

Etude de la diffusion des eaux usées rejetées en mer à Darwin, Australie

Concentration d'E. Coli

	> 200 CFU/100ml
	> 500 CFU/100ml



tion des normes australiennes

pour en savoir plus...
eivp-paris.fr

Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris
15, rue Fénelon
75010 Paris

Résumé

Ce rapport présente l'étude de la diffusion des eaux usées en mer, après rejet. Le déversoir étudié se situe sur la pointe d'East Point, à Darwin en Australie. Le projet a pour contexte la modification du réseau d'assainissement par l'entreprise gestionnaire Power and Water en vue de l'amélioration de la qualité de l'eau de la baie de Darwin.

La modélisation des rejets suivant plusieurs scénarios et critères est une aide à la décision pour l'entreprise. En effet, elle souhaite rallonger la canalisation étudiée afin de rejeter les eaux usées dans une zone plus favorable à la dispersion des polluants. Le travail effectué concerne la mise en place et la gestion des modélisations, de l'écriture du programme aux résultats affichés.

Ce travail aboutit à la mise en valeur d'une zone de dispersion, compromis entre le coût de la construction et la qualité de l'eau. Cette conclusion est la première étape dans le choix d'une nouvelle localisation des rejets pour la canalisation d'East Point.

Abstract

This report presents the dispersion study of released wastewater. The outfall is located at East Point, Darwin, Australia. The project has as background the city sewerage Plan lead by Power and Water in order to improve the water quality in Darwin Harbour.

The wastewater modelling follows scenario and is a help to the firm for finding a new localisation outfall, where the sewage dispersion could be better. The done work is the models management, from the program writing to the displayed results.

The report ends with a preferred dispersion zone, chosen between the cost and the water quality. The conclusion is the first step in the all project to find a new sewage outfall at East Point.

Thesaurus

- Darwin
- Dispersion des polluants
- Eaux usées
- Modélisation hydrodynamique
- Pollution maritime
- Power and Water Corporation
- Programmes RMA
- Rejet en mer
- Seuil de pollution
- Université Charles Darwin

Sommaire

REMERCIEMENTS.....	5
INTRODUCTION	6
I. PRESENTATION DU STAGE.....	7
A. La ville et l'université d'accueil	7
1. Darwin.....	7
2. L'université Charles Darwin	9
3. Le pôle de recherche en eau.....	10
B. L'entreprise commanditaire	11
C. Les Objectifs.....	12
1. De l'université	12
2. Personnels.....	12
II. DEROULEMENT DU STAGE	13
A. Le contexte.....	13
1. Présentation.....	13
2. Problématique de recherche	17
B. Le projet	19
1. Résultats attendus	19
2. Méthodologie.....	19
C. Ma mission.....	22
1. RMA.....	22
2. Etude de la diffusion des eaux usées rejetées	25
3. Résultats.....	29
III. ANALYSE DU STAGE.....	35
A. Les difficultés générales rencontrées lors du stage.....	35
B. Les apports du stage	36
C. Les perspectives	37
CONCLUSION.....	38
BIBLIOGRAPHIE.....	40
ANNEXES.....	41

Remerciements

First of all, I would like to say thank you to Ruth Patterson, my supervisor, for her kindness and for her desire to make me discover Darwin and Australia.

Then, thank you to Mike Miloshis for his everyday good mood.

I thank Eric Valentine for his advice and for sharing his big experience in the engineering field.

Thank you to all the staff of the building purple 12 that I met during my internship for their nice welcome.

It was a great experience in Darwin, thank you everybody! See you later!

Tout d'abord, je tiens à remercier Ruth Patterson, ma maître de stage, pour sa gentillesse et pour son envie de me faire découvrir Darwin et l'Australie.

Je remercie également Mike Miloshis pour sa bonne humeur.

Merci à Eric Valentine pour ses conseils avisés et sa grande expérience en matière d'ingénierie qu'il partage volontiers.

Un grand merci à l'ensemble du personnel du bâtiment ingénierie de l'université Charles Darwin que j'ai rencontré lors de mon stage pour leur accueil.

Je remercie toutes ces personnes d'avoir fait de ces six mois passés à Darwin une formidable expérience !

Introduction

Le stage de fin d'étude est la dernière étape des trois années du cursus de l'E.I.V.P. (Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris). Ce stage est l'aboutissement d'une formation et à l'issu de celui-ci, l'élève devient ingénieur. C'est pourquoi l'objectif de ce travail de fin d'étude est l'analyse globale d'un projet. Au-delà de la description des tâches et des missions il faut y voir les moyens mis en œuvre, les compétences requises et le fonctionnement de l'entreprise pour un aperçu du monde du travail auquel le futur ingénieur se trouvera confronter. Pour beaucoup, le stage de fin d'étude est une manière de tester un secteur d'activités, de compléter son C.V. ou même de faire sa place au sein de l'entreprise en vue d'une embauche.

Pour ma part, j'ai choisi de faire ce stage à l'étranger, dans un pays anglophone. L'objectif est de progresser en anglais mais la motivation de ce choix est de découvrir un pays pendant 6 mois. J'ai eu le contact de l'université de Darwin, ville située au nord de l'Australie, car elle a déjà accueilli plusieurs étudiants de l'école. Le stage, s'effectuant en université, sera plus axé sur de la recherche. J'ai tout de suite été intéressée par la problématique proposée : modélisation hydrodynamique de la diffusion des eaux usées rejetées en mer. Ce travail de recherche est commandité par le gestionnaire des réseaux d'eaux (eau potable et eaux usées) de la ville de Darwin qui a pour objectif de maintenir son réseau et de le moderniser. Cela en fait un travail de recherche appliquée avec une problématique urbaine.

Ce stage en Australie est une expérience enrichissante qui permet également de faire la comparaison avec la France dans le domaine du génie urbain, notamment en assainissement, entre deux pays industrialisés situés aux antipodes. Les réflexions concernant la gestion de l'eau, la pollution ne sont pas les mêmes. L'Australie est un immense pays (avec plus de 7,6 millions de km², sa superficie est équivalente à 14 fois la France métropolitaine¹) avec très peu d'habitants (2 habitants par kilomètre carré²) et dans le territoire du Nord, à Darwin, le climat est tropical avec seulement 2 saisons par an : la saison des pluies et la saison sèche. Lors de la saison sèche, pendant 6 mois, il y a très peu de précipitations et les rivières s'assèchent. Les eaux usées sont ainsi préférentiellement rejetées dans la mer qui, avec les marées, permet la dispersion de ces eaux tout au long de l'année.

Pendant ce stage, mon travail porte sur une canalisation en particulier. Après traitement, les eaux usées sont actuellement rejetées en mer par cette canalisation qui se trouve à découvert lors de certaines marées basses. L'étude présentée ici a pour objectif de déterminer un nouveau point de rejet qui ne sera plus à découvert lors de marées basses et qui sera suffisamment loin du bord pour permettre une diffusion des eaux usées. Ce rapport présente cette étude puis analyse les difficultés rencontrées et les acquis de ce stage.

¹ www.guide-australie.com

² Cf ¹

I. Présentation du stage

A. La ville et l'université d'accueil

1. Darwin

La ville de Darwin est située au nord de l'Australie, à plus de 3 900 km de Sydney et de Canberra³. Elle est la principale ville du Territoire du Nord, son agglomération compte plus de 120 000 habitants⁴ et elle est également la capitale de cette région surnommée *Top End*. Ce surnom désigne l'éloignement de Darwin avec les autres grandes villes australiennes et la sensation de devoir aller au bout de l'île continent et de traverser le *bush* (arrière pays australien) pour trouver Darwin.

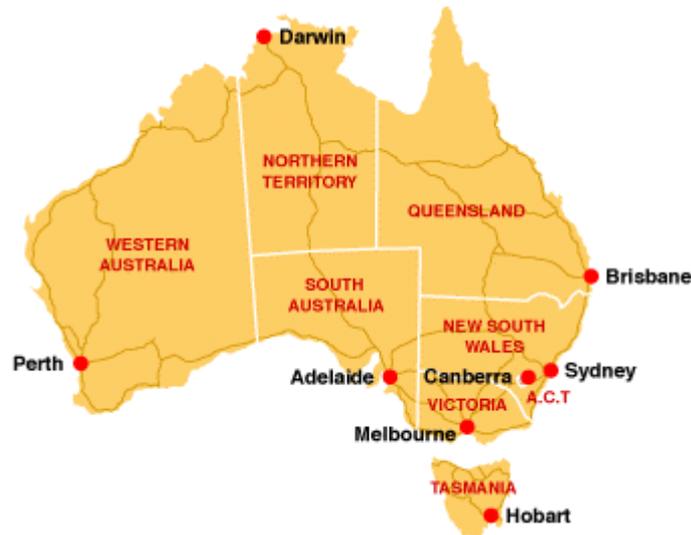


Figure 1 : principales villes d'Australie, www.solarnavigator.net

Repères sur l'Australie⁵

Capitale : Canberra

Population : 22 585 093 habitants

Superficie : 7 682 557 km²

Sydney, la ville la plus peuplée avec 4 504 469 habitants

Darwin a été dévastée par le cyclone Tracy en 1974. La reconstruction d'une grande partie des bâtiments fait de Darwin la ville la plus moderne d'Australie. Chaque année, l'arrivée des pluies à la saison humide (novembre-avril) est synonyme d'orages impressionnants et de risque de cyclones. Le climat tropical est une donnée importante dans la gestion de l'eau. Pendant les six mois de la saison sèche, de mai à octobre, les précipitations sont rares, les cours d'eau s'assèchent et les feux de brousse sont courants.

³ www.sydney.com.au/distance-between-australia-cities.htm

⁴ Nombre d'habitants en 2009 pour l'agglomération de Darwin qui compte la ville de Darwin, Palmerston, East-Arm et Litchfield, www.abs.gov.au

⁵ Population australienne estimée en 2011 et classement des villes par le nombre d'habitants des aires urbaines en 2009, www.populationdata.net.



Figure 2 : la baie de Darwin, www.arounddarwin.com.au

Figure 3 : le Territoire du Nord, Australie, mapsof.net

En Australie, l'appréciation des distances est très différente de la France. Les villes sont parfois très éloignées. Pour rejoindre Katherine en partant de Darwin, il faut parcourir 270 km et le trajet Darwin – Alice Springs compte quelques 1500 km.

2. L'université Charles Darwin

J'ai effectué mon stage au sein de l'université de Darwin : *Charles Darwin University*. C'est la seule université de la région du territoire du Nord mais elle est divisée en plusieurs campus dans différentes villes. Le campus principal se situe à Darwin et il est composé de 2 facultés : la faculté d'ingénierie, de la santé, des sciences et de l'environnement et la faculté de droit, de l'éducation, d'économie et des arts (voir Annexe 1 : Organigrammes de l'université Charles Darwin).



Figure 4 : la ville de Darwin, www.lonelyplanet.com

Créée en 2004 lors de la fusion du collège d'Alice Springs et de l'université du Territoire du Nord, l'université Charles Darwin compte aujourd'hui plus de 21 000 étudiants. Son nom rend hommage au naturaliste anglais, célèbre pour ses travaux sur l'évolution des espèces, qui explora la baie de Darwin.



Figure 5 : chiffres clés de l'université Charles Darwin, www.cdu.edu.au

3. Le pôle de recherche en eau

Au sein de l'École d'Ingénierie et des Technologies de l'Information, *School of Engineering and Information Technology*, se trouve le Pôle de Recherche en Ingénierie de l'Eau, *Water Engineering Research Group* (voir Annexe 1 : Organigrammes de l'université Charles Darwin). C'est avec l'équipe de chercheurs en modélisation hydrodynamique, du Pôle de Recherche en Ingénierie de l'Eau, que j'ai travaillé.

Les activités de ce Pôle concernent la gestion de l'eau potable et des eaux usées en termes de transport, de traitement ou de distribution. Mais les projets de recherche portent également sur l'hydrodynamisme des rivières, de la mer ou des estuaires, ce qui signifie l'étude des mouvements d'eau, des marées, de la salinité, des sédiments... L'objectif est de créer et d'appliquer de nouvelles technologies pour une gestion durable de l'eau et de l'environnement dans le Territoire du Nord. Actuellement, 4 projets sont en cours ou à venir.

Modélisation de la dispersion des eaux usées dans la baie de Darwin

Ma mission est liée à ce projet qui vise à simuler d'une part l'hydrologie du site (notamment les marées) et d'autre part la qualité de l'eau. Ce projet est financé par une entreprise, Power and Water, qui gère entre autres les eaux usées de la ville de Darwin.

Exigences environnementales et culturelles de l'eau : évaluation des risques et des ressources

Ce projet vise à fournir des informations sur les exigences des écosystèmes aquatiques. L'évaluation des risques encourus par ces écosystèmes sur l'ensemble du Territoire du Nord permettra d'élaboration de priorités dans la gestion de l'eau en tant que ressource.

Cerf-Track

Les experts en environnement de l'Université Charles Darwin prendront part à un important projet de recherche estimé à un budget de 8 millions de dollars australiens qui concerne les rivières tropicales et costales. Ce projet sera mené par plus de 50 chercheurs de 10 agences australiennes différentes afin de mettre en place un développement durable des rivières et de leurs bassins versants sur le nord de l'Australie.

Hydrologie des rivières tropicales

Ce projet étudie les interactions entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines dans des rivières du Territoire du Nord.



Figure 6 : photos des différents projets, www.cdu.edu.au/engit/waterengineering

Le Pôle de recherche en eau est constitué d'un coordinateur de recherche et de 2 chercheurs. J'ai intégré ce pôle sous la direction d'un des chercheurs avec l'envie de découvrir l'ensemble du projet et de participer à son évolution.

B. L'entreprise commanditaire

La mission de recherche réalisée par l'équipe universitaire est financée par l'entreprise Power and Water, fournisseur d'électricité et d'eau potable ainsi que *gestionnaire* du réseau des eaux usées sur le territoire du Nord pour près de 80 000 clients.

Power and water emploie plus de 900 personnes sur l'ensemble de la région avec pour objectif de répondre aux besoins actuels de ses clients (particuliers, entreprises et industries) en matière d'électricité, d'eau potable et d'eaux usées.

Cependant, les consommations en électricité et en eau sont en augmentation car la population du Territoire du Nord et le nombre d'entreprises et d'industries ne cessent de croître. Ainsi, Power and Water a investi 1,6 milliards de dollars australiens sur 5 ans pour l'augmentation de ces réseaux et son adaptation à une demande croissante.

POWER AND WATER CORPORATION



Figure 7 : installation d'une canalisation, www.powerwater.com.au/about_us/major_projects

Le service, avec lequel l'équipe universitaire est en contact, est le service assainissement puisque la mission de recherche concerne le rejet d'eaux usées. Ce service gère actuellement deux projets.

1

La fermeture de la canalisation Larrakeyah, située à Darwin.

Ce projet prévoit la fermeture d'une canalisation d'eaux usées non traitées et la redirection des eaux vers une station de traitement. Mon stage et les travaux associés ont pour contexte ce projet.

2

Le projet de réutilisation d'eau pour Alice Springs.

Ce projet permet de recycler jusqu'à 60×10^6 litres d'eau par an ce qui est un apport non négligeable pour cette ville située en zone désertique.



Figure 8 : l'Australie et ses états, www.about-australia.com

C. Les Objectifs

1. De l'université

L'objectif de mon stage est **d'apporter des solutions** et une aide dans la réalisation des travaux et des recherches effectués par l'équipe universitaire afin de répondre à la commande d'une entreprise. **Une réponse pertinente** à cette commande est propice au développement de partenariats, de subventions et de futurs contrats. Ajouter à cela que faire de la recherche pour une des plus grandes entreprises de la région⁶ permet de soigner son image **d'université rayonnante** et d'attirer ainsi de nouvelles entreprises.

2. Personnels

L'Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris a défini comme objectif principal de ce stage de fin d'étude la réponse à une problématique urbaine grâce à l'appréhension des différents aspects du métier d'ingénieur (aspects techniques, scientifiques, économiques et humains) et à la mise en œuvre des connaissances acquises lors de la scolarité et pendant le stage.

Mes objectifs professionnels sont :

- d'atteindre l'objectif défini par l'E.I.V.P afin que ce stage soit une **expérience enrichissante** et finalise le cursus d'ingénieur que je suis actuellement ;
- de découvrir une **problématique urbaine à l'étranger**, la façon dont les réflexions et la recherche sont menées autour du domaine du rejet des eaux usées ;
- d'apprendre à manier de **nouveaux logiciels** et à gérer des **travaux de recherche**.

Mon objectif personnel est de **m'investir** dans ce stage afin d'apprendre mais également de montrer ce que je sais faire, d'améliorer mon anglais, de faire de nouvelles connaissances et ainsi de **découvrir cet immense pays** pendant 6 mois en étant intégrée a un projet professionnel.

⁶ www.powerwater.com.au/employment

II. Déroulement du stage

A. Le contexte

1. Présentation

L'étude réalisée pendant mon stage avec l'équipe universitaire est commanditée par le gestionnaire du réseau d'assainissement de l'agglomération de Darwin. Les rejets des eaux usées ne sont font pas en rivière qui, lors de la saison sèche, s'assèchent et ne peuvent alors plus disperser les eaux rejetées. La mer est, au contraire, capable de supporter ces eaux, tout au long de l'année et la *diffusion* se fait grâce aux courants, au vent et aux marées.

L'agglomération de Darwin déverse ses eaux usées, d'origine variées (particuliers, entreprises et industries), en cinq localisations différentes.

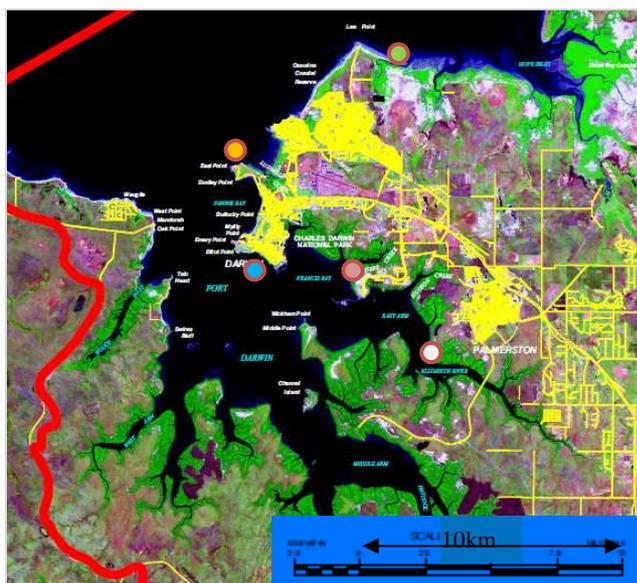


Figure 9 : localisations des déversoirs de Darwin, www.nt.gov.au/nreta/water/dhac/pdf/satmap.pdf

Les débits présentés ci-contre sont ceux de novembre 2003, c'est-à-dire d'un mois de la saison sèche. Les débits ne varient pas lors de la saison humide car le réseau d'assainissement est un *système séparatif*. Cependant, lors de fortes précipitations, les eaux de pluie arrivent à infiltrer le réseau et viennent grossir les bassins de la *station d'épuration*.

Par exemple, la station d'épuration de Leanyer/Sanderson va recueillir dans ses bassins 990×10^6 L d'eau en janvier 2004 alors que sur les mois de la saison sèche, le volume d'eau est aux alentours de 300×10^6 L/mois, voir Annexe 2 : débits entrants, Juillet 2003 – juin 2004.

Déversoir	Débits Novembre 2003 (ML/mois)
Ludmilla	213
Larrakeyah	109
Berrimah	20
Palmerston	120
Leanyer/Sanderson	203

Figure 10 : débit rejeté pour chaque déversoir de Darwin, Darwin Harbour Effluent Modelling Report 1

De manière générale, les eaux de pluie viennent diluer les concentrations des polluants et font grossir les affluents qui aident à la dispersion de la pollution. Pour cette raison, le projet réalisé pendant mon stage modélise un rejet qui a lieu pendant la saison sèche.

Le réseau d'eaux usées

L'ensemble des cinq zones de rejet sont nécessaires à la modélisation future de la baie de Darwin et de la diffusion des eaux usées. Cependant, seules les trois canalisations de la ville de Darwin ont été étudiées lors de mon stage :

- Ludmilla, située près de la réserve d'East Point, est au cœur de l'étude présentée dans ce rapport ;
- Larrakeyah rejette des eaux usées non traitées près du port et du centre-ville où se trouve une zone de baignade ;
- Leanyer/Sanderson où les eaux usées sont rejetées dans une rivière, après traitement. Cela pose des problèmes lors des marées basses et lors de la saison sèche. S'ajoute à cela que l'estuaire, situé à environ 2 km en aval, est un endroit apprécié des pêcheurs.



Figure 11 : déversoirs de la ville de Darwin, The Learning Compagny Inc.

Ludmilla et Leanyer/Sanderson ont leur propre système de traitement des eaux. La canalisation Ludmilla rejette des eaux traitées chimiquement⁷ alors que la deuxième, Leanyer/Sanderson, dispose de *bassins de décantation*. Le deuxième mode de traitement est beaucoup plus efficace mais il est nécessaire à cet endroit. En effet, les eaux sont rejetées en rivière ce qui limite la diffusion des polluants. Au contraire, pour Ludmilla, l'eau déversée est suffisamment brassée par la mer pour ne pas nécessiter un traitement important avant rejet.

⁷ Les procédés utilisés à Ludmilla sont la chloration et la décantation chimiquement assistée, Wastewater treatment Reuse and Discharge, Power and Water, rapport de 2004



Figure 12 : image satellite de Buffalo Creek, Darwin, google map et photos de l'estuaire, de la canalisation et des bassins de décantation, crédit personnel.

Le gestionnaire du réseau, Power and Water, a mis en place un plan de modernisation de ses installations qui vise à :

- **Augmenter la capacité du réseau** afin de supporter une population et une activité industrielle grandissante ;
- **Améliorer les performances du traitement des eaux usées** et des équipements d'évacuation de la région de Darwin ;
- **Réduction de l'impact potentiel sur l'environnement** du rejet des eaux usées.

Les objectifs sont de supprimer les rejets d'eaux usées non traitées dans la baie de Darwin et de s'assurer que tous les rejets provenant des systèmes d'évacuation de Power and Water sont traités avant d'être rejetés dans l'environnement.

Actuellement, seule la canalisation de Larrakayah rejette, près du centre-ville et du port, des eaux usées non traitées.

La modélisation de la *dispersion* des eaux usées a été réalisée à la sortie de cette canalisation. Les concentrations obtenues sont très inférieures aux valeurs limites fixées par le gouvernement. Le modèle indique que les concentrations en zinc issu de la canalisation Larrakeyah sont inférieures au quart des valeurs limites avec une concentration maximum de 0,055 µg/L. De plus, le modèle met en avant que la pollution n'a pas tendance à se diriger vers les côtes lors de son développement⁸. Voir en Annexe 3, Modélisation de Larrakeyah.

⁸ Darwin Harbour Effluent Modelling Report 1, Phil Totterdell et Eric Valentine, juillet 2006

Une décision politique

Pour le chef du pôle de recherche en eau de l'université de Darwin, la fermeture de cette canalisation d'eau non traitée est avant tout politique. Le rejet en mer se fait dans une zone où le brassage est important et où la dispersion des eaux usées est suffisante à la vue de la quantité rejetée, voir Annexe 4 : débit rejeté par Larrakeyah, Juillet 2003 - Juin 2004.

La décision de la fermeture de cette canalisation avant la fin de l'année vient de Mme Griggs, élue de l'agglomération de Darwin⁹. L'annonce de travaux de modernisation du réseau avec pour slogan la diminution de l'impact environnemental et l'amélioration de la qualité de l'eau est très vendeur auprès de l'électorat. Il faut savoir que le rejet se fait près du port de Darwin et du centre-ville, où se trouve une zone de baignade et qu'il est courant d'entendre que la qualité de l'eau de la baie de Darwin est de mauvaise qualité. Cependant, la qualité de l'eau n'aurait pas beaucoup variée depuis les années 90 jusqu'aux années 2000¹⁰.

Certes, la décision de la fermeture de la canalisation Larrakeyah va dans le sens de l'environnement et de la diminution de la pollution mais sa réelle motivation semble être politique car d'un point de vue environnemental, la suppression de ces rejets non traités n'est pas une urgence. Les travaux ont d'ailleurs déjà pris du retard, la fermeture pour la fin de l'année semble compromise.

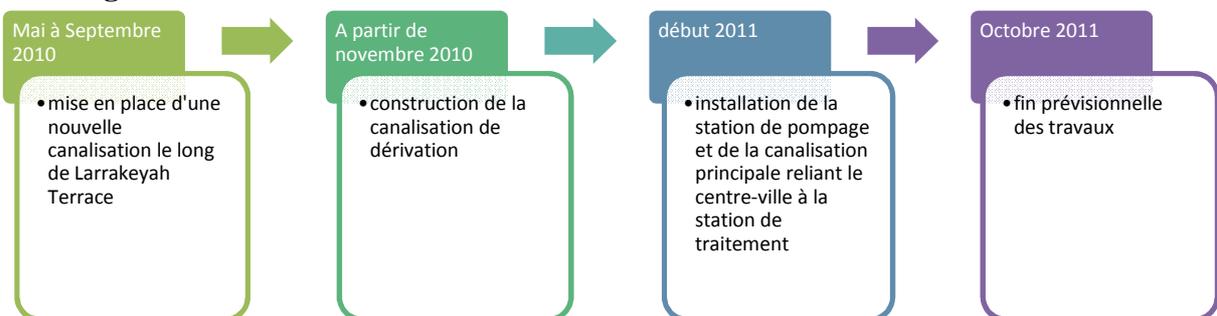
Réorganisation du réseau

Afin de supprimer la canalisation d'eaux usées non traitées de Larrakeyah, Power and Water va réorienter les eaux qui transitent actuellement par cette canalisation vers la station de traitement de Ludmilla qui est déjà en fonctionnement. Les eaux issues de cette station sont ensuite dirigées vers la canalisation du même nom, près d'East Point et actuellement en fonctionnement.

Cette dérivation implique une réorganisation du réseau d'assainissement de la ville de Darwin, voir Annexe 5 : Plan des travaux prévus par Power and Water. Cela comprend :

- La mise en place de nouvelles canalisations,
- L'augmentation de la capacité de certaines canalisations et de la station de traitement.

Planning des travaux



⁹ Elue en 2010, elle représente l'agglomération de Darwin à l'House of Representatives qui est la chambre basse du parlement australien, la chambre haute étant le sénat. Elle fait partie de la Coalition, un groupement de 4 partis de centre-droite.

¹⁰ The Health of the Aquatic Environment in the Darwin Harbour Region, Northern Territory Government, 2005, www.nt.gov.au/nreta/water/aquatic/darwinharbour/

2. Problématique de recherche

En vue de la fermeture de la canalisation de Larrakeyah, Power and Water va développer la station de traitement de Ludmilla et la canalisation menant au déversoir afin de supporter un volume d'eau plus important. Ma mission concerne la modélisation de l'état actuel, au niveau du *déversoir*, de la dispersion des eaux usées et de son évolution avec l'augmentation du volume d'eau usée rejetée due à la fermeture de la canalisation de Larrakeyah mais également due à l'augmentation de la population et de l'urbanisation de Darwin.

Localisation

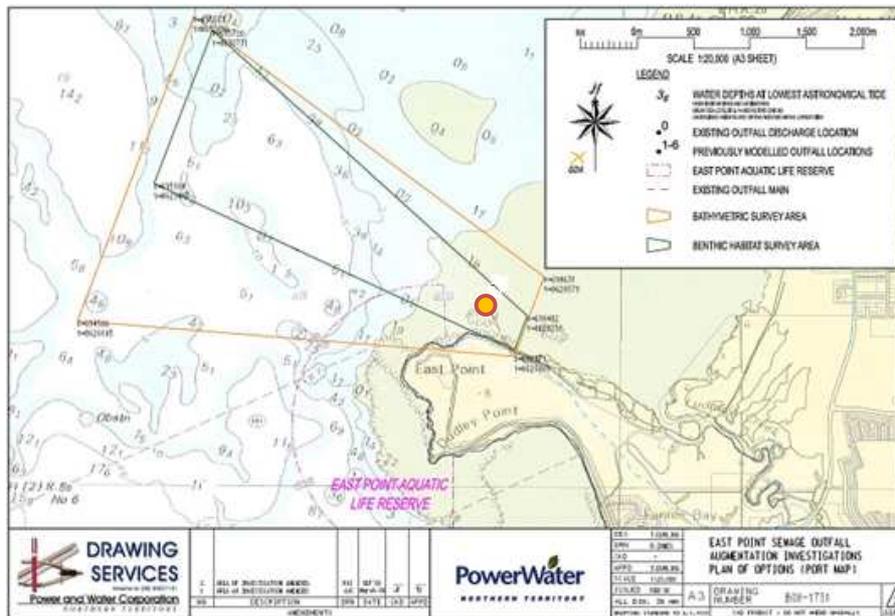


Figure 13 : localisation du déversoir d'East Point, document de travail, Power and Water

Le déversoir de la canalisation provenant de la station de traitement Ludmilla est situé au large de la presqu'île d'East Point. Les eaux usées se dispersent dans la mer à partir de ce point. East Point est une réserve naturelle ce qui signifie que les espaces verts y sont protégés, ainsi que les animaux tels que les wallabies. Certaines restrictions sont mises en place telles que l'interdiction de camper et l'interdiction d'accès aux véhicules sur certaines zones. East Point est un lieu de détente et de nature au cœur de la ville de Darwin.

Etat des lieux

Lors de sa construction, la canalisation d'East Point était prévue pour rejeter les eaux usées bien plus loin qu'elle ne le fait actuellement. Mais le cyclone Tracy a détruit la partie de la canalisation en mer, alors en construction. Depuis, les travaux n'ont pas repris, les eaux usées sont encore aujourd'hui rejetées à l'endroit où le cyclone a stoppé les travaux.

Le problème actuel est que la canalisation rejette, lors de marées basses, les eaux usées à découvert, sur le sable et non plus dans la mer. Les conséquences sont multiples :

- **Impact environnemental important** : l'absence de dissipation par l'eau de mer des eaux usées entraîne leur dispersion sur le sable laissant ainsi les eaux rejetées infiltrer le sol et certains polluants s'évaporer dans l'air ;
- **Exposition de la flore, de la faune et des êtres humains à des polluants** : certains constituants et leurs concentrations élevées à la sortie de la canalisation sont un danger pour les êtres vivants qui devient pourtant facilement accessible à marées basses ;
- **Dégradation de la qualité du paysage** : East Point est une réserve naturelle protégée, le rejet visible et à découvert des eaux usées va à l'encontre des principes d'une réserve naturelle tels que la protection de l'environnement et de la faune ;
- **Odeurs** : à proximité de la sortie de la canalisation, les eaux usées sentent une forte odeur chimique qui est désagréable même si elle n'est pas insupportable.



Figure 14 : vue de la réserve d'East Point depuis la plage et sortie des eaux usées visible à marées basses, crédit personnel

Problématique

L'objectif de cette étude est de déterminer un nouveau point de rejet des eaux usées afin de ne plus avoir de rejet à découvert, sans dissipation par l'eau de mer lors des marées basses.

La fermeture d'une autre canalisation et la redistribution des eaux usées de cette canalisation vers East Point ainsi que l'évolution du nombre d'habitants et du volume des eaux rejetées influencent également la dissipation des eaux usées. En effet, la constante augmentation des eaux usées nécessite leur rejet dans une zone avec un brassage plus important et suffisamment loin des côtes pour éviter de rabattre les eaux usées vers les plages.

Afin d'aboutir à une nouvelle longueur pour la canalisation, un compromis devra être trouvé entre le coût de la construction d'une canalisation sous l'eau et une dispersion correcte des eaux usées permettant la pêche et la baignade au-delà d'un certain périmètre de la zone de rejet.

Intérêts

Pour l'université Charles Darwin, effectuer ce projet de recherche financé par une des plus importantes entreprises de la région et partenaire de l'université est une manière de renforcer les liens et d'acquérir certaines compétences. Cela participe à l'image d'une université active et à l'obtention d'une reconnaissance dans le monde de la recherche.

Pour l'entreprise Power and Water, un projet de recherche mené par une équipe universitaire permet d'apparaître dans les écrits réalisés par les chercheurs et de mettre en valeur l'innovation de l'entreprise. Par ailleurs, la recherche s'effectuant hors de l'entreprise,

aucun employé supplémentaire n'est à prévoir et cela crédibilise certains résultats puisque l'équipe de recherche est censée être indépendante.

B. Le projet

1. Résultats attendus

Power and Water attend de l'équipe universitaire la mise en place d'un modèle informatique prenant en compte les vents, les marées, la localisation du déversoir, les débits du rejet et les polluants. Ceci afin d'obtenir la zone de diffusion de chaque polluant en fonction des valeurs gouvernementales.

Power and Water souhaite ainsi obtenir un bilan sur l'état actuel de la qualité de l'eau au niveau d'East Point afin de connaître les impacts environnementaux des rejets et ainsi mettre en place un périmètre d'interdiction de baignade et de pêche aux endroits touchés par la pollution. La zone à proximité du déversoir est déjà interdite à la baignade et à la pêche mais la modélisation justifiera ce périmètre.

De plus, grâce à la modélisation de différents scénarios (autre point de rejet, débit prévu en 2030), Power and Water dispose d'un aperçu sur l'évolution de la dispersion des rejets. Le travail effectué par l'équipe de recherche universitaire est un support pour que l'entreprise choisisse une nouvelle zone de rejet en connaissant les impacts et la pollution engendrée.

2. Méthodologie

La mise en place d'un modèle informatique suit des règles, quelque soit le sujet et le programme choisis. Depuis 2005, l'équipe universitaire avance sur ce projet en suivant les grandes étapes afin de créer un modèle fiable de la baie de Darwin.

Etapas de l'ensemble des recherches et travaux effectués par l'université

Voici les quatre grandes étapes du projet. Si l'ordre de ces étapes doit être respecté, elles ne s'arrêtent cependant pas lorsque l'étape suivante commence. Bien souvent, si un problème est rencontré lors d'une étape, un retour à la précédente est nécessaire. En parallèle de ces étapes, se trouve la programmation, c'est-à-dire l'écriture du programme et les temps de calculs.

Maillage

La construction du réseau est la base de la modélisation. Le réseau est construit de manière à ne comporter que des éléments simples (triangles et quadrilatères). Une élévation est attribuée à chaque point et un type de sol est attribué à chaque élément. L'élévation dépend du niveau de référence choisi, elle peut être négative et chaque type de sol correspond à un coefficient de rugosité. Cette étape n'est jamais réellement finie car le réseau peut être complété et agrandi en fonction des besoins.

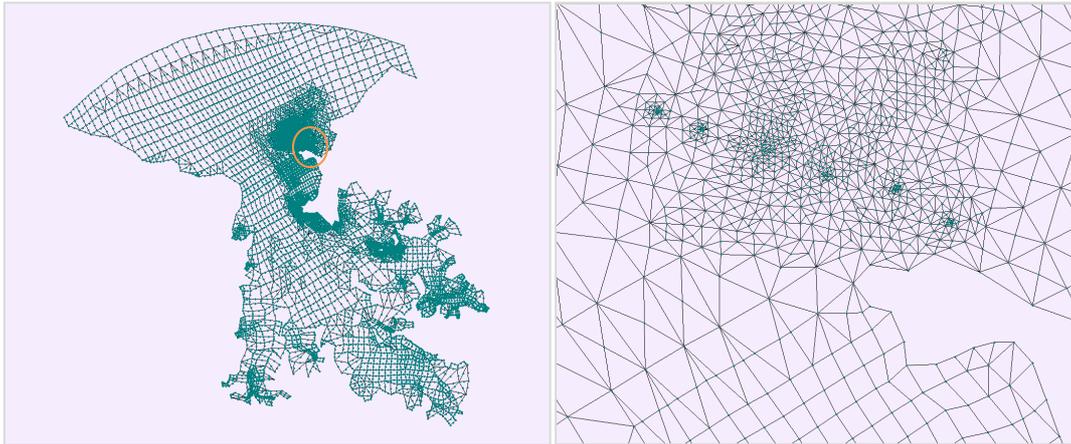


Figure 15 : le maillage utilisé pour la modélisation de la baie de Darwin et zoom sur les éléments

Calibration

Cette étape se fait en deux temps. Tout d'abord sur le terrain, des traceurs sont lâchés à l'endroit actuel du rejet et leurs mouvements sont enregistrés. Ensuite, la comparaison entre le modèle et les résultats sur le terrain met en évidence certaines différences. Grâce à cette comparaison, des coefficients sont introduits dans le programme afin de le calibrer et de faire en sorte que la modélisation soit plus proche de la réalité.



Figure 16 : utilisation de la Rhodamine WT (couleur rouge) comme traceur, www.chelsea.co.uk/PressReleases/CharlesDarwinUniversityUniLux

Modélisation

Cette étape est la réalisation des différents modèles en fonction de scénarios. Chaque modélisation est constituée d'un premier modèle hydrodynamique à partir du maillage et d'un modèle de la dispersion des eaux usées en fonction de chaque polluant.

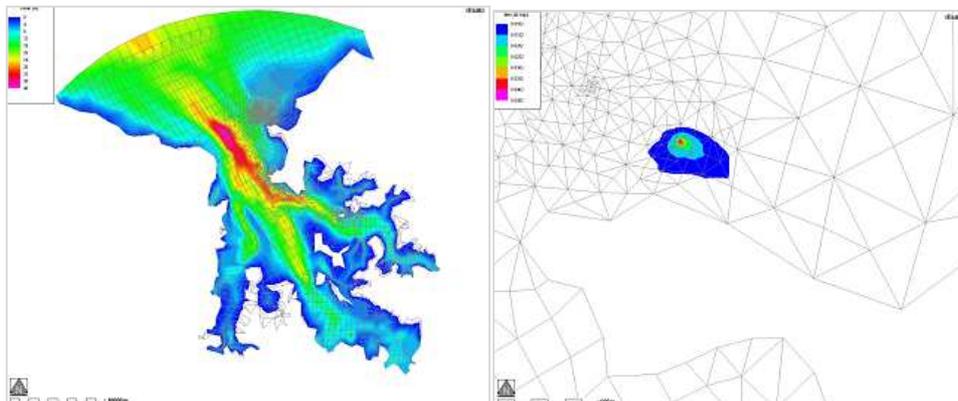


Figure 17 : résultat de la modélisation hydrodynamique avec l'affichage de la profondeur et résultat de la diffusion de cuivre à la sortie de la canalisation, la 1^{ère} modélisation est nécessaire pour obtenir la 2^{ème}.

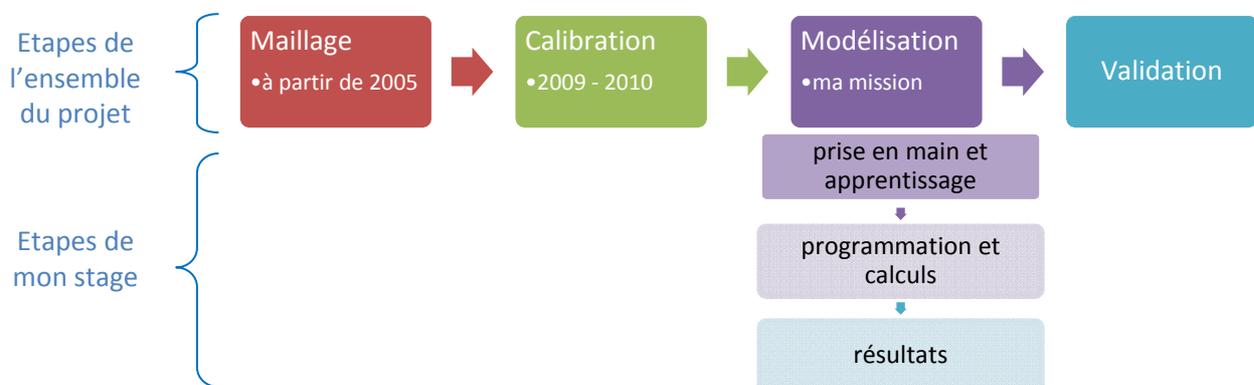
Validation

Cette étape nécessite des données issues du terrain afin de les comparer avec les résultats obtenus par la modélisation. Dans le cadre de ce projet, ce sont les concentrations des différents polluants qui servent de comparaison. Lors de mon stage, l'entreprise n'a pas souhaité divulguer ces données bien qu'elles ne soient pas confidentielles. Soit l'entreprise Power and Water ne souhaite pas donner ces chiffres trop tôt car la phase actuelle est celle de la modélisation soit elle ne les divulguera pas afin de faire ses conclusions en interne.

Etapes de ma mission

Mon stage s'est déroulé lors de l'étape Modélisation du projet. Il s'est découpé en trois parties :

- Prise en main et apprentissage des différents logiciels nécessaires à la modélisation,
- Construction des fichiers nécessaires et écriture du programme, suivi des différents scénarios pour réaliser les modèles et améliorations régulières,
- Affichage des résultats en fonction des valeurs gouvernementales pour l'entreprise commanditaire.



Gestion de projet

La confirmation de mission¹¹ rédigée dans les deux semaines suivant le début du stage a mis en avant trois étapes. La première, prise en main et apprentissage, n'a pas changé. Cependant, dans la deuxième partie, les données issues du terrain apparaissent pour une comparaison entre la réalité et la modélisation qui constitue la troisième partie.

Le premier point étape, après 9 semaines de stage, modifie seulement la deuxième étape, qui n'est maintenant plus que consacrée à la modélisation, la troisième est toujours prévue pour la comparaison réalité – modélisation.

Le second point étape, après 18 semaines de stage, précise que les données issues du terrain ne sont pas dévoilées par l'entreprise Power and Water et que les tâches en cours sont des compléments, des améliorations du modèle utilisé. La troisième partie est finalement consacrée aux résultats, à la réalisation du dossier à transmettre à l'entreprise.

Finalement, le dossier est rendu en mai, quelques modifications sont encore apportées à la suite d'une erreur. La fin du stage est consacrée à l'amélioration du modèle avec une toute autre problématique : la prise en compte des sédiments et de leurs déplacements qui influencent la diffusion des polluants. Cette nouvelle problématique est juste survolée car le temps manque pour l'approfondir.

¹¹ La confirmation de mission et les deux points étapes se trouvent à l'Annexe 6.

C. Ma mission

1. RMA

La modélisation hydrodynamique de la baie de Darwin se fait à partir du programme, appelé RMA (Resource Modelling Associates), développé par le professeur Ian King de l'université de la Nouvelle-Galles du Sud située à Sydney, voir Annexe 7 : présentation du Professeur Ian King.

Pourquoi ce programme?

Ce programme a été utilisé par différents organismes pour créer un premier maillage de la baie de Darwin. L'équipe universitaire a repris ces précédents travaux afin de débiter le projet, le programme RMA s'est donc imposé ainsi. Cependant, d'autres logiciels existent et sont capables de réaliser les mêmes types de modélisation. Voici quelques avantages et inconvénients du programme RMA :

Avantages

Ce programme est très facile à obtenir et une version d'essai de 30 jours est disponible gratuitement sur internet. Le développeur lui-même, Ian King, est disponible en cas de questions (contact par emails).

Ce programme a une utilisation très flexible, le maillage peut être modifié à tout moment et la superficie couverte peut être très grande, comme pour ce projet avec la modélisation d'une baie 511 km².

De plus, il propose beaucoup plus de contrôles sur les données et la modélisation que d'autres programmes. Cela signifie que l'apprentissage prend plus de temps mais l'utilisateur peut ensuite faire varier plusieurs paramètres afin d'affiner la modélisation.

Inconvénients

Le programme RMA est toujours en évolution, des erreurs au cœur du programme sont possibles. De plus, il est peu utilisé sur d'autres projets, ce qui implique peu d'aide et d'exemples de disponibles. Pour faire tourner le programme RMA, l'utilisateur n'a besoin d'aucun outil supplémentaire mais pour ouvrir les logiciels correspondants (logiciel pour éditer le maillage, pour lire les résultats...) il lui faut une clé, ce qui pose problème lorsque le nombre de clés n'est pas suffisant.

Comparé à d'autres logiciels de modélisation hydrodynamique, le programme RMA a un temps de calcul très long, dû à sa méthode de résolution des équations.

Théorie

La modélisation hydrodynamique se base sur les équations de Navier et Stokes afin de décrire les mouvements hydrauliques. Ces équations sont l'un des sept problèmes du Millénaire de la fondation Clay car ce sont des équations qui ne sont actuellement pas résolues. Il existe plusieurs méthodes d'approximation.

Le programme RMA utilise la méthode des éléments finis qui se base sur la décomposition du domaine étudié en éléments simples afin d'obtenir, sur chacun des éléments, une solution approchée.

La modélisation de la diffusion des eaux usées utilise les équations d'advection et de dispersion. L'advection correspond au déplacement du polluant emmené par le courant et la dispersion signifie que le polluant a un déplacement propre à une vitesse relative par rapport au milieu environnant.

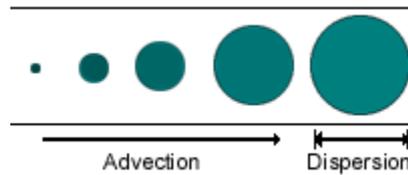


Figure 18 : advection et dispersion d'un polluant dans une rivière, epoch.uwaterloo.ca/~ponnu/syde312/pde/

Fonctionnement

La réalisation de la modélisation nécessite deux logiciels et deux programmes. Chacun de ces outils à son propre langage et sa propre utilité.

RMA Net

Ce logiciel est nécessaire pour la construction ou la modification du maillage géographique. A partir d'éléments simples, tels que des lignes, des triangles et des rectangles, un réseau va se former. Chaque point de ce réseau se voit attribuer une élévation qui dépend d'un niveau de référence et chaque élément formé est caractérisé par un type de sol.

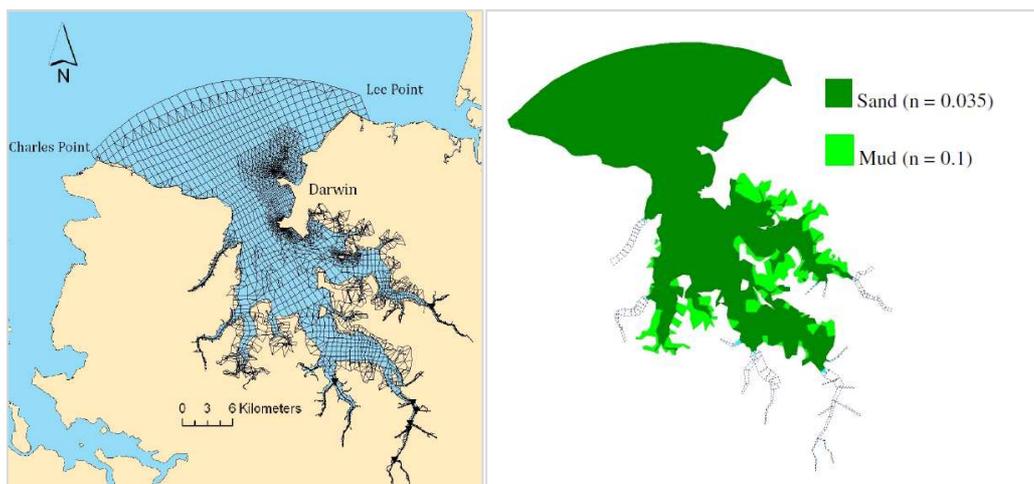


Figure 19 : le maillage de la baie de Darwin et les types de sols attribués (sable et boue), *Hydrodynamic Modelling of the Darwin Harbour, Rapport 4, Université de Charles Darwin*

RMA 10

Ce programme calcule et intègre au maillage des données hydrauliques et météorologiques. Dans le cadre de ce projet, les marées et le vent sont pris en compte alors que les précipitations et les affluents ne le sont pas car la modélisation se fait pendant la saison sèche, dans le pire des cas, c'est-à-dire sans apport d'eau de pluie ou des rivières pour aider à la diffusion des eaux usées rejetées.

Ainsi, pour faire fonctionner ce programme, il faut avoir :

- Un fichier contenant l'écriture du programme,
- Le maillage géographique,
- Un fichier rassemblant les données relatives aux marées,
- Un fichier rassemblant les données relatives au vent,
- Une fenêtre exécutive permettant de lancer le calcul du programme.

RMA 11

A partir du fichier résultat issu du calcul avec RMA 10, le programme RMA 11 va ajouter les données concernant les eaux usées comme les différents constituants, les concentrations à la sortie de la canalisation, la localisation du rejet, le débit de la canalisation. Il va ainsi calculer la dispersion de chaque constituant en fonction des marées et des vents déjà intégrés au programme grâce à RMA 10.

Pour lancer ce programme, il faut avoir :

- Le fichier résultat RMA 10,
- Le maillage géographique,
- Le fichier contenant l'écriture du programme,
- Un fichier regroupant les données sur les constituants,
- Un fichier détaillant les concentrations, le débit et la date,
- Une fenêtre exécutive permettant de lancer le calcul du programme.

Voir l'annexe 8 pour un aperçu de l'ensemble des fichiers après modélisation.

RMA Viewer

Ce logiciel lit les fichiers résultants des calculs et affiche ainsi les résultats obtenus par les 2 programmes.

- Pour RMA 10 : ce logiciel affiche les mouvements hydrauliques mais également la profondeur et la vitesse et la direction des courants à la surface de l'eau ;

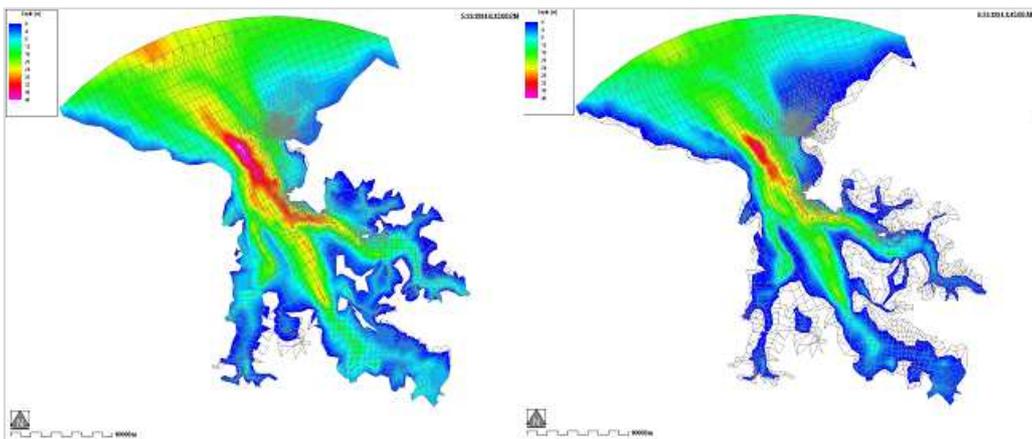


Figure 20 : modélisation par RMA 10 de la profondeur, marée haute du 5/11/94 à 18h15 et marée basse du 6/11/94 à 1h45, la légende va de 0 (bleu) à 40 mètres (rose)

- Pour RMA 11 : pour chaque constituant, RMA Viewer laisse apparaître la zone où il s'est répandu avec la possibilité de lire les concentrations.

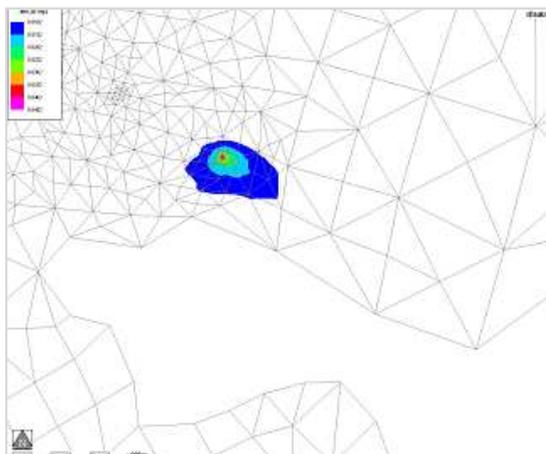


Figure 21 : zone où le cuivre s'est propagé sur 30 jours de modélisation à la sortie de la canalisation d'East Point, la concentration allant de 0,0102 (bleu, valeur seuil) à 0,0452(rose) mg/100mL

2. Etude de la diffusion des eaux usées rejetées

Ce projet se présente sous la forme de scénarios. Ils ont été créés par Power and Water afin de modéliser la diffusion des eaux usées pour certains cas précis. De manière générale, ces scénarios reflètent des cas défavorables comme un lâcher d'eaux usées non traitées ou des concentrations importantes qui peuvent apparaître sur quelques jours mais qui sont modélisées sur 30 jours. De plus, la modélisation se fait sur un mois de la saison sèche. Cela signifie qu'il n'y a aucun apport d'eau pouvant diluer les eaux usées tel que la pluie, les rivières, les eaux souterraines.

Scénarios

Quatre paramètres différents sont pris en compte pour la mise en place des scénarios. Chaque scénario est ensuite programmé pour la modélisation par RMA.

La position du déversoir

Ce paramètre désigne la localisation du rejet des eaux usées. Il est désigné dans le programme par le numéro de l'élément du maillage correspondant. Quatre localisations sont prises en compte dans cette étude : la première, numéro 0, est l'emplacement actuel du déversoir, les numéros 1 et 7 sont étudiés ainsi que le numéro 5. Cette dernière localisation est peu vraisemblable comme choix final car elle est trop éloignée de la côte, le prix serait trop élevé. Mais elle est intéressante pour avoir une comparaison avec un rejet très loin du rivage, là où le brassage dû aux courants est encore plus accentué.

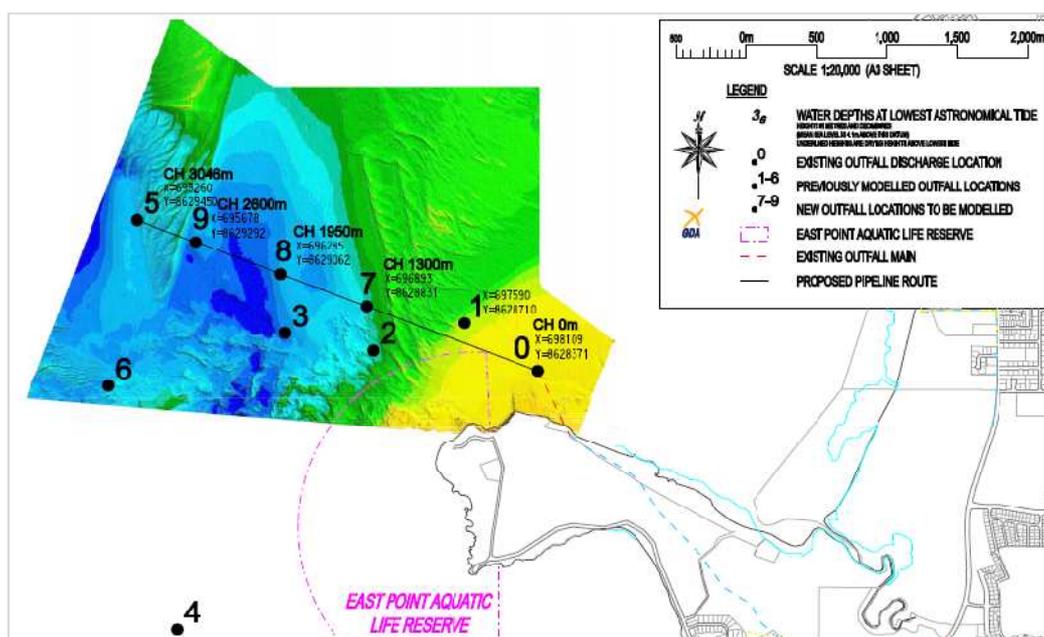


Figure 22 : Les différentes localisations du déversoir au large d'East Point, document Power and Water

Le débit du rejet

Trois débits différents sont modélisés. Le premier, avec 97 L/s, représente le débit moyen de la saison sèche de l'année 2010. Le second, 132 L/s, ajoute au premier débit, dans les mêmes conditions, le débit provenant de la canalisation Larrakeyah en vue de sa fermeture. Enfin, le troisième, avec 196 L/s, est l'estimation du débit moyen de la saison sèche de 2030 en prédiction d'une augmentation continue.

Les concentrations des polluants

Chaque polluant connaît quatre scénarios. Le premier représente des concentrations habituelles (scénario C), le second (scénario D1) et le troisième (scénario D2) des concentrations très élevées pour un polluant (E. Coli), le dernier ressemble au troisième scénario mais ajoute une forte concentration pour l'E.Coli sur 2 jours (Scénario RS). Cela correspond au rejet d'un surplus d'eau usée non traitée en plus du rejet habituel survenant lors de travaux, d'inondations...

Chaque scénario comporte deux concentrations. La première représente la concentration médiane des eaux usées rejetées, ce qui correspond à un traitement habituel des eaux par la station (concentration Typique). La seconde correspond au 90^{ème} centile des concentrations des eaux usées rejetées par la station de traitement. Cette concentration plus élevée se produit au maximum sur quelques jours mais dans le cadre de cette modélisation, elle dure un mois entier (concentration Atypique).

Les tableaux ci-dessous répertorient l'ensemble des modèles à réaliser. 0, 1, 5 et 7 correspondent à la localisation du déversoir, 97, 132 et 196 représentent les débits, C, D1, D2, et RS sont les différents scénarios (il n'y a pas de scénario RS pour le déversoir actuel) et T signifie concentration Typique et AT Atypique. Au total, il y a 90 modèles à réaliser.

0									
97			132			196			
C	D1	D2	C	D1	D2	C	D1	D2	
T	A	T	A	T	A	T	A	T	A

1											
97				132				196			
C	D1	D2	RS	C	D1	D2	RS	C	D1	D2	RS
T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A

5											
97				132				196			
C	D1	D2	RS	C	D1	D2	RS	C	D1	D2	RS
T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A

7											
97				132				196			
C	D1	D2	RS	C	D1	D2	RS	C	D1	D2	RS
T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A

Figure 23 : tableaux représentant les 90 modélisations à réaliser

Contaminants

Les modélisations ont été réalisées en prenant en compte plusieurs contaminants tels que le cuivre, le zinc, le plomb, l'ammoniac non iodé, l'E. Coli et l'entérocoque. En effet, RMA permet de modéliser plusieurs polluants dans un même programme puisque les différents composants des eaux rejetées interagissent entre eux, voir Annexe 9 : interactions entre les constituants des eaux usées.

Cependant, les résultats ne concernent que deux polluants en particulier, suite à la demande de Power and Water. L'entérocoque est un meilleur indicateur¹² que l'E. Coli pour la qualité des eaux mais le Territoire du Nord utilise l'E. Coli jusqu'à ce qu'il obtienne une base de données conséquente sur l'entérocoque.

Cuivre

Le cuivre est un métal naturellement présent dans la croûte terrestre comme dans le corps humain. Il est essentiel à la vie mais de trop fortes concentrations sont toxiques pour les êtres vivants. La contamination des eaux par le cuivre provient majoritairement de l'érosion des sols par les cours d'eau, 68%, du sulfate de cuivre, 13% et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du cuivre même après traitement¹³.



Figure 24 : cuivre natif © Dan Weinrich

La concentration du cuivre permet de mettre en évidence deux types d'altérations de la qualité des eaux¹⁴ :

- La présence de micropolluants minéraux, toxiques pour les êtres vivants, en particulier les poissons et gênant pour la production d'eau potable,
- La présence de métaux sur les bryophytes (plus communément appelées mousses) qui est un indicateur de la pollution de l'eau par les métaux.

E. Coli

L'Escherichia Coli est une bactérie du tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud. La plupart des souches sont sans danger mais certaines peuvent être à l'origine de toxi-infections alimentaires (gastro-entérite, dysenterie...).



Figure 25 : la bactérie E. Coli vue au microscope, www.ecoliblog.com

Cette bactérie du groupe des coliformes fécaux est l'indicateur d'une contamination d'origine fécale relativement récente car l'E. Coli peut survivre jusqu'à trois mois dans une eau naturelle non traitée¹⁵.

L'unité utilisée pour l'E. Coli est l'UFC, unité formant colonie, ce qui correspond au nombre de bactéries viables donnant chacune naissance à une colonie.

¹² www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/Enterocoques.pdf

¹³ Cuivre et ses dérivés, INERIS, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, mise à jour en 2005

¹⁴ www.ecosociosystemes.fr/sequeau

¹⁵ Syndicat de la Faye, qualité de l'eau, siaep.faye.free.fr

Seuil de pollution

Les modélisations ont pour objectif de répondre à cinq critères concernant la qualité de l'eau du Territoire du Nord. Pour chaque critère, une valeur seuil est indiquée. Si la concentration du contaminant dépasse cette valeur, les activités correspondant au critère (pêche, baignade...) sont remises en question dans la zone de dépassement. Les modélisations servent à mettre en valeur les zones où les concentrations sont supérieures aux seuils. Ainsi pour chacune des 90 modélisations, cinq résultats sont attendus. Les cinq critères sont répartis comme suit¹⁶ :

Utilisation environnementale, protection de l'écosystème aquatique

Ce critère correspond au maintien et à la protection des conditions écologiques des eaux sous-marines, des estuaires et de l'eau douce de l'écosystème de la région de la baie de Darwin.

Utilisation culturelle, loisirs :

- Utilisation primaire : indicateur du maintien de la qualité des eaux sous-marines, des estuaires et de l'eau douce pour la pratique d'activités comme la natation ou tout autre sport en contact avec l'eau ;
- Utilisation secondaire : contact accidentel avec de l'eau à bord d'un bateau ou pendant la pêche, seulement pour les adultes car toute activité avec des enfants est considérée comme une utilisation primaire.

Utilisation culturelle, nourriture aquatique

Ce critère est relatif au maintien de la qualité de l'eau pour la production et la consommation de nourriture provenant de l'aquaculture ou de la pêche pour le loisir ou le commerce. Deux conditions sont à vérifier :

- La concentration médiane d'E. Coli ne doit pas dépasser 14 UFC/100mL,
- Le nombre d'échantillon dépassant 43 UFC/100mL ne doit pas excéder 10%.

	catégorie du contaminant	contaminant	seuil	concentration dans le milieu	Scénario C		Scénario D1		Scénario D2		Scénario RS	
					Typique	Atypique	Typique	Atypique	Typique	Atypique	Typique	Atypique
Utilisation environnementale	Produit toxique	Cuivre (mg/L)	0,0013	0,00028	0,139	0,25	0,139	0,25	0,139	0,25	–	–
Utilisation culturelle, loisirs	primaire - représenté en orange	E.Coli (UFC/100 mL)	200	0	58	24196	10 ⁶	10 ⁷	500	1000	866.10 ⁴	1553.10 ³
	primaire - représenté en rouge	E.Coli (UFC/100 mL)	500	0	58	24196	10 ⁶	10 ⁷	500	1000	866.10 ⁴	1553.10 ³
	secondaire	E.Coli (UFC/100 mL)	1000	0	58	24196	10 ⁶	10 ⁷	500	1000	866.10 ⁴	1553.10 ³
Utilisation culturelle, nourriture aquatique	Condition 1	E.Coli (UFC/100 mL)	14	0	58	24196	10 ⁶	10 ⁷	500	1000	866.10 ⁴	1553.10 ³
	Condition 2	E.Coli (UFC/100 mL)	43	0	58	24196	10 ⁶	10 ⁷	500	1000	866.10 ⁴	1553.10 ³

Figure 26 : concentrations des contaminants en fonction des critères et des scénarios, issu d'un document de travail fourni par Power and Water

¹⁶ www.nt.gov.au/nreta/water/quality/docs/finaldraftWQPPreport_3-5.pdf

3. Résultats

Affichage

Les résultats des modélisations sont lus avec le logiciel RMA Viewer. Les options d'affichage sont gérées à partir d'une fenêtre de contrôle. Dans la programmation du modèle, le pas de temps choisi est le quart d'heure pour une modélisation d'une durée totale de 30 jours. Ainsi, le logiciel affiche le résultat de la diffusion pour tous les quarts d'heure. Cet outil est vraiment appréciable afin de voir l'évolution de la diffusion des polluants. Une vidéo peut être créée à partir de l'ensemble des images fixes.

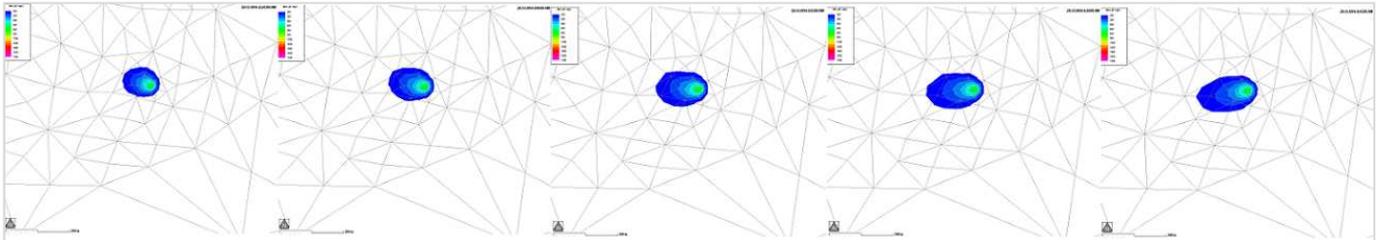


Figure 27 : résultats de la modélisation de la diffusion d'E. Coli à la sortie de la canalisation d'East Point, le 20/11/94, à T=00h45, 1h, 1h15, 1h30, 1h45, la concentration varie entre 200 (bleu) et 1700 UFC/100mL (rose)

Il est également possible d'afficher la zone où la concentration du polluant est supérieure au seuil sur l'ensemble du mois de la modélisation. C'est comme un résumé de l'ensemble des dépassements. La zone ainsi affichée est celle prise en compte pour la réponse aux différents critères de qualité des eaux. Cette zone est appelée zone de mélange car elle désigne l'espace nécessaire au polluant pour se « mélanger » dans l'eau de mer et diminuer sa concentration. En dehors de cette zone, la concentration du polluant n'est pas nulle mais elle est inférieure au seuil imposé. Voir Annexe 10 : concentrations d'un point de la zone de mélange.

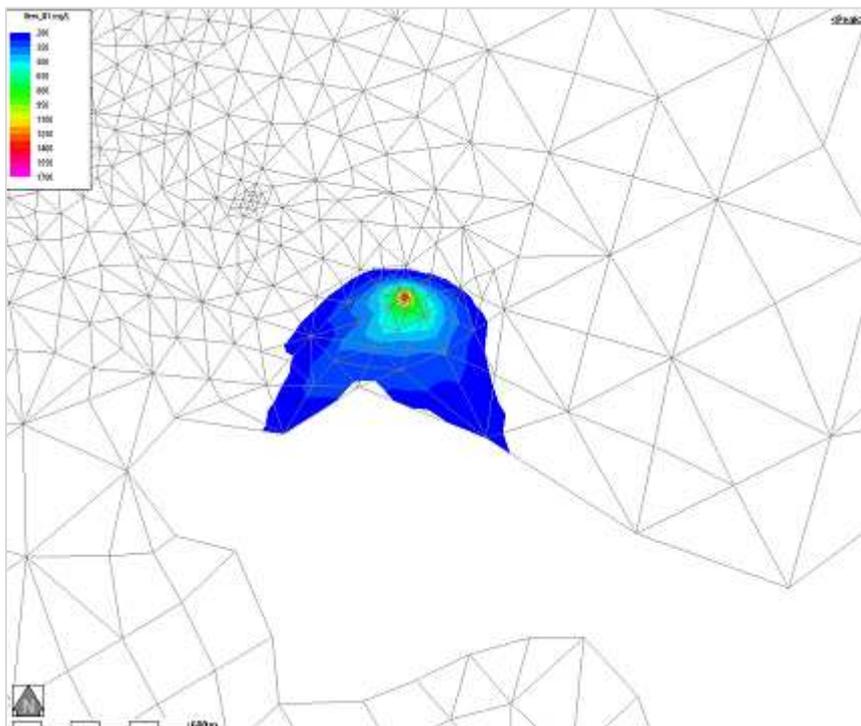


Figure 28 : affichage de la zone de mélange de l'E. Coli à la sortie de la canalisation d'East Point, sur 30 jours, les concentrations varient de 200 (bleu, valeur seuil) à 1700 UFC/100mL (rose) ; cette zone de mélange est le résultat de la même modélisation que la figure précédente.

Le tableau ci-dessous répertorie les zones de mélange (mixing zone) obtenues pour chacun des 90 modélisations réalisées. A, B, C, D, E représentent les 5 critères de la qualité des eaux présentés précédemment. Si une lettre est affichée, cela signifie que pour la modélisation correspondante, une zone de mélange a été obtenue.

outfall location	Inflow L/s	current		design 1		design 2		Raw sewage	
		typical	atypical	typical	atypical	typical	atypical	typical	atypical
0	97	A	A, B, D, E	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A		
	132	A	A, B, D, E	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A		
	196	A	A, B, D, E	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A		
1	97	A	A	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A	A, B, C	A, B, C
	132	A	A, B, D	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A	A, B, C	A, B, C
	196	A	A, B, D, E	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A	A, B, C	A, B, C
7	97	no mixing zone	A	B, D, E	A, B, C, D, E	no mixing zone	A	B, C	A, B, C
	132	no mixing zone	A	B, D, E	A, B, C, D, E	no mixing zone	A	B, C	A, B, C
	196	A	A	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A	A	A, B, C	A, B, C
5	97	no mixing zone	No mixing zone	B, D, E	B, C, D, E	no mixing zone	no mixing zone	B, C	B, C
	132	no mixing zone	No mixing zone	B, D, E	B, C, D, E	no mixing zone	no mixing zone	B, C	B, C
	196	No mixing zone	A	B, D, E	A, B, C, D, E	no mixing zone	A	B, C	A, B, C

Figure 29 : zones de mélange obtenues après modélisation en fonction des scénarios

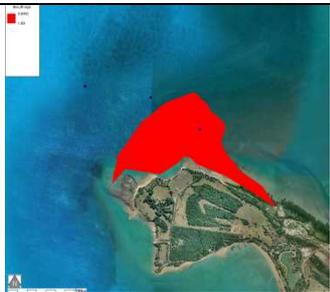
zone de mélange pour le cuivre	A	utilisation environnementale
zone de mélange pour l'E. Coli	B	utilisation primaire culturelle, loisirs
	C	utilisation secondaire culturelle, loisirs
	D	utilisation culturelle, nourriture aquatique, condition 1
	E	utilisation culturelle, nourriture aquatique, condition 2
zone de mélange pour le cuivre et pour l'E. Coli		

Les premières conclusions apparaissent : plus le déversoir est loin de la côte, plus la dispersion des eaux usées est rapide ce qui supprime les zones de mélange. Ainsi la localisation 5, qui est la plus éloignée de la côte, a le moins de zones de mélange. Le déversoir 7 a quelques zones de mélange supplémentaires notamment en ce qui concerne le cuivre. Les deux premières localisations, 0 et 1, montrent des zones de mélange pour chacun des scénarios.

Conclusion

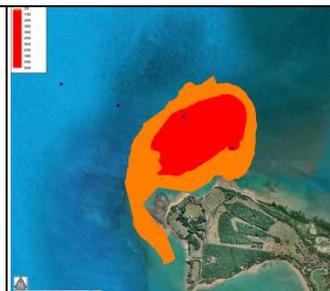
Les modélisations mettent en avant si les critères de qualité de l'eau sont dépassés et s'ils le sont, la gravité du dépassement est liée à la concentration mais également à l'empreinte, à l'étendue de la zone révélée par le programme.

Le premier critère, utilisation environnementale, a pour indicateur le cuivre qui a les mêmes concentrations pour chaque scénario, la différence se fait entre les modélisations typique et atypique et entre les différents débits. Prenons par exemple les résultats pour la concentration atypique, 0,25mg/L, et le plus grand débit, 196 L/s.

			
<p>Déversoir actuel 0</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte située à environ 400 mètres du déversoir - La concentration du cuivre varie entre 0,00102 mg/L (valeur seuil) et 1,001 mg/L 	<p>Déversoir 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange s'étend sur 450m de long - La concentration du cuivre varie entre 0,00102 mg/L (valeur seuil) et 0,04102 mg/L 	<p>Déversoir 7</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange a un diamètre d'environ 50 mètres - La concentration du cuivre varie entre 0,00102 mg/L (valeur seuil) et 0,00602 mg/L 	<p>Déversoir 5</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange a un diamètre d'environ 25 mètres - La concentration du cuivre varie entre 0,00102 mg/L (valeur seuil) et 0,00212 mg/L

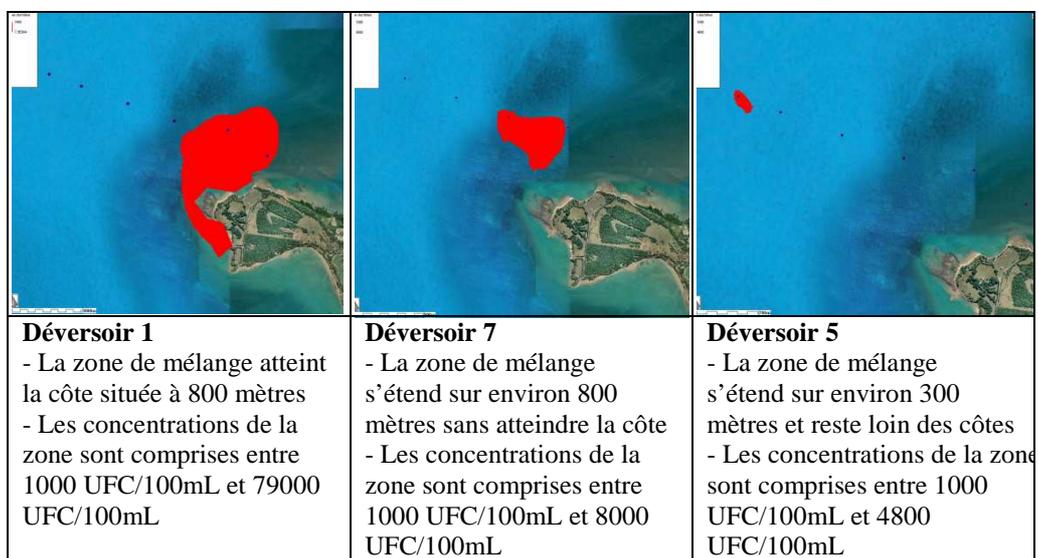
Ces résultats correspondent à la modélisation des rejets d'eaux usées de 2030 avec une concentration atypique. C'est un cas défavorable qui met en valeur la nécessité de rallonger la canalisation d'East Point car le déversoir actuel est situé dans une zone offrant une faible dispersion des polluants. Le risque est la contamination de la côte et des plages et l'exposition des hommes et des animaux terrestres à la pollution. Le déversoir 1 offre une meilleure dispersion même si la zone de mélange est très étendue. Les déversoirs 7 et 5 sont situés dans une zone de brassage important, la zone de mélange reste centrée autour du déversoir, la pollution ne dérive pas.

Le second critère, utilisation primaire culturelle, a pour indicateur l'E. Coli. Prenons par exemple le scénario D1 avec une concentration typique et un débit à 132L/s ce qui correspond à la modélisation de la fermeture de la canalisation de Larrakeyah et au détournement de ses eaux usées vers East Point.

			
<p>Déversoir actuel 0</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte située à environ 400 mètres du déversoir - La zone orange représente une concentration d'E. Coli comprise entre 200 et 500 UFC/100mL et la zone rouge entre 500 et 11000 UFC/100mL 	<p>Déversoir 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte située à environ 800 mètres du déversoir - La zone orange représente une concentration d'E. Coli comprise entre 200 et 500 UFC/100mL et la zone rouge entre 500 et 9200 UFC/100mL 	<p>Déversoir 7</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange s'étend sur environ 500 mètres - La zone orange représente une concentration d'E. Coli comprise entre 200 et 500 UFC/100mL et la zone rouge entre 500 et 1100 UFC/100mL 	<p>Déversoir 5</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange s'étend sur environ 100 mètres - La zone orange représente une concentration d'E. Coli comprise entre 200 et 500 UFC/100mL et la zone rouge entre 500 et 800 UFC/100mL

Ce scénario met en avant des zones de mélange importantes et allant jusqu'à la côte. La zone du déversoir 1 à une concentration maximale plus faible que le déversoir actuel mais elle est plus étendue. La zone de mélange autour du déversoir 7 est surtout orange : malgré une superficie assez importante, la concentration maximale est tout de même 10 fois plus faible que celle du déversoir 0. La zone autour du déversoir 5 est très limitée, que ce soit par sa superficie ou sa concentration maximale. Ce critère sépare en deux les différentes localisations : 0 et 1 ont des zones de mélange qui vont jusqu'à la côte alors que celles de 7 et 5 restent à distance

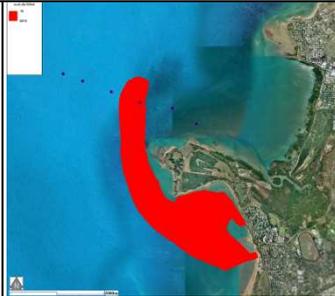
Le critère utilisation secondaire culturelle a également pour indicateur l'E. Coli. Prenons le scénario RS qui correspond au lâcher d'un surplus d'eaux usées sans traitement, sur deux jours d'affilé. En choisissant une concentration typique, le modèle illustre le traitement médian de la station d'épuration sur 28 jours et un débit de 132L/s correspond à la fermeture de la canalisation de Larrakeyah. Ce scénario n'est cependant pas traité pour le déversoir actuel.



La zone de mélange du déversoir 1 atteint les côtes avec des concentrations importantes. La différence avec le déversoir 7 est conséquente : la zone de mélange n'atteint pas les côtes et la concentration maximale est quasiment 10 fois plus petite. Cette concentration maximale se divise encore par 2 au sein de la zone de mélange du déversoir 5.

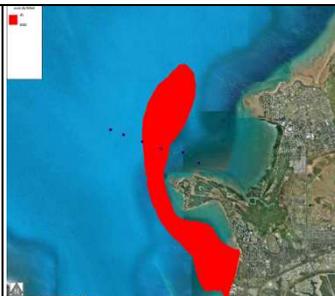
Le critère de la nourriture aquatique est composé de deux conditions. Prenons le même scénario D1 avec des concentrations atypiques et un débit correspondant au débit actuel : 0,97L/s.

Condition 1

			
<p>Déversoir actuel 0</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 3km au sud - La concentration maximale est inférieure à 100000 UFC/100mL 	<p>Déversoir 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 4km au sud - La concentration maximale est inférieure à 67510 UFC/100mL 	<p>Déversoir 7</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 3km de long - La concentration maximale est inférieure à 6814 UFC/100mL 	<p>Déversoir 5</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange s'étend sur plus de 1km de long en restant à distance de la côte - La concentration maximale est inférieure à 4074 UFC/100mL

Pour le déversoir actuel, les concentrations de la zone de mélange sont vraiment élevées. La différence entre les déversoirs 1 et 7 se fait surtout au niveau de la concentration maximale car les deux zones atteignent les côtes. Le déversoir 5 est vraiment bien situé dans une zone de brassage qui limite la dispersion de la pollution et protège la côte.

Condition 2

			
<p>Déversoir actuel 0</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 3km au sud et 2km au nord - La concentration maximale est inférieure à 100000 UFC/100mL 	<p>Déversoir 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 3km au sud comme au nord - La concentration maximale est inférieure à 67540 UFC/100mL 	<p>Déversoir 7</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 6km de long - La concentration maximale est inférieure à 6843 UFC/100mL 	<p>Déversoir 5</p> <ul style="list-style-type: none"> - La zone de mélange touche la côte et s'étend sur plus de 2km de long - La concentration maximale est inférieure à 4203 UFC/100mL

La différence avec la condition 1 est la superficie des zones de mélange, elles se développent vers le sud comme précédemment mais également vers le nord. Le déversoir 5 se démarque encore avec une zone n'atteignant pas les côtes et des concentrations relativement faibles par rapport aux autres déversoirs.

Ces modélisations en réponse aux différents critères mettent tout d'abord en avant le problème du déversoir actuel. Situé trop près des côtes, la dispersion ne se fait pas bien et la pollution atteint alors les plages et les rivières. Certaines modélisations sont des illustrations de cas défavorables qui ont pour rôle de montrer que l'emprise de la zone de mélange peut parfois être très importante. La pollution issue des eaux usées ne concerne pas seulement les environs du déversoir.

Il est mis en évidence que plus le rejet se fait loin des côtes, plus les courants marins et l'action des marées vont avoir un rôle important dans la dispersion des polluants. Le déversoir 5 s'impose comme la meilleure solution de ce point de vue là. Cependant, situé à plus de 3 kilomètres des côtes, cette solution serait hors de prix.

Entre les déversoirs 1 et 7, le choix se porte sur le deuxième. Le déversoir 1 est encore trop près des côtes et de l'actuelle localisation des rejets. Les modélisations entre 0 et 1 se ressemblent tant sur la forme et la superficie de la zone de mélange que sur les concentrations modélisées.

Ce choix n'est pas définitif. C'est une première approche dans la recherche d'une nouvelle zone de rejet. De plus, le rejet ne se fera pas en un point mais le long d'un diffuseur, c'est-à-dire par plusieurs sorties, le long de la canalisation. Une nouvelle modélisation plus locale et plus spécifique au diffuseur devra affiner le choix de la future localisation des rejets d'eaux usées d'East Point.

Limitation du modèle

Tous ces résultats résultent d'une modélisation ce qui implique de garder un œil critique sur les concentrations lues. Les résultats ne sont pas à prendre comme des certitudes. Cette modélisation est encore à valider par la comparaison avec des échantillons prélevés sur le terrain.

Le programme RMA n'a pas été exploité au maximum pour cette modélisation qui peut alors être complexifiée. La prise en compte d'interactions entre les différents polluants et/ou avec l'eau de mer lors du rejet ainsi que le rôle des sédiments dans le but d'affiner le modèle est une manière de se rapprocher encore un peu de la réalité.

Cependant, ce programme peut encore contenir des erreurs. Par exemple, pour certains modèles calculés plusieurs fois, les résultats ne sont pas les mêmes. Ou pour les mêmes conditions (marées, localisation du déversoir etc.), la modélisation sur un jour peut ne pas fonctionner alors que sur 30 jours, le programme va jusqu'au bout et le résultat semble correct. De même si le programme est lancé sur plusieurs ordinateurs différents, les résultats ne sont pas toujours les mêmes. Il est possible que ce soit lié à des paramètres internes au programme, que ce ne soit pas une erreur de calcul mais, de toute évidence, cela met en doute la stabilité du programme.

III. Analyse du stage

A. Les difficultés générales rencontrées lors du stage

La principale difficulté rencontrée pendant ce stage est la barrière de la langue. Elle intervient à plusieurs niveaux : pour s'exprimer, pour comprendre, pour apprendre. Les missions réalisées pendant ce stage ont été ralenties par la nécessité de s'approprier le projet et d'apprendre le vocabulaire correspondant.

Communication

Il est facile de parler avec ma maître de stage souvent disponible mais la salle où je travaille est située à l'autre bout du bâtiment. Cela a pour avantage de devoir réfléchir par soi-même mais les échanges au sujet du projet sont tout de même moindres.

La communication avec l'entreprise est plus que réduite. Je n'ai aucun contact direct avec la personne en charge du projet, la maître de stage est l'intermédiaire tout en ne redistribuant que les données qu'elle juge nécessaire pour mon travail. Ainsi les mails de l'entreprise ne me sont pas transférés. J'ai cependant rencontré le représentant de l'entreprise lors d'une visite sur le terrain et ainsi pu poser quelques questions directement.

Matériel

Le matériel à disposition est composé d'un ordinateur peu puissant, d'un disque dur avec une très grande capacité et de l'ensemble des programmes RMA à utiliser. Internet n'est pas disponible à partir de l'ordinateur ainsi mon portable vient compléter la liste. Certes, internet n'est pas indispensable mais très utile pour rechercher des informations complémentaires et des traductions.

Projet

La première difficulté concerne l'apprentissage du langage de programmation. Cependant, après quelques essais, le fonctionnement est relativement évident.

Ensuite, les modélisations apportent également leur lot de problèmes. Tout d'abord, elles se font sur 30 jours avec un affichage pour chaque quart d'heure. Cela donne 2880 images fournies par le programme pour une seule modélisation.

Cela implique :

- Un temps de calcul très long considérant en plus que l'ordinateur est très lent. Pour gérer ce problème, les programmes sont lancés le soir afin de pouvoir lire les résultats le lendemain matin. Un fichier permet de contrôler les calculs ainsi, après quelques itérations, si le programme ne converge pas, je l'arrête car cela signifie qu'il y a une erreur, rien ne sert d'attendre le lendemain ;
- Des fichiers résultats extrêmement lourds, par exemple un fichier résultat issu de la modélisation par RMA 11 pèse environ 1,9GB. La sauvegarde de ces fichiers se fait sur un seul disque dur externe.

B. Les apports du stage

Au cours de ces six mois passés dans une université australienne, j'ai mis en œuvre certaines compétences afin de réaliser le travail qui m'a été confié. Celles-ci m'ont permis de surmonter les difficultés rencontrées. Le recul que j'ai aujourd'hui m'aide à dégager les acquis de mon stage.

Le projet d'assainissement sur lequel j'ai travaillé m'a offert un aperçu sur la manière dont le réseau est géré à Darwin, les problématiques liées à l'eau qui sont propres à cette région tropicale et les différentes solutions apportées. La découverte d'un pays par le biais d'un projet de recherche m'a permis d'appréhender les us et coutumes d'une ville isolée des autres grandes villes australienne, plus proche de l'Asie que de Canberra et au climat agréable mais parfois dangereux. Même si la barrière de la langue n'est pas simple à franchir, ce stage a été une **expérience enrichissante**. Sur le plan professionnel également puisque c'est la première fois que je suis associée à un projet de recherche. Même si mon stage précédent, en bureau d'étude, concernait déjà l'assainissement, les points de vue et les axes de recherche étaient nouveaux pour moi.

Faire de la recherche appliquée m'a fait découvrir de **nouveaux logiciels de modélisation et un nouveau langage de programmation**. Mon bagage provenant de ma formation d'ingénieur m'a permis d'appréhender ces nouveaux outils mais la curiosité est également nécessaire afin de n'être jamais vraiment tout à fait satisfait.

J'ai appris à **gérer mon temps** de manière peu habituelle, les recherches n'avancent que rarement comme prévu, les erreurs, les questionnements sur la méthode à utiliser, sur le fonctionnement du modèle et les temps de calculs prennent beaucoup de temps. Simplement, malgré les retards, les retours en arrière et l'incertitude d'arriver au résultat, il faut **garder en tête les objectifs** à atteindre, ce qu'il y a à démontrer, à modéliser. Le fait même de chercher comment arriver au résultat est parfois plus intéressant que le résultat lui-même.

L'envie réelle d'apprendre et de m'intégrer m'a poussé à être constamment **à l'écoute** de mes collègues et des différents acteurs du projet. Je suis arrivée en Australie en tant que novice en matière de recherche : j'étais curieuse et je voulais en apprendre le plus possible. Je pense que j'acquiers petit à petit, grâce aux expériences professionnelles et aux personnes rencontrées (collègues, clients, professeurs...), une certaine **ouverture d'esprit**.

Ce stage, comme toute expérience professionnelle, m'a personnellement beaucoup apporté. J'apprends ainsi à **connaître mes limites**, ma capacité à être **autonome** et à m'organiser.

Ces six mois à l'étranger m'ont également permis de **progresser en anglais**, de me sentir plus à l'aise pour m'exprimer et de découvrir un autre mode de vie.

C. Les perspectives

A court terme, les recherches concernent la modélisation des sédiments dans la baie de Darwin et l'amélioration du modèle en prenant en compte les interactions entre les différents polluants.

L'entreprise Power and Water va travailler avec un bureau d'étude spécialisé dans la modélisation sous-marine afin de préciser la sortie de la canalisation, les travaux d'extension et la technique utilisée. En effet, un diffuseur sera mis en place, laissant ainsi plusieurs points de rejet sur une certaine distance à définir.

Le contrat entre l'entreprise et l'université arrive à terme en septembre. Cependant, il sera sans doute renouvelé. Le prochain axe de recherche est le développement de la modélisation de Buffalo Creek : la zone de rejet est située dans une rivière, après que les eaux aient transité par la station d'épuration de Leanyer/Sanderson.

Le programme RMA, présenté dans ce rapport, a permis la modélisation de la diffusion des eaux usées à la sortie de la canalisation d'East Point, en mer. Cependant, ce programme montre certaines limites pour la diffusion des polluants dans une rivière. L'équipe de recherche devrait se tourner vers un nouveau programme appelé TUFLOW FV pour réaliser le modèle de Buffalo Creek.

Conclusion

Le projet de réaménagement du réseau d'assainissement de la ville de Darwin est de longue haleine. Les études réalisées à l'université de Charles Darwin ont commencé en 2005 et sont toujours en cours. Il m'a fallu comprendre les enjeux généraux pour mesurer l'impact des modélisations sur l'ensemble du projet.

Ma mission dans le cadre de ce projet s'est révélée très enrichissante tant sur le plan professionnel avec l'apprentissage d'un langage de programmation et des réflexions sur les systèmes d'assainissement que sur le plan humain. Le travail effectué est une étape dans le projet global et servira pour la suite. L'amélioration de la qualité des rejets est une problématique internationale.

Cependant, ce projet illustre une décision politique qui se justifie par la diminution de la pollution par les eaux usées et non une décision de protection de l'environnement soutenue et mise en œuvre par des politiciens. L'environnement est aujourd'hui un sujet vendeur comme le prouve le phénomène de greenwashing. Très présent dans la publicité, il associe l'environnement à toutes sortes de produits, même les plus pollués comme les voitures, pour en faire un argument de vente. Le problème de ce phénomène est le ralentissement de la vraie prise de conscience écologique.

Glossaire

Commanditaire, page 11 :

Le commanditaire du projet est la personne qui paie pour le projet. Comme elle fournit l'investissement nécessaire pour que le projet se réalise, c'est à elle que reviennent les décisions sur le contenu, l'échéancier et les coûts du projet.

pmiquebec.wordpress.com/articles/commanditairevsmanager/

Gestionnaire, page 11 :

Personne qui a la responsabilité de la gestion d'une affaire, d'un service, d'une administration, etc. www.larousse.fr/dictionnaires/francais/gestionnaire

Assainissement, page 13 :

Ensemble des techniques d'évacuation et de traitement des eaux usées et des boues résiduelles. www.larousse.fr/dictionnaires/francais/assainissement

Système séparatif, page 13 :

Système d'assainissement formé de deux réseaux distincts : un pour les eaux usées, et un autre pour les eaux pluviales.

www.dictionnaire-environnement.com/systeme_separatif_ID1392.html

Diffusion, page 13 :

Transport de matière résultant de la migration des atomes à la suite de mouvements aléatoires dus à des différences de température ou de concentration.

www.larousse.fr/dictionnaires/francais/diffusion

Station d'épuration, page 13 :

C'est une station de traitement des eaux usées des usagers (particuliers et industriels) raccordés au réseau d'assainissement. La station rejette une eau épurée dans le milieu naturel qui doit être conforme aux valeurs limites définies par arrêté préfectoral. Les résidus de traitement sont récupérés sous forme de boues.

www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/

Bassins de décantation, page 14 :

La décantation est une opération de séparation, sous l'action de la gravitation. Un bassin de décantation est un contenant où une eau chargée en polluants va se libérer des impuretés en les laissant se déposer au fond du bassin.

www.une-eau-pure.com/definitions-b/definition-bassin-de-decantation.html

Dispersion, page 15 :

Action d'éparpiller, de s'éparpiller, fait d'être éparpillé, divisé.

www.larousse.fr/dictionnaires/francais/dispersion

Déversoir, page 17 :

Ouvrage au-dessus duquel s'écoulent les eaux d'un canal, d'un cours d'eau, d'un barrage, etc.

www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9versoir

Centile, page 26 :

Chacune des valeurs d'un caractère statistique quantitatif qui partagent l'étendue des valeurs en cent sous-ensembles d'effectifs égaux. www.larousse.fr/dictionnaires/francais/centile

Bibliographie

A finite element model for stratified flow RMA-10 Users Guide, Ian King, Resource Modelling Associates, Sydney, Australia, octobre 2009

Guidelines for preparation of a Public Environmental Report : Duplication of the East Point effluent rising main and extension of the east point outfall, Darwin, Northern Territory, Power and Water Corporation, février 2010

Hydrodynamics and water quality, Modeling rivers, lakes and estuaries
Zhen-Gang Ji, Wiley, 2008

Modelling of the hydrodynamics and chemistry of Macquarie Harbour, western Tasmania
GD Tong and B Williamson, Mount Lyell Remediation Research and Demonstration Program, Supervising Scientist Report 136, Supervising Scientist, Canberra

Notice of Intent for the proposed duplication of the East Point Effluent Rising Main and Extension of East Point Outfall, rapport réalisé par Power and Water Corporation, Septembre 2009

Rapports réalisés par l'équipe de recherche de l'université Charles Darwin :

- Darwin Harbour Effluent Modelling Report 1, Phil Totterdell et Eric Valentine, juillet 2006
- Darwin Harbour Sewage Effluent Modelling Report 2, Phil Totterdell et Eric Valentine, octobre 2008
- Darwin Harbour Sewage Effluent Modelling Report 3, Ruth Patterson et Eric Valentine, décembre 2009
- Hydrodynamic Modelling of Darwin Harbour Report 4, Ruth Patterson et Eric Valentine, Mars 2010

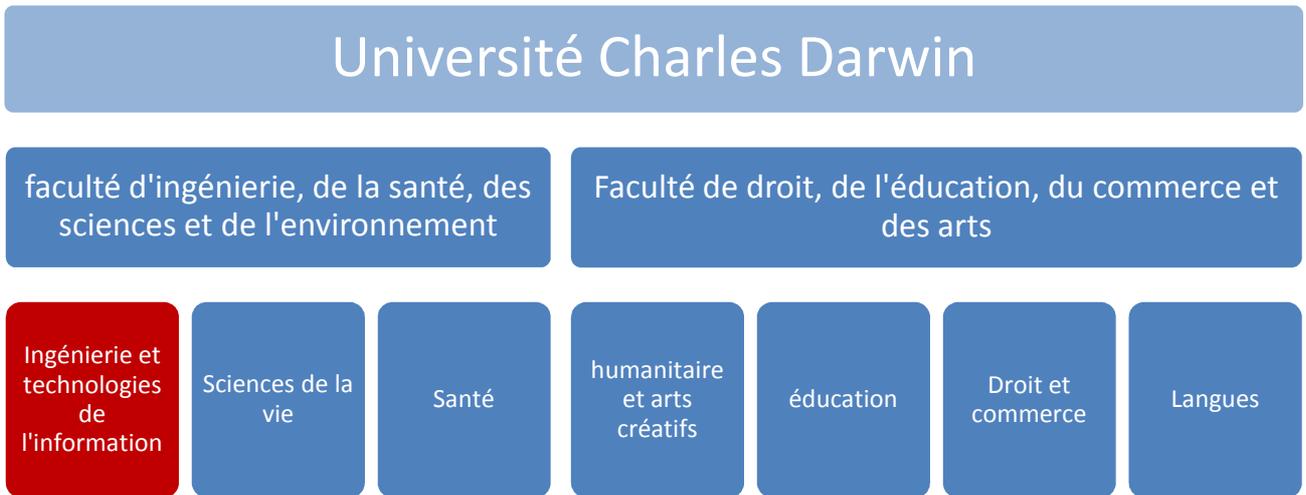
RMA-11 A three dimensional finite element model for water quality in estuaries and streams, Ian King, Resource Modelling Associates, Sydney, Australia, mai 2007

Annexes

- ANNEXE 1 : ORGANIGRAMMES DE L'UNIVERSITE CHARLES DARWIN**
- ANNEXE 2 : DEBITS ENTRANTS, JUILLET 2003 – JUIN 2004**
- ANNEXE 3 : MODELISATION DE LARRAKEYAH**
- ANNEXE 4 : DEBIT REJETE PAR LARRAKEYAH**
- ANNEXE 5 : PLAN DES TRAVAUX PREVUS PAR POWER AND WATER**
- ANNEXE 6 : CONFIRMATION DE MISSION ET POINTS ETAPES**
- ANNEXE 7 : PRESENTATION DU PROFESSEUR IAN KING**
- ANNEXE 8 : FICHIERS APRES UNE MODELISATION PAR RMA 10 ET RMA 11**
- ANNEXE 9 : INTERACTIONS ENTRE LES CONSTITUANTS DES EAUX USEES**
- ANNEXE 10 : CONCENTRATION D'UN POINT DE LA ZONE DE MELANGE**

ANNEXE 1 : ORGANIGRAMMES DE L'UNIVERSITE CHARLES DARWIN

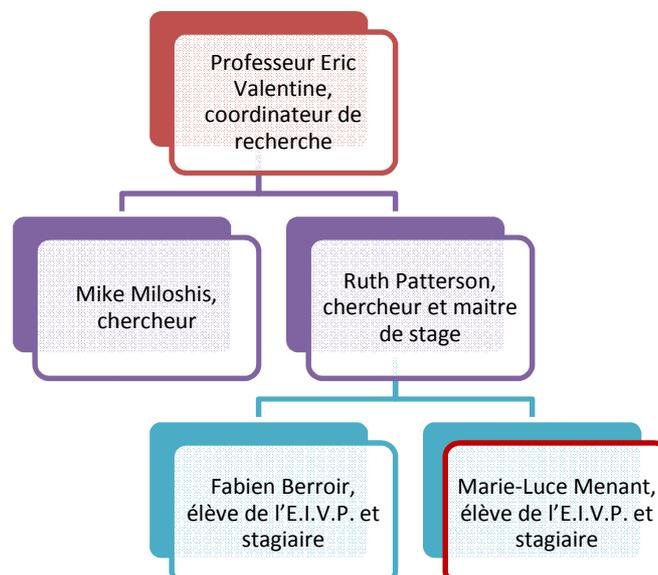
Organigramme de l'Université :



Les différents axes de recherche de l'Ecole d'ingénierie et des technologies de l'information :



Organigramme du Pôle de recherche en eau :



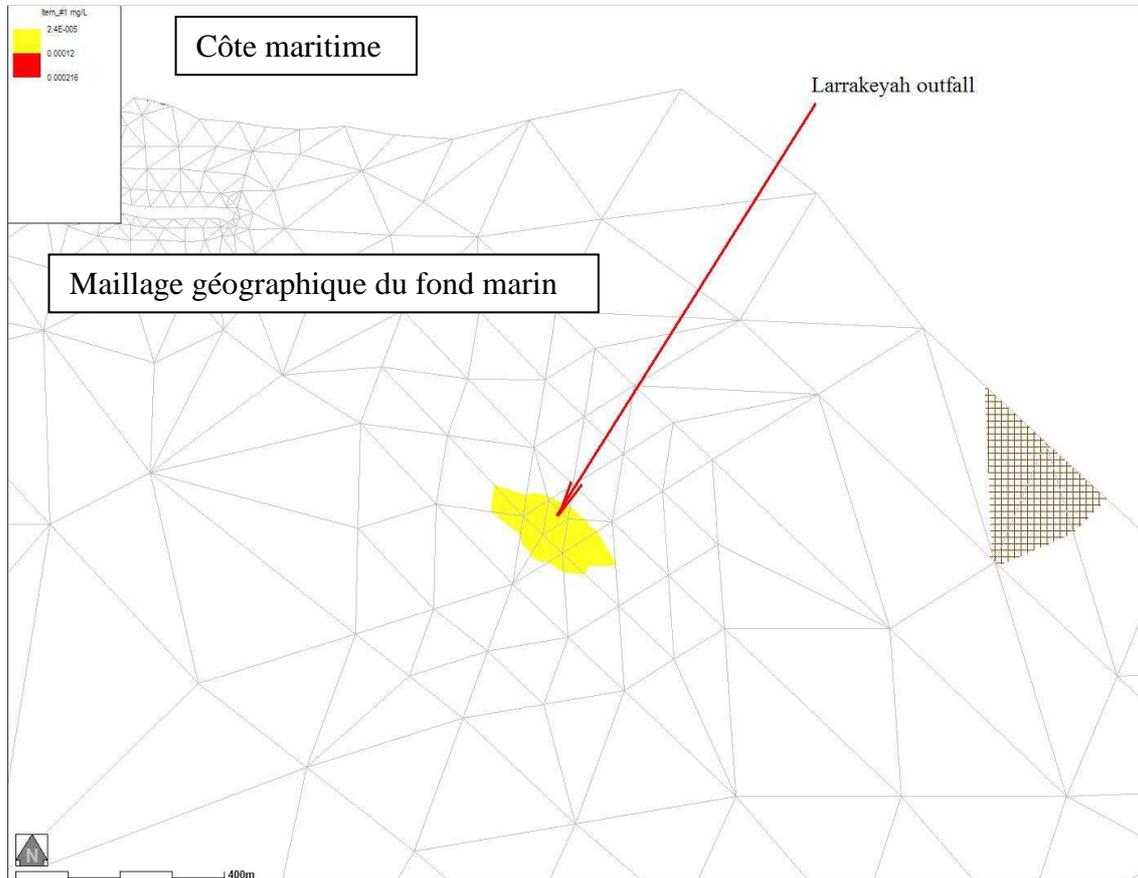
Annexe 2 : Débit entrant, Juillet 2003 – Juin 2004

INLET FLOWS 03/04		DARWIN/TOP END					
Month	Leanyer/ Sanderson	Ludmilla	Larrakeyah	Palmerston	Berrimah	Humpty Doo	Katherine
	Inlet (ML/month)	Inlet (ML/month)	Inlet (ML/month)	Inlet (ML/month)	Inlet (ML/month)	Inlet (ML/month)	Inlet (ML/month)
Jul-03	360	230	140	150	20	3	70
Aug-03	300	230	140	160	20	3	60
Sep-03	330	110	150	120	20	3	60
Oct-03	270	200	160	130	30	3	70
Nov-03	260	240	260	150	20	2	60
Dec-03	600	440	180	250	20	3	60
Jan-04	990	790	190	370	30	3	60
Feb-04	920	710	180	360	30	4	140
Mar-04	890	750	200	400	30	3	190
Apr-04	400	340	160	360	20	3	120
May-04	310	260	160	290	20	3	100
Jun-04	300	230	150	340	10	3	80
TOTAL (ML/annum)	5,930	4,430	2,070	3,080	270	36	1,070
Dry Season May-October 90 th percentile (ML/month)	341	250	160	320	20	3	90
Annual 90 th percentile (ML/month)	Not Applicable						
Annual Average (ML/day)	10	10	10	10	1	0.1	3

*Tableau récapitulatif des débits entrant pour sept canalisations du Territoire du Nord.
Source : Wastewater treatment, reuse and discharge, Rapport de 2004 réalisé par Power and Water*

Pendant la saison humide, de novembre à avril, les eaux de pluies viennent gonfler le volume d'eau récupéré par la station d'épuration de Leanyer/Sanderson mais également de d'autres canalisations par infiltration du réseau d'assainissement.

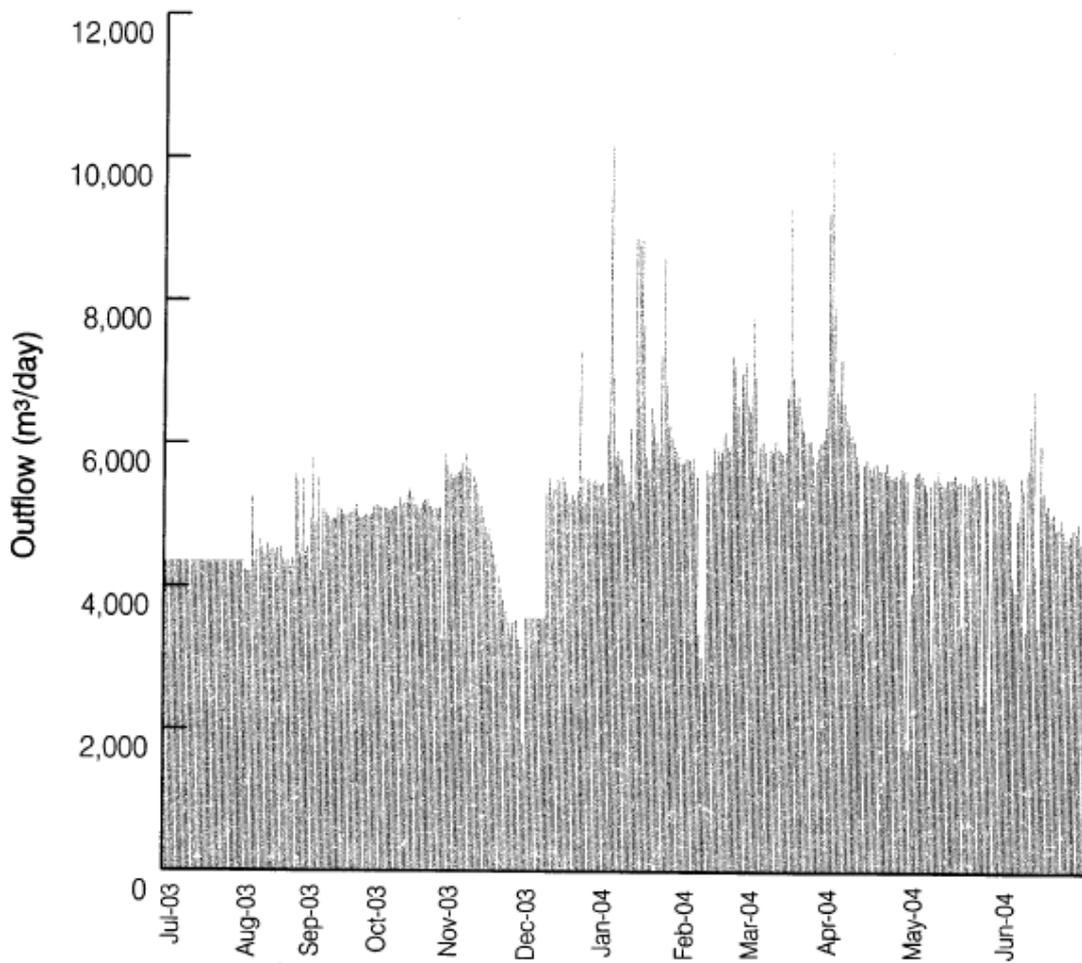
Annexe 3: Modélisation de Larrakeyah



Résultat de la modélisation de la diffusion de cuivre sur 30 jours à la sortie de la canalisation Larrakeyah. La zone jaune montre que les concentrations sont inférieures à 0,024 µg/L

Source : Darwin Harbour Effluent Modelling Report 1, Phil Totterdell et Eric Valentine, juillet 2006

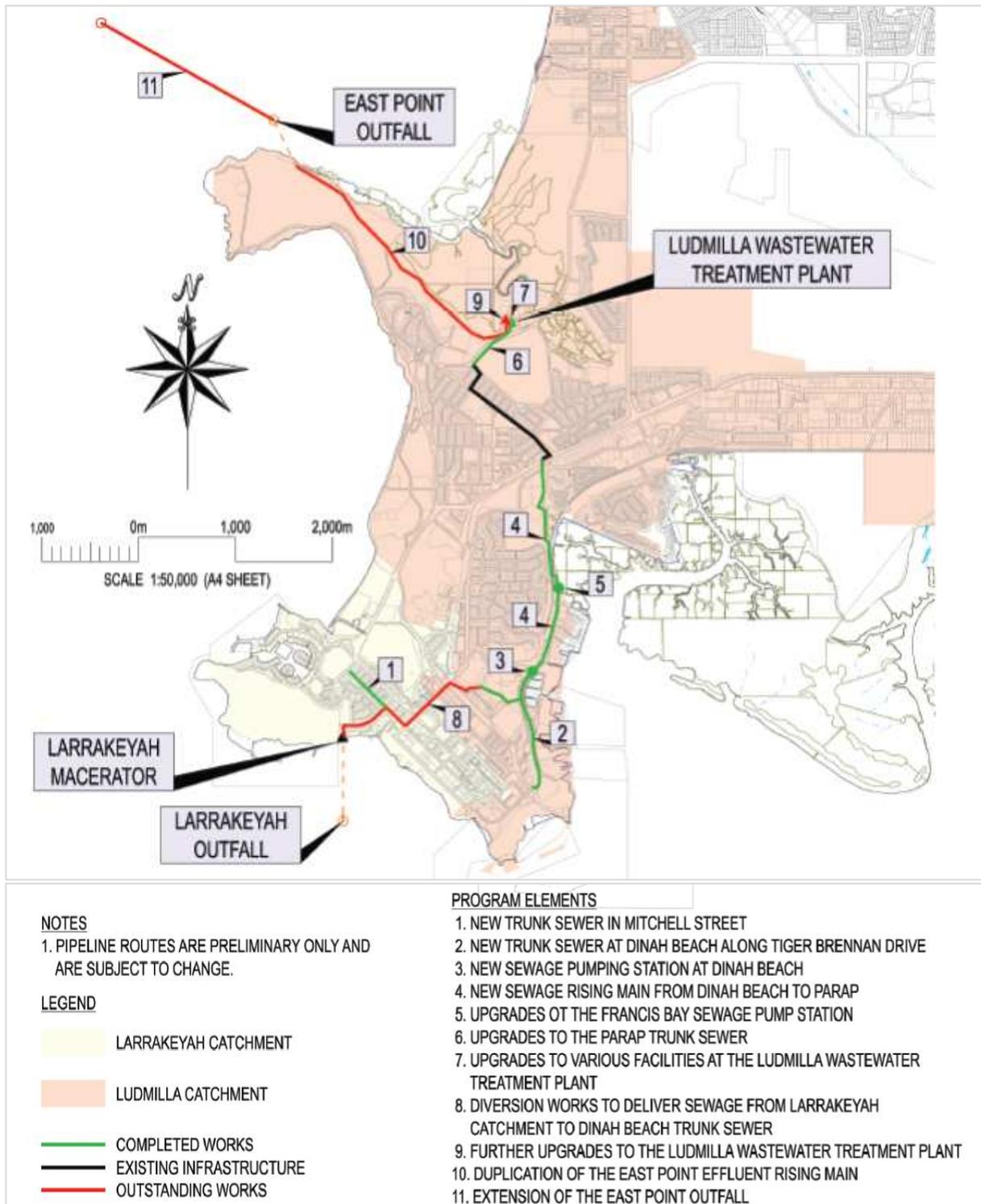
Annexe 4 : Débit rejeté par Larrakeyah, Juillet 2003 – Juin 2004



Débit rejeté par la canalisation de Larrakeyah de juillet 2003 à juin 2004.

Source : Wastewater treatment, reuse and discharge, Rapport de 2004 réalisé par Power and Water

Annexe 5 : Programme des travaux prévus par Power and Water



Description des travaux, Larrakeyah outfall closure plan issu du site www.powerwater.com.au/

Annexe 6 : Confirmation de mission et points étapes

Confirmation de mission

Exact title of internship:

Improvement of the Darwin Harbour sewage outfall hydrodynamic and water quality models
Etude de la modélisation hydrodynamique des eaux usées rejetées dans Darwin Harbour dans l'objectif de la rendre plus proche de la réalité

The mentor

Ruth Patterson
 Research Fellow – Hydrodynamic Modelling

Tel: + 61 8 8946 7284 Fax: + 61 8 8946 6680 Email: ruth.patterson@cdu.edu.au

Detailed description of the assignment:

The Internship aim is to improve two modelling programs. The first concerns the water modelling considering the tide and the wind at Darwin Harbour. The second program concerns the wastewater diffusion and dispersion at the ocean outfall.

The improvements will be described by statistics and comparisons with the outdoor experiments.

The first internship part (about 7 weeks) will be to discover and familiarise with the different software to understand the actual program.

The second part consists of the program changes and gathering the experiments measurements. At the end of this part, we will have a modelling program and an overview of the reality.

The third part is composed of the comparison between the modelling program and the reality, then the results and conclusion presentation.

L'objectif de ce stage est d'améliorer les deux programmes de modélisation suivants. Le premier modélise le flux et le reflux des marées et d'observer les mouvements de l'eau à l'approche des cotes. Le second modélise la diffusion et la dispersion des eaux usées qui sont rejetées dans la mer.

Les améliorations que je peux apporter seront quantifiées notamment à l'aide de statistiques et en comparant la modélisation avec les relevés effectués sur le terrain.

La première partie de ce stage (les 7 premières semaines) sont axées sur l'apprentissage de nouveaux logiciels et l'appropriation et la compréhension du programme actuel.

La deuxième partie comprend la réalisation des changements dans le programme et le regroupement des données issues des expériences sur le terrain. On a ainsi la modélisation et la réalité.

La troisième partie permet de faire la comparaison entre la modélisation et la réalité puis de présenter les résultats et les conclusions.

Tasks	days	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T 1	5	■																							
T 2	7		■	■																					
T 3	19		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
T 4	6		■	■	■	■	■	■																	
T 5	22								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T 6	11												■	■	■	■									
T 7	10															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
T 8	9																	■	■	■	■	■	■	■	■
T 9	13																								
T 10	5																								
T 11	13																								

T 1	learning about the software RMA and first attempts with a simple network <i>apprentissage du logiciel RMA et premiers essais avec un réseau simple</i>
T 2	learning about the water quality modelling and the wastewater dispersion <i>apprentissage de la modélisation de la qualité de l'eau et de la dispersion des eaux usées</i>
T 3	learning about new software such as Matlab to introduce statistics in the model calibration <i>apprentissage du logiciel Matlab afin d'introduire les statistiques dans les paramètres du modèle</i>
T 4	research on Navier and Stockes equations and the approximation of the solutions <i>recherche sur les équations de Navier et Stockes et l'approximation des solutions</i>
T 5	Realisation of changes and comparison between the different results <i>Réalisation de modifications et comparaison des différents résultats obtenus</i>
T 6	gathering of the measurements and the results that are obtained during outdoor experiments <i>regroupement des mesures et des résultats obtenus sur le terrain</i>
T 7	comparison of my model with the outdoor experiments <i>comparaison du modèle et des mesures relevées sur le terrain</i>
T 8	presentation of the results with statistic elements <i>présentation des résultats à l'aide de statistiques</i>
T 9	improvement of the program <i>amélioration du programme</i>
T 10	conclusion with summary and new ways of research for the next students <i>conclusion avec résumé et nouvelles pistes de recherche pour les prochains étudiants</i>
T 11	writing of my report <i>rédaction du rapport</i>

Premier point étape

My internship is divided into 3 parts since the comencement of the assignment.

- First part: discovering and familiarizing with the new software

This step has changed a little. The software familiarization is done. After that, I began the second internship part because I was able to make some changes. So, the statistics software familiarization (Matlab or R) is delayed.

- Second part: program changes

This part has already begun. I am currently working on the management and running of 90 water quality model scenarios. However some changes are still necessary to make the program run well.

- Third part: comparison between the modelling program and the field observations.

This part is not started yet. I have to wait for the end of the second part. I hope I will have time to do it.

Current results: the tide modelling works well and the created wind file too. The problems to solve concern the pollution modelling.

La confirmation de mission a permis de découper le stage en 3 parties :

- *La première partie : apprentissage des nouveaux logiciels, appropriation du programme.*

Cette étape a été quelque peu modifiée. L'apprentissage des logiciels utiles et l'appropriation du programme est terminée. Suite à cela, j'ai tout de suite entamé la deuxième partie afin de commencer quelques changements sur le programme de modélisation. Ainsi l'apprentissage de logiciels permettant l'analyse statistique des résultats (Matlab ou R) est reporté.

- *La deuxième partie : réalisation des changements dans le programme et regroupement des données issues du terrain*

Cette partie est déjà commencée, je travaille actuellement sur la mise en place de 90 fichiers permettant de modéliser la diffusion de 12 polluants dans Darwin Harbour suivant 3 scénarii. Cependant, nous n'avons pas encore un programme qui fonctionne correctement.

- *La troisième partie : comparaison entre modélisation et réalité*

Cette partie n'est pas encore commencée, elle ne pourra se réaliser que si la partie 2 se finit avant la fin de mon stage.

Résultats actuels : la modélisation des marées est bonne, le fichier des vents qui a été créé fonctionne. Les problèmes à résoudre concerne la modélisation de la pollution à la sortie du réseau d'eaux usées.

Tasks	days	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6	W 7	W 8	W 9	W 10	W 11	W 12	W 13	W 14	W 15	W 16	W 17	W 18	W 19	W 20	W 21	W 22	W 23	W 24
T 1	5																								
T 2	7																								
T 3	12																								
T 4	2																								
T 5	21																								
T5bis	20																								
T 6	11																								
T 7	4																								
T 8	11																								
T 9	9																								
T 10	5																								
T 11	13																								

Additional task: T5bis

90 water quality models running to model 3 scenarios.

Modélisation de la dispersion des eaux usées (90 modèles) selon 3 scénarios définis.

Recapitulative table of the state of progress:

tasks	Tasks name	Sub-tasks	Estimated Days	Days spent	To be done	Progress	State
T1	learning about RMA 10 (tide modelling)		5	5	0	100%	Completed
T2	learning about RMA 11 (water quality model)		7	7	0	100%	Completed
T3	learning about Matlab and statistics in the model calibration		12	0	12	0%	Not started
T4	research on the theory		2	0	2	0%	Not started
T5	changes and comparison	T5.1: trials running	16	16	0	100%	Completed
		T5.2: results; report writing	5	5	0	100%	Completed
T5 B	3 scenarios of pollution	T5bis.1: files management (90 models)	2	1.5	0.5	75%	In Progress
		T5bis.2: trials and RMA 10 running	10	7.5	2.5	75%	In Progress
		T5bis.3: 12 contaminants modelling	8	3	5	37.5%	In Progress
T6	measurements and results from field observations		11	0	11	0%	Not started
T7	comparison between the model and the outdoor experiments		4	0	4	0%	Not started
T8	results with statistics elements		11	0	11	0%	Not started
T9	Improvement of the program		9	0	9	0%	Not started
T10	results summary		5	0	5	0%	Not started
T11	report writing		13	0	13	0%	Not started

Deuxième point étape

The current work concerns the model improvement:

- Comparison between several outfall locations in order to see if the results agree with each other;
- The modeling of all Darwin outfalls in one program;
- A few changes in the mesh;
- The wind rose from meteorological data but the problem is the different standards between the meteorological office and the program;
- Writing of reports about my work like changes or trials to my mentor and to the next students who will work on this project.

The obtained models are satisfactory. To do the comparison with the reality, I need the field data that is currently unavailable. These data are not confidential so I have a chance to get them before the end of my internship.

Les travaux actuels concernent l'amélioration des modèles. Cela passe par :

- *la comparaison entre différentes localités pour voir si les résultats obtenus sont du même acabit (en cours) et la modélisation de l'ensemble des rejets en mer (6 canalisations) pour la ville de Darwin (prévu avant la fin du stage) ;*
- *quelques modifications du maillage, qui est la structure permettant au programme de prendre en compte la géographie du sol (élévation et type de sol). Cette étape se fait en fonction des erreurs trouvées ;*
- *la réalisation de la rose des vents à partir des données météorologiques : le travail actuel concerne les différentes normes (la norme des données n'est pas la même que celle utilisée par le programme, c'est-à-dire que pour indiquer un vent venant du nord, les deux normes n'utiliseront ni le même degré ni le même sens) ;*
- *la rédaction de courts rapports sur les différents changements ou essais pour que la maitre de stage suive l'évolution de mon travail et pour aider les futurs étudiants qui reprendront ce projet.*

Finalemnt, les modélisations obtenues sont satisfaisantes, le travail actuel est surtout axé sur l'amélioration et la comparaison. Cependant, la comparaison avec les données issues du terrain n'est pas encore possible puisque l'entreprise ne veut pas divulguer ses données. Cependant ces chiffres ne sont pas confidentiels, il y a encore une chance de pouvoir les avoir avant la fin du stage.

Tasks	days	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6	W 7	W 8	W 9	W 10	W 11	W 12	W 13	W 14	W 15	W 16	W 17	W 18	W 19	W 20	W 21	W 22	W 23	W 24
T 1	5	█																							
T 2	7		█	█																					
T 3	13	█																							
T 4	2																								
T 5	21																								
T5B	28																								
T 6	4																								
T 7	10																								
T 8	11																								
T 9	4																								
T 10	4																								
T 11	11																								

La tâche T5bis m'a pris beaucoup de temps, cela influence les tâches annexes comme T3 et T4. L'analyse des résultats est en cours mais les comparaisons à l'aide des statistiques ne sera peut-être pas réalisable lors de mon stage car l'apprentissage de Matlab ou du logiciel R a pris du retard et parce que je ne dispose pas des données nécessaires. De même, les tâches T6 et T7 ne peuvent se faire sans les données de l'entreprise, que je n'ai pas pour l'instant.

Recapitulative table of the state of progress:

tasks number	Tasks	Sub-tasks	Estimated Days	Days spent	To be done	Progress	State
T1	learning about RMA 10 (tide modeling)		5	5	0	100%	Completed
T2	learning about RMA 11 (water quality model)		7	7	0	100%	Completed
T3	learning about Matlab and statistics in the model calibration		13	10	3	80%	In Progress
T4	research on the theorie		2	0	2	0%	Not started
T5	realization of changes and comparison	T5.1: trials running	16	16	0	100%	Completed
		T5.2: results report writing	5	5	0	100%	Completed
T5 bis	3 scenarios of pollution	T5bis.1: files management (90 models)	2	2	0	100%	Completed
		T5bis.2: trials and RMA 10 running	15	15	0	100%	Completed
		T5bis.3: 12 contaminants modeling	11	11	0	100%	Completed
T6	measurements and results from outdoor experiments		4	0	4	0%	Not started
T7	comparison between the model and the outdoor experiments		10	0	10	0%	Not started
T8	results with statistics elements		11	8	3	80%	In Progress
T9	Improvement of the program		4	4	0	100%	Completed
T10	results summary		4	2	2	50%	In Progress
T11	report writing		11	0	11	0%	Not started

Annexe 7: Présentation du Professeur Ian King



- Consulting Specialist -

Ian is an internationally recognised expert in the application of state-of-the-art computer simulation techniques to practical engineering problems and has pioneered the application of the Finite Element Methods to water resource problems. He is the author of more than 50 technical papers in the field of water resource and water quality modelling and structural engineering.

Ian developed the finite element method for application to one, two, and three-dimensional hydrodynamic and water quality problems. He is the principal author of the [RMA suite of finite element models](#) that are in worldwide use by governmental agencies and the consulting profession. He applied the finite element method to complex nonlinear problems associated with ground water flow and transport; and has carried out research as a post-doctoral fellow in the fields of stress analysis of pressure vessels, shells and bridges and rock media. For over 10 years, he has had a continuing association with the Water Research Laboratory, where he is currently a Consulting Specialist.

Source : www.wrl.unsw.edu.au/site/resources/staff/professor-ian-king/

Annexe 9 : Interactions entre les constituants des eaux usées

Les différents composants des eaux usées interagissent entre eux mais également avec leur environnement comme l'oxygène dissout présent dans l'eau. Plusieurs phénomènes viennent modifier la concentration des polluants comme la sédimentation et l'oxydation.

Org-N : Azote organique

NH₃ : Ammoniac

NO₂ : Dioxyde d'azote

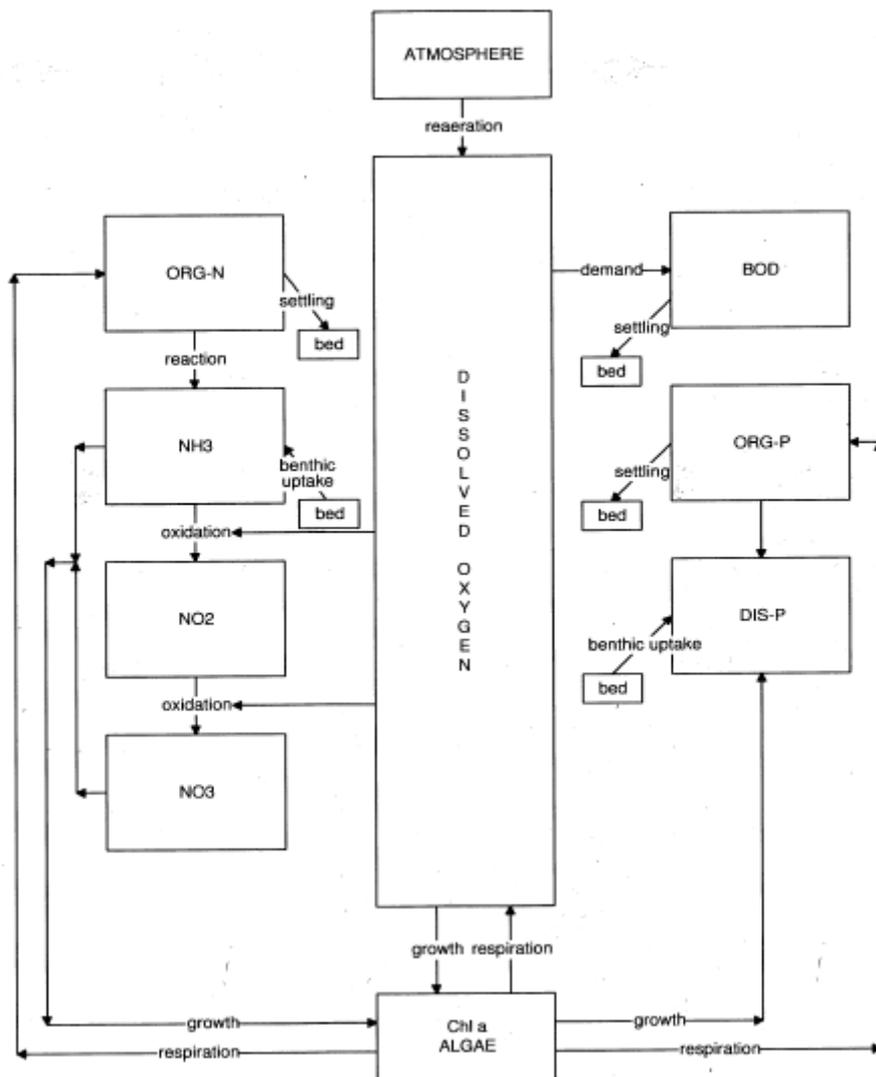
NO₃ : Nitrates

Algae : Algues

BOD : Biochemical oxygen demand (demande biochimique en oxygène)

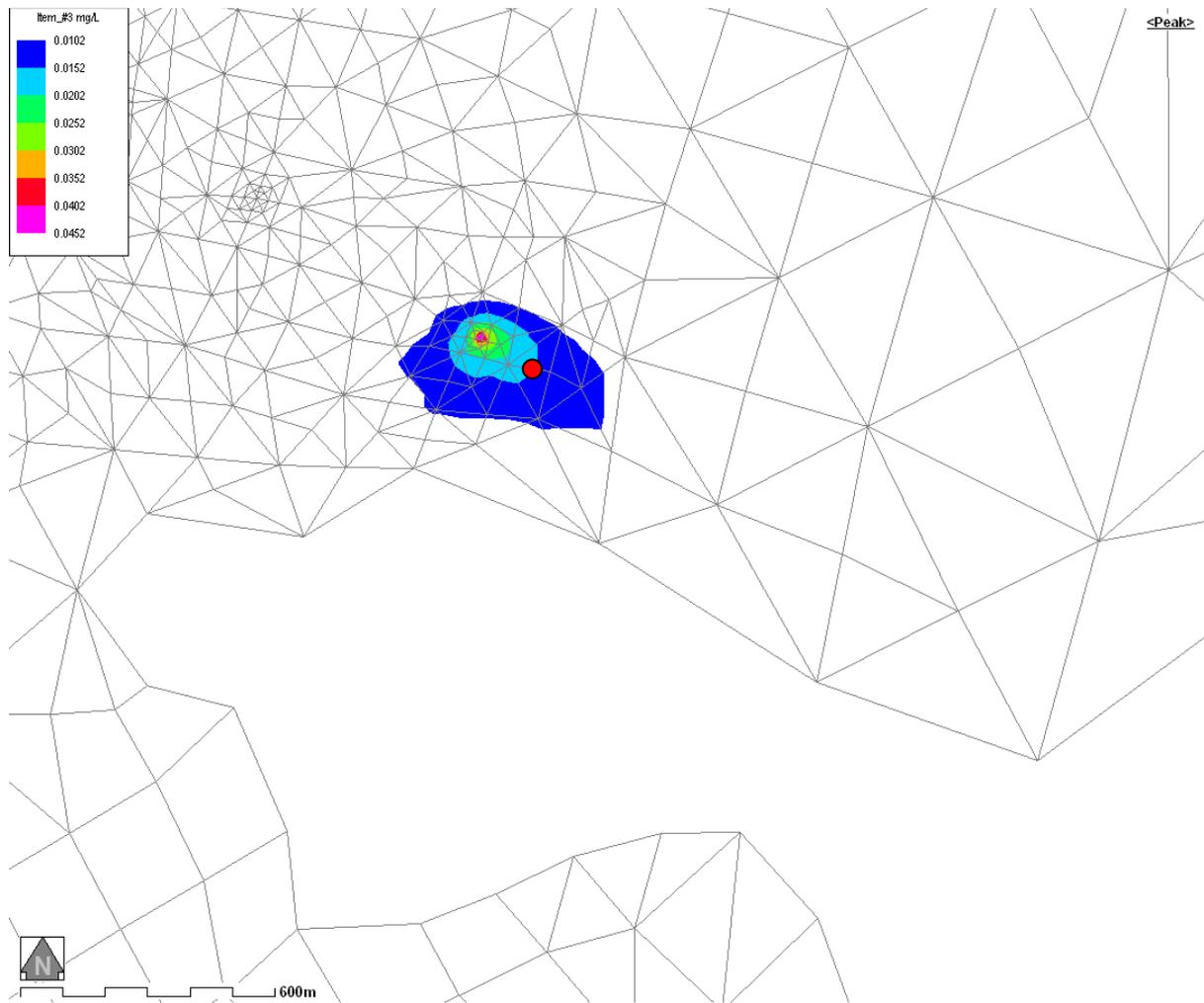
Org-P : Phosphore organique

Dis-P : Phosphore dissout

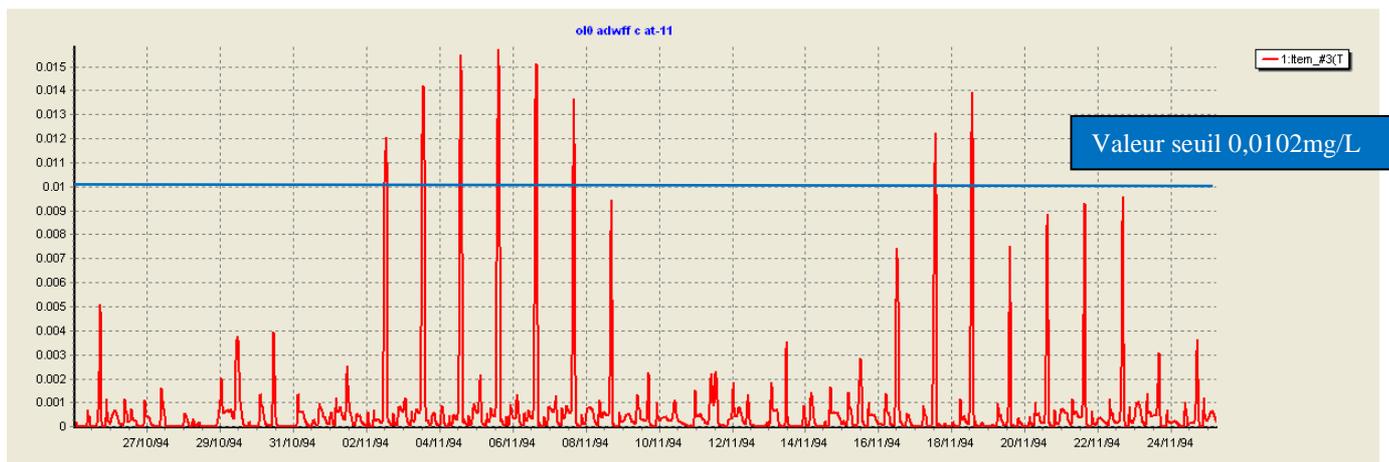


Source : RMA 11 A three dimensional finite element model for water quality in estuaries and streams, version 4.4F, Ian King, RMA, Sydney, Mai 2007

Annexe 10 : Concentrations d'un point de la zone de mélange



Zone de mélange de cuivre sur 30 jours de modélisation, à la sortie de la canalisation d'East Point



Concentrations de cuivre en mg/L sur 30 jours de modélisation d'un point de la zone de mélange.