ensuite réalisée par l'injection d'une solution de calibration (acétate de sodium) de DBO connue. Cette injection de substrat va créer un pic (cf. Figure 8) de diminution de l'oxygène dissous, dont la hauteur et la surface vont servir de référence pour les mesures qui suivront.

Le RODTOX procède ensuite aux mesures sur l'échantillon d'eau usée : il injecte un volume d'échantillon fixé, puis mesure la hauteur et la surface du pic obtenu et calcule la DBO de l'échantillon par rapport à la calibration réalisée préalablement. L'utilisation de la hauteur permet une estimation rapide de la DBO mais est moins fiable que l'utilisation de la surface.

$$DCO_{\text{échantillon}} = \frac{S_{\text{échantillon}}}{S_{\text{calibration}}} * DCO_{\text{calibration}} \quad \text{avec } S \text{ la surface du pic}$$

Si le pic obtenu n'est pas suffisamment grand, le volume injecté est automatiquement doublé jusqu'à obtenir des pics suffisants (jusqu'à un volume maximum de 500mL).

Le capteur réalise ici 6 mesures avant de procéder à une phase de décantation et d'évacuation du surplus d'eau (la décantation est déclenchée dès que le volume dans le réacteur dépasse les 13L). Une nouvelle calibration est ensuite réalisée avant de faire de nouvelles mesures (cf. Figure 8).

Chaque injection de substrat est précédée par une phase de vérification de la stabilité de la courbe d'oxygène dissous, et de la redéfinition de la valeur de référence d'oxygène dissous (ligne jaune sur les graphiques).

➤ Tests réalisés

Ce capteur n'ayant jamais été utilisé depuis sa livraison plus d'un an auparavant, une calibration de l'électrode d'oxygène dissous et des pompes de calibration et d'échantillonnage s'est avérée nécessaire.

Il a ensuite fallu déterminer la DBO nécessaire pour obtenir un pic suffisant pour la calibration avec l'acétate de sodium (NaAc). Après plusieurs essais, et en se basant sur des valeurs utilisées lors d'une précédente étude (Vanrolleghem et al. 1994), il a été déterminé qu'il fallait injecter une quantité de solution de calibration telle qu'on obtienne environ 20 mg DBO/L dans le réacteur, soit 13mL de solution d'acétate de sodium à 20 g/L.

$$1g \text{ d'acétate de sodium} \Leftrightarrow 0,78 gDCO$$

on considère que pour l'acétate de sodium, la valeur de DBO est identique à celle de DCO.

$$20g/L \Leftrightarrow 15,6 gDBO/L$$

Or le réacteur fait 10L et on cherche à obtenir une concentration de 20mgDBO/L

$$\frac{20 * 10000}{15600} = 12,8 \text{ mL de solution de calibration à injecter}$$

Le premier test réalisé a ensuite été un cycle automatique avec un échantillon prélevé en sortie du décanteur primaire (cf. Figure 8). L'échantillon est pris à cet endroit pour deux raisons, d'une part pour éviter les grosses particules présentes dans le bassin tampon en raison de l'absence de dégrillage en entrée et qui pourraient se coincer dans les tubes fins du capteur ; d'autre part en raison de la présence à cet endroit d'un autre capteur, le spectro:lyser, qui mesure la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et dont la mesure permettra de comparer les résultats obtenus avec le RODTOX.

La mesure est réalisée avec 500mL d'échantillon, et engendre un pic suffisant pour le calcul de la DBO. Ce calcul donne cependant une DBO à environ 800mg/L, contre environ 300mg/L de DCO mesurée par le spectro:lyser. Cette différence importante montre bien que la valeur calculée par le capteur ne correspond pas vraiment à la DBO. En effet, puisque le capteur ne fait que mesurer la consommation d'oxygène lors d'un ajout d'échantillon, il ne mesure pas seulement la DBO, mais en réalité la demande totale en oxygène.



Figure 8: Courbes de calibrations (2) et de mesures (4) du RODTOX

Pour mieux comprendre ce qui consomme également de l'oxygène dans l'échantillon, une autre expérience réalisée a été d'injecter une solution mélangée d'acétate de sodium et de chlorure d'ammonium, pour observer la forme du pic observé. En effet, le pic correspondant à une injection d'acétate de sodium est très pointu tandis que celui obtenu avec l'échantillon est nettement plus arrondi à la pointe, ce qui pourrait être dû à la présence d'ammoniac dans l'eau brute, pour lequel la consommation d'oxygène au cours de la nitrification est moins intense mais plus longue. (Kong et al. 1996)

Afin de confirmer cette hypothèse, j'ai procédé à trois injections successives de réactifs : en premier lieu, la solution d'acétate de sodium seule (6,5mL à 20g/L soit 15,6gDCO/L), puis la solution de chlorure d'ammonium (6,5mL à 10gNH₄-N/L), et enfin la solution mixte (mélange des deux solutions précédentes) (cf. Figure 9). Les concentrations ont été calculées de façon à avoir une consommation d'oxygène deux fois plus importante par le chlorure d'ammonium que par l'acétate de sodium, de façon à bien distinguer l'effet de l'ammonium sur la courbe. On remarque sur les courbes obtenues que la forme arrondie du pic est effectivement due à la présence d'ammonium dans l'eau de l'échantillon.



Figure 9: Expérience avec acétate (1), chlorure d'ammonium (2) et solution mixte

En regardant les valeurs d'ammonium données par le capteur dans le bac de mesure du décanteur primaire, on remarque que la concentration est assez importante, autour de 60mgN/L, ce qui peut expliquer la grande différence entre la valeur de « DBO » calculée par le RODTOX et la valeur mesurée par le spectro::lyser.

En effet le calcul de la consommation d'oxygène donne (y_A étant le coefficient de rendement de la croissance des bactéries nitrifiantes et y_H celui des bactéries hétérotrophes) :

$$(4,57 - y_A) * (NH_4 - N) = (4,57 - 0,24) * 60 [mgN/L] = 260 mgO_2/L \text{ consommé}$$

$$(1 - y_H) * DCO = (1 - 0,65) * 300 [mgDCO/L] = 105 mgO_2/L \text{ consommé}$$

On remarque bien qu'avec ces valeurs, l'oxygène consommé par l'ammonium est 2 fois plus élevé que celui consommé par la DCO.

La dernière expérience que j'ai réalisée repose sur l'utilisation d'ATU (N-allylthiourée), qui a pour propriété d'inhiber la nitrification. J'ai donc injecté 40mL d'ATU à 5 g/L dans le réacteur du RODTOX puis attendu une dizaine de minute pour que le produit fasse effet sur les bactéries nitrifiantes. J'ai ensuite vérifié que l'ATU avait bien fait effet en ajoutant 6,5mL de chlorure d'ammonium à 10g/L, avant de procéder à une mesure sur un échantillon d'eau du décanteur primaire (cf. Figure 10). Le résultat obtenu confirme alors l'hypothèse : le RODTOX mesure en effet alors une DBO de 283mgDBO/L pour une valeur de DCO mesurée par le spectro::lyser d'environ 300mgDCO/L.

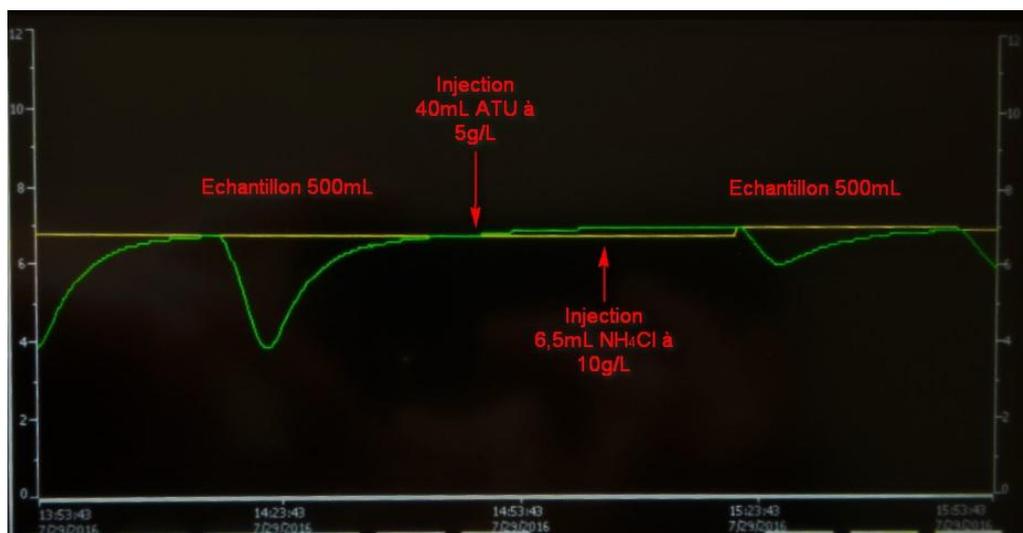


Figure 10: Expérience avec injection d'ATU

L'utilisation du RODTOX pour la mesure de la DBO dans une filière de traitement devrait donc s'accompagner d'une injection d'ATU pour donner des valeurs correctes. Je pense néanmoins que l'on peut trouver une utilité à la mesure de la demande totale en oxygène, ou prévoir de corriger la valeur par un calcul intégrant une mesure d'ammonium obtenue d'un autre capteur (voir ci-dessous), ce qui serait certainement moins coûteux que l'ajout d'ATU.

$$DBO [mgDBO/L] = DBO_{totale} [mgO_2/L] - 4,57 * (NH_4 - N) [mgN/L]$$

Analyse critique

Le travail réalisé, que ce soit sur le pilote en général, lors de la campagne de mesure, ou sur le capteur RODTOX était très instructif. Le travail initialement prévu, sur le capteur RODTOX, m'a vraiment plu et constituait un bon exemple de travail effectué dans un laboratoire de recherche. L'installation tardive du capteur ne m'a malheureusement pas laissé assez de temps à mon goût pour pouvoir réaliser d'autres expériences qui auraient été pertinentes (test de toxicité,...) et qui aurait permis de mieux apprécier toute l'utilité d'un tel capteur dans une station de traitement des eaux usées.

L'organisation préalable de ce stage par l'organisme d'accueil aurait pu être meilleure. En effet, bien que l'arrivée des stagiaires estivaux soit prévue depuis plusieurs mois, et constitue une occasion importante d'avancer sur des projets laissés de côté faute de personne disponible, les projets sur lesquels nous devons travailler n'étaient pas prêts à démarrer. Les capteurs étaient déjà dans les locaux mais quelques étapes de leur installation (choix de l'emplacement,...) auraient pu être réalisées en amont de notre arrivée pour gagner un temps conséquent sur un stage court de 3 mois. Ce manque de préparation est principalement dû au personnel réduit travaillant sur le pilote (le technicien travaille 3 jours par semaine et doit déjà gérer une bonne partie de la maintenance du pilote, et il n'y a pas pour le moment de chercheur dédié au pilote).

Nous avons cependant discuté de ce problème de préparation avec le maître de stage qui était attentif à nos remarques et sera plus vigilant pour les prochains stagiaires.

L'équipe n'est cependant pas responsable de tous les délais rencontrés : pour l'installation des capteurs, il a fallu faire appel à une société extérieure, et donc se plier aussi à leurs délais. Nous avons aussi été confrontés à des problématiques d'installations imprévues au départ, comme par exemple la nécessité d'installer le RODTOX sur une plateforme pour permettre l'installation correcte du drain. Cette expérience fut une bonne immersion dans le monde du travail, avec ses imprévus et ses délais parfois long.

Ce stage m'a permis de mieux appréhender le domaine de la recherche que nous découvrons peu à l'école, et m'a ainsi permis de préciser mon projet professionnel. J'ai particulièrement apprécié la présentation hebdomadaire d'un membre de l'équipe modelEAU, qui permettait à chaque personne de suivre les projets de chacun et créait ainsi une véritable cohésion de l'équipe.

De plus, je pense que le fait d'avoir effectué ce stage dans le domaine du traitement de l'eau, qui n'est pas la spécialité que j'ai choisi d'étudier en 3^e année à l'école, mais qui reste tout de même un domaine qui m'intéresse, m'a permis d'acquérir une expérience qui pourra être valorisée dans ma future vie professionnelle.

Bibliographie

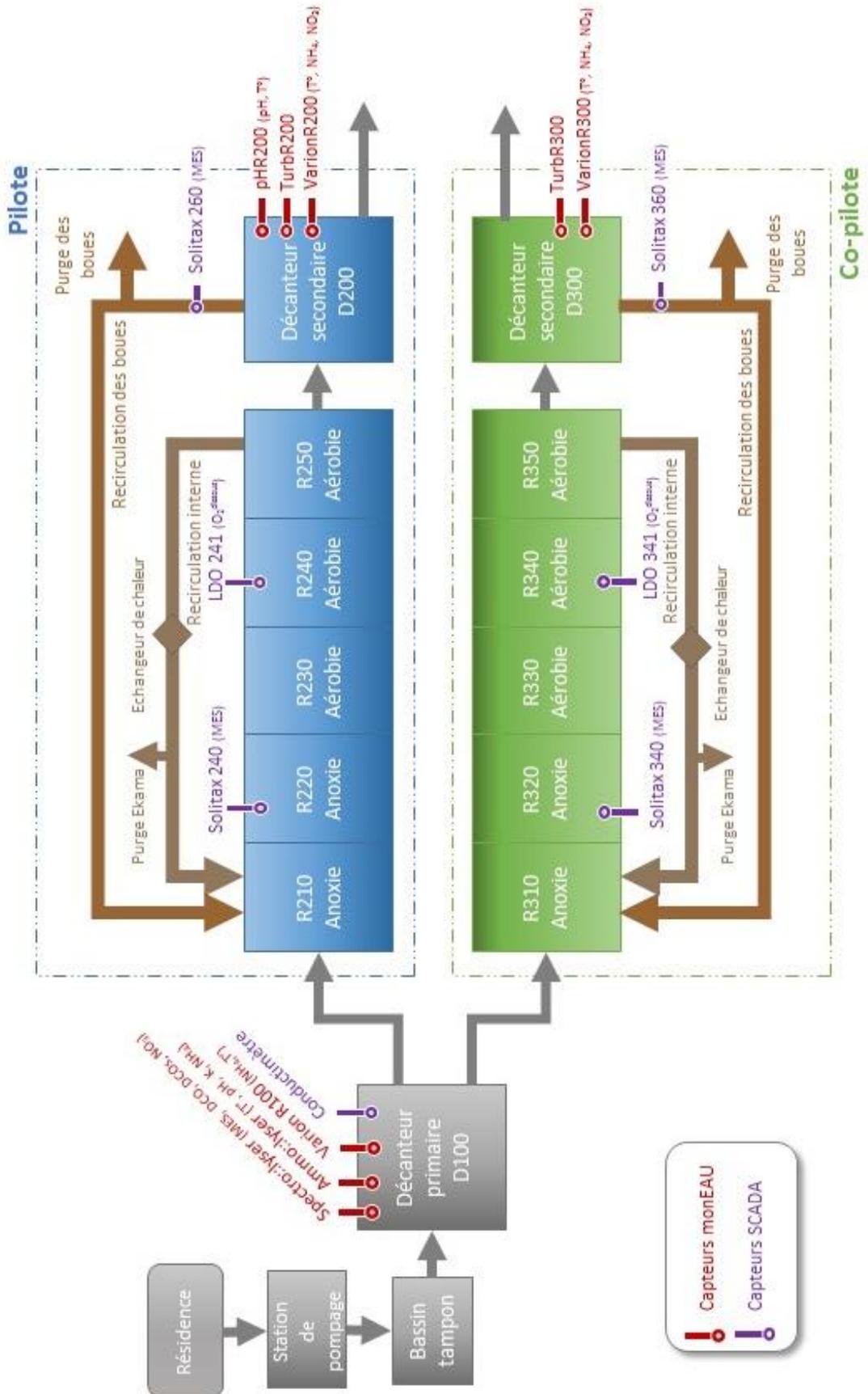
KELMA. , Niel, Belgique, Directions for use of the RODTOX NG.

Kong Z. , Vanrolleghem P. , Willems P. and Verstraete W. (1996) Simultaneous determination of inhibition kinetics of carbon oxidation and nitrification with a respirometer. *Water Research*, 30(4), 825–836.

Vanrolleghem P.A., Kong Z., Rombouts G. and Verstraete W. (1994) An on-line respirographic biosensor for the characterization of load and toxicity of wastewaters. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 59(4), 321–333.

ANNEXES

ANNEXE 1: SCHEMA RECAPITULATIF DE LA STATION PILEAUTE	- 2 -
ANNEXE 2: CAPTEUR RODTOX	- 2 -
ANNEXE 3: COUVERCLE DU REACTEUR DU RODTOX	- 2 -



Annexe 1: Schéma récapitulatif de la station pilEAUte



Annexe 2: Capteur RODTOX



Annexe 3: Couvercle du réacteur du RODTOX