



École Nationale Supérieure des Ingénieurs
en Arts Chimiques et Technologiques
Génie des Procédés et Informatique

Rapport de stage de fin de 2^{ème} année

Maître de stage : Professeur Peter Vanrolleghem

Modélisation du comportement des métaux lourds dans une station de traitement des eaux usées

Guillaume JALBY

<Guillaume.Jalby@ensiacet.fr>



Université Laval, Québec, du 26 juin au 11 septembre 2007

Table des matières

1	Introduction	5
2	Présentation de modelEAU	6
3	Travail effectué	7
3.1	Pertinence de mon travail	7
3.2	Sources de métaux lourds	8
3.2.1	Différentes sources	8
3.2.2	Eaux domestiques - eaux usées	9
3.2.3	Eaux industrielles - eaux usées	9
3.2.4	Eaux de drainage - eaux usées	10
3.2.5	Bâtiments - eaux de pluie	10
3.2.6	Circulation routière - eaux de pluie	10
3.2.7	Dépôts atmosphériques - eaux de pluie	11
3.2.8	Produits chimiques - traitement par la station	11
3.2.9	Synthèse	12
3.3	Données de la station de traitement de Whitlingham et bilans de matière	13
3.3.1	Présentation de la station de Whitlingham et des données	13
3.3.2	Bilan matière	14
3.4	Simulations avec le logiciel WEST	23
3.4.1	Le logiciel WEST	23
3.4.2	Le travail de modélisation	23
4	Réflexion personnelle	29
4.1	Découverte d'un pays, d'une culture	29
4.1.1	Une même langue mais deux pays différents	29
4.1.2	Une culture très influencée par les États-Unis	29
4.2	Expérience humaine	29
4.2.1	Rencontre de personnes	29
4.2.2	Apprendre l'ouverture d'esprit	30
4.3	Expérience professionnelle	30
4.3.1	Mon projet professionnel	30
4.3.2	La R&D	30
4.3.3	L'environnement	31
4.3.4	L'Anglais	31
4.3.5	Mener un travail sur un sujet	31
5	Conclusion	32

Table des figures

1	Cycle géochimique des métaux	7
2	Contributions des différentes sources de métaux; données qui proviennent de L. Sörmea et R. Lagerkvistb, <i>Sources of heavy metal in urban wastewater in Stockholm</i> .2001.	9
3	Proportions des métaux lourds provenant de la circulation routière	11
4	Proportions des sources de zinc	12
5	Proportions des sources de cuivre	12
6	Schéma de la station de Whitlingham avec les points de mesures	13
7	Schéma de la station de Whitlingham avec la connaissance des courants	14
8	Schéma du nœud ((1)+[8]+[3]+(2)[2]+[7](8))	16
9	Bilan sur le clarificateur primaire	17
10	Bilan sur le nœud ((3)+(4)+(10))	17
11	Bilan sur l'aérateur	18
12	Bilan global sur le traitement par boue activée	19
13	Bilan sur la sortie de boue [9]	19
14	Bilan sur le bassin de consolidation	20
15	Variations des données autour de la moyenne journalière	22
16	Nœud 3-4-10 simulé par WEST	24
17	Réacteur modélisé par WEST	24
18	Clarificateur primaire modélisé par WEST	25
19	Graphiques de comparaison du courant n°3 entre mesure et modélisation (concentration=f (temps))	26
20	Traitement par boue activée modélisé par WEST	27
21	Comparaison du courant n°6 entre expérimental et calculé	27

Liste des tableaux

1	Tableau récapitulatif de la connaissance des courants	15
2	Tableau des erreurs relatives moyennes sur le nœud ((1)+[8]+[3]+(2)[2]+[7](8)) . .	16
3	Tableau des valeurs de k_d pour chaque métal	24
4	Tableau des valeurs de k pour chaque métal	25

1 Introduction

Le Québec ou plus largement le Canada est un pays qui fascine et impressionne. Grands espaces, forêts, lacs, rivières poissonneuses, ours, caribous, baleines, fleuve Saint Laurent, ruée vers l'or, Inuit, trappeurs, amérindiens... Tous ces mots et bien d'autres encore, nous rappelle le pays où l'on fabrique le sirop d'érable. Tous ces mots ne sont que quelques composantes de ce qui nous fait rêver dans ce pays, la Nature. La fragilité de l'environnement qui nous entoure et la prise de conscience de plus en plus importante de notre impact sur lui, nous rappelle la responsabilité que nous avons, en tant qu'animal "intelligent", pour le protéger et le préserver.

Le domaine dans lequel s'inscrit le stage que j'ai effectué est au cœur de cette problématique de protection et de préservation. En effet, de part son mode de vie, l'homme moderne a évolué pour "sortir de la nature". Il ne vit plus en harmonie avec la nature comme le faisait l'homme pré-historique et plus récemment les tribus amérindiennes avant la colonisation. Il doit donc chercher à réduire son influence sur son environnement ou à rendre ce qu'il lui a emprunté dans le meilleur état possible. Le traitement des eaux usées en est donc une illustration parfaite. L'homme prend de l'eau à la nature. Cette eau est plus ou moins bonne selon ses critères. Après l'avoir utilisé, il doit la restituer à l'environnement avec une qualité la plus proche possible de celle qu'elle avait après captage. De cette façon, l'environnement et les écosystèmes seront moins perturbés par l'activité de l'homme.

Je vais donc vous présenter le laboratoire pour lequel j'ai travaillé cet été. Puis, je vous ferai part du travail que j'ai effectué durant mes trois mois de stage. Enfin, je vous donnerai mes réflexions personnelles sur ce que le stage m'a apporté.

2 Présentation de modelEAU

ModelEAU est une Chaire de recherche canadienne en matière de modélisation de la qualité de l'eau. Cette Chaire a vu le jour en Février 2005 grâce au Professeur Peter Vanrolleghem qui dirige encore à l'heure actuelle ce laboratoire de recherche. Le but de modelEAU est de développer et d'utiliser des modèles mathématiques. Ces modèles seront ou sont utilisés afin de prendre des décisions avec comme critère principal, la qualité de l'eau. ModelEAU travaille aussi bien sur la qualité de l'eau dans les rivières que dans les stations de traitement de l'eau.

A l'heure actuelle, les principaux sujets auxquels modelEAU s'efforce de trouver des solutions sont les suivants :

1. Mieux connaître l'influence de la dynamique des eaux usées urbaines sur la qualité de l'eau d'une rivière et l'importance que peut prendre cette influence. De nouvelles stations de surveillance plus développées permettraient une prise de données de meilleure qualité.
2. Chercher comment garantir la fiabilité et la précision des données mesurées sur le terrain ou dans les stations de traitement des eaux et développer de nouveaux outils d'évaluation de la qualité de ces données.
3. Trouver le moyen de modéliser le transport et le traitement des eaux usées urbaines. Savoir sélectionner le modèle le plus convenable au niveau de sa complexité, trouver comment coupler différents modèles entre eux, créer une campagne de mesure et déterminer quelles sont les bonnes pratiques de modélisation (Good Modelling Practice).
4. Utiliser les résultats de la modélisation, pour optimiser les systèmes d'eau urbain, et ainsi réduire les impacts de l'urbanisme et de l'agriculture sur la qualité des eaux arrivant dans les stations de traitement et dans les rivières (par exemple en utilisant des stratégies de supervision innovantes).
5. Apporter des solutions afin d'améliorer les transports et traitements des eaux usées par de nouvelles technologies durables.
6. Apprendre à faire face à des manques de connaissance sur les systèmes actuels et leurs développements futurs, lors de simulations. Ces systèmes visant à améliorer au maximum la qualité de l'eau des rivières.

Pour atteindre ces objectifs, l'équipe comporte deux chercheurs principaux, Professeur Peter Vanrolleghem qui est à l'origine de modelEAU et Liev Rieger qui effectue sa période post-doctorale pour le laboratoire. Mais s'ajoutent aussi deux étudiants en maîtrise et un futur doctorant. D'autres personnes viennent se joindre de temps à autres pour effectuer des stages ou passer des périodes de recherche dans le cadre de collaboration avec des laboratoires étrangers.

L'équipe de modelEAU fait partie du département de Génie des Eaux, gEAU, créé très récemment. Ce département est dépendant du département de Génie Civil de l'Université Laval et de nombreux professeurs enseignant en génie des eaux viennent du génie civil.

Le stratégie de modelEAU s'inscrit dans plusieurs programme de recherche auxquels le laboratoire participe. Deux programmes sont en lien avec l'IWA (International Water Association) : IWA Task Group on Good Modelling Practice, IWA Task Group on Benchmarking of Control Strategies for WWT. Le premier a pour but d'établir un guide pour l'utilisation des modèles mathématiques de boue activée. Le second cherche à établir des références afin de développer des stratégies de contrôle beaucoup plus performantes. Deux autres programmes sont en association avec des projets européens : EU NEPTUNE et EU SCORE-PP.

La Chaire de recherche du Canada en modélisation de la qualité de l'eau s'inscrit dans une volonté de dynamisme qui se traduit par une participation à l'échelle internationale dans des programmes de recherche. Cette volonté est due au dynamisme de son équipe de recherche et surtout à celui de son initiateur le Professeur Peter Vanrolleghem. La quantité de travaux effectués est déjà et sera encore récompensé par des avancés significatives dans le domaine du traitement et de la qualité de l'eau.

3 Travail effectué

3.1 Pertinence de mon travail

L'activité effectuée durant la période estivale s'inscrit dans un travail de recherche en cours, effectué par un étudiant en maîtrise du laboratoire, en collaboration avec un étudiant suédois. Ce travail porte sur le comportement des micropolluants lors du traitement des eaux usées. Les métaux lourds font partie de la famille des micropolluants et sont très toxiques. Ils sont nécessaires au fonctionnement de beaucoup d'organismes vivants (l'homme aussi), mais s'avèrent très dangereux lors de forte exposition ou en présence de forte concentration. Ainsi de nombreuses valeurs limites ont été établies pour l'alimentation et les élevages d'animaux. Des concentrations limites conditionnent la qualité des aliments et des viandes.

Les métaux lourds se caractérisent par leur masse volumique qui est supérieure à 5 g/cm^3 . Lors de mon travail je me suis plus particulièrement intéressé aux métaux suivants : le mercure, le cuivre, le zinc, le plomb, le cadmium, le chrome et le nickel. Ce choix s'est fait par la disponibilité de données sur ces métaux-là. Comme l'eau, les métaux effectuent un cycle qui s'appelle le cycle géochimique (voir figure 1). Par son intervention, l'homme a influencé ce cycle et la répartition des métaux à la surface de la Terre n'est donc plus la même.

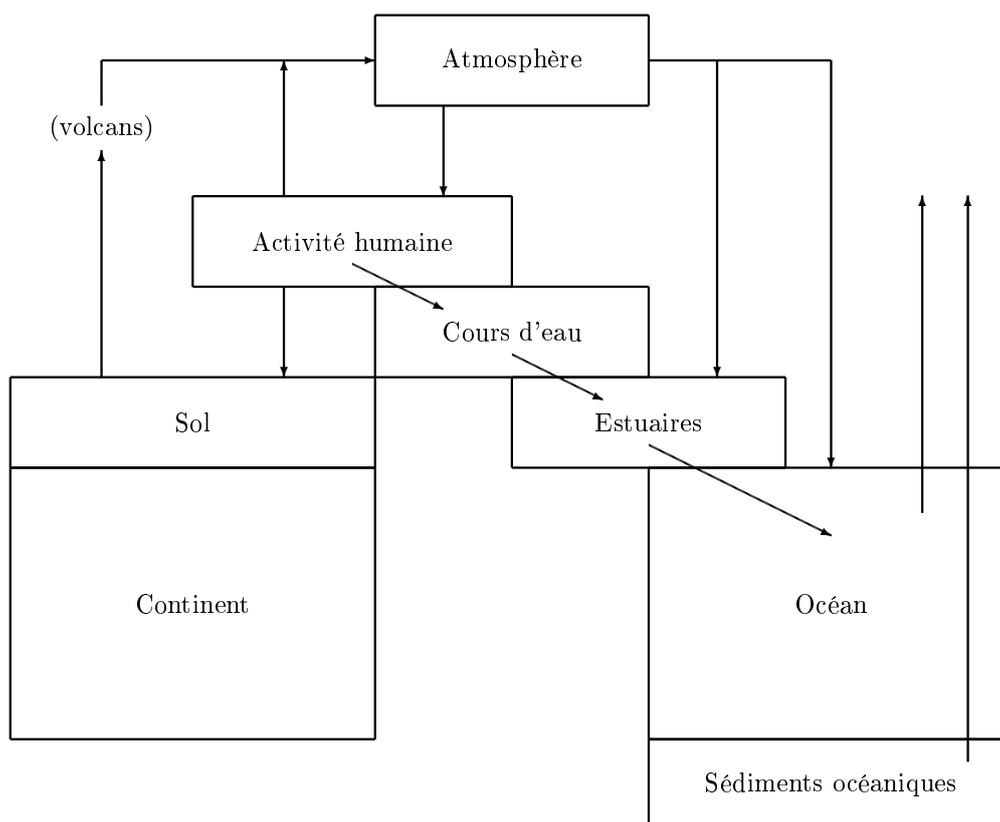


FIG. 1 – Cycle géochimique des métaux

La modélisation du comportement des métaux lourds et plus généralement des micropolluants dans une station de traitement des eaux usées n'a jamais été effectuée. En effet, ces types de polluant ne sont présents qu'à l'état de trace et difficile à traiter. Les pouvoirs publics ne s'intéressaient donc pas beaucoup à eux. Or depuis quelques années, on s'est rendu compte de leur impact sur la santé des gens et sur l'environnement. En effet, les boues résultantes du traitement des

eaux usées contiennent de fortes concentrations en métaux lourds grâce à l'adsorption naturelle qui a lieu pendant le traitement. Ces boues sont très souvent épandues dans les champs. Ainsi les polluants se diffusent dans les sols et plus tard vont contaminer des cours d'eau et/ou nappes phréatiques. Pour cela, le traitement des boues commence à être effectué afin de les décontaminer de ces micropolluants. Ceci ne fera pas l'objet de ce rapport. Mais il est important de travailler en amont. Tout d'abord savoir d'où proviennent ces métaux lourds et ensuite savoir comment ils se comportent dans les stations de traitement afin de savoir où ils vont se retrouver : dans les boues ou dans l'eau traitée qui part dans les rivières.

C'est pourquoi la connaissance des sources peut permettre d'agir au tout début de la chaîne et d'essayer de réduire les émissions. De même, la connaissance de leur comportement pourra permettre d'adapter les stations de traitement pour récupérer un maximum de ces polluants dans les boues que l'on va retraiter ensuite ; plutôt que de les rejeter directement dans les cours d'eau.

Mon travail s'est donc déroulé en plusieurs étapes :

1. mise à niveau avec le domaine auquel le sujet du stage appartient, le traitement des eaux usées. En effet, il a fallu que j'apprenne tous les éléments fondamentaux du traitement des eaux afin d'atteindre le niveau requis pour travailler ensuite sur mon sujet.
2. recherche de documentation sur le sujet de mon stage. Après avoir appris comment fonctionne le traitement des eaux usées, il a fallu que je me renseigne sur le sujet : les sources de métaux lourds, leur comportement lors du traitement, la dynamique de ces polluants suivant la population, le pays,... et enfin chercher des bases de données. Ce dernier point est très difficile à obtenir puisque les campagnes de mesures sont extrêmement chères et donc les données très protégées et difficiles à obtenir.
3. travail sur les données de la station de la région de Norwich en Angleterre.
4. modélisation avec le logiciel WEST

3.2 Sources de métaux lourds

3.2.1 Différentes sources

Les métaux lourds présents dans les eaux usées proviennent de différentes sources qui contribuent plus ou moins à enrichir les eaux en ces micropolluants. Voici les différentes sources par ordre croissant de contribution : la sédimentation dans les tuyaux qui conduisent les eaux usées et les eaux de pluie, les dépôts atmosphériques, les eaux de ruissellement, la circulation routière, les produits chimiques introduits dans les stations de traitement, les bâtiments, les eaux domestiques, les eaux industrielles et enfin le reste est inconnu. C'est cette dernière catégorie qui est la plus importante mais les études réalisées n'ont pas permis de déterminer d'où provenaient ces métaux. Toutes ces sources de métaux se retrouvent dans deux grandes catégories : les eaux usées et les eaux de pluie.

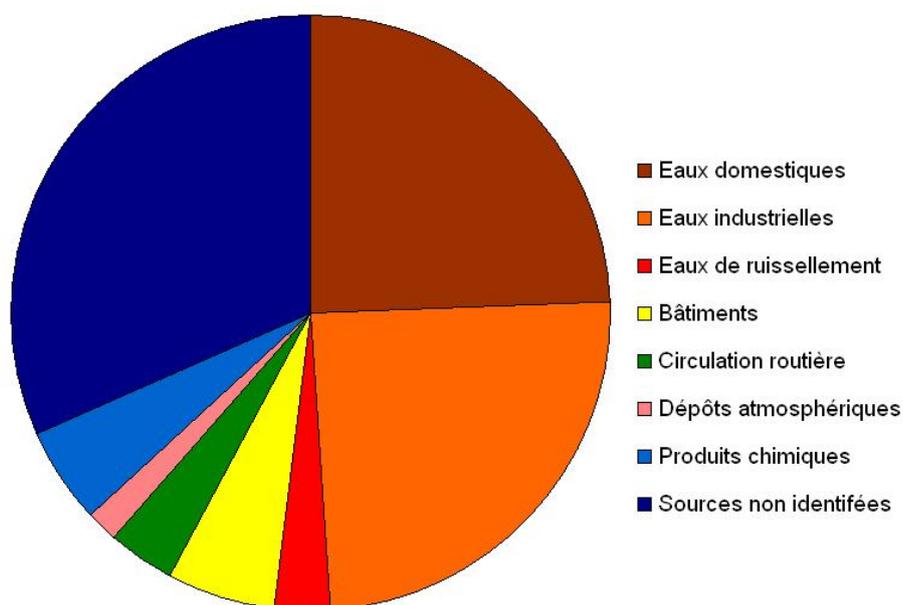


FIG. 2 – Contributions des différentes sources de métaux ; données qui proviennent de L. Sörmea et R. Lagerkvistb, *Sources of heavy metal in urban wastewater in Stockholm*.2001.

Cette étude a aussi permis d'estimer les proportions de chaque métal dont la source a été identifiée. Le cuivre et le zinc qui sont les métaux les mieux recensés ont leurs origines connues à 100%. Viennent ensuite le nickel et le mercure dont on a identifié 70% de leurs sources. Les origines du cadmium ont été découvertes à 60% et seulement la moitié de celles du plomb. Pour finir, le chrome reste le métal le plus " mystérieux " avec seulement 20% des sources identifiées.

3.2.2 Eaux domestiques - eaux usées

Les émissions de métaux proviennent de la nourriture, de l'urine, des fientes, des produits ménagers, de l'eau potable ainsi que des résidus de peinture. La nourriture contient des métaux qui sont nécessaires au fonctionnement du corps humain. Ces métaux se retrouvent ensuite dans les urines et les matières fécales qui partent dans les eaux usées. Les tuyaux amenant l'eau potable sont très souvent en cuivre ce qui draine (par corrosion) une quantité non négligeable de ce métal qui se retrouve en fin de compte dans les eaux usées. Les détergents contiennent, quant à eux, une faible quantité de métaux. Par contre, les peintures jaunes et rouges utilisées pour les aménagements intérieurs contiennent du cadmium. En conclusion, on peut dire que le cuivre et le zinc sont les métaux majoritaires sortant des eaux domestiques.

3.2.3 Eaux industrielles - eaux usées

Les métaux présents dans ces eaux proviennent de stations de lavage de voitures (qui sont la source principale), des dentistes et bien évidemment des grandes entreprises. Il y a aussi les métaux émis par l'eau potable utilisée dans les grandes entreprises. La contribution des petites entreprises n'est pas bien connue mais elle semble être très minoritaire par rapport aux grandes entreprises et aux stations de lavage de voiture. Des études ont estimé que 426 kg de cuivre étaient émis chaque année par les stations de lavage pour la ville de Stockholm qui compte 220 000 voitures, 1 300 bus et 22 000 camions (voir L. Sörmea et R. Lagerkvistb, *Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm*. 2001.). Le zinc est aussi très présent avec 3 300 kg émis. Les autres métaux restent

très inférieurs à ces valeurs. Les dentistes, quant à eux, emettent surtout du mercure (amalgame dentaire) mais il est très difficile d'en estimer la quantité.

3.2.4 Eaux de drainage - eaux usées

L'origine des eaux de drainage provient des fuites dans les canalisations qui conduisent l'eau jusqu'aux stations de traitement. En effet, les réseaux de tuyauterie ne sont pas toujours parfaitement étanches. Ceci est dû au sol qui bouge et au fait que ces réseaux sont prévus pour une durée de vie d'environ un siècle. Or la plupart des réseaux commencent à avoir de 30 à 50 ans et il n'est donc pas très surprenant que des fuites apparaissent. Par conséquent, l'eau d'infiltration présente dans les sols environnants entre dans les tuyaux et apporte avec elle toute la matière qu'elle a drainée par infiltration dans la terre. L'étude a montré que la quantité de métal présente dans ces eaux était équivalente à la valeur médiane de la quantité totale dans le sol. Ce sont le cuivre, le zinc et le nickel qui sont le plus présents dans ces eaux mais la contribution au montant total de métaux lourds arrivant à la station de traitement reste inférieure aux autres sources de métaux.

3.2.5 Bâtiments - eaux de pluie

Les émissions de métaux dans les bâtiments sont dues aux matériaux de construction. Les toits, éclairages publics, barrières de sécurité sont autant de construction faites de différents métaux tels que l'acier galvanisé, le cuivre ou encore le zinc. C'est pourquoi lors d'épisodes pluvieux, l'eau par son ruissellement va corroder et entraîner des métaux lourds avec elle. Métaux qui se retrouveront dans les eaux usées et plus tard dans les stations de traitement. Cependant la contribution des toits est à nuancer tant il est vrai qu'elle dépend totalement de l'architecture locale. Les zones où les toits sont en tuiles de brique n'apporteront pas beaucoup, voire pas du tout, de métaux lourds. Tandis que les eaux provenant des endroits où les toits sont en tôle seront plus riches en cuivre ou en zinc. En ce qui concerne les aciers galvanisés, leur contribution dépend de s'ils sont recouverts ou pas d'une couche de peinture. Le zinc présent dans ces aciers peut aussi contenir du cadmium mais seulement à l'état de traces donc non quantifiable.

3.2.6 Circulation routière - eaux de pluie

Les émissions provoquées par la circulation routière peuvent être déclinées en plusieurs catégories qui sont : les freins, l'asphalte, l'essence et l'huile de vidange. Ces émissions sont assez faibles par rapport à la quantité totale de métaux qui arrivent à la station de traitement des eaux usées. On pourra noter que c'est toujours les mêmes métaux qui sont majoritaires (voir figure 3).

Les freins

Une étude (Westerlund K-G., Metal emissions from Stockholm traffic - wear of brakelinings. 1998.) a été faite pour estimer la quantité de métaux diffusée par les systèmes de freinage des véhicules motorisés. Les métaux les plus représentés sont le cuivre, le zinc et le plomb et proviennent de l'usure des disques et plaquettes de frein.

L'asphalte

Les métaux qui proviennent de cette source sont la conséquence de l'usure du revêtement routier. Cette usure vient de l'érosion mais aussi de l'arrachement dû à la circulation de véhicules. Cet arrachement est beaucoup plus important dans les pays aux hivers rigoureux et où les voitures circulent avec des pneus cloutés une partie de l'année. L'arrachement des routes est estimé à 4 à 6 g/km/véhicule. Le taux de métal contenu dans la pierre utilisée pour faire le goudron dépend de l'endroit d'où on a extrait la roche. En ce qui concerne la ville de Stockholm, ce sont le cuivre, le zinc et le plomb qui sont majoritaires.

L'essence

Depuis que les essences sans plomb ont été développées et que les voitures consommant ce type de carburant, ont été les seules à être fabriquées, on a noté une importante diminution de

la quantité de plomb rejetée par les gaz d'échappement. Ce phénomène a donc pu être observé au travers des eaux de pluie qui contiennent maintenant beaucoup moins de plomb. Les autres métaux présents dans les essences ne le sont qu'à l'état de traces. Au final, les carburants ne sont qu'une source négligeable de métaux lourds.

L'huile de vidange

C'est essentiellement du zinc qui est présent dans les huiles de vidange pour les moteurs diesel. La quantité de zinc présente dans les huiles a été mesurée entre 800 et 1 400 ppm. Sachant qu'il a été estimé une consommation d'un litre d'huile tous les 5 000 km et que la densité moyenne de l'huile est de 0,88 kg/L. On peut aisément calculer la quantité de zinc émis par voiture et par kilomètre. Les autres métaux ne sont que très minoritaires par rapport au zinc et peuvent être considérés comme négligeables.

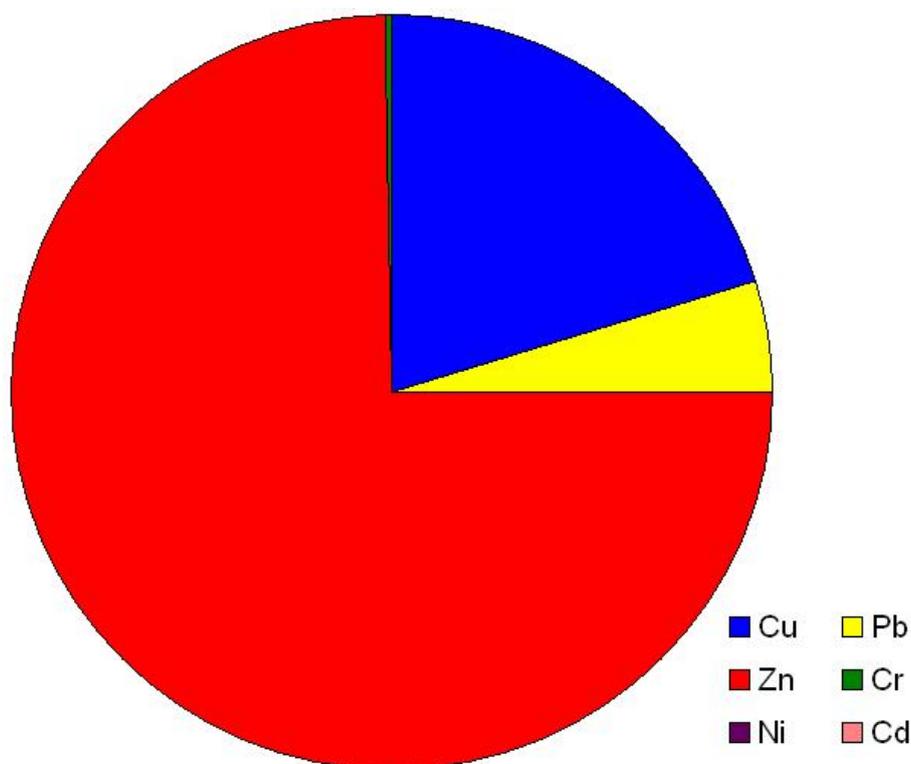


FIG. 3 – Proportions des métaux lourds provenant de la circulation routière

3.2.7 Dépôts atmosphériques - eaux de pluie

Les dépôts atmosphériques décrivent les dépôts de particules qui arrivent par l'air. C'est une source minoritaire mais où le cuivre, le zinc et le plomb sont majoritaires.

3.2.8 Produits chimiques - traitement par la station

Les produits chimiques utilisés pour traiter les eaux usées contiennent principalement des traces de chrome, nickel et zinc. Le métal le plus abondant est le nickel. C'est donc le seul qui a une contribution notable par rapport à la quantité totale de métaux qui rejoignent la station de traitement.

3.2.9 Synthèse

Il existe donc de nombreuses sources de métaux lourds qui contribuent chacune plus ou moins à alimenter les eaux usées. Pour chaque métal pris un par un, on peut aussi remarquer que ce n'est pas la même source qui prédomine (voir figures 4 et 5) : on peut le voir avec les exemples du cuivre et du zinc.

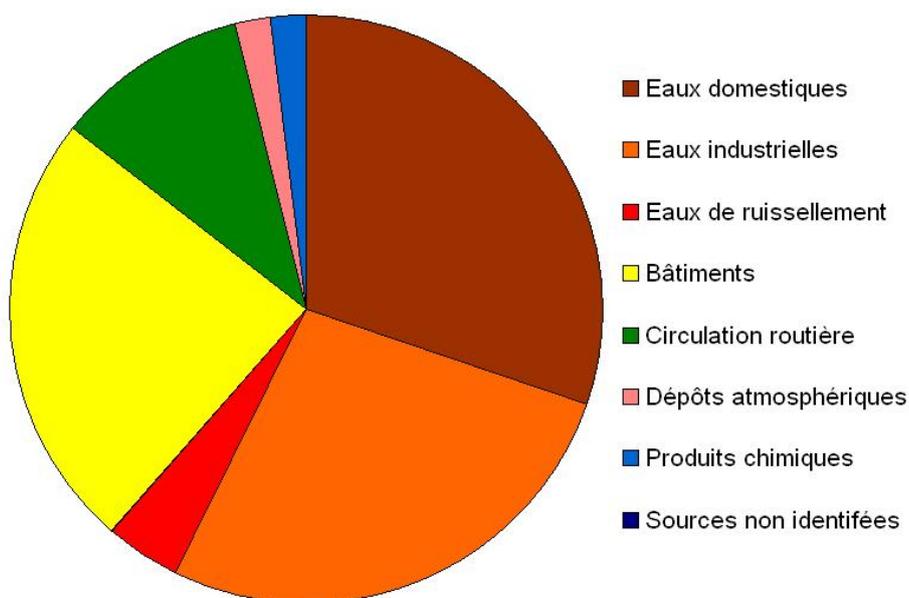


FIG. 4 – Proportions des sources de zinc

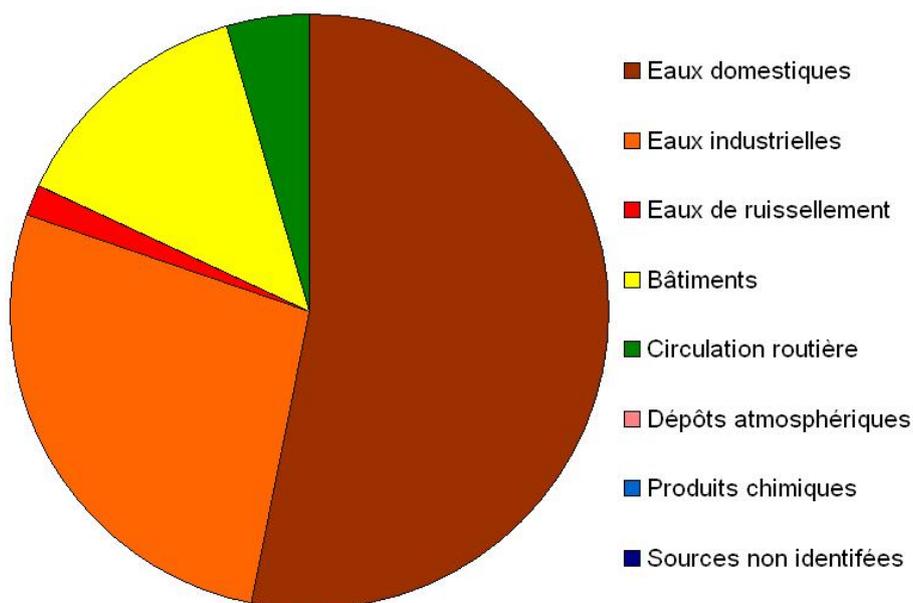


FIG. 5 – Proportions des sources de cuivre

Il est très important de recenser et de quantifier les sources en micropolluants tels que les métaux lourds parce que même s'ils sont vitaux pour les êtres vivants à faible dose, ils n'en deviennent pas moins dangereux à forte dose. C'est pourquoi la connaissance de ces sources peut aussi permettre, de trouver des moyens pour réduire les émissions et ainsi alléger en partie les eaux usées de métaux lourds et réduire ainsi les traitements.

3.3 Données de la station de traitement de Whitlingham et bilans de matière

3.3.1 Présentation de la station de Whitlingham et des données

La station de traitement de Whitlingham se trouve en Angleterre dans la région de Norwich. Cette station draine les eaux de tous les environs de Norwich. Les données que j'ai utilisées datent de 1986. En effet, elles nous ont été fournies par Paul Lessard, un chercheur qui travaille pour le laboratoire gEAU et qui les avaient utilisé pour rédiger sa thèse. A l'époque des mesures, la station permettait de traiter les eaux d'environ 200 000 personnes avec un débit d'eau par temps sec d'environ 55 000 m³/j.

La campagne de mesure s'est déroulée sur une période de 10 jours entre les 7 et 17 mai 1986. C'est seulement le traitement par boue activée qui a été échantillonné. Les points de mesure sont visibles sur la figure 6. Les grandeurs mesurées sont les suivantes : les matières en suspensions (MES) totales et volatiles, les demandes chimiques en oxygène (DCO) totales et solubles, les concentrations en NH₄ et les concentrations en métaux lourds (Hg, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni).

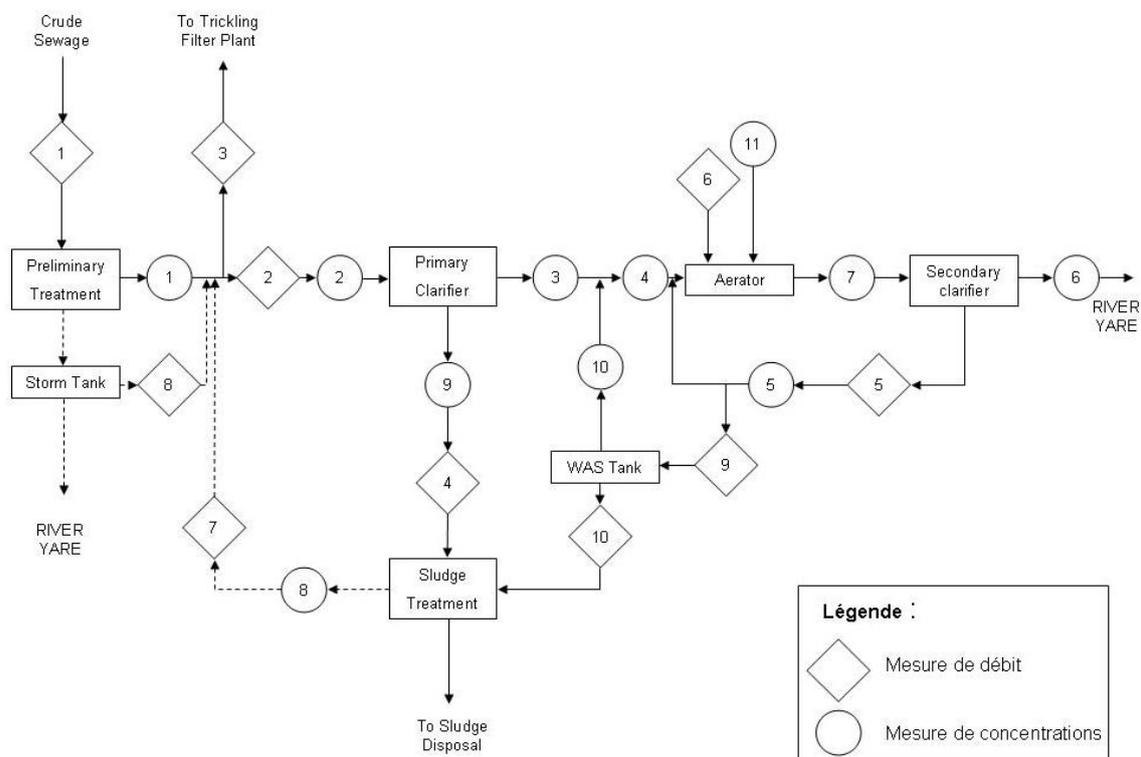


FIG. 6 – Schéma de la station de Whitlingham avec les points de mesures

3.3.2 Bilan matière

Lors de cette étape, j'ai réalisé les bilans matière sur la station afin de déterminer les caractéristiques de chaque courant. Cependant, il n'a pas été possible de réaliser tous les bilans à cause de manque d'informations. On peut voir sur la figure 7 et dans le tableau 1 quels sont les courants connus ainsi que leur degré de connaissance après avoir effectué ces bilans.

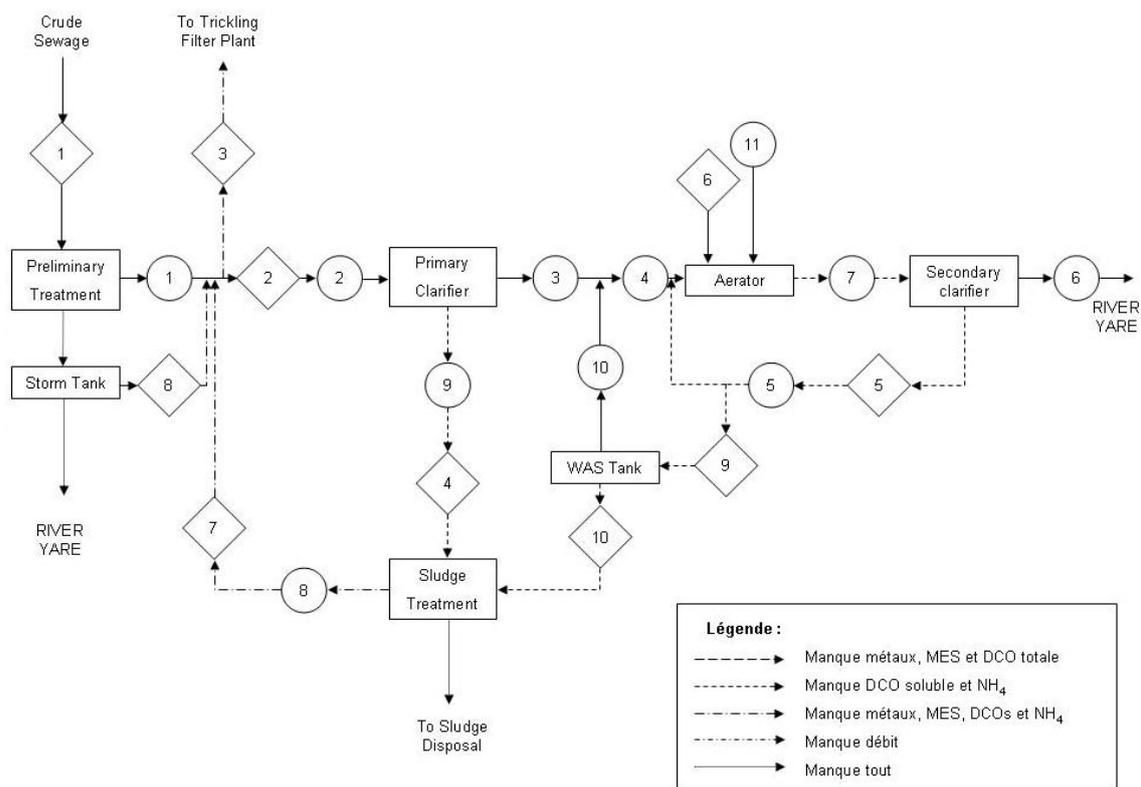


FIG. 7 – Schéma de la station de Whitlingham avec la connaissance des courants

Courant	Débit	SS	VSS	CODt	CODs	NH4	Métaux
(1) [1]	O	O	O	O	O	O	O
(2) [2]	O	O	O	O	O	O	O
(3)	O	O SJ1	O SJ1	O SJ1	O SJ1	O SJ1	O SJ1
[3]	O	N	N	N	N	N	N
(4)	O	O	O	O	O	O	O
(5) [5]	O	O	O	O	N	N	O
(6)	NC	O	O	O	O	O	O
[6]	O	NC	NC	NC	NC	NC	NC
(7)	NC	O SJ4-5	O : J9-10	O : J9-10	N	N	NC
[7] (8)	O	O : J9-10	O : J9-10	O : J9-10	N	N	N
[8]	O	N	N	N	N	N	N
[4] (9)	O	O	O	NC SJ1	N	N	NC SJ1
[9]	O	NC	NC	NC	N	N	NC
(10)	O	NC SJ1	NC SJ1	NC SJ1	NC	NC	NC SJ1
[10]	O	NC SJ1	NC SJ1	NC SJ1	N	N	NC SJ2
(11)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC

O : données mesurées

NC : données non mesurées mais calculables par bilan

N : données non mesurées et non calculables par bilan

() : correspond à \circ dans le schéma de la station

[] : correspond à \diamond dans le schéma de la station

Ji : signifie jour i

SJi : signifie sauf jour i

TAB. 1 – Tableau récapitulatif de la connaissance des courants

Hypothèses

Il faut toujours énumérer toutes les hypothèses que l'on fait lorsque l'on fait des bilans matières. Cela permet de comprendre certaines valeurs obtenues et qui peuvent paraître "étranges" et/ou de valider ces valeurs. Ici, l'hypothèse essentielle est le fait que l'on suppose que pour chaque bilan effectué à un instant t quelconque sur une unité opérationnelle, le régime permanent est atteint. Tandis qu'en réalité, la sortie de ce qui rentre, par exemple, dans le premier clarificateur à un instant t (et qui va sortir à un instant t +temps de séjour), ne va pas correspondre nécessairement à ce qui sort effectivement à l'instant t . D'autant plus que les temps de séjour ont des valeurs dépassant l'heure. En ce qui concerne les nœuds simples, on n'aura pas ce problème de temps de séjour mais on va considérer le mélange comme parfait et instantané. L'autre hypothèse importante est que l'on considère que la densité de l'eau et des boues est fixée à 1. Il n'y a pas variation de cette valeur le long de la station. Même pour les boues très concentrées, on considère la densité comme constante. Enfin, on va considérer que dans les différents procédés, il n'y a pas de transformation de la matière.

Nœud ((1)+[8]+[3]+(2)[2]+[7](8))

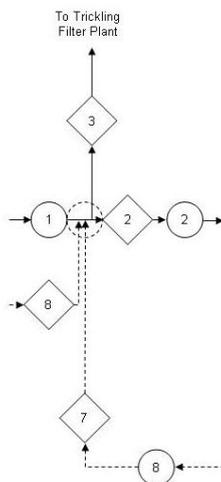


FIG. 8 – Schéma du nœud ((1)+[8]+[3]+(2)[2]+[7](8))

Ici, nous avons toutes les données en ce qui concerne les débits. Nous connaissons les débits des courants (1) et (2)[2] qui ont été mesurés toutes les 3 heures mais nous connaissons aussi les débits des courants [3], [8] et [7](8). Cependant ces courants n'ont été mesurés qu'une seule fois par jour. Pour les calculs effectués pour chaque 3 heures, nous avons donc choisi de prendre pour les débits [3], [8] et [7](8) la valeur mesurée une fois dans la journée pour toute la journée. Le but de ce bilan est de voir si l'on peut valider les données dans leur état brut ou s'il faut faire de la réconciliation de données pour pouvoir les utiliser ultérieurement. Nous avons calculé la différence entre les entrées dans le nœud et les sorties. Ceci donne l'opération qui suit :

$$F_{(1)} + F_{[8]} + F_{[7](8)} - F_{[3]} - F_{(2)[2]}$$

Ceci permet de calculer l'écart entre la sortie mesurée et l'entrée mesurée. Ainsi on va voir si les erreurs de mesures ne sont pas trop importantes. Si on étudie les valeurs statistiques des écarts relatifs (voir Tableau 2), on se rend compte que l'erreur moyenne n'est pas très élevée. Cependant on peut se dire qu'une réconciliation de données peut s'avérer nécessaire. En effet, pour l'utilisation que l'on veut en faire plus tard, il est très important que l'on ait des données valables pour tous les intervalles de trois heures et pas des valeurs moyennées par journée ou sur la session de mesure.

AVG	-3.56
STD	29.08
MIN	-164.06
MAX	31.45

TAB. 2 – Tableau des erreurs relatives moyennes sur le nœud ((1)+[8]+[3]+(2)[2]+[7](8))

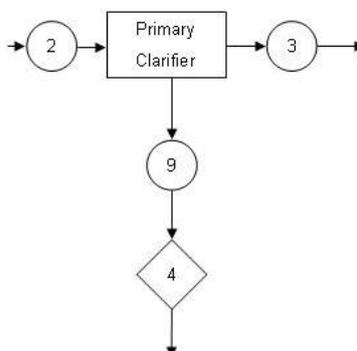
Clarificateur primaire

FIG. 9 – Bilan sur le clarificateur primaire

Tout d'abord, on a vérifié les bilans en MES et DCO totale. Pas du tout convaincant pour les données prises toutes les trois heures, ces vérifications se sont avérées assez juste lors de bilan par moyenne journalière. Mais finalement, nous avons fait le bilan pour l'heure à laquelle les caractéristiques de la boue primaire (9) [4] étaient mesurées. Ici, on effectue le bilan pour obtenir la concentration en DCO totale et les concentrations en métaux lourds du courant (9) [4]. Nous ne pouvons pas calculer les concentrations pour le premier jour car nous n'avons pas les données pour le premier jour en (3). Le bilan est de la forme suivante :

$$DCOt_{[4](9)} = \frac{DCOt_{(2)[2]} \cdot F_{(2)[2]} - DCOt_{(3)} \cdot F_{(3)}}{F_{[4](9)}}$$

avec F_i : débit volumique du courant i

Ces bilans ainsi effectués sont des bilans exacts à prendre avec précautions.

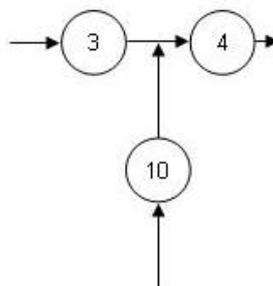
Nœud ((3)+(4)+(10))

FIG. 10 – Bilan sur le nœud ((3)+(4)+(10))

Ici, aucune vérification de bilan n'est possible car nous ne connaissons rien du courant [10]. Les bilans effectués sont donc les mêmes que précédemment et par conséquent exacts. Nous calculons toutes les caractéristiques du courant (10) car il n'y a pas de transformation. La DCO soluble et la concentration de NH_4 sont donc calculables.

Aérateur dans le traitement par boue activée

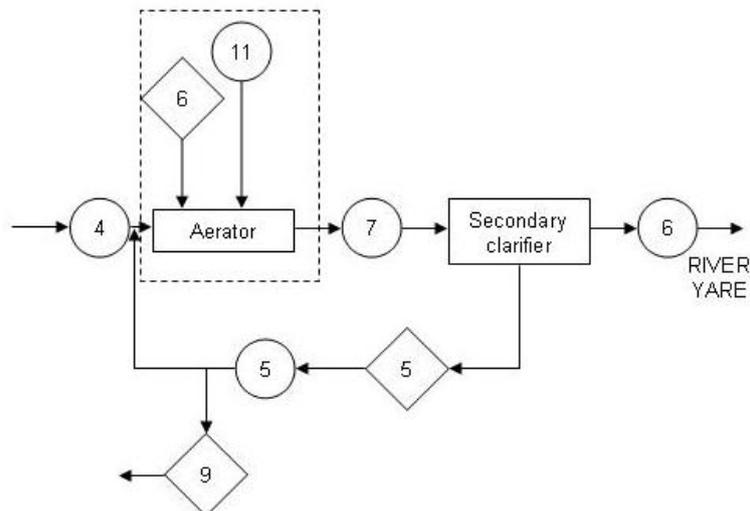


FIG. 11 – Bilan sur l'aérateur

Ici, nous avons cherché à calculer les caractéristiques du courant (7), c'est-à-dire le débit et les concentrations en métaux lourds. Nous avons appliqué la formule de bilan suivante (en prenant pour exemple le calcul de la concentration en Mercure (Hg)) :

$$F_{(7)} = F_{(4)} + (F_{(5)[5]} - F_{[9]})$$

et

$$[Hg]_{(7)} = \frac{F_{(4)} \cdot [Hg]_{(4)} + F_{(5)[5]} \cdot [Hg]_{(5)[5]} - F_{[9]} \cdot [Hg]_{[9]}}{F_{(7)}}$$

Bilan global sur le traitement par boue activée

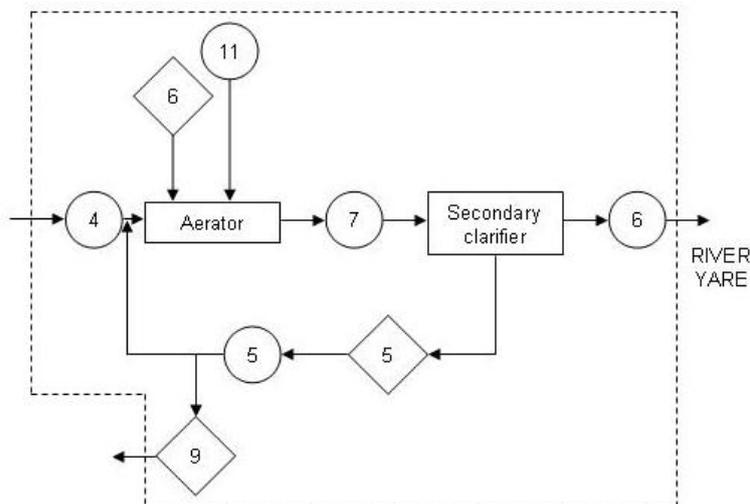


FIG. 12 – Bilan global sur le traitement par boue activée

Dans cette partie, nous cherchons à déterminer le débit d’effluent. Pour cela, nous effectuons un bilan global sur le système de traitement par boue activée.

$$F_{(4)} = F_{[9]} + F_{(6)}$$

Ici, nous connaissons le débit en (4) et en [9]. Donc le calcul du débit en (6) est très simple.

Autres données caractérisables sur le traitement par boue activée

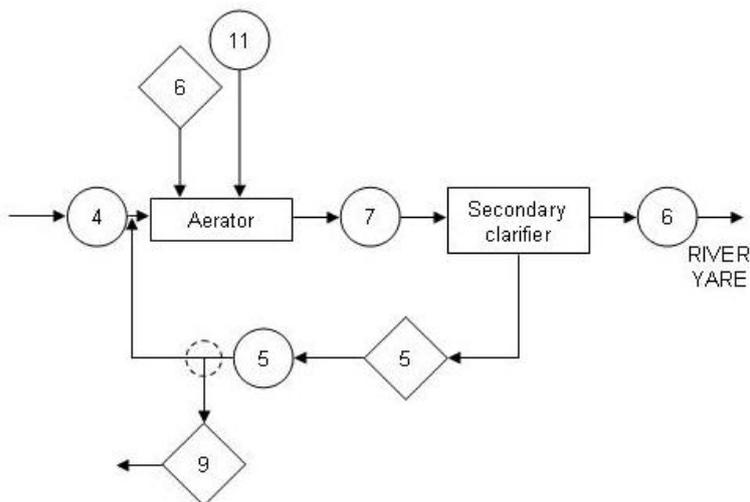


FIG. 13 – Bilan sur la sortie de boue [9]

Il est intéressant de remarquer que lorsque le courant (5) [5] se divise en deux, il n’y a pas d’opération unitaire qui est effectuée à ce niveau. Il y a donc seulement une division de courant.

Les deux courants qui en résultent ont donc les mêmes caractéristiques en terme de concentration que le courant aval. Les concentrations en métaux lourds, MES et DCO totale ne changent pas.

Bassin de consolidation des boues activées purgées

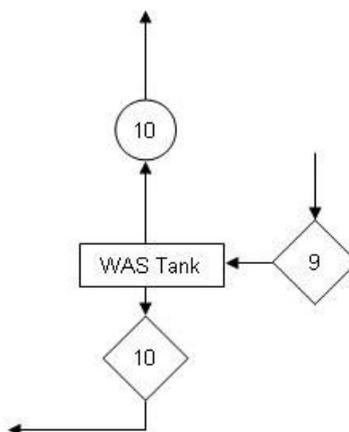


FIG. 14 – Bilan sur le bassin de consolidation

Pour ce dernier bilan, on cherche à calculer les caractéristiques du courant [10] qui est la boue provenant du bac de consolidation des boues activées purgées. On va déterminer les MES, DCO totale et les concentrations en métaux lourds.

$$F_{[9]} = F_{[10]} + F_{(10)}$$

et

$$[SS]_{[9]} \cdot F_{[9]} = [SS]_{[10]} \cdot F_{[10]} + [SS]_{(10)} \cdot F_{(10)}$$

Nous avons précédemment calculé les caractéristiques du courant (10) et connaissons celles du courant [9]. Nous pouvons donc aisément calculer celles du courant [10] par ce bilan simple.

Validité des données

Il est très important de prêter attention à la validité des chiffres que nous avons calculé. En effet, on peut effectuer des calculs avec des formules mathématiques et des raisonnements tout à fait valides, mais obtenir des résultats erronés ou n'ayant aucune validité physique.

Nous avons effectué des bilans de deux niveaux :

- les bilans de premier niveau sont des bilans qui ont été effectués en effectuant des calculs uniquement à partir des données mesurées pendant la campagne de mesure.
- les bilans de deuxième niveau sont des bilans qui ont été effectués à partir des données mesurées et/ou de données calculées par des bilans de premier ordre.

En ce qui concerne la validité de ces deux types de bilan, il faut distinguer les deux. En effet, les bilans de premier ordre sont ceux qui ont le plus de crédibilité. Si on valide les mesures prises sur la station, on peut considérer que les valeurs que nous calculerons par bilan seront représentatives de la réalité. Mais il est important de noter que l'on peut ainsi cumuler des erreurs de mesure. Dans le cas des bilans de deuxième ordre, il n'y a qu'un seul courant qui est déterminé de cette manière. Ce type de bilan est à prendre avec beaucoup de précaution. Non seulement il comporte les erreurs de mesures mais il ajoute plusieurs erreurs de mesures liées au calcul des courants par bilans de niveau un. Il faut donc faire très attention avant de tirer des conclusions sur des valeurs calculées par ce type de bilan.

Nous avons aussi effectué les bilans précédents en faisant des moyennes journalières. Les résultats obtenus semblent plus pertinents. En effet, nous avons essayé de vérifier des bilans en effectuant des calculs sur des nœuds où nous connaissions toutes les données (nœud [4](9)). Nous avons conclu que les bilans moyens sont plus justes que les bilans effectués avec les données mesurés toutes les trois heures.

Nous avons aussi fait un bilan sur le nœud $(1)+[8]+[3]+(2)[2]+[7](8)$. Sur ce nœud, nous connaissions les débits de chaque courant. Comme nous l'avons dit plus tôt, même si l'écart relatif moyen entre l'entrée et la sortie est faible, il sera nécessaire de faire de la réconciliation de données suivant l'utilisation que l'on fera de ces données. Si l'on a besoin de données prises toutes les 3 heures, il apparaît évident qu'une harmonisation sera nécessaire contrairement au cas où on veut des valeurs moyennées sur une journée ou plusieurs jours.

Il faut aussi revenir sur l'hypothèse que nous avons faite pour effectuer tous ces bilans de matières. Il apparaît très clair que plus les temps de séjour dans les différentes unités seront longtemps, plus cette hypothèse fera que les calculs sont approximatifs. Or les temps de séjour étant toujours de l'ordre de grandeur de l'heure, il apparaît évident que cette hypothèse est très réductrice et que les bilans effectués toutes les trois heures vont être très approximatifs. Par contre, les bilans effectués par moyenne journalière vont être plus proche de la réalité. En effet, l'ordre de grandeur d'une journée par rapport au temps de séjour dans une unité permet de réduire l'erreur faite à cause de l'hypothèse. De plus, on peut voir (voir figure 15) qu'il y a des variations très importantes des débits et des concentrations au cours de la journée. C'est pourquoi, on ne peut pas valider l'hypothèse qui nous permettait de faire des bilans en régime permanent.

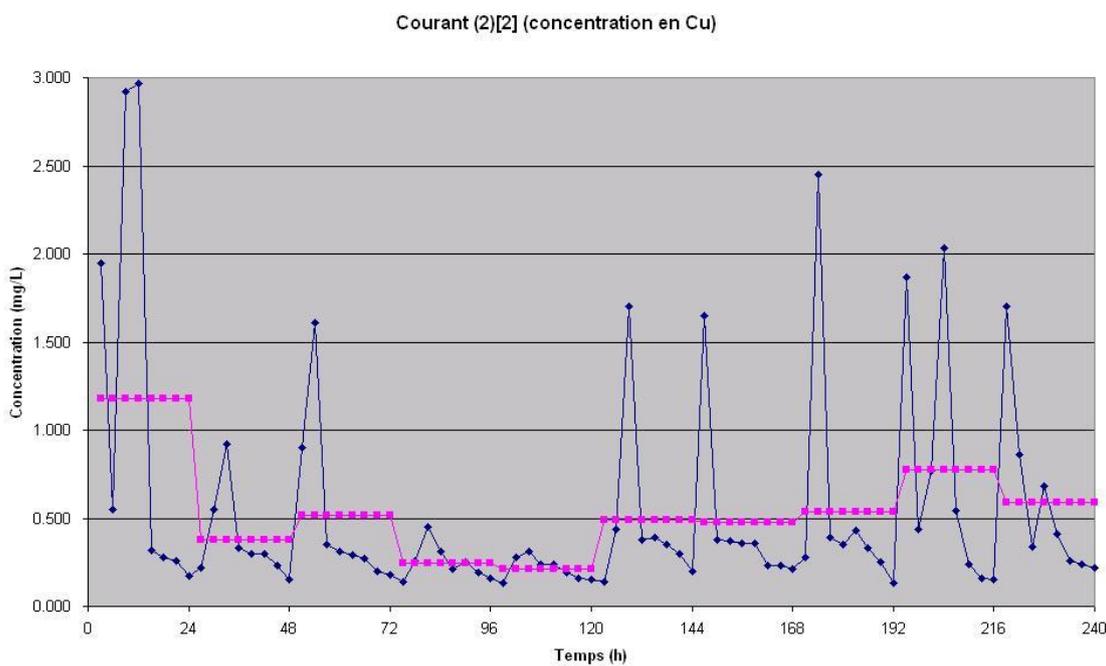
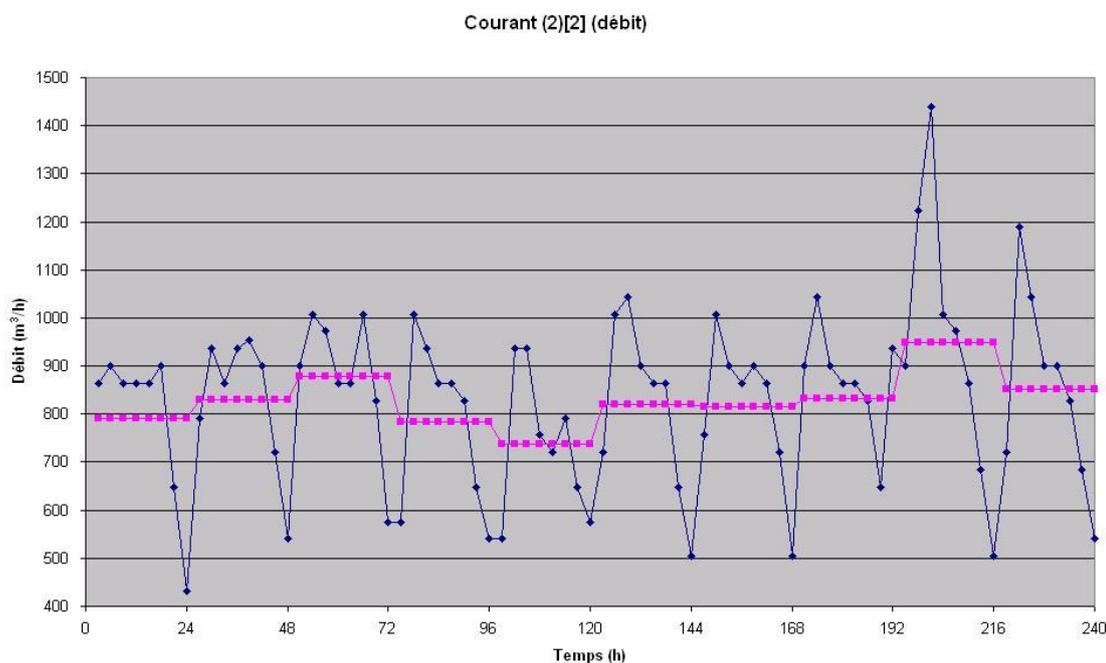


FIG. 15 – Variations des données autour de la moyenne journalière

On peut donc en conclure qu'il serait beaucoup plus rigoureux de faire des bilans en tenant compte des temps de séjour.

3.4 Simulations avec le logiciel WEST

3.4.1 Le logiciel WEST

Le logiciel WEST (World Wide Engine for Simulation Training and automation) est un logiciel de modélisation et de simulation de procédés de traitement des eaux mais aussi de modélisation de rivière. Ce logiciel a été développé par une société belge Hemmis en collaboration avec l'université de Gand en Belgique. A noter que mon maître de stage est originaire de cette université et a participé au développement de ce logiciel.

Cet outil de simulation permet de réaliser la modélisation de station de traitement en régime dynamique et ainsi de faire de la prédiction. Ceci peut s'avérer très utile pour faire du contrôle de procédé, chose que ce logiciel sait aussi faire. Il peut aussi faire du dimensionnement d'appareil.

Les modèles implémentés dans le logiciel sont du type ASM (Activated Sludge Model). Il y a différents types de modèle ASM qui se déclinent de la manière suivante ASM1 (inclus le traitement du carbone et de l'azote), ASM2 (inclus le traitement du carbone et de l'azote mais aussi du phosphore), ASM2d (même modèle que ASM2 mais plus précis dans ses prédictions) et ASM3 (même modèle que ASM1 mais plus précis dans ses prédictions). Mais il y a aussi le modèle ADM1 (Anaerobic Digested sludge Model), ne faisant pas parti de la "famille" des ASM et qui sert à modéliser le traitement des boues. Chaque modèle est caractérisé par une matrice, appelée matrice de Petersen. Dans les colonnes de cette matrice, on retrouve les différents éléments présents dans l'eau usée sous forme soluble (caractérisés par un S) et sous forme particulaire (caractérisés par un X). Dans les lignes, ce sont les différents phénomènes biologiques, biochimiques et physicochimiques qui sont représentés. Dans les différentes cases, est indiquée la contribution de chaque élément sous ces deux formes, à l'aide d'un coefficient. De plus, sont indiquées la loi de cinétique de chaque phénomène ainsi que les valeurs des différents paramètres.

C'est donc un outil très puissant. Il a aussi fallu que je le prenne en main. Ceci n'a pas été très difficile car avec mon profil de GPI, je suis assez habitué à manipuler des logiciels de ce genre. Il fallait tout de même que je me familiarise avec ses quelques singularités.

3.4.2 Le travail de modélisation

Après avoir étudié les données de la station de Paul Lessard, j'ai donc fait des simulations dans le logiciel WEST. Ceci devait permettre de valider des modèles grâce à ces données et enfin être capable de prédire le comportement des métaux dans une station de traitement des eaux usées.

Modèles comportementaux

Tout d'abord, avant de choisir un modèle de comportement des métaux, il faut déterminer quels sont les phénomènes physico-chimiques qui vont entrer en jeu lors du traitement. On peut en retenir deux qui sont principaux. Le premier est la précipitation qui va s'effectuer plus ou moins suivant la présence de certaines substances chimiques dans les eaux usées. La deuxième est l'adsorption. En effet, les métaux vont avoir tendance à s'adsorber sur les particules solides contenues dans l'eau. C'est ce mécanisme que l'on va retenir principalement. On peut noter qu'il existe aussi le phénomène de complexation. Cependant, on va se contenter de modéliser dans un premier temps uniquement l'adsorption.

Pour cela, on a le modèle comportemental qui est le suivant :

$$k_{\text{m\u00e9tal}} \cdot \left(S_{\text{m\u00e9tal}} \cdot MEST - \frac{X_{\text{m\u00e9tal}}}{kd_{\text{m\u00e9tal}}} \right)$$

Dans cette formule, on a kd qui est la constante de distribution (ou de partage) du m\u00e9tal en question dans la boue. Les valeurs des constantes ont \u00e9t\u00e9 trouv\u00e9es dans la litt\u00e9rature (M. Karvelas, A. Katsoyiannis, C. Samara, *Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process*. 2003.). Ces valeurs sont fonctions de la quantit\u00e9 de mati\u00e8re en suspension (MES), pour les choisir, on prend donc la concentration moyenne de MES et on regarde la valeur de kd qui correspond. Les valeurs retenues sont les suivantes :

Métal	kd
Hg	-
Cu	5,62
Zn	12,59
Pb	17,78
Cd	6,31
Cr	10
Ni	0,63

TAB. 3 – Tableau des valeurs de kd pour chaque métal

La valeur pour le mercure n'a pas été trouvée dans la littérature. En ce qui concerne les valeurs de k, il est impossible de les trouver dans la littérature car elles dépendent de beaucoup de paramètres et il n'existe pas de lois qui permettent de les déterminer. Pour cela, on les a déterminé en effectuant des simulations successives et en comparant avec les données de la station de Whitlingham.

Simulation d'un nœud simple

Dans un premier temps, nous nous sommes contentés de rajouter dans la matrice de Petersen du modèle ASM1 les colonnes qui concernent les métaux. Nous avons donc ajouté les colonnes pour les solubles et pour les particulaires. Nous n'avons pas implémenté de modèle et avons donc simulé un nœud (voir figure 16) où il n'y a pas de transformation, seulement une connexion de deux courants qui se mélange. Parallèlement à la simulation, j'ai effectué les bilans matière. Les résultats obtenus sont, comme on pouvait s'y attendre, très bons puisque les écarts relatifs entre la simulation et le calcul sont de l'ordre de 10^{-9} à 10^{-11} . Des écarts qui sont dus au numérique et qui sont négligeables.

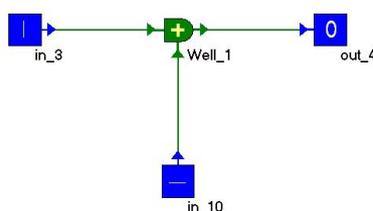


FIG. 16 – Nœud 3-4-10 simulé par WEST

Simulation d'un réacteur

Ceci étant fait, j'ai implémenté les modèles pour chaque métal. Pour les constantes k, j'ai mis dans un premier temps des valeurs arbitraires, le but pour l'instant étant de voir si le logiciel fonctionne avec le modèle implémenté. Dans un deuxième temps, j'ai simulé un réacteur afin de voir si le phénomène d'adsorption allait bien être modélisé pour chaque métal.

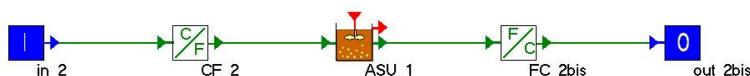


FIG. 17 – Réacteur modélisé par WEST

Après avoir eu des résultats convaincants dans le sens où j’obtenais en sortie des métaux sous forme particulaire, c’est-à-dire adsorbé, et plus seulement sous forme soluble comme j’avais en entrée, je me suis attaché à modéliser un clarificateur primaire.

Modélisation du clarificateur primaire

Cette étape est très importante pour la suite car elle va me permettre de valider le modèle sur un clarificateur primaire. Cela signifie déterminer les constantes manquantes afin de faire correspondre les valeurs obtenues par le calcul avec les données expérimentales de la station de Whitlingham. De cette manière on pourra dire que le modèle est adapté pour un clarificateur primaire, pour cette station, dans cette période du 7 au 17 mai 1986. Par contre, on ne peut pas généraliser le modèle avec ces constantes ainsi déterminées mais on peut imaginer que le modèle va être assez représentatif pour cette période de mesures. En effet, les constantes dépendent des caractéristiques de la boue présente dans la station et ces caractéristiques peuvent changer d’une saison à l’autre et d’un endroit à un autre.

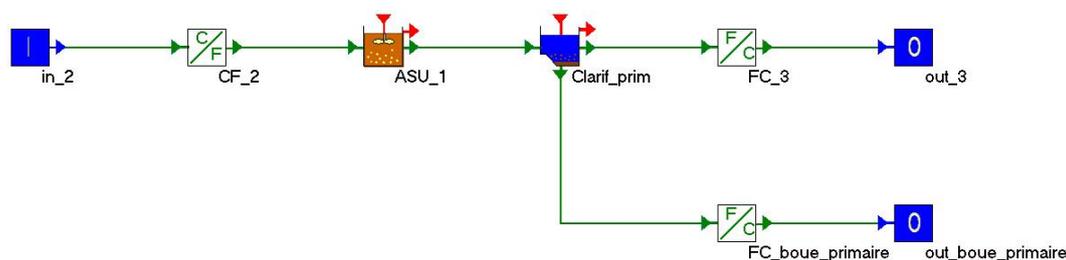


FIG. 18 – Clarificateur primaire modélisé par WEST

Pour modéliser cette configuration, on est obligé de placer un réacteur avant le clarificateur primaire afin de réaliser l’adsorption des métaux sur les particules. En effet, le module de clarificateur primaire dans la version de WEST avec laquelle je travaillais modélise seulement la sédimentation et aucune réaction ne se déroule à l’intérieur. Après plusieurs simulations, j’ai obtenu les valeurs de k suivantes :

Métal	k
Hg	-
Cu	0,005
Zn	0,01
Pb	0,008
Cd	0,011
Cr	0,005
Ni	0,006

TAB. 4 – Tableau des valeurs de k pour chaque métal

Afin d’obtenir ces valeurs, j’ai implémenté un fichier contenant toutes les valeurs expérimentales correspondantes au courant n°2 avant le clarificateur. Ensuite connaissant la sortie par débordement du clarificateur par les données mesurées (courant n°3), j’ai comparé ces valeurs expérimentales avec les valeurs calculées par le logiciel WEST (voir figure 19). Ensuite par des ajustements des constantes k , j’ai cherché à me rapprocher le plus possible des valeurs expérimentales. Tout en sachant que ces valeurs sont entachées d’erreurs de mesures et d’incertitudes. La validation d’une constante se fait lorsque les deux courbes (expérimentales en violet et calculées en bleu) ont la

même amplitude et les mêmes variations. On remarque que la forme soluble est la forme où l'on trouve les métaux dans ce courant. Ceci est plutôt normal puisque une grande partie des particules a sédimenté, emportés les métaux adsorbés.

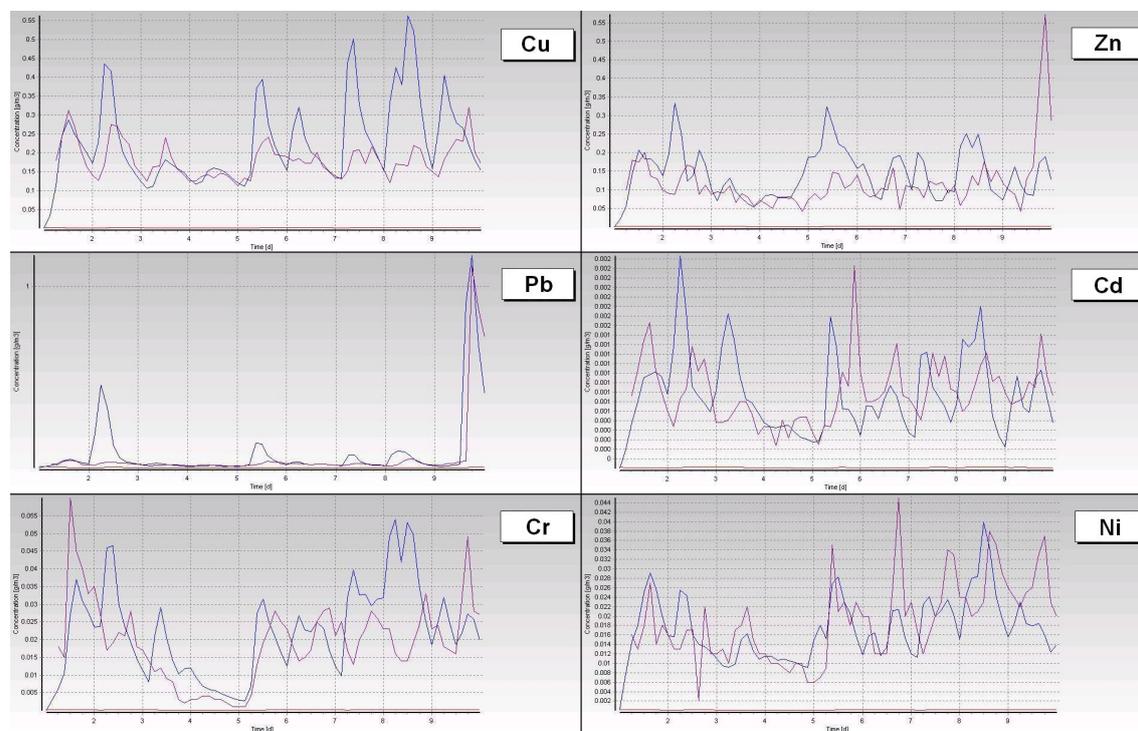


FIG. 19 – Graphiques de comparaison du courant n°3 entre mesure et modélisation (concentration=f (temps))

Ces graphiques-là ont pour but d'avoir une vision de loin des similitudes entre les mesures et la modélisation. On peut donc observer que les deux suivent globalement les mêmes variations. Ceci est plutôt encourageant et signifie que le modèle n'est pas totalement faux et même assez représentatif de la réalité.

Après avoir réalisé ce travail, j'ai essayé ce modèle à la partie de la station qui est le traitement par boue activée.

Modélisation d'un traitement par boue activée

Ce travail va permettre de voir si le modèle établi précédemment peut être généralisé à toute la station et dans quelles mesures il peut l'être. La connaissance du courant 4 (voir figure 20), entrée du système de traitement par boue activée, et du courant 6, sortie de la station vont permettre de valider ou non ce modèle.

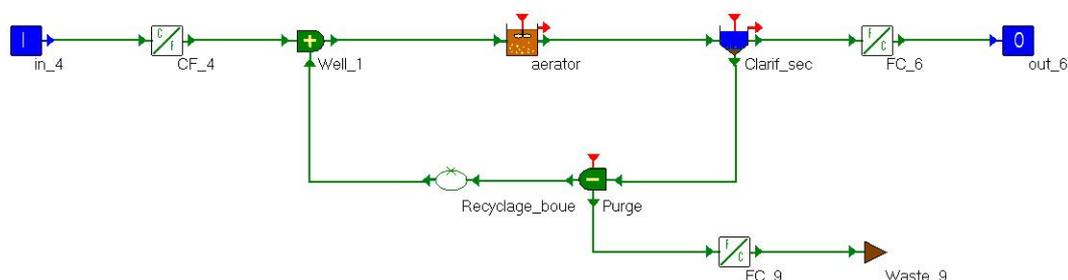


FIG. 20 – Traitement par boue activée modélisé par WEST

Les résultats obtenus (voir figure 21) sont représentés par : en rouge, les métaux sous forme particulaire ; en bleu, les métaux sous forme soluble ; et en violet les données expérimentales.

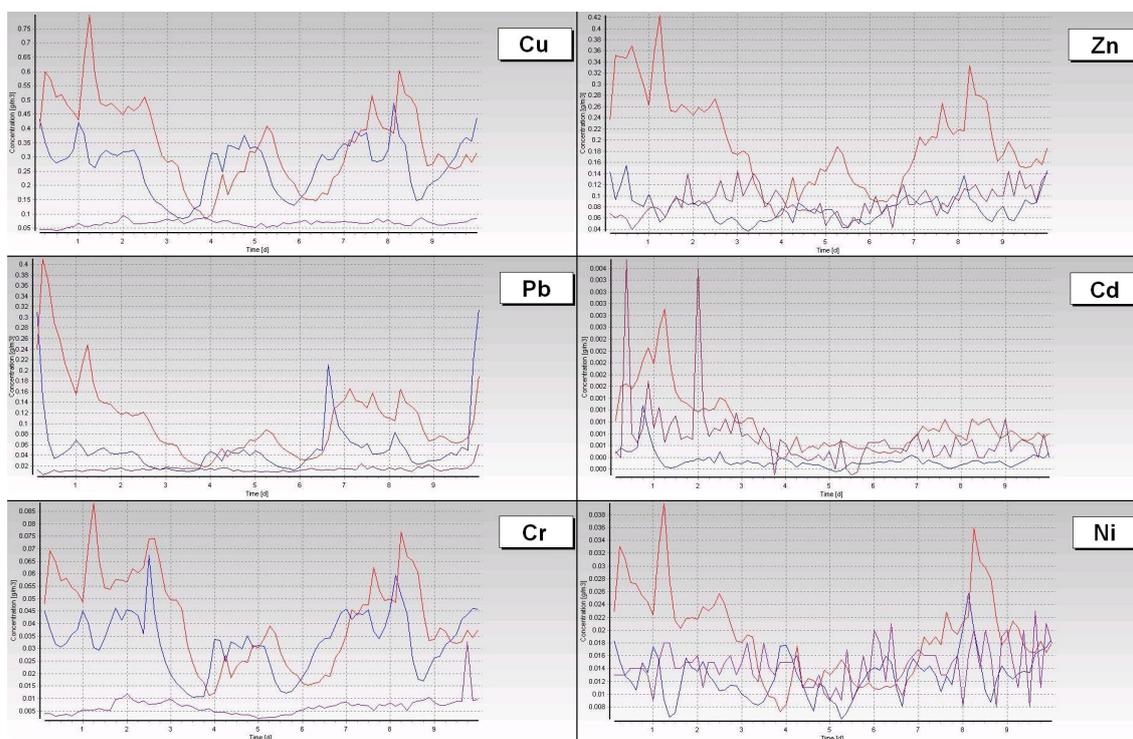


FIG. 21 – Comparaison du courant n°6 entre expérimental et calculé

On remarque que mis à part le cuivre et le chrome, la courbe des métaux solubles (courbe bleue) correspond avec les valeurs expérimentales (courbe violette). Ceci est plutôt encourageant et signifie que le modèle tend vers la réalité. En ce qui concerne le cuivre et le chrome, les valeurs obtenues par le calcul sont bien au-dessus de celles obtenues par les mesures sur la station réelle. Le modèle pour ces deux métaux peut donc être remis en cause. Soit l'adsorption n'a pas le temps de se faire entièrement parce que le réacteur est trop petit, soit les paramètres déterminés précédemment ne correspondent pas, soit il y a d'autres phénomènes qui entrent en jeu dans la réalité et dont je n'ai pas tenu compte. Cependant, on remarque aussi la présence de métaux sous forme particulaire. Ceci est un problème puisque la sortie est située après un clarificateur

secondaire qui doit normalement sédimenter les particules. On ne devrait donc pas retrouver ou peu de métaux sous cette forme. Le problème semble venir des réglages des dimensions du clarificateur. Cependant, je n'ai pas eu le temps de continuer à chercher puisque mon stage se terminait. Mon travail sera sûrement poursuivi par un des étudiants en maîtrise, celui qui travaille sur les micropolluants.

Tout ceci est donc un aperçu du travail que j'ai effectué durant cet été. J'ai donc pu me familiariser avec la démarche de recherche scientifique mais aussi avec un nouveau domaine qui est le traitement de l'eau. Maintenant, nous allons voir plus en détail tout ce que ce stage m'a apporté.

4 Réflexion personnelle

4.1 Découverte d'un pays, d'une culture

4.1.1 Une même langue mais deux pays différents

Le but de ce séjour est d'avoir une expérience à l'étranger. Cependant pays étranger n'est pas nécessairement synonyme de langue différente. Il n'en est pas moins une difficulté d'adaptation. En effet, les Québécois sont réputés pour avoir un accent hilarant. Mais s'il peut l'être, cet accent est aussi difficile à comprendre. Non seulement, il y a des problèmes de prononciation mais il y a aussi de nombreuses expressions différentes du Français de France. De plus, les anglicismes utilisés par les Québécois ne sont pas les mêmes que les nôtres. Ce sont des mots anglais plutôt tirés de l'Américain et de l'Anglais du Canada anglophone. C'est pourquoi, il faut tout de même un petit temps d'adaptation pour bien pouvoir comprendre tout ce que les Québécois peuvent vous dire. Ceci nous porte à dire que cette langue commune nous rapproche mais nous éloigne aussi et fait que la France et le Québec sont totalement différents.

4.1.2 Une culture très influencée par les États-Unis

Comme on peut le voir dans la langue par les anglicismes et certaines tournures de phrase, le Québec est très influencé par son voisin américain. Ceci peut aussi se voir dans l'architecture des maisons, dans l'aménagement des villes, avec les voitures présentes sur les routes et dans les fast-foods. Autant dire que c'est un dépaysement total que de se rendre au Québec. Ce dépaysement qui peut être encore plus vrai quand on se trouve à Montréal qui est une ville "à l'Américaine". La ville de Québec, quant à elle, a plus gardé son héritage architectural européen ce qui fait que cette ville est très européenne dans sa construction et dans son organisation.

Tout ceci nous mène à dire que le fait d'aller au Québec n'enlève en rien le bénéfice de partir dans un pays étranger et ce n'est pas le fait d'avoir une langue commune qui peut contredire ce fait. Au delà de la découverte d'un nouveau pays, on est amené à côtoyer ses habitants et de s'enrichir de leur culture.

4.2 Expérience humaine

4.2.1 Rencontre de personnes

La collocation

J'ai eu la chance d'être immergé totalement dans la culture québécoise en vivant dans une collocation avec des Québécois. Ceci m'a permis d'être au plus près de cette culture. J'ai pu apprendre de nombreuses choses sur les spécificités du Canada et du Québec, sur leur histoire. Ils m'ont aussi appris quelques "tuyaux" pour la vie de tous les jours. On a aussi échangé nos points de vue sur différents sujets tant politiques, que scientifiques et de la vie de tous les jours. Cela tend à ouvrir l'esprit vers d'autres points de vue ou d'autres façons d'aborder les choses qui ont été développé avec la culture et le vécu.

Le travail

Le travail permet aussi de faire des rencontres. Cela permet de voir des gens originaires de différents endroits et différents milieux sociaux. On rencontre aussi des gens d'autres pays venus eux aussi pour un stage ou toutes leurs études. Ce sont aussi des échanges très intéressants car nous travaillons sur des sujets scientifiques similaires. Nous pouvons donc partager nos connaissances, en apprendre aussi beaucoup, ou avoir une autre vision d'un sujet que l'on croyait très clair. Le fait d'avoir de nombreuses connaissances en commun, nous amène aussi à comparer notre cursus, voir nos spécificités et donc là où on est plus fort et là où on l'est moins. Ainsi je pourrais dire sur ce sujet que les étudiants québécois sont très forts dans leur domaine mais sont moins polyvalents que les élèves français (en ce qui concerne les élèves ingénieurs).

4.2.2 Apprendre l'ouverture d'esprit

Cette expérience permet de pouvoir faire la part des choses entre ce que l'on a dans son pays et ce qu'on rencontre en arrivant dans un pays étranger. On apprend aussi à respecter ce que l'on rencontre. En effet, il ne faut pas arriver dans un pays en disant que notre pays est le mieux ou inversement, ne pas dire que notre pays est vraiment nul comparé à celui que l'on visite. Ce genre de comportement vient souvent de choses que l'on a entendues et n'est pas réellement fondé car on ne connaît pas vraiment le pays qui nous accueille avant d'y avoir vécu quelques mois.

Grandi par les rencontres que j'ai effectuées lors de mon séjour, ce stage m'a apporté de l'expérience professionnelle ce qui n'est pas négligeable et qui me resservira sûrement à un moment de ma vie professionnelle.

4.3 Expérience professionnelle

4.3.1 Mon projet professionnel

Pour le moment, mon projet professionnel a deux axes principaux et d'autres secondaires mais tout aussi importants :

- le premier axe est la sauvegarde de l'environnement. Ce sujet est très à la mode mais s'avère être de plus en plus nécessaire à prendre en compte. C'est pourquoi je voudrais travailler dans un domaine qui agit en faveur du développement durable et de l'écologie. Les domaines du traitement des déchets, traitement des eaux ou encore des énergies renouvelables entrent dans mes critères de choix pour mon travail futur.
- le second axe est, quant à lui, plus en rapport avec la fonction que je voudrais avoir dans l'entreprise. En effet, pour le début de ma carrière au moins, je souhaiterais travailler dans un département de recherche et développement. C'est un secteur de l'entreprise qui est intéressant car il permet d'aborder l'aspect technique tout en cherchant à tenir compte de la volonté du client ainsi que des exigences légales et environnementales. Ce métier permet de voir la naissance d'un produit (le cahier des charges et les premières esquisses) et de suivre son évolution jusqu'à sa mise sur le marché.
- le troisième axe est la maîtrise d'une langue étrangère telle que l'anglais. Cet axe est devenu une exigence de la part des entreprises de nos jours et il me paraît donc nécessaire de ne pas la négliger. Je pense avoir acquis cet axe en partie, de par mon score au test du TOEIC (890 points sur 990 possibles). Même si un test n'est jamais vraiment révélateur de la réalité, celui-ci se veut être révélateur de la capacité d'une personne à animer, suivre une réunion, mener un entretien d'embauche dans son domaine technique et rédiger divers type de document. Pour prétendre au bilinguisme, il faudrait tout de même que je pratique pendant plusieurs mois dans un pays de langue anglaise.
- le quatrième axe est une expérience de quelques années dans un pays étranger. C'est une idée qui m'est venue lors d'un séjour précédent au Canada (à Toronto) où j'avais travaillé pendant 2 mois à l'été 2004. Et j'ai été conforté dans cette volonté lors de ce nouveau séjour.

4.3.2 La R&D

Afin de suivre mon projet professionnel, j'ai recherché mon stage en tenant compte de mes exigences de carrière. Mais je devais aussi tenir compte du fait d'effectuer mon stage dans un pays étranger. Or il est très difficile d'en trouver un dans une entreprise pour une durée aussi courte (3 mois seulement) et les laboratoires sont souvent plus réceptifs pour une telle durée. De plus, je souhaitais réaliser ce séjour à l'étranger en 2^{ème} année afin d'avoir l'esprit tranquille quant à trouver un stage répondant à ce critère en 3^{ème} année. C'est pourquoi j'avais orienté mes recherches vers un laboratoire de recherche universitaire. Ce choix était tout à fait en accord avec le deuxième axe de mon projet professionnel.

4.3.3 L'environnement

Pour déterminer à quels laboratoires je devais faire une demande, j'ai regardé mon projet professionnel et j'ai donc décidé de chercher dans le traitement des déchets et le traitement des eaux. C'est ce qui m'a conduit à donner ma candidature à un laboratoire de recherche en modélisation de la qualité de l'eau comme modelEAU.

4.3.4 L'Anglais

Bien que le Québec ne soit pas une province canadienne où l'anglais prédomine, la plupart des gens le parlent. Ceci est encore plus vrai lorsque l'on va à l'université et dans la recherche. En effet, l'influence de l'anglais est très forte et tous les travaux de recherche sont effectués et rédigés dans cette langue. J'ai donc été en contact permanent avec la langue anglaise ce qui m'a permis de progresser et d'apprendre beaucoup de vocabulaire tant technique que de la vie de tous les jours.

4.3.5 Mener un travail sur un sujet

Lors de ce stage, un travail m'a été confié. C'était celui de commencer à réfléchir (voire à débiter) à la modélisation du comportement des métaux lourds lors dans une station de traitement des eaux usées. Pour effectuer ce travail, je devais suivre une démarche scientifique stricte. Tout d'abord, il fallait que je m'imprègne du sujet : savoir ce qu'on appelle métaux lourds, leur quantité dans l'environnement, leur influence sur les organismes vivants... Bref, il fallait que je décortique les termes principaux du sujet. Ensuite, je devais rechercher tout ce qui a déjà été réalisé, c'est-à-dire pas grand-chose. A la suite de cela, ayant eu la chance d'obtenir des données d'une station, j'ai dû les analyser. Enfin, avec le début de la modélisation, il a fallu que je cherche à faire correspondre le modèle à la réalité. Ce travail m'a permis de me familiariser avec la démarche de la recherche scientifique. Ceci me sera, à coup sûr, très utile dans ma vie professionnelle si je parviens à travailler dans un département de recherche et développement. J'ai aussi appris que la recherche est un travail de très longue haleine et que les résultats ne sont pas toujours rapides à arriver. J'ai donc été conforté dans mon choix de travailler en R&D plutôt qu'en recherche pure car les résultats sont visibles beaucoup plus rapidement.

Je peux dire que ce séjour a été une réussite à tous les points de vue. Ceci est principalement dû à deux choses. La première est que j'ai trouvé un stage qui correspondait bien à mon projet professionnel et donc à mes goûts. C'est un critère qui facilite beaucoup la motivation et qui met dans une situation d'apprentissage de tout élément nouveau. La deuxième vient d'une préparation de ce séjour qui a débuté en octobre 2006, c'est-à-dire dès que j'ai eu l'accord de mon maître de stage. Et donc, alors que d'autres peinaient pour trouver une destination, je progressais tranquillement pour obtenir mon visa, ma convention, mon logement sur place...

5 Conclusion

Comme nous l'avons vu dans la dernière partie de ce rapport, le stage m'a beaucoup apporté tant professionnellement qu'humainement. Mais il m'a aussi appris la nécessité d'être polyvalent et de savoir s'adapter. Des savoir-faire nécessaires à l'ingénieur d'aujourd'hui. Mais pour en revenir à mon projet professionnel, un de mes objectifs de carrière est de travailler pour l'environnement et le développement durable. Dans mon domaine de compétence, outre le traitement des déchets et de l'eau, il y a aussi l'aspect énergétique. Un aspect qui devient lui aussi très important et dont on devra porter la plus grande attention dans les décennies à venir avec la disparition des combustibles fossiles. De plus, aucune option de spécialisation de dernière année de l'ENSIACET ne propose un enseignement sur le traitement des eaux aussi poussé que ce que j'ai déjà appris cet été. Pour cela, j'ai choisi comme option de spécialisation en dernière année : Éco-Énergie.

Cette option traite de l'énergie en général mais aussi des énergies renouvelables. Dans ce domaine de la problématique du développement durable, nous devons pouvoir produire l'énergie dont nous avons besoin sans pour autant dégrader et détruire notre environnement et les écosystèmes qui y ont trouvé refuge. C'est une partie de la lutte que nous devons faire pour notre survie, directe et indirecte. Directe, car le réchauffement climatique augmente le nombre de catastrophes naturelles et les émissions polluent l'atmosphère et l'air que nous respirons. Et indirecte, car notre impact touche les êtres vivants sur Terre et dont nous avons besoin pour notre survie. Il serait en effet prétentieux de d'ignorer volontairement cet état de fait.

J'aurai donc un bagage assez varié et pourrai donc prétendre à un travail dans la branche du développement durable.