



THESE

Présentée pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES
Spécialité : Sciences et Techniques de l'Environnement

LOCALISATION, NATURE ET DYNAMIQUE DE L'INTERFACE EAU-SEDIMENT EN RESEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE

par

Claire OMS

Thèse soutenue le 6 janvier 2003, devant le jury composé de :

M. Alain HEDUIT	Président
M. Ghassan CHEBBO	Directeur de thèse
Mme Marie-Christine GROMAIRE	Co-directeur de thèse
M. Richard M. ASHLEY	Rapporteur
M. Vladan MILISIC	Rapporteur
M. Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI	Examineur
M. Alain CONSTANT	Membre invité
M. Mathieu AHYERRE	Membre invité



Des lendemains sans nuage
Dessin et scénario : B. Gazzotti,
R. Meyer, F. Vehlmann
Couleurs : B. Devilliers
Collection "Signé"
Les éditions du LOMBARD.
2001.

Remerciements

Ce travail de recherche a été mené au CEREVE (Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement), laboratoire commun à l'ENPC (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées), à l'ENGREF (Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts) et à l'Université Paris XII-Val de Marne. Il a été réalisé dans le cadre de l'Ecole Doctorale Ville et Environnement.

Cette thèse a été effectuée sous la direction de Monsieur Ghassan CHEBBO directeur de recherche à l'ENPC et membre de l'Université du Liban, qui a suivi ce travail et l'a guidé de ses conseils et remarques. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour son soutien.

Au CEREVE, Madame Marie-Christine GROMAIRE a encadré quotidiennement ce travail. Sa disponibilité et son investissement permanent m'ont beaucoup aidé et je tiens à lui adresser l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie Monsieur Alain HEDUIT qui m'a fait l'honneur de présider au jury de thèse, ainsi que les professeurs Vladan MILESIC et Richard ASHLEY qui ont accepté le rôle de rapporteurs. Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Mathieu AHYERRE qui m'a mis le pied à l'étrier au cours de mon DEA et qui a toujours su me conseiller judicieusement. Enfin, je remercie Messieurs Jean-Luc BERTRAND-KRAJEWSKI et Alain CONSTANT qui ont accepté de participer à l'évaluation de ce travail.

Je remercie Messieurs Jean-Marie MOUCHEL, directeur du CEREVE, et Jean-Claude DEUTSCH, directeur de l'Ecole Doctorale Ville et Environnement, qui m'ont permis de travailler dans de très bonnes conditions pendant ces trois années de thèse et qui ont toujours eu une oreille attentive à mes soucis.

Cette recherche a été possible grâce au soutien financier des organismes suivants : l'Agence de l'Eau Seine et Normandie, la Ville de Paris, le Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et le Ministère de l'Education et de la Recherche. Les expérimentations réalisées à l'étranger ont bénéficié du soutien financier du programme EGIDE.

Le travail expérimental a nécessité la participation de nombreux membres du CEREVE : chercheurs, thésards et stagiaires. Je pense tout particulièrement à Najji BERRY, à Johan GLASSER, à Marie-Perrine MIOSSEC et à Laura DIEUPART-RUEL qui m'ont assisté pour les expériences réalisées sur Le Marais. Enfin, cette recherche n'aurait pas abouti sans la détermination et l'expérience professionnelle de Mohamed SAAD, ingénieur de recherche au CEREVE.

Je tiens à remercier également Mr OBRY, Mr CONSTANT et les personnels du Service d'Assainissement de la ville de Paris pour leur aide technique.

J'adresse mes plus sincères remerciements au professeur Richard ASHLEY qui m'a aidé à organiser et à réaliser les expériences à Dundee, dans le Yorkshire ainsi qu'à Hildesheim. Je remercie également Messieurs Erik RISTENPART, Trevor MCILHATTON, Ruben SAKRABANI et Hazem GOUDA pour leur accueil chaleureux et leur soutien dans les égouts écossais et allemands.

Je remercie aussi Messieurs Dominique LAPLACE et Christian GARRIT, de la Société d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de Marseille, pour leur aide durant la réalisation d'expériences dans les égouts de Marseille.

Merci enfin à Jérôme DISPAN, Claire RELIANT, Vincent ROCHER, Catherine GOURLAY, Assem KANSO, Denis QUELO, Sam AZIMI, Thomas BONIERBALE, Nassima MOUHOUS, Jaouad BOUTAHAR, Catherine CHARLEUX ainsi qu'à tous les membres du CEREVE pour l'ambiance chaleureuse et le soutien qu'ils m'ont apportés.

Je n'oublie pas l'ensemble de mes amis qui ont toujours su montrer un grand intérêt pour mes aventures "égoutières".

Et pour finir, je remercie les membres de ma famille et plus particulièrement mon mari Stéphane pour leur patience et toutes ces petites (et grandes !) attentions qui m'ont réchauffé le cœur.

Résumé

La maîtrise de la pollution des rejets urbains par temps de pluie (RUTP) prend une place croissante dans les problèmes d'assainissement. Depuis 1970, un grand nombre d'études consacrées à la pollution des eaux de temps de pluie en milieu urbain ont été réalisées dans différents pays. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'importance de la contribution des dépôts en réseaux d'assainissement unitaires à la pollution des RUTP et le rôle capital des stocks de matière organique situés à l'interface eau/sédiment. Cependant, les données relatives à ces stocks situés à l'interface eau/sédiment sont souvent contradictoires et lacunaires. Le principal objectif de ce travail de thèse est d'apporter de nouvelles connaissances vis-à-vis des stocks organiques à l'interface eau-sédiment. Pour cela de nouvelles méthodes d'observation ont été développées.

- La mise au point et l'utilisation d'un endoscope ont permis d'identifier et de localiser deux types d'interface organique sur différents sites européens :
 - une couche immobile dans des creux des dépôts situés à l'amont des collecteurs, dans les zones présentant de très faibles vitesses d'écoulement ($v < 0,14\text{m/s}$) et des pentes de radier très faibles ($p < 0,05\%$) à Paris et à Marseille ;
 - des solides en déplacement près du fond (near bed solids) dans des zones de dépôts situés à l'aval des collecteurs et présentant des vitesses d'écoulement faibles ($0,2\text{ m/s} < v < 0,5\text{ m/s}$) et des pentes de radier très faibles ($p < 0,06\%$) à Dundee (U.K.) et à Hildesheim (Allemagne).
- La mise au point et l'utilisation d'une boîte d'observation encastrée dans la paroi d'un collecteur du Marais a permis de montrer que la couche organique immobile située à l'interface eau-sédiment est fortement hétérogène et qu'elle abrite une activité biologique. Cette couche se forme rapidement puis se stabilise à un niveau donné. Cependant elle subit des remaniements locaux en surface liés à des phénomènes aléatoires (par exemple : le passage d'un élément flottant de grosse taille). Enfin, durant des augmentations de débit elle est partiellement érodée et transportée en suspension et en charriage.

Mots Clés

Réseau d'assainissement unitaire ; Rejets urbains de temps de pluie ; Interface eau sédiment ; Couche organique ; Dépôts ; Mécanismes d'érosion ; Mécanismes de formation ; Contrainte de cisaillement.

Abstract

Pollutant release from sewer systems has long been a concern for sewer managers. Since 1970's, several studies undertaken have shown that the erosion of sewer sediments is one of the major sources of pollution for combined sewer overflows (CSO) and that an organic deposit, situated at the water-sediment interface, plays an important role. However, the results of the various studies of this material reveal differences in the nature and the dynamics of the interfacial near bed sediments. New devices have been developed to observe the interface, in order to determine where this stock develops in combined sewers, which is its nature and how it evolves during dry and wet weather :

- a protocol based on an endoscope permits to observe in a non-destructive manner the water-sediment interface and so, to localise the organic stocks in a sewer. This system was applied on “Le Marais” catchment (Paris), and in the main collector of Dundee (UK) and Hildesheim (Germany).
- an immobile layer was observed in Paris and Marseille in sites where mean velocity is very slow ($v < 0,14$ m/s), bed slope is very low ($J < 0,05$ %) and bed sediment creates pools, at the upstream part of the collectors ;
- solids moving above to the bed (near bed solids) in the downstream part of collectors where mean velocity is slow ($0,2$ m/s $< v < 0,5$ m/s) and bed slope is very low ($J < 0,06$ %) in Dundee and Hildesheim.
- an off-line photographic system has been placed inside a box, embedded in the sewer-wall, to obtain pictures of the interface at regular time steps. The system was installed in a collector of Le Marais. The pictures collected showed that the organic layer is an heterogeneous material with biological activity in it. The layer builds up rapidly to a stable depth during dry weather. However it is disturbed by local changes linked to random disruptive phenomena. During flow increases, the organic layer is partly eroded and it is transported in bed-load and in suspension.

Key Words

Combined sewer, Combined sewer overflows, water-sediment interface, organic layer, sediments, mechanisms of erosion , mechanisms of formation, shear stress.

Publications et Communications

Les principaux résultats de cette thèse ont fait l'objet de publications et de communications.

C. Oms, M.C. Gromaire-Mertz, R. DeSutter, G. Chebbo (2001). "Measurement of local bed shear stress in combined sewers"

"Urban Drainage Modeling" (proceedings of UDM Symposium, part of the World Water and Environmental Resources Congress), Orlando, Florida, May 20-24, 2001, Edited by Robert W. Brashear and Cedo Maksimovic, ASCE, pp.507-517 (ISBN 0-7844-0583-2).

C. Oms, R. Sakrabani, T. McIlhatton, G. Chebbo, R. Ashley (2002). "The nature of near bed solids in combined sewers"

"Global Solutions for Urban Drainage" (proceedings of the 9th International Conf. on Urban Drainage), Portland, Oregon, September 8-13, 2002. Edited by E.W. Strecker and W.C. Huber, ASCE, CD-Rom, 16 p. (ISBN 0-7844-0644-8).

C. Oms, M.C. Gromaire, G. Chebbo (2003). "In situ observation of the water-sediment interface in combined sewers, using endoscopy"

Water Science and Technology (IWA), Vol 47, n°4, pp. 11-18, 2003.

D. Laplace, C. Oms, M. Ahyerre, G. Chebbo, J. Lemasson, L. Felouzis (2003). "Removal of the organic surface layer in combined sewer sediment using a flushing gate"

Water Science and Technology (IWA), Vol 47, n°4, pp. 19-26, 2003.

C. Oms, M.C. Gromaire, G. Chebbo (2003). "Localisation et observation de l'interface eau-sédiment en réseau d'assainissement unitaire"

"Eau dans la ville et développement durable, Actes des 13èmes Journées du DEA Sciences et Techniques de l'Environnement", Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp.15-30 (ISBN 0-7844-0583-2).

Deux publications complémentaires sont également en projet : la première reprendra la partie "Dynamique de l'interface eau-sédiment", la seconde reprendra les résultats de la collaboration européenne menée lors des observations avec l'endoscope.

Sommaire

PARTIE I. INTRODUCTION..... 1

1. CONTEXTE.....	2
2. CADRE DE LA THÈSE.....	3
2.1. Le programme de recherche « génération et transport de la pollution des rejets urbains par temps de pluie en réseau d'assainissement unitaire ».....	3
2.2. Vers un nouveau programme de recherche : « évolution spatiale des caractéristiques et des origines des polluants dans les réseaux d'assainissement unitaires ».....	4
2.3. Problématique de la thèse.....	6
3. OBJECTIFS DE LA THÈSE.....	6
3.1. Etude du taux de cisaillement en réseau d'assainissement.....	6
3.2. Nature et localisation de l'interface eau-sédiment.....	7
3.3. Dynamique de l'interface eau-sédiment.....	7

PARTIE II. ETUDE DU TAUX DE CISAILLEMENT EN RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE 9

CHAPITRE 1. INTRODUCTION.....	10
CHAPITRE 2. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	11
1. ECOULEMENT EN RÉGIME UNIFORME PERMANENT.....	11
1.1. Equations de Saint-Venant.....	11
1.1.1. Ecoulement permanent.....	12
1.1.2. Ecoulement permanent uniforme.....	12
1.2. Structure verticale de l'écoulement.....	13
1.3. Les courants secondaires.....	14
2. CONTRAINTE DE CISAILLEMENT À LA PAROI.....	15
2.1. Coefficient de frottement.....	15
2.2. Contrainte de cisaillement à la paroi.....	17
2.2.1. Contrainte de cisaillement, loi de Reynolds.....	17
2.2.2. Contrainte de cisaillement, distribution logarithmique des vitesses.....	18
2.2.3. Contrainte de cisaillement, équation de mouvement.....	19
2.3. Evaluation du taux de cisaillement en réseaux d'assainissement.....	20
2.3.1. Loi de Reynolds.....	20
2.3.2. Distribution logarithmique des vitesses.....	20
2.3.3. Equation de mouvement.....	20
2.3.4. Conclusion.....	21
CHAPITRE 3. EXPÉRIENCES RÉALISÉES.....	23
1. SITES D'ÉTUDE.....	23
1.1. Site en laboratoire.....	23
1.2. Sites en réseau d'assainissement.....	24
1.2.1. Sites sans dépôt.....	24
1.2.2. Sites avec dépôt.....	24
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	25
2.1. La distribution des tensions de Reynolds.....	25
2.1.1. Matériel : Acoustic Doppler Velocimeter (ADV).....	25
2.1.2. Méthodologie.....	26
2.2. La distribution logarithmique des vitesses.....	27
2.2.1. Matériel : micro-moulinet.....	27
2.2.2. Méthodologie.....	28
2.3. Evaluation à partir de l'équation de mouvement.....	28
2.3.1. A partir de la pente du radier.....	28

2.3.2. A partir de la pente d'énergie	28
CHAPITRE 4. RÉSULTATS	29
1. ANALYSE DU MATÉRIEL UTILISÉ	29
1.1. Comparaison des résultats obtenus suivant le matériel utilisé	29
1.2. Incertitudes associées aux matériels utilisés	30
1.2.1. Les incertitudes liées à l'appareil.....	30
1.2.2. Les incertitudes liées au positionnement de l'appareil.....	31
2. ANALYSE DU CALCUL DU CISAILLEMENT SANS DÉPÔTS	31
2.1. Analyse des données ADV.....	31
2.2. Analyse des données de vitesse du micro-moulinet	34
2.3. Evaluation du taux de cisaillement avec l'équation de mouvement	35
2.3.1. Pente du radier	35
2.3.2. Pente d'énergie	35
2.4. Variabilité spatiale du taux de cisaillement au fond	36
2.5. Discussion : quelle méthode choisir ?	38
3. ANALYSE DU CISAILLEMENT AVEC DÉPÔTS.....	39
3.1. Caractéristiques des dépôts	39
3.1.1. Relevé des hauteurs de dépôts sur les sites étudiés.....	39
3.1.2. Analyse granulométrique du dépôt	40
3.2. Analyse des données de vitesse.....	40
3.2.1. Collecteur Saint-Gilles	40
3.2.2. Collecteur Rivoli.....	41
3.3. Analyse des données ADV.....	44
3.4. Discussion	45
CHAPITRE 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	47

PARTIE III. CARACTÉRISATION DE L'INTERFACE EAU-SÉDIMENT	49
---	-----------

CHAPITRE 1. INTRODUCTION	50
CHAPITRE 2. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	51
1. TYPOLOGIE DES DÉPÔTS	51
1.1. Les biofilms.....	51
1.2. Les dépôts grossiers.....	52
1.3. L'interface eau-sédiment.....	52
1.3.1. Le dépôt de type C	53
1.3.2. Les « Near Bed Solids ».....	53
1.3.3. Le « Fluid Sediment »	55
2. L'INTERFACE EAU / SÉDIMENT, SUR LE BASSIN VERSANT DU MARAIS.....	57
2.1. Principaux résultats obtenus par Ahyerre.....	57
2.1.1. Observation de la couche organique	57
2.1.2. Prélèvement de la couche organique.....	58
2.1.3. Comportement de la couche organique	59
2.1.4. Localisation de la couche organique	60
2.2. Origines de la matière organique dans le réseau, par temps sec.....	60
2.2.1. Rejets des particuliers	61
2.2.2. Ruissellement sur les chaussées.....	64
2.2.3. Transformation des matières dans le réseau	64
3. CONCLUSIONS	66
CHAPITRE 3. CARACTÉRISATION ET LOCALISATION DE L'INTERFACE EAU – SÉDIMENT	67
1. SYSTÈME D'OBSERVATION AVEC UN ENDOSCOPE.....	67
2. MÉTHODOLOGIE POUR LE SUIVI DES COLLECTEURS DU MARAIS	68
2.1. Le bassin versant du Marais.....	68
2.2. Méthodologie pour la localisation de la couche organique.....	70

2.3. Méthodologie d'échantillonnage et d'analyses	71
2.3.1. La boîte à prélèvement	71
2.3.2. Les analyses physico-chimiques	72
3. LE SUIVI DES COLLECTEURS DU MARAIS : RÉSULTATS	72
3.1. Nature de l'interface eau – sédiment	72
3.2. Caractéristiques physico-chimiques de la couche organique	74
3.3. Cartographie de la couche organique.....	76
3.3.1. Evolution des dépôts grossiers et de la vitesse moyenne	77
3.3.2. Interface eau - sédiment	78
3.3.3. Suivi serré de l'amont du collecteur Saint-Gilles	79
3.3.4. Suivi des collecteurs Vieille du Temple et Saint-Antoine.....	80
3.4. Discussion des résultats	80
3.4.1. Comparaison avec la cartographie réalisée par Ahyerre (1999).....	80
3.4.2. Comparaison avec les stocks érodés par temps de pluie	81
3.4.3. Taux de cisaillement	82
3.5. Conclusions	83
4. RÉALISATION D'OBSERVATIONS EN EUROPE	84
4.1. Choix des sites.....	84
4.1.1. Sites principaux : Dundee, Hildesheim	84
4.1.2. Sites complémentaires.....	85
4.2. Méthodologie utilisée	86
4.3. Résultats.....	87
4.3.1. Dundee	87
4.3.2. Hildesheim.....	89
4.3.3. Marseille.....	90
4.3.4. Yorkshire (G-B).....	92
4.4. Conclusions	92
CHAPITRE 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	94

PARTIE IV. DYNAMIQUE DE L'INTERFACE EAU-SÉDIMENT.....	97
--	-----------

CHAPITRE 1. INTRODUCTION	98
CHAPITRE 2. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE : LES DÉPÔTS COHÉSIFS.....	100
1. LE COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES DÉPÔTS COHÉSIFS	100
1.1. Etude des boues dans les estuaires.....	100
1.1.1. Comportement dynamique des boues en estuaires (COSINUS, 2000).....	100
1.1.2. Modélisation du transport de sédiments cohésifs en estuaire	102
1.2. Etudes des dépôts cohésifs en laboratoire.....	103
1.2.1. Tests sur des boues d'estuaires	103
1.2.2. Tests sur des mélanges à base de sable et de matières cohésives	106
1.2.3. Tests sur des sédiments provenant du réseau d'assainissement.....	109
1.3. Conclusion	112
2. LA DYNAMIQUE DE L'INTERFACE EAU-SÉDIMENT EN RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT UNITAIRE : ÉTUDES ET MODÉLISATION	113
2.1. L'étude de l'interface eau / sédiment	113
2.1.1. avec une vanne de chasse	113
2.1.2. durant une pluie réelle.....	113
2.1.3. Avec des augmentations artificielles du débit	116
2.2. Modélisation de la dynamique de l'interface eau-sédiment.....	118
2.2.1. Modèle pour les « near bed solids » (1996)	118
2.2.2. Modèle pour la couche organique.....	120
3. CONCLUSIONS	121
CHAPITRE 3. OBSERVATION DE LA DYNAMIQUE DE L'INTERFACE EAU - SÉDIMENT	123
1. DISPOSITIF D'OBSERVATION MIS EN PLACE DANS LE MARAIS	123

1.1. Le système d'observation « Ahyerre 1999 ».....	123
1.2. Le nouveau système d'observation.....	124
1.2.1. Vitrage.....	124
1.2.2. Prise d'image.....	125
1.2.3. Eclairage.....	125
1.2.4. Alimentation électrique du système.....	125
1.2.5. Mesure du débit.....	125
1.2.6. Mesure de la pluviométrie.....	126
1.3. Site de mesure.....	126
1.3.1. Choix du site.....	126
1.3.2. Débit de temps sec sur le site d'observation.....	127
1.3.3. Caractéristiques des pluies affectant le site.....	128
2. EXPÉRIENCES RÉALISÉES.....	129
2.1. Suivi en continu sur plusieurs journées.....	129
2.2. Suivi en continu durant des augmentations de débit.....	129
2.2.1. Méthode d'injection.....	129
2.2.2. Dispositif de mesures.....	130
2.2.3. Schémas d'injection réalisés.....	130
2.2.4. Mesure des paramètres de qualité.....	132
2.3. Données recueillies.....	132
3. RÉSULTATS.....	133
3.1. Description de la couche organique.....	133
3.1.1. Devant la boîte.....	133
3.1.2. Sur le tronçon.....	134
3.2. Evolutions de la couche par temps sec.....	135
3.2.1. Evolutions devant la boîte.....	135
3.2.2. Evolutions sur le tronçon.....	137
3.2.3. Conclusion.....	138
3.3. Evolutions de la couche durant des augmentations de débit.....	139
3.3.1. Injections d'eau.....	139
3.3.2. Durant une vraie pluie (dispositif de suivi de temps sec en place).....	143
3.3.3. Conclusion.....	143
4. DISCUSSION : LA MODÉLISATION DE LA COUCHE ORGANIQUE.....	144
4.1. Caractérisation de la couche organique.....	144
4.1.1. Composition de la couche organique.....	144
4.1.2. Variations verticales, dans l'épaisseur de la couche organique.....	145
4.1.3. Variations longitudinales de l'épaisseur de la couche organique.....	145
4.2. Dynamique de la couche organique par temps sec.....	145
4.2.1. L'accumulation est-elle une fonction de la durée de temps sec ?.....	145
4.2.2. Y a-t-il corrélation entre phénomènes observés et hydraulique de temps sec ?....	146
4.3. Dynamique de la couche organique par temps de pluie.....	147
4.3.1. Y a-t-il corrélation entre phénomènes observés et hydraulique de temps de pluie ?	147
.....	147
4.3.2. L'érosion se produit-elle de façon homogène ?.....	148
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	148
CHAPITRE 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	150

PARTIE V. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES..... 151

1. PRINCIPAUX RÉSULTATS.....	152
1.1. L'évaluation du taux de cisaillement.....	152
1.2. L'interface eau-sédiment dans la bassin versant du Marais.....	153
1.3. L'interface eau-sédiment dans des bassins versants hors du Marais.....	153
1.4. La dynamique de la couche organique.....	154

2. PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	154
2.1. Localisation de la couche organique.....	154
2.2. Caractérisation de la couche organique.....	155
2.3. Dynamique de la couche organique.....	155
2.4. Modélisation des stocks de matière organique à l'interface eau-sédiment	156
2.5. Gestion de la couche organique.....	156
3. PERSPECTIVES MÉTHODOLOGIQUES	157

PARTIE VI. BIBLIOGRAPHIE	159
---------------------------------------	------------

PARTIE VII. ANNEXES	171
----------------------------------	------------

1. NOTATIONS	172
2. TABLE DES FIGURES.....	173
3. TABLE DES TABLEAUX	177
4. LE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT PARISIEN.....	179
4.1. Les égouts	179
4.2. Les collecteurs.....	179
4.3. Les émissaires	180
4.4. Fonctionnement du réseau.....	181
4.5. Les problèmes liés aux dépôts dans le réseau d'assainissement.....	181
5. PHOTOS DES SITES ÉTUDIÉS EN EUROPE	184
6. LA VANNE HYDRASS SUR LE COLLECTEUR TOBELEM, À MARSEILLE.....	185
7. LA MISE EN PLACE DE LA BOÎTE D'OBSERVATION SUR LE COLLECTEUR SAINT-GILLES, DANS LE MARAIS.....	186