

Table des matières

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Partie 1 :

Infiltration et exfiltration: problématique et objectifs scientifiques de la thèse

1. Introduction	11
2. Etat structurel des réseaux et phénomènes d'infiltration et d'exfiltration.....	13
2.1. Infiltration et exfiltration conséquences de la dégradation des réseaux.....	13
2.2. Infiltration et exfiltration, causes de la dégradation des réseaux d'assainissement	16
3. L'infiltration dans les réseaux d'assainissement : état de l'art.....	18
3.1. Généralités sur les eaux claires parasites.	18
3.1.1. Définition des eaux claires parasites.	18
3.1.2. Origines et classifications des eaux claires parasites ou ECP.....	18
3.2. Impacts des ECP sur le fonctionnement du système d'assainissement.....	20
3.2.1. Impact des ECP sur les réseaux.....	21
3.2.2. Impact des ECP sur fonctionnement des ouvrages épuratoires.....	22
3.2.3. Impact des ECP sur la qualité des milieux naturels.	22
3.2.4. Les impacts financiers de la présence d'eaux claires parasites.....	23
3.3. Les études diagnostics de réseaux d'assainissement et les solutions palliatives aux eaux claires parasites.	23
3.3.1. Méthodologie des études diagnostics	23
3.3.2. Les solutions aux eaux claires parasites	25
3.3.2.1. Interventions sur les réseaux.....	25
3.3.2.2. Interventions au niveau de la station d'épuration.....	27
3.3.3. Conclusion sur les études diagnostics	27
3.4. Principes de la quantification des eaux claires parasites et présentation générale des méthodes existantes	27

3.5.	Etudes comparatives existantes des méthodes d'estimation des ECP.....	30
3.5.1.	Etude comparative sur le bassin versant de Pierre Bénite.....	30
3.5.2.	Etude comparative suisse	34
3.5.3.	Etude comparative autrichienne	36
3.5.4.	Etude comparative allemande	37
3.5.5.	Conclusions issues des études comparatives.....	38
3.6.	Imperfections des méthodes traditionnelles d'estimation des ECP	39
3.6.1.	L'exactitude des estimations	40
3.6.2.	L'incertitude associée aux estimations.....	41
3.6.3.	Nature et origine des apports d'eaux usées de temps sec.....	42
3.6.4.	Localisation des apports	45
4.	Exfiltration dans les réseaux d'assainissement : état de l'art.	46
4.1.	Risques et impacts liés à l'exfiltration	46
4.2.	Les solutions palliatives à l'exfiltration	47
4.3.	Principes généraux de la détection et de la quantification de l'exfiltration	47
4.4.	Comparaison des méthodes de détection et de quantification de l'exfiltration... 48	
4.4.1.	Les méthodes de mesure indirecte de l'exfiltration	48
4.4.1.1.	Bilan des composantes du débit d'eaux usées de temps sec.....	48
4.4.1.2.	Simulation avec un modèle de recharge de nappe.....	50
4.4.1.3.	Méthodes basées sur l'utilisation de traceurs.....	50
4.4.1.4.	Etude comparative des méthodes indirectes.....	53
4.4.1.5.	Conclusions sur les méthodes indirectes.....	54
4.4.2.	Les méthodes directes	54
4.4.2.1.	Les expérimentations sur le terrain.....	55
4.4.2.2.	Mesure de l'exfiltration sur des sites pilotes et en laboratoire.....	58
4.4.2.3.	Etude comparative des méthodes directes et facteurs influençant l'exfiltration.....	64
4.4.2.4.	Conclusions sur les méthodes directes.....	65
4.5.	Les inconvénients des méthodes existantes de détection et de quantification de l'exfiltration.....	66
5.	Problématique et objectifs scientifiques de ce travail de thèse dans le cadre du programme de recherche européen APUSS	68
5.1.	Objectifs scientifiques liés au programme de recherche APUSS	70
5.1.1.	Objectifs scientifiques concernant l'infiltration.....	71
5.1.2.	Objectifs scientifiques concernant l'exfiltration	71
5.2.	Objectifs scientifiques personnels.....	72

Partie 2 :

Mesurage des eaux claires parasites dans les réseaux d'assainissement et évaluation de l'incertitude associée :

méthodes conventionnelles, développement de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$; études comparatives.

1. Introduction	77
2. Les méthodes traditionnelles d'estimation des eaux claires parasites dans les réseaux d'assainissement	79
2.1. Les méthodes débitométriques	80
2.1.1. La méthode du débit journalier d'eaux usées de temps sec	81
2.1.2. Méthode du débit de temps sec bis.....	84
2.1.3. Méthode du "density average"	87
2.1.4. Méthode de Annen et Mueller.....	88
2.1.5. La méthode du triangle.....	91
2.1.6. Méthode du minimum mobile	95
2.1.7. Différence des débits journaliers de hautes et basses eaux	97
2.1.8. Différence des débits nocturnes de hautes et basses eaux.....	98
2.1.9. Méthode du débit nocturne minimum	100
2.1.10. Méthode du débit nocturne corrigé	103
2.1.11. Méthode du débit nocturne corrigé "bis"	108
2.1.12. Méthodes des paramètres de forme des hydrogrammes.....	112
2.2. Les méthodes chimiques ou par l'étude de la dilution	120
2.2.1. Méthode des données d'Imhoff.....	121
2.2.2. Méthode suisse	125
2.2.3. Méthode Horizon ou méthode hybride.....	128
2.3. Analyse synthétique des méthodes traditionnelles d'estimation des ECP	133
3.. Mesurage des eaux claires parasites par traçage naturel des isotopes stables de la molécule d'eau : la méthode du $\delta^{18}\text{O}$.....	136
3.1. Principe de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ et application à la mesure de l'infiltration	136
3.1.1. Définition du $\delta^{18}\text{O}$	136
3.1.2. Principe de la mesure du $\delta^{18}\text{O}$	137
3.1.3. Application à la mesure de l'infiltration	137
3.1.4. Objectifs et mise en œuvre des premières campagnes de mesure.....	142
3.2. Faisabilité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ et premières mesures d'infiltration d'ECP .	142
3.2.1. Application de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ sur le Grand Lyon.....	142
3.2.1.1. Campagne de mesure de mars 2002.....	143
3.2.1.1.1. Faisabilité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ sur le Grand Lyon.....	144
3.2.1.1.2. Les sites expérimentaux.....	145

3.2.1.1.3. Conclusions.....	148
3.2.1.2. Campagne de mesure de septembre 2002.....	148
3.2.1.2.1. Confirmation de la faisabilité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ sur le Grand Lyon.....	148
3.2.1.2.2. Les sites expérimentaux.....	149
3.2.1.2.3. Conclusions.....	150
3.2.1.3. Campagne de mesure de Mars 2003.....	151
3.2.1.3.1. Le collecteur principal de la Commune d'Albigny.....	151
3.2.1.3.2. Le collecteur principal de Collonges.....	151
3.2.2. Application de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ à Nantes	152
3.2.2.1. Faisabilité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ sur la Communauté Urbaine de Nantes	153
3.2.2.2. Les sites expérimentaux : estimation de l'infiltration et étude comparative	154
3.2.2.3. Conclusions.....	155
3.2.3. Conclusions générales sur l'applicabilité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$	155

4. Etude comparative des méthodes d'estimation des ECP..... 158

4.1. Les sites expérimentaux et les données disponibles.....	158
4.1.1. Le bassin versant de l'Yzeron	158
4.1.2. Le bassin versant d'Ecully	163
4.1.2.1. Description du site et des données expérimentales.....	163
4.2. Etude comparative sur le bassin versant de l'Yzeron	165
4.2.1. Application de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$	165
4.2.2. Etude comparative des méthodes traditionnelles et de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$..	169
4.2.2.1. Etude comparative à l'échelle de la chronique.....	169
4.2.2.2. Etude comparative à l'échelle du jour des prélèvements.....	176
4.2.2.3. Etude comparative à l'échelle du jour de temps sec.....	179
4.2.3. Validité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ par rapport aux méthodes traditionnelles	181
4.2.4. Conclusion de l'étude comparative sur le bassin versant de l'Yzeron.....	184
4.3. Etude comparative sur le bassin versant d'Ecully.....	185
4.3.1. Application de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$	186
4.3.1.1. Représentativité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$	186
4.3.1.2. Influence du protocole d'échantillonnage sur la précision des estimations	190
4.3.2. Etude comparative des méthodes traditionnelles et de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$..	192
4.3.2.1. Etude comparative à l'échelle de la chronique.....	192
4.3.2.2. Etude comparative à l'échelle du jour des prélèvements.....	194
4.3.2.3. Etude comparative à l'échelle de chaque jour de temps sec.....	197
4.3.3. Validité de la méthode du $\delta^{18}\text{O}$ par rapport aux méthodes traditionnelles	205
4.3.4. Conclusion de l'étude comparative sur le bassin versant d'Ecully	207

Partie 3:

Mesurage de l'exfiltration d'effluent en réseaux d'assainissement par traçage artificiel au NaCl

1. Introduction	215
2. La méthode QUEST : Contribution à la finalisation du protocole expérimental	217
2.1. Principe de la méthode QUEST	217
2.2. Choix du traceur	220
2.2.1. Les traceurs chimiques	221
2.2.1.1. Le chlorure de lithium LiCl.....	221
2.2.1.2. Le chlorure de sodium NaCl.....	222
2.2.2. Les traceurs colorés.....	223
2.3. Mise en œuvre d'une mesure d'exfiltration par traçage au NaCl	223
2.3.1. Détermination des biefs de mesure	224
2.3.1.1. Choix du bief de référence.....	224
2.3.1.2. Choix du bief de mesure ou indicateur.....	226
2.3.2. Acquisition de données sur le site étudié	226
2.3.3. L'essai préliminaire.....	227
2.3.3.1. Mise en œuvre de l'essai préliminaire.....	227
2.3.3.2. Conduite des essais préliminaires.....	229
2.3.4. Finalisation du protocole expérimental d'une mesure d'exfiltration	230
2.3.5. Calcul de l'exfiltration	231
2.4. Dispositifs et équipements nécessaires	234
2.4.1. Dispositif d'injection du traceur.....	234
2.4.2. Mesure de la conductivité	236
2.4.3. Produits chimiques et réactifs	238
2.5. Coordination des expérimentations avec les gestionnaires du réseau.....	238
3. Application de la méthode QUEST sur le bassin versant d'Ecully	239
3.1. Mise en œuvre de la méthode QUEST sur le bassin versant d'Ecully.....	239
3.1.1. Détermination des biefs de mesure	239
3.1.2. Acquisition de données sur le site étudié	240
3.1.3. Essai préliminaire du 21/05/2003.....	241
3.1.3.1. Calcul des masses de traceur à injecter.....	241
3.1.3.2. Préparation de la solution.....	241
3.1.3.3. Préparation de l'essai préliminaire.....	242
3.1.3.4. Résultats et interprétation de l'essai préliminaire.....	242

3.2. Les campagnes de mesure de l'exfiltration sur le bassin versant d'Ecully	244
3.2.1. Campagne de mesure du 13/06/2003	244
3.2.1.1. Préparation de la mesure.....	245
3.2.1.2. Résultats de mesure et interprétation.....	245
3.2.1.3. Calcul de l'exfiltration.....	247
3.2.2. Campagne de mesure du 27/06/2003	247
3.2.2.1. Préparation de la mesure.....	248
3.2.2.2. Résultats et interprétation.....	249
3.2.3. Campagne de mesure du 27/07/03	250
3.2.3.1. Préparation de la mesure.....	251
3.2.3.2. Résultats et interprétation.....	252
3.2.3.3. Calcul de l'exfiltration et de l'incertitude associée.....	253
3.2.4. Campagne de mesure du 31/10/03	255
3.2.4.1. Détermination du débit d'eaux usées.....	256
3.2.4.2. Détermination du débit d'exfiltration.....	259
3.2.4.3. Résultats de la campagne de mesure et interprétation.....	260
3.2.5. Campagne de mesure du 28/11/03	262
4. Applicabilité et coût de la méthode QUEST	266
4.1. Facteurs liés au choix du linéaire de tronçon étudié	266
4.2. Facteurs liés à la variabilité des caractéristiques de l'effluent	267
4.3. Coût d'une mesure d'exfiltration	267
5. Conclusion.....	269

Partie 4 :

Utilisation du mesurage de l'infiltration et de l'exfiltration pour le diagnostic permanent et la maintenance des réseaux d'assainissement :

Stratégie de prospection

1. Introduction.....	273
2. Utilisation du mesurage de l'infiltration d'eaux claires parasites	274
2.1. Généralités.....	274
2.2. Champ d'application des méthodes d'estimation d'ECP dans le contexte de l'autosurveillance	278
2.3. Hiérarchisation des apports d'ECP par bassin versant délimité selon le dispositif d'autosurveillance : exemple du réseau d'assainissement du Grand Lyon.	281

2.4.	Proposition d'indicateurs pour le développement d'une stratégie de prospection des ECP dans les réseaux d'assainissement	282
2.4.1.	Indicateurs pour la caractérisation des ECP	283
2.4.2.	Indicateurs de l'impact technique, environnemental et économique des ECP	286
2.4.2.1.	Indicateurs de l'impact technique des ECP	286
2.4.2.2.	Indicateur de l'impact environnemental des ECP	288
2.4.2.3.	Indicateur de l'impact économique des ECP	289
2.4.3.	Indicateur pour une stratégie de prospection des ECP	289
2.5.	Utilisation des indicateurs pour la mise en œuvre d'un programme de prospection des ECP dans les réseaux d'assainissement	293
2.6.	Développement d'une méthodologie de sectorisation rapide des apports d'ECP	294
3.	Utilisation du mesurage de l'exfiltration d'effluents	296
4.	Conclusion.....	298
	Conclusion générale.....	299
	Références bibliographiques.....	305
	Annexes.....	317