



HAL
open science

Participation aux plans généraux d'évacuation des eaux de la ville de Genève et de la ville de Carouge : étude de la poursuite de la mise en séparatif des réseaux d'assainissement

Aude Delena

► To cite this version:

Aude Delena. Participation aux plans généraux d'évacuation des eaux de la ville de Genève et de la ville de Carouge : étude de la poursuite de la mise en séparatif des réseaux d'assainissement. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02485568

HAL Id: dumas-02485568

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02485568>

Submitted on 20 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**PARTICIPATION AUX PLANS GÉNÉRAUX D'ÉVACUATION DES EAUX DE LA
VILLE DE GENÈVE ET DE LA VILLE DE CAROUGE : ÉTUDE DE LA POURSUITE
DE LA MISE EN SÉPARATIF DES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT.**

Novembre 2019

Mémoire de fin d'études
Mastère Spécialisé : Eau potable & Assainissement

Auteur : **Aude DELENA**

Maître de stage : **M. Laurent CHEVASSU**
fondateur de pouvoir chez sd ingénierie genève sa

Enseignant référent : **M. Gilles ISENMANN**
Maître de conférences



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes supérieurs, M. Chevassu, M. Vincent et M. Pedulla pour cette opportunité de stage de fin d'études et leur accueil au sein de l'entreprise. Je les remercie également pour leur confiance dans la perspective de ma poursuite au sein du groupe sd ! Je n'oublie pas tous mes collègues qui font régner la bonne ambiance et réussissent à rester disponibles même lorsqu'ils croulent sous la charge de travail.

Du côté académique, je remercie M. Isenmann qui a accepté de suivre mon projet et a pu répondre à mes sollicitations. Je remercie également M. Dessez pour son implication dans l'encadrement du Mastère Spécialisé ainsi que Mme Faux pour sa disponibilité et toute la gestion administrative accomplie pour le bon déroulement des enseignements. J'aimerais également remercier tous les professeurs de l'ENGEES qui sont intervenus dans le cadre du Mastère Spécialisé, notamment M. Bellefleur dont les enseignements en assainissement ont été mis à profit pour réaliser ce travail ainsi que M. Bardiaux pour ses cours d'hydraulique. Je remercie aussi M. Bauer et Mme Jamin, membres du Jury, qui ont accepté de prendre de leur temps pour lire et évaluer mon travail et assister à ma soutenance. Merci également à mes camarades de promotion, auprès de qui j'ai trouvé une réelle richesse et avec qui j'ai appris les rudiments de la collaboration interculturelle.

J'ai également une pensée pleine de gratitude pour Mme Tsanga, dont les conseils en matière de rédaction et de cheminement de pensée résonnent encore depuis mon précédent stage au sein de l'ENGEES.

Enfin, plus personnellement, je remercie mes proches, tout d'abord ma fille Herrade qui fait ma joie et me donne chaque jour l'opportunité de me surpasser en m'apprenant surtout la patience et la bienveillance. Je pense aussi à Maggie, qui s'occupe de ma fille comme de la sienne et sans qui rien ne serait possible. Je remercie Cheick dont le soutien, au-delà de la distance, m'invite à surmonter tout obstacle. Je remercie également mes parents et mes frères, pour qui mon Amour ne faiblit pas.

Je dédie ce travail à la mémoire de mon aîné, Jean-Christian.
Tu me manques.

*Mon Dieu, je te rends grâce :
Pour le chemin que tu dessines devant moi,
et la force d'avancer pas à pas.
Pour cette inspiration chaque jour,
qui m'ouvre peu à peu à ton Amour.*

Que ta gloire resplendisse !

RÉSUMÉ

En Suisse, l'établissement de Plans Généraux d'Evacuation des Eaux, PGEE, à l'échelle des communes, participe à la bonne gestion du réseau secondaire d'assainissement. Ces PGEE sont réalisés en trois temps avec une première phase de diagnostic, une seconde étape relative au concept d'évacuation des eaux, et enfin une liste des plans d'actions à mettre en œuvre. Ce rapport s'intègre principalement dans la seconde phase de l'élaboration du PGEE de la Ville de Genève, avec la recherche de solutions pour permettre la poursuite de la mise en séparatif d'un secteur situé à cheval sur la commune de Genève et la commune de Carouge dans le cadre d'un mandat de l'entreprise sd ingénierie genève sa. Le contexte fortement urbanisé du secteur concerné met en jeu de nombreuses contraintes et l'expertise nécessaire au choix des propositions formulées a été menée sur deux axes : une analyse à caractère géométrique et l'étude du fonctionnement hydraulique du réseau sur la base d'une modélisation avec le logiciel Mike Urban. L'étude s'attache à répondre aux exigences des normes en vigueur dans le pays et met en application les directives Suisses, notamment la toute nouvelle édition de la directive STORM relative à la gestion des eaux urbaines par temps de pluie, éditée en août 2019. Les éléments abordés dans ce rapport revêtent également d'un caractère académique qui visent à l'appréhension du fonctionnement du logiciel de modélisation et ouvrent le regard sur les alternatives de gestion des eaux pluviales et les perspectives de développement du canton.

Each municipality in Switzerland is responsible of its secondary sewage system. To ensure the right gestion of their network, with a strong knowledge of the infrastructures and a proper operation and maintenance, they are responsible for carrying out General Wastewater and Stormwater Management Plans. Those plans are set up in three stages: the first step is to achieve the diagnosis of the wastewater and stormwater gestion system, the second step relates to the concept of sewage disposal and the last step is to develop action plans. This study integrates mainly the second step of Geneva's management plan, consisting in the research for solutions to develop separate sewerage networks on an area straddling both Geneva city and Carouge city whose realization imputes to sd ingenierie Genève sa. The highly urbanized context of the area involves many constraints and the work carried out to find real solutions was conducted on 2 lines of approach: a geometric analysis and an hydraulic study based on modelization done with Mike Urban. The whole study strives to meet the national standards and implements Swiss guidelines, especially the STORM directive on urban water management published in August 2019. The elements discussed in this report are also of an academic nature, aiming to lighten how Mike Urban software works and showing alternative stormwater gestion system as well as Geneva's development prospects.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Table des tableaux :

Tableau 1 Récapitulatif des outils de gestion intégrée des eaux.....	5
Tableau 2 Géométrie des conduites circulaires et ovoïdes (VAZQUEZ J., 2012).....	9
Tableau 3 Etat Arve à la station la plus proche du secteur d'étude : « école de médecine » (SECOE, 2014).....	18
Tableau 4 Exigences minimales pour les déversoirs d'orage pour la rivière l'Arve selon la directive STORM (NEREE, 2016).....	18
Tableau 5 Evolution des rendements globaux d'élimination de la pollution dans les STEP du canton de Genève. (SIG, 2018).....	20
Tableau 6 Matrice d'évaluation pour le choix du système d'assainissement.....	22
Tableau 7 Récapitulatif du linéaire de canalisation à poser par diamètre, hors secteur Allobroges/Cheval-Blanc	30
Tableau 8 Récapitulatif du linéaire de canalisation à poser par diamètre, secteur Allobroges/Cheval-Blanc	30
Tableau 9 Comparaison multicritère des solutions proposées.	31
Tableau 10 Récapitulatif des données de base.....	34
Tableau 11 Principales caractéristiques des modèles créés pour l'état existant, la solution de base et la variante.	35
Tableau 12 Comparaison des débits entre le modèle du PGEE et le modèle construit.	36
Tableau 13 Liste des événements pluvieux de la série de pluies classé par ordre chronologique.....	38
Tableau 14 Vitesses minimales d'écoulement pour assurer l'autocurage en fonction du diamètre de la conduite.	41
Tableau 15 Largeur minimale de la fouille en fonction du diamètre de la canalisation à poser.....	51
Tableau 16 Largeur minimale de la fouille en fonction de sa profondeur.	51
Tableau 17 Coûts des travaux TTC, hors honoraires d'ingénieurs.....	53
Tableau 18 Estimation du coûts de la réhabilitation des collecteurs en mauvais état.	54

Table des figures :

Figure 1 Méthodologie générale de l'étude.	1
Figure 2 Structure et éléments clés du rapport.....	2
Figure 3 Organigramme de l'autorité cantonale responsable des problématiques liées au cycle de l'eau, dépendante du département du territoire (DT). Mise à jour de la brochure (République et canton de Genève, 2016).	4
Figure 4 Périmètre général de l'étude.	11
Figure 5 Synoptique relatif aux apports d'eaux usées sur le secteur « Grand-Bureau ».....	12
Figure 6 Synoptique relatif aux apports d'eaux pluviales sur le secteur « Grand-Bureau »	12
Figure 7 Délimitation des secteurs étudiés.....	13
Figure 8 Cartographie de l'état des collecteurs sur le territoire de la Ville de Genève du secteur d'étude.....	14
Figure 9 Extrait de la carte d'état général des canalisations établie en 2009 dans le cadre du PGEE de la commune de Carouge.	15
Figure 10 Origine des eaux claires parasites.	16
Figure 11 Mesures des débits de temps sec sur la Ville de Genève.....	16
Figure 12 Mesure des débits de temps sec sur la Ville de Carouge.....	16
Figure 13 Précipitations mensuelles moyennes calculées sur la période 1981 - 2010. Unités en mm. (National Centre for Climate Services, 2018).....	17
Figure 14 Potentiel d'infiltration, extraction du SITG.....	19
Figure 15 Répartition des stations d'épuration du canton de Genève (SIG, 2018).....	20

Figure 16 Types de réseaux d'assainissement.....	21
Figure 17 Eléments qui influencent le choix du système d'assainissement.	22
Figure 18 Mise en évidence des zones en séparatif dormant, des secteurs maintenus en séparatifs et des secteurs pour lesquels la mise en séparatif est détaillée dans ce rapport.....	23
Figure 19 Méthodologie de l'étude géométrique.	24
Figure 20 Situation au niveau du déversoir VG4 : mise en évidence du passage des voies de tram, extraction du SITG.....	25
Figure 21 Schéma d'un siphon dont le fonctionnement est idéal (ASTEE, 2017).	27
Figure 22 Mise en évidence de la situation au pont des Acacias: exutoire d'eaux claires et déversoir, extrait du SITG.....	28
Figure 23 Situation des réseaux divers au pont des Acacias, extrait du SITG.	28
Figure 24 Situation des réseaux divers à l'exutoire du quai du cheval blanc, extrait SITG.	29
Figure 25 Situation géographique de la rue des Ronzades et de la rue du Lièvre, extrait du SITG.....	32
Figure 26 Méthodologie propre à l'étude du fonctionnement hydraulique.	33
Figure 27 Illustration du modèle hydraulique pour la situation initiale.	35
Figure 28 Variation de l'intensité de la pluie du 14.06.1980 mesurée à la station de Chevrier et ajustée pour une période de retour de 10 ans.	37
Figure 29 Intensité des pluies simulées.....	38
Figure 30 Géométrie de la conduite 600/800 de la rue Caroline, renseignée sur Mike Urban dans le cadre de l'élaboration du PGEE.	42
Figure 31 Résultats par temps sec pour la solution de base.....	43
Figure 32 Résultats par temps sec pour la variante.	43
Figure 33 Hauteur d'eau dans les collecteurs de la rue Caroline jusqu'à l'exutoire, solution de BASE, pluie du 13.06.1997.....	44
Figure 34 Hauteur d'eau dans les collecteurs depuis la rue des Noirettes jusqu'à l'exutoire, solution de BASE, pluie du 13.06.1997.....	45
Figure 35 Hauteur d'eau dans les collecteurs de la rue du Grand-Bureau, solution de BASE, pluie du 13.06.1997.....	45
Figure 36 Hauteur d'eau dans les collecteurs de la rue Simon DURAND et Allobroges, solution VARIANTE, pluie du 13.06.1997.....	46
Figure 37 Comparaison de la loi de déversement déterminée initialement en 2007 (en gras et foncé) avec la loi déterminée en 2009 pour un débit de 1 m ³ /s dans le primaire, soit primaire vide.....	47
Figure 38 Comparaison de la loi de déversement déterminée initialement en 2007 (en gras et foncé) avec la loi déterminée en 2009 pour un débit de 8 m ³ /s dans le primaire, soit primaire en charge.....	47
Figure 39 Débit entrant au déversoir VG4 depuis la canalisation d'eaux mélangées ovoïde 1500/2300, état existant, simulation de la pluie T10 de Chevrier.....	48
Figure 40 Débit déversé au VG4, état existant, simulation de la pluie T10 de Chevrier.....	48
Figure 41 Impact de la mise en séparatif sur les volumes rejetés à l'exutoire du pont des Acacias.....	49
Figure 42 Géométries de fouille nécessitant un blindage (GDF SUEZ, 2014).	51
Figure 43 Coupe d'une tranchée pour pose de canalisation, avec et sans blindage. extrait du logiciel COVADIS.	51
Figure 44 Prix de l'eau : grills tarifaire appliquée depuis 2016 (SIG, 2019).....	55
Figure 45 Emprise du PAV (République et canton de Genève, 2015).....	56
Figure 46 Coupe illustrative d'aménagement pour les rues intérieures du quartier. (Fischer montavon + associés ; Atelier Marion Talagrand / Biol conseils / Energys / Citec, 2016).....	57
Figure 47 Coupe d'un jardin de pluie domestique typique. (BRAY B., 2019).....	58
Figure 48 Structure de la toiture végétalisée des hôpitaux universitaires de Genève (ROCHFORD S., 2016)...	59
Figure 49 Coupe de principe pour les revêtements perméables (Ville de Neuchâtel, 2004).....	60
Figure 50 Exemples de revêtements perméables (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010).60	
Figure 51 Signalisation apposée sur les grilles d'égouts, créées par le VSA.....	62

LISTE DES ACRONYMES

ACG : Association des Communes Genevoises

ASTEE : Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement

CERTU : Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports l'Urbanisme et les constructions publiques

CRAE : Cadastre du Réseau d'Assainissement des Eaux

DICH : Indice Diatomique Suisse

DT : Direction Territoriale

EM : Eaux mélangées

EP : Eaux pluviales

EU : Eaux usées

FIA : Fond Intercommunal d'Assainissement

FNDAE : Fond National de Développement des Adductions d'Eau

GRAIE : Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau

IB-CH : Indice Biologique Suisse

LEaux : Loi fédérale sur la protection des eaux

OCEaux : Office Cantonal de l'Eau

OEaux : Ordonnance sur la Protection des Eaux

OFEV : Office Fédéral de l'Environnement

OFROU : Office Fédéral des Routes

PGEE : Plan Général d'Evacuation des Eaux

PREE : Plan Régional d'Evacuation des Eaux

SECOE : Service de l'Ecologie de l'Eau

SIA : Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes

SIG : Services Industriels de Genève *ou* Système d'Information Géographique

SITG : Système d'Information du Territoire à Genève

SMG : Système Modulaire Gradué

SPAGE : Schéma de Protection, d'Aménagement et de Gestion des Eaux

TUR : Taxe Unique de Raccordement

VSA : Association Professionnelle pour l'Eau en Suisse

VSS : Association Suisse des Professionnels de la Route et des Transports

Table des matières

INTRODUCTION	1
I. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE	3
1. ELEMENTS DE CONTEXTE	3
1.1 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS	3
1.2 CONTEXTE ADMINISTRATIF ET REGLEMENTAIRE	4
1.3 ETAT DE L'ART	5
1.3.a La situation en France.....	6
1.3.b Le contexte suisse.....	6
1.3.c La gestion des eaux pluviales.....	7
1.3.d La mise en séparatif des réseaux d'assainissement.....	8
1.3.e La modélisation hydraulique.....	10
2. DONNEES DE BASE	11
2.1 PERIMETRE DE L'ETUDE	11
2.1.a Données générales de la ville de Genève et de la ville de Carouge.....	11
2.1.b Secteurs d'étude et synoptiques généraux.....	12
2.2 DETAILS DES RESEAUX EXISTANTS	14
2.2.a Etat physique des collecteurs.....	14
2.2.b Eaux claires parasites.....	16
2.2.c Débits d'eaux usées.....	16
2.3 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	17
2.3.a Hydrologie : météorologie et cours d'eau.....	17
2.3.b Hydrogéologie et possibilités d'infiltration.....	19
2.3.c Traitement des eaux usées.....	20
II. MISE EN SEPARATIF DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT	21
1. ETUDE PRELIMINAIRE, ETUDE GEOMETRIQUE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS	21
1.1 FONDEMENTS DU CHOIX DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT	21
1.1.a Etude préliminaire – directive STORM.....	21
1.1.b Réseau séparatif dormant et réseau unitaire maintenu.....	23
1.2 ETUDE GEOMETRIQUE ET PRE-DIMENSIONNEMENT	24
1.2.a Méthodologie.....	24
1.2.b Eléments de contraintes.....	25
1.2.c Pré-dimensionnement des collecteurs et des siphons.....	26
1.3 DESCRIPTION DES SOLUTIONS	27
1.3.a Concepts généraux.....	27
1.3.b Comparatif des solutions proposées.....	31
1.3.c Alternatives non retenues.....	32

2.	ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU RESEAU	33
2.1	DESCRIPTION DU MODELE : DONNEES DE BASE ET CONSTRUCTION DU MODELE	33
	2.1.a <i>Données initiales et méthodologie de construction du modèle</i>	33
	2.1.b <i>Données des modèles</i>	35
	2.1.c <i>Calage du modèle hydraulique</i>	36
2.2	PARAMETRES DE SIMULATION	37
	2.2.a <i>Choix et description des pluies</i>	37
	2.2.b <i>Modèle de simulation du ruissellement</i>	39
	2.2.c <i>Modèle d'écoulement dans les réseaux</i>	40
2.3	RESULTATS DES SIMULATIONS	41
	2.3.a <i>Fonctionnement par temps sec</i>	41
	2.3.b <i>Dimensionnement des collecteurs</i>	44
	2.3.c <i>Evaluation de l'impact de la mise en séparatif</i>	47
III.	ETUDE DE FAISABILITE ET PERSPECTIVES D'URBANISATION	50
1.	ETUDE DE FAISABILITE	50
1.1	ETAPES DES TRAVAUX ET ASPECTS TECHNIQUES	50
	1.1.a <i>Réalisation par étapes</i>	50
	1.1.b <i>Aspects techniques</i>	51
	1.1.c <i>Réhabilitation des collecteurs</i>	52
1.2	EXPLOITATION ET ENTRETIEN DU RESEAUX D'ASSAINISSEMENT	52
1.3	ESTIMATION DES COUTS ET FINANCEMENT	53
	1.3.a <i>Coûts des travaux</i>	53
	1.3.b <i>Coût de la réhabilitation</i>	54
	1.3.c <i>Financement des réseaux d'assainissement</i>	54
2.	PERSPECTIVES D'URBANISATION	56
2.1	LE PROJET « PRAILLE ACACIAS VERNETS ».	56
2.2	GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES	58
	2.2.a <i>Les jardins de pluie</i>	58
	2.2.b <i>Les toitures végétalisées</i>	59
	2.2.c <i>Les revêtements perméables</i>	60
2.3	GESTION DURABLE DE L'EAU	61
	CONCLUSION	62
	BIBLIOGRAPHIE	63
	ANNEXES	68

INTRODUCTION

La Ville de Genève et la Ville de Carouge ont mandaté le bureau *sd ingénierie Genève*, membre du groupe *sdplus*, voir encadré, pour étudier la poursuite de la mise en séparatif de leurs réseaux d'assainissement. Cette demande prend place dans les Plans Généraux d'Evacuation des Eaux en phase concept pour la Ville de Genève et en phase de mise en œuvre pour la Ville de Carouge. Ce travail s'inscrit dans la lignée des nombreux travaux de fin d'études réalisés sur la thématique de l'assainissement au sein de l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (BABAKHAYE Y., 2007) (BARJOT G., 2010) (THEODORE C., 2014).

La complexité des systèmes de collecte des eaux usées et les nombreuses incertitudes concernant les conditions futures d'exploitation ainsi que les coûts importants engendrés par la maintenance, la réhabilitation et le développement des réseaux rendent nécessaire l'étude approfondie des alternatives qui répondent aux exigences techniques, environnementales et économiques. La méthodologie générale du projet, voir Figure 1, s'applique en 6 étapes depuis le cadrage général à l'étude de faisabilité en passant par la conceptualisation des solutions et l'étude du fonctionnement hydraulique.

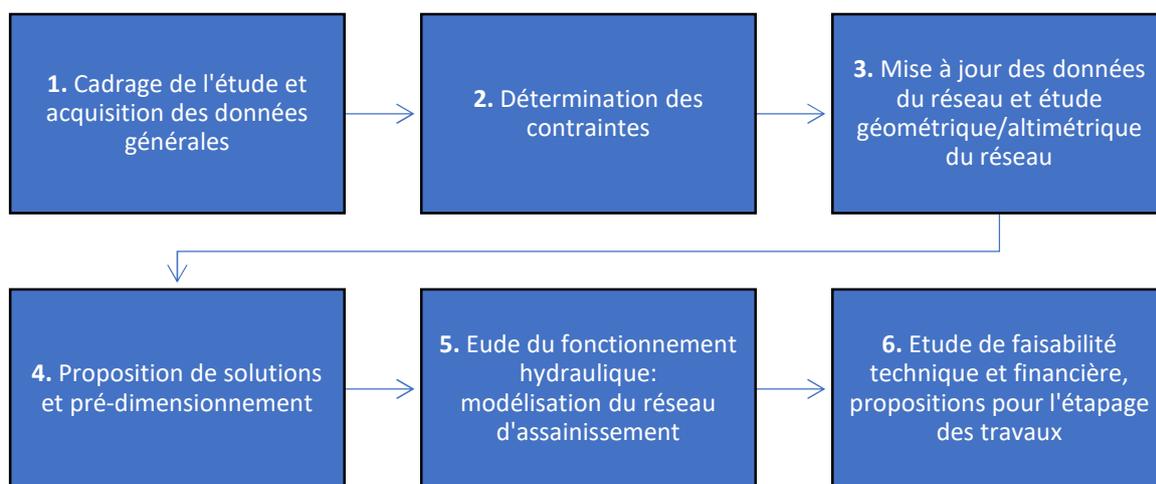


Figure 1 Méthodologie générale de l'étude.

Le groupe Sdplus

Sdplus est un groupe de 5 sociétés réparties sur 11 sites dans toute la Suisse qui intervient dans 9 domaines de compétences depuis 1955 : *aménagement publics, travaux souterrains, structures, protection incendie, eau, planification, environnement, mobilité et transports, développement/SIG*.



La réalisation de ce projet fait appel à plusieurs outils informatiques de cartographie (ArcGIS), de conception de réseaux (AutoCAD-COVADIS) et de modélisation hydraulique (Mike Urban), permettant d'acquérir une maîtrise de la zone d'étude pour apporter des solutions optimales. La prise en main plus ou moins complexe des différents logiciels ne fait pas l'objet de ce présent rapport. Cependant, en raison de l'intérêt pour la compréhension du fonctionnement du modèle hydraulique, un chapitre est dédié à la paramétrisation du logiciel Mike Urban et à la structuration du modèle.

Ce rapport est scindé en trois grandes parties abordant respectivement les éléments de contexte de l'étude, l'étude de la mise en séparatif et l'étude de faisabilité du projet ainsi que les perspectives. Les éléments clés de ce rapport sont illustrés à la Figure 2.

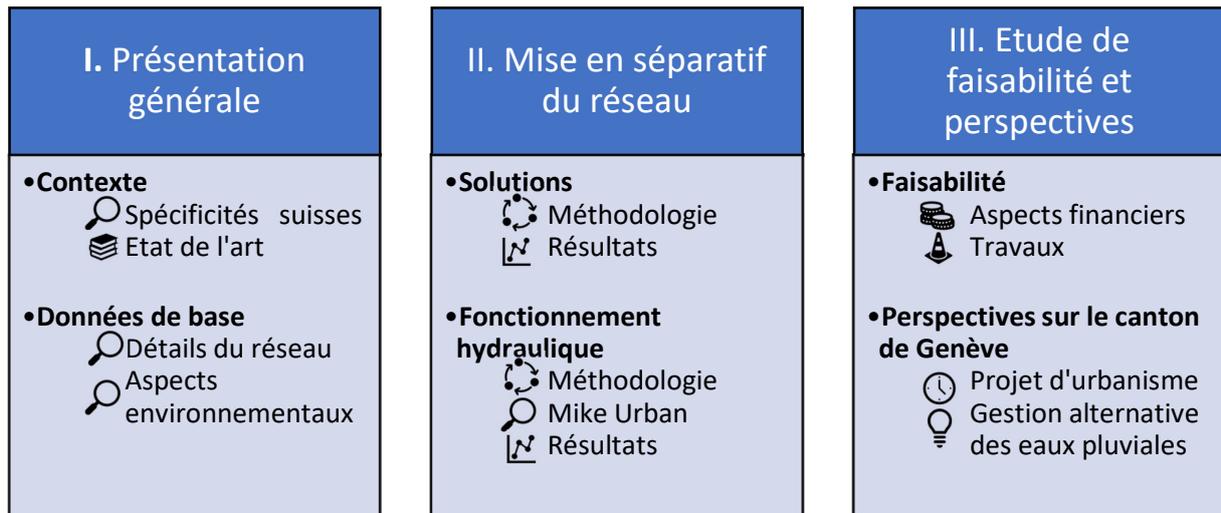


Figure 2 Structure et éléments clés du rapport.

Ce travail s'attache à respecter la réglementation locale dont les spécificités sont explicitées en première partie : pour s'accorder aux normes en vigueur et appréhender le projet dans sa globalité, les données relatives au réseau et aux aspects environnementaux ont été mis en commun. En réponse à la problématique de la poursuite de la mise en séparatif, ce rapport présente en seconde partie, deux solutions qui permettent de valoriser le réseau existant en conciliant toutes les contraintes rencontrées sur le secteur et dont le fonctionnement hydraulique est testé et validé avec la modélisation. La construction de ce rapport poursuit deux objectifs complémentaires constitutifs du travail de fin d'études : répondre aux exigences techniques attendues par l'entreprise pour apporter une solution au mandataire, et intégrer un caractère académique par l'approfondissement d'une thématique, la gestion des eaux pluviales. C'est pourquoi, la dernière partie présente une étude de faisabilité sur la base des aspects financier et des éléments ayant trait au génie civil, puis se conclue par une ouverture sur les perspectives d'urbanisation et la gestion alternative des eaux pluviales.

Ce travail de fin d'étude ne peut prétendre être exhaustif sur les points abordés. Le choix des éléments qui ont été compilés est le fruit de 6 mois de travail ayant impliqué une recherche bibliographique conséquente, une réflexion scientifique méthodique et une application technique qui s'intègrent dans le champ des thématiques abordées au sein du Mastère Spécialisé « Eau Potable et Assainissement » dispensé par l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement.

I. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

Cette première partie s'attache à apporter tous les éléments descriptifs de l'étude sous deux angles d'approche : dans un premier temps, des éléments généraux permettent de définir les contours du projet en explicitant son cadre administratif, réglementaire et scientifique, puis ce sont les données spécifiques qui sont approfondies depuis la délimitation du périmètre jusqu'aux aspects environnementaux.

1. ELEMENTS DE CONTEXTE

Le premier chapitre de ce rapport introduit les éléments contextuels propres à l'étude. Tout d'abord, la problématique et les objectifs sont détaillés, suivis du contexte administratif et réglementaire spécifique à la Suisse. Enfin nous proposons un état de l'art détaillé dont le déroulé se calque sur la méthodologie de cette étude.

1.1 Problématique et objectifs

L'article 7 de la Loi du 24 janvier 1991 sur la protection des Eaux, LEaux, RS 814.20, stipule que les eaux non polluées doivent être évacuées préférentiellement par infiltration, ou, sous autorisation cantonale, par déversement dans une eau superficielle et que les eaux polluées doivent être traitées. La mise en séparatif des réseaux permet de limiter la surcharge des stations d'épuration lors des forts événements pluvieux ([Conseil municipal, Ville de Genève, 29 août 2018](#)) qui implique le rejet d'eau polluée directement dans les cours d'eau : c'est le cas notamment pour la station d'Aire. En 2017, année de faible pluviométrie, plus de 2 millions de m³ d'eau partiellement traitée, soit 2.8% du volume total des eaux usées en entrée de station, ont été rejetés directement dans le Rhône ([SIG, 2018](#)). En concordance avec le Plan Régional d'Evacuation des Eaux (PREE) du bassin Lac-Rhône-Arve et leurs Plans Généraux d'Evacuation des Eaux (PGEE), la ville de Genève et la commune de Carouge souhaitent poursuivre leurs efforts dans la mise en séparatif de leurs réseaux d'assainissement :

- En phase de concept pour finaliser le Plan Général d'Evacuation des Eaux de la ville de Genève
- Avec la réalisation d'une étude de faisabilité pour la commune de Carouge au regard des autres réseaux projetés

Cette étude s'applique à rechercher des solutions concrètes pour mettre en séparatif les réseaux du secteur concerné. Les problématiques abordées dans cette étude se rattachent à plusieurs domaines : l'environnement et l'hydraulique principalement ainsi que le génie-civil et ses aspects financiers. Ainsi, ce rapport répond aux questions liées à l'intérêt de la mise en séparatif et décrit en sus de manière détaillée la méthodologie mise en œuvre. Une étude minutieuse des données disponibles, la recherche d'éléments bibliographiques et la réalisation d'une modélisation hydraulique sur le logiciel Mike-Urban ont permis d'atteindre les objectifs suivants :

- L'identification des contraintes
- L'identification des solutions envisageables
- La classification multicritères de ces solutions
- L'expertise hydraulique des solutions proposées
- La mise en commun et la mise à jour des modèles hydrauliques de la commune de Genève et de Carouge
- L'estimation des coûts
- L'identification des solutions alternatives ou complémentaires

1.2 Contexte administratif et réglementaire

Le cadre administratif et réglementaire Suisse diffère du cadre Français : la Suisse est un Etat fédéral dont les compétences sont réparties entre la Confédération, les cantons et les communes. La responsabilité d'une action publique doit être allouée à la plus petite entité capable de résoudre le problème d'elle-même et bénéficie de l'aide de l'entité supérieure lorsque nécessaire. L'autorité cantonale responsable des problématiques liées à l'eau dispose de 3 services détaillés Figure 3. Les réseaux d'assainissement publics concernés par l'étude appartiennent à la Ville de Genève et à la Ville de Carouge qui ont la responsabilité de réaliser un **Plan Général d'Evacuation des Eaux** décrivant les actions à mettre en place à moyen terme sur 20 ans, à savoir : les travaux de collecteurs à réaliser, y compris la mise en séparatif, les programmes d'entretien et d'exploitation du réseau, les mesures de lutte contre les eaux claires parasites (ECP) (République et canton de Genève, 2019)...

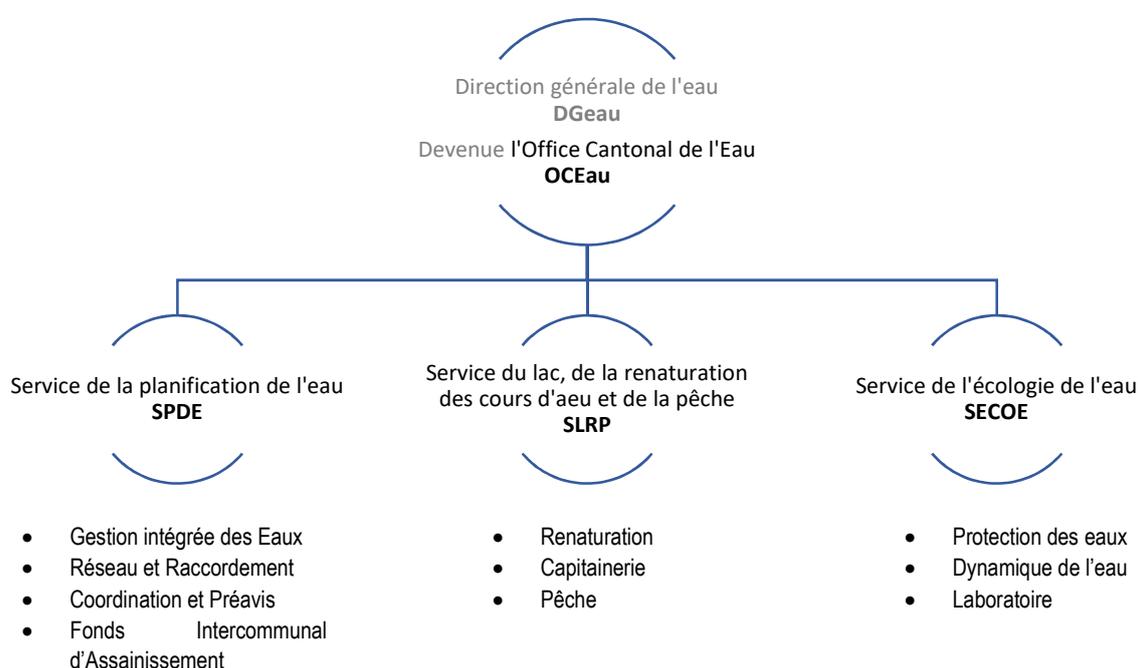


Figure 3 Organigramme de l'autorité cantonale responsable des problématiques liées au cycle de l'eau, dépendante du département du territoire (DT). Mise à jour de la brochure (République et canton de Genève, 2016).

A l'échelle du canton, deux autres outils sont édités pour la gestion intégrée des eaux :

- Les **Plans Régionaux d'Evacuation des Eaux (PREE)** : il permet d'harmoniser les mesures de gestion, d'évacuation et de traitement des eaux usées et pluviales à l'échelle du bassin versant hydrologique. Ce sont les actions fixées dans le PREE qui sont détaillées dans les PGEE communaux, garantissant une cohérence entre les deux niveaux de planification. Le PREE n'est pas obligatoire au sens de la législation fédérale.
- Les **Schémas de Protection, d'Aménagement et de Gestion de Eaux (SPAGE)** : ils regroupent les éléments liés à la gestion intégrée des eaux par grand bassin versant hydrologique sur l'ensemble de ses usages : exploitation des ressources, loisirs, risques, gestion des eaux pluviales et assainissement... Son élaboration se fait en partenariat avec les services de l'Etat, les communes et les associations. Il est approuvé par le Conseil d'Etat après validation par le Conseil du développement durable et prend un caractère obligatoire pour les autorités.

Tableau 1 Récapitulatif des outils de gestion intégrée des eaux.

Responsable	Outil	Contenu	Validité/Récurrance
Communes	PGEE	Traite du réseau secondaire d'assainissement et des cours d'eaux communaux ou privés. S'appuie sur le PREE.	Mise à jour continue
Canton	PREE	Traite du réseau primaire d'assainissement et des cours d'eaux cantonaux. Fixe les contraintes et objectifs globaux. Comprends trois phases : diagnostic, concept régional et plan d'actions à 15/20 ans.	planification à un horizon de 15 à 30 ans
Canton	SPAGE	Diagnostic, objectifs et plan d'actions à l'échelle des grands bassins versants hydrologiques au regard des enjeux de toutes catégories.	Revu tous les 6 ans

Sur le canton de Genève, la majeure partie des communes, hors Ville de Genève, ont délégué l'exploitation des réseaux secondaires d'assainissement aux Services Industriels de Genève, SIG, qui sont en charge, notamment, du réseau primaire et du traitement des eaux usées, mais également de la fourniture d'eau potable, du gaz, de l'électricité, de l'énergie thermique, de la valorisation des déchets, des services énergétiques et de la télécommunication. Les SIG sont une entreprise de droit public autonome dont le capital est réparti entre l'état de Genève, la Ville de Genève et les communes Genevoises. Les installations et les bâtiments du réseau primaire de collecte, de traitement et d'évacuation des eaux usées sont la propriété des SIG.

Du point de vue réglementaire, les normes et directives impliquées par cette étude sont décrites en 1.1.3.b. La principale loi qui encadre le domaine de l'assainissement est la loi fédérale sur la protection des Eau ayant été transcrite dans la législation Genevoise (LEaux-GE) précédemment mentionnée. Cette loi s'applique aux eaux superficielles et souterraines et a pour but de fixer les objectifs de qualité, régler la gestion quantitative des cours d'eau, définir et gérer l'espace nécessaire aux cours d'eau, veiller à l'utilisation parcimonieuse de l'eau, assurer la protection des cours d'eau et gérer les systèmes d'évacuation et de traitement des eaux. Le règlement d'exécution de la loi sur les eaux (REaux-GE) fait suite à la LEaux-GE. En plus de la loi sur la protection des eaux, la loi fédérale sur la pêche LFSP0 923.0 est également à prendre en compte, son article 8 stipule que toute intervention sur les eaux, leur régime ou leur cours, ou encore sur les rives ou le fond des eaux, est soumise à une autorisation de l'autorité cantonale compétente en matière de pêche si elle est de nature à compromettre la pêche.

1.3 Etat de l'art

La résolution de la problématique de cette étude repose sur des textes réglementaires et des pratiques éprouvées. Sans prétendre son exhaustivité, cet état de l'art propose une approche inclusive de la mise en séparatif dans la discipline de l'assainissement et, plus largement, dans le domaine de la gestion des eaux pluviales. Dans un premier temps, nous rappelons les principales références françaises dans la matière avant d'étayer le chapitre 1.1.2. avec un paragraphe abordant les références propres à la Suisse. Nous traitons ensuite les textes relatifs à la mise en séparatif avec plusieurs de ses étapes : l'étude de l'existant et le dimensionnement. Enfin, un paragraphe dédié à la modélisation apporte un éclairage sur l'utilisation du logiciel Mike Urban dans le contexte de l'assainissement urbain.

1.3.a La situation en France

Le caractère indispensable de l'eau pour l'Homme a impliqué la mise en place d'un important cadre réglementaire. En France, la loi sur l'eau de 1964 assied la stratégie de gestion de l'eau. A cette époque, des instructions techniques relatives à l'assainissement urbain voient le jour. En 1991, la Directive « Eaux Résiduaires Urbaines », 91/271/CEE, pose la notion d'agglomération et détermine l'obligation de collecte et de traitement des eaux pour les agglomérations accueillant plus de 2000 habitants. Vient ensuite la loi sur l'Eau de 1992 qui classe notamment la ressource comme patrimoine de la Nation. En 2000 ; la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE, établit la nécessité d'atteindre le bon état écologique, chimique et quantitatif, des masses d'eau. Celle-ci est transposée en 2006 en droit français avec la loi sur l'eau et les milieux aquatiques : la LEMA. Suite au Grenelle de l'environnement, les lois Grenelle I et II, établies en 2009 et 2010, ont notamment posé les bases de la trame verte et bleue, visant à restaurer la continuité écologique des espaces verts et des cours d'eau. Récemment la compétence « Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations », dite GEMAPI, et qui découle des lois de décentralisations (MAPTAM de 2014 et NOTRe de 2015), est confiée depuis 2018 aux intercommunalités, c'est-à-dire métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomération et communautés de communes.

Parmi les guides qui font référence en la matière, la ville et son assainissement publié en 2003 (CERTU, 2003) a pour vocation d'apporter les éléments essentiels à tous les intervenants, notamment les collectivités, dans la conception de l'assainissement. L'instruction technique IT 77-284 a été pendant longtemps une référence quant aux principes généraux de conception, donnant des outils pratiques de dimensionnement. Récemment, le memento technique de l'ASTEE est venu remplacer cette instruction technique, il s'agit également d'un document opérationnel qui répond aux questions pratiques de l'assainissement des eaux usées et pluviales (ASTEE, 2017).

Pour conclure, la littérature française dans le domaine de l'assainissement urbain est très étendue avec une forte participation d'institutions à l'instar des agences de l'eau, du CERTU, du FNDAE, de l'ASTEE ou du GRAIE... (BELLEFLEUR D., 2014)

1.3.b Le contexte suisse

Une première immersion dans le contexte suisse a été proposée au chapitre 1.1.2. En sus des lois et des outils de planifications qui ont été énoncés, des directives et normes d'ordre fédérales ou cantonales, encadrent également la discipline.

DIRECTIVES

La directive sur le traitement des eaux de chaussée des routes nationales de 2013 (OFROU, 2013) classe la pollution des eaux selon le trafic journalier moyen : celles-ci sont moyennement polluées à partir de 5000 véhicules/jour et fortement polluées à partir de 14 000 véhicules par jour. Seule la route des Acacias présente un trafic important s'approchant des 5000 véhicules par jour, le pont des Acacias dépasse quand-à-lui la limite des 14 000 véhicules par jour. Cependant, ces voies jouxtent le secteur d'étude mais sont hors des bassins-versants concernés. La directive IDF 2009 des pluies genevoises fixe les intensités maximales de pluie (courbes intensités-durées-fréquences, IDF) applicables sur le canton de Genève. Tout récemment, la directive cantonale publiée fin août 2019 traitant de l'admissibilité des déversement d'eaux pluviales dans le sous-sol et dans les eaux superficielles édicte les exigences cantonales en matière d'admissibilité de déversement d'eaux pluviales dans le milieu naturel du point de vue qualitatif. La directive STORM « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie », mise à jour en 2019, documente l'état de la technique et les bonnes pratiques suisses dans la matière. Conduite en cinq modules, le module E « Systèmes d'évacuation des eaux » propose une grille d'évaluation visant à définir le choix du système d'évacuation des eaux adapté. Cette approche est appliquée dans le cadre de la présente étude et détaillée en 1.1.1.a. La directive d'exploitation des réseaux publics d'assainissement des réseaux de 2009 précise pour chaque type d'ouvrage le type et la plage d'intervalles recommandées pour le contrôle et l'entretien.

La norme SIA 190:2017 relative aux canalisations demande à ce que les spécificités et conditions locales du projet soient définies au regard :

- Des exigences relatives à la protection des eaux
- Des données géologiques et géotechniques
- Des conditions relatives aux eaux souterraines
- Des influences des eaux usées, des eaux souterraines et du terrain sur les ouvrages des canalisations
- De l'exploitation et de l'entretien
- Des conditions de remous (canalisations, exutoire)
- De l'implantation des conduites souterraines existantes et projetées
- De l'état structurel des canalisations existantes et des raccordements latéraux
- Des constructions et voies de circulation projetées
- Des atteintes temporaires ou permanentes aux biens-fonds
- Des eaux usées présentes ou produites dans la zone du chantier

L'association suisse des professionnels de la route et des transports, VSS, a édité des normes qui encadrent la gestion des eaux de chaussées (routes, ponts et grandes places). Les normes SN 640 traitent notamment des intensités de pluies (SN 640 350), de la détermination des débits (SN 640 353), de l'évacuation des eaux de chaussée, des collecteurs et du drainage (SN 640 357 et SN 640 360), des installations de traitement (SN 640 361)...

D'autres normes encore s'appliquent aux systèmes d'assainissement vis-à-vis de la mise en œuvre, tel que la norme SN EN 1610:1997 sur la mise en œuvre et les essais des branchements et collecteurs d'assainissement, ou la norme SN 509 431 relative à l'évacuation et au traitement des eaux de chantier.

Le contexte climatique est environnemental est richement documenté. Le rapport technique CH2018 relatif aux scénarios climatiques pour la suisse donne un aperçu des probables évolutions du climat sur l'ensemble du pays ([National Centre for Climate Services, 2018](#)). A la même échelle, un rapport de l'Office fédéral de l'environnement, OFEV, publié en 2019, décrit l'état et l'évolution des eaux souterraines ([OFEV, 2019](#)) et un rapport publié en 2016 décrit l'état des cours d'eau ([OFEV, 2016](#)). Le canton de Genève met également à disposition les études et données sur la qualité des cours d'eau genevois ([SECOE, 2011](#); [SECOE, 2014](#); [DGEau, 2014](#); [DGEau, 2018](#)). L'appréciation des cours d'eaux est basée sur une approche multidisciplinaire dite Système Modulaire Gradué, SMG, dont le principe est explicité dans un document publié en 1998 par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, devenu l'OFEV. Les domaines d'investigation sont l'hydrologie, l'écomorphologie, la biologie, la chimie des eaux et l'écotoxicologie, pour lesquels des modules sont publiés distinctement et recensés sur le site de la confédération Suisse et le site dédié au DMG. ([Confédération Suisse, 2014](#); [VSA, 2019](#))

1.3.c La gestion des eaux pluviales

Les enjeux de la gestion des eaux pluviales sont de l'ordre de la protection des biens et des personnes ainsi que de l'environnement. En France, l'approche de gestion des eaux pluviales se fait par 4 niveaux de services : un premier niveau relatif aux faibles pluies dont l'objectif est de prévenir les impacts des rejets sur la qualité de l'eau, un second niveau qui considère les pluies moyennes pour lesquelles l'objectif principal est la maîtrise du ruissellement, un troisième niveau de service relatif aux fortes pluies pour lesquelles il est nécessaire de maîtriser le risque d'inondation, et enfin un dernier niveau de service lié aux pluies exceptionnelles pour lesquelles c'est la protection des personnes qui est la priorité ([DGALN, CEREMA, 2014](#)). La gestion des eaux pluviales en suisse est très axée sur la maîtrise des impacts sur le milieu récepteur. Contrairement à la méthode de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse qui impose des seuils de rejets en terme de volumes, de flux de polluants et de durée de déversement ([Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2016](#)), la directive STORM propose d'évaluer les immissions (qu'est-ce que le milieu naturel peut accepter ?) pour en déduire les valeurs d'émissions admissibles (qu'a-t-on le droit de rejeter ?). Cette approche présente cependant une certaine complexité en raison des incertitudes des processus qui se déroulent dans les eaux, lorsque celles-ci sont déjà pollués par exemple, et également en raison de la limitation des ressources scientifiques relatives notamment aux micropolluants ([VSA, 2019](#); [ROSSI L., 2004](#)).

La directive cantonale traitant de l'admissibilité des déversements d'eaux pluviales dans le sous-sol et dans les eaux superficielles simplifie l'approche en classant les cours d'eau selon deux classes : sensibles ou non sensibles et en déterminant trois classe de pollution selon le type de surface sujet au ruissellement. Selon la classe du cours d'eau et la classe de pollution, un traitement doit être mis en place ou non (OCEau, 2019).

L'estimation des débits d'eau qui ruissèle peut être réalisé avec plusieurs méthodes dont les plus répandues : la méthode superficielle dite de Caquot et la méthode rationnelle. C'est cette dernière que nous utilisons pour réaliser une première estimation des débits donnés dans les synoptiques donnés en 1.2.1.b et en annexe 4.. Cette méthode est simple à mettre en œuvre, l'équation qui permet de déterminer le débit à évacuer pour un bassin-versant est la suivante :

$$Q = \frac{1}{360} * C_r * A * I$$

Avec **Q**: Débits estimé en m³/s

C_r: Coefficient de ruissellement

A : Superficie du bassin-versant en ha

I : Intensité de la pluie considérée en mm/h

La pluie de projet pour le pré-dimensionnement des collecteurs a un temps de retour fixé à 10 ans, son intensité est de 108 mm/h pour une durée de 10 minutes. Elle est sélectionnée d'après la directive IDF 2009 des pluies Genevoises.

Les infrastructures de gestion des eaux pluviales sont en évolution et le tout à l'égout voit sa fin arriver : l'utilisation des techniques alternatives se développe et l'enjeu aujourd'hui est d'optimiser un système de réseaux, stations d'épuration et ouvrages de gestion des eaux pluviales dont la valeur patrimoniale est trop importante pour être abandonné. Il s'agit maintenant d'adapter la ville elle-même pour que ses impacts sur le fonctionnement des milieux naturels soient minimisés (CHOCAT B., 2008; BOULOGNE E., 2015). L'infiltration étant le mode de gestion privilégié en Suisse, le choix des aménagements et de leur emplacement pose question (OFEFP, 2000). La gestion des eaux pluviales à la parcelle fait appel à des techniques alternatives à l'instar des toitures végétalisées qui ont fait l'objets d'études sur le canton de Genève (ROCHEFORT S., 2016). La littérature apporte également un éclairage sur les facteurs qui motivent l'adoption de techniques alternatives et les moyens mobilisés pour leur mise en œuvre (CHOULI E., 2006). Des retours d'expérience sur les ouvrages de gestion des eaux à la parcelle sont aussi accessibles (GUILLON A., 2008).

1.3.d La mise en séparatif des réseaux d'assainissement

Le processus de mise en séparatif fait appel à plusieurs étapes successives tout d'abord d'analyse de l'existant, de prise de connaissance des contraintes, de dimensionnement et de vérification du fonctionnement hydraulique.

L'analyse de l'existant repose sur la mise en commun des données du secteur d'études. En suisse, la connaissance des réseaux d'assainissement est assurée par la réalisation des PREE et PGEE. Les rapports ayant été réalisés sont disponibles sur le site du canton de Genève. Parallèlement, le Cadastre du Réseaux d'Assainissement des Eaux, CRAE, est régulièrement mis à jour et mis à disposition sur le Système d'Information du Territoire à Genève, SITG. Ces éléments permettent de mettre en évidence les contraintes qui guident les solutions de mise en séparatif.

Le dimensionnement des ouvrages et collecteurs est abordé à de multiples reprises dans la littérature française et internationale (HAGER W. H., 1999; BOILLAT J-L., 2013; DUFRESNE M., 2014; ASTEE, 2017). Dans le contexte de l'étude, c'est la norme SIA 190:2017 qui prévaut. Celle-ci recommande de calculer les pertes de charges linéaires avec la formule de Prandtl-Colebrook-White donnant la capacité hydraulique Q en m³/s d'après la formule citée à la page suivante.

$$Q = -2 \sqrt{8g} \sqrt{RJ_e} \cdot \log \left[\frac{k_b}{14,8R} + \frac{2,51\nu}{4R \sqrt{8g} \sqrt{RJ_e}} \right] A$$

Avec :

ν	Vitesse moyenne d'écoulement en m/s
A	Surface mouillée en m ²
g	Accélération gravitaire en m/s ²
R	Rayon hydraulique en m
J_e	Pente de frottement (perte de charge par unité de longueur)
k_b	Rugosité opérationnelle en m
ν	Viscosité cinématique en m ² /s
K_S	Coefficient de rugosité de Strickler en m ^{1/3} /s

Le taux de remplissage maximal admissible considéré est de 85% et les dimensions des canalisations circulaires et ovoïdes sont calculées d'après le

La norme 190:2017 préconise un diamètre minimum de 300 mm pour les conduites unitaires et de 250 mm pour les conduites en système séparatif. De même, le REaux-GE, article 22, impose un diamètre minimum de 250 mm pour les canalisations « d'eaux polluées » et d'au minimum 300 mm pour les canalisations « d'eaux non polluées ».

Tableau 2 Géométrie des conduites circulaires et ovoïdes (VAZQUEZ J., 2012)

	Surface	Périmètre	Rayon hydraulique
CIRCULAIRE $y = \frac{h}{D}$	$\frac{S}{D^2} = \frac{4}{3} y^{\frac{3}{2}} \left(1 - \frac{y}{4} - \frac{4y^2}{25} \right)$ $y \leq 0.95$; erreur 1%	$\frac{P}{D} = \arccos(1 - 2y)$	$\frac{Rh}{D} = 0.40y^{0.80}$ $0.05 \leq y \leq 0.85$; erreur 10%
OVOÏDE $y = \frac{h}{T}$ T : hauteur, B : largeur	$r = \frac{B}{2}$; $T = 3r$ $\frac{S}{r^2} = 6.25y^{\frac{3}{2}} (1 - 0.15y - 0.10y^4)$ $y \leq 0.95$; erreur 2%	$\frac{P}{T} = 0.693 (\arccos(1 - 2y))^{\frac{5}{4}}$ $0.05 \leq y \leq 0.9$; erreur 3%	$\frac{Rh}{T} = 0.29y^{\frac{3}{4}}$ $y \leq 0.85$; erreur 9%

En accord avec l'établissement du PGEE de la Ville de Genève, la pluie de dimensionnement n'est pas fixée d'après la directive IDF 2009 mais choisie parmi une sélection de pluies décrite aux chapitre II.2.2.a. Le temps de retour de la pluie de projet est de 12.7 ans. Le pré-dimensionnement des collecteurs d'eaux usées considère un débit de projet à 0.015 l/s/EH, donnée transmise par l'OCEau. Cette valeur comprends pour moitié le débit de pointe d'eaux usées et pour moitié d'eaux claires parasites.

Trois rapports hydrauliques dans le cadre de demandes d'autorisations de construire sont archivés au sein de l'entreprise : concernant un tronçon de l'avenue de la Praille (IDTech, 2017), l'amont de la rue Caroline (IDTech, 2017) la rue de Lancy (IDTech, 2017). L'étude du concept d'évacuation des eaux du bassin versant Allobroges – Cheval-Blanc a également été transmis (NEREE, 2014).

1.3.e La modélisation hydraulique

La modélisation hydraulique intervient dans beaucoup de domaines qui s'inscrivent dans le cycle de l'eau : estimation de crues et d'inondations (ARCHAMBEAU P., 2006), analyse du ruissellement (ABILY M., 2015), suivi de la qualité de l'eau et transport de polluants (ST-GELAIS K., 2019; MOURAD M., 2005), réseaux d'eau potable, d'assainissement (BARJOT G., 2010; ZAIEM J., 2012; THEODORE C., 2014) ... Parmi les nombreux modèles disponibles pour répondre aux problématiques d'assainissement (CANOE, HYDROWORKS, EPA SWMM...), c'est le logiciel Mike Urban avec le modèle de calcul MOUSE qui fait l'objet de ce travail. Mike Urban présente l'avantage de proposer une interface intégrée sous SIG, Système d'Information Géographique, permettant la gestion SIG des données. Les utilisations du SIG dans le cycle de l'eau domestique sont nombreuses, particulièrement en assainissement : dans sa mise en place, son suivi ainsi que l'évaluation du risques d'inondations par exemple (DELENA A., 2016).

Dans cette étude, la modélisation hydraulique est mise à profit dans le dimensionnement des collecteurs et dans la vérification du bon fonctionnement des solutions proposées. Elle est également utilisée pour étudier l'impact de cette mise en séparatif sur la diminution des déversements. Pour tout objectif, le recours à une modélisation suit deux grandes étapes : la construction et la paramétrisation du modèle ainsi que le calage préalable à la validation du modèle.

La construction et la paramétrisation du modèle Mike Urban est décrite dans les manuels transmis par le groupe DHI et disponible sur internet (DHI).

La calage permet de déterminer les paramètres du modèles pour que les résultats soient au plus proche de la réalité. Les paramètres qui doivent être calés sont notamment le débit caractéristique d'eaux usées, c'est-à-dire le débit correspondant à un équivalent habitant, ou les paramètres des bassins-versants comme la part des surfaces qui participent au ruissellement. Le calage se fait habituellement en deux étapes :

- Un **calage quantitatif** basé sur la comparaison des débits et des volumes simulés à partir de mesures réalisées soit sur une période continue soit pour une pluie donnée.
- Un **calage qualitatif** basé sur des retours d'expériences par exemple sur les zones qui subissent des inondations.

Plusieurs méthodologies permettent d'estimer les écarts entre les résultats simulés et les observations. Le critère de Nash et Sutcliffe (1970) est couramment employé en hydrologie comme fonction objectif : il est basé sur la somme des erreurs quadratiques normalisé par la variance des débits observés et indique des résultats d'autant meilleurs qu'il se rapproche de 1 :

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{calc,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

Avec Q_{obs} : Débits observés
 Q_{calc} : Débits simulés

Ces étapes de calage ne sont pas indispensables dans le cadre de cette étude. En effet, la création du modèle, détaillée dans le chapitre II.2.1., a impliqué la fusion de deux modèles ayant préalablement validé ces étapes de calage.

2. DONNEES DE BASE

Ce chapitre détaille les données de base sur lesquelles s'appuie l'étude. Le périmètre géographique de l'étude est présenté ainsi que les différents secteurs. Une attention particulière est portée sur les réseaux et sur les aspects environnementaux.

2.1 Périmètre de l'étude

2.1.a Données générales de la ville de Genève et de la ville de Carouge

Un investissement de 40 à 50 milliards de francs suisses ont permis de passer d'un taux de raccordement d'à peine 14% en 1965 à plus de 97% en 2005. Ce sont près de 800 stations d'épuration et de 40 à 50 000 km de canalisations publiques qui constituent aujourd'hui l'infrastructure d'assainissement suisse (OFEV, 2018).

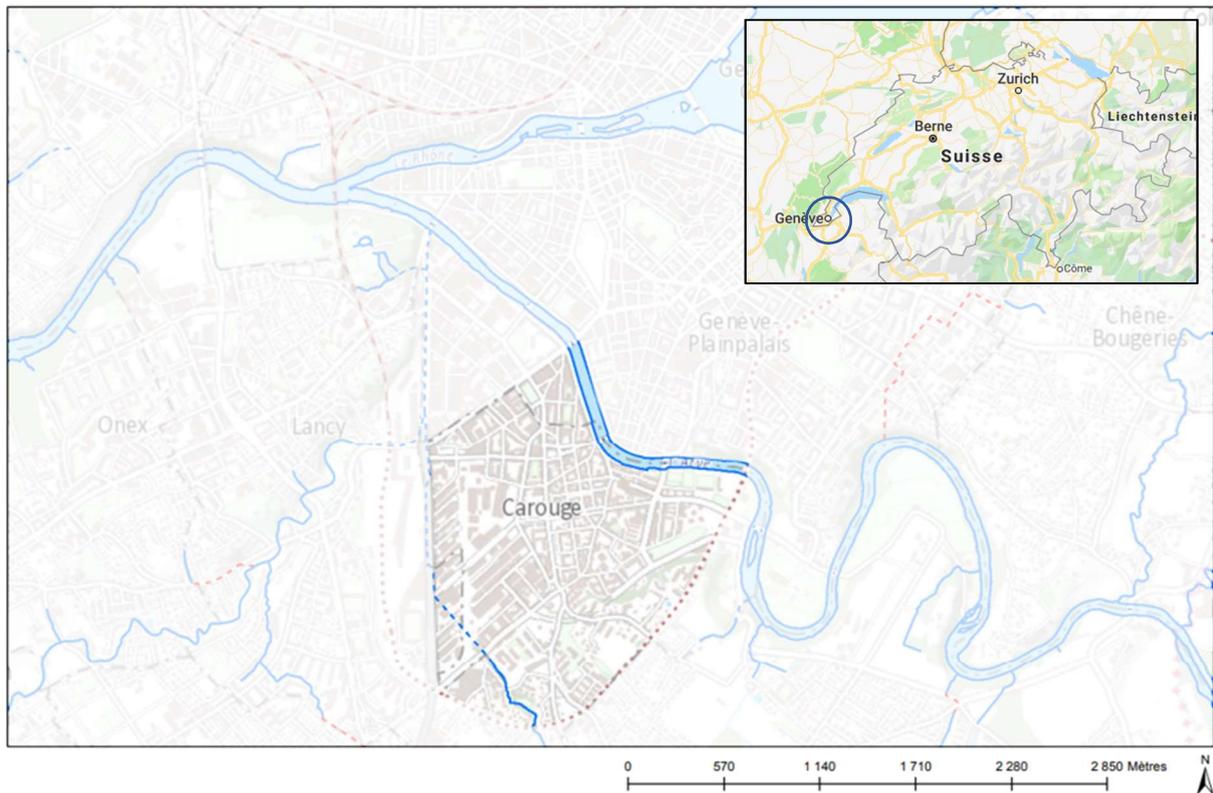


Figure 4 Périmètre général de l'étude.

Le secteur d'étude est mis en évidence à la Figure 4. Sur l'ensemble de la ville de Genève, le réseau d'assainissement est composé d'environ 260 km de collecteurs d'eaux usées et pluviales et d'une cinquantaine d'ouvrages spéciaux (stations de pompage, déversoirs... Le réseau d'assainissement de la commune de Carouge cumule un linéaire total de 45.4 km pour environ 1100 chambres ; 47% des canalisations sont dédiées aux eaux pluviales, 31% aux eaux usées et 22% aux eaux mélangées. La majeure partie des collecteurs sont réalisés en béton, soit 64%, et les 34% restant sont en polychlorure de vinyle. La commune est équipée de 5 déversoirs d'orage pour évacuer les eaux dans l'Arve et 8 chambres équipées de seuils permettent une répartition des débits. Le périmètre d'étude concerne la commune de Carouge dans sa globalité ainsi qu'un secteur restreint du territoire de la Ville de Genève situé à la pointe nord du périmètre de l'étude. La commune de Carouge est bordée à l'ouest par une rivière ayant été en partie enterrée, la Drize, au sud par le Nant de la Guinguette et à l'est par l'Arve qui représente le principal exutoire.

2.1.b Secteurs d'étude et synoptiques généraux

Les données du cadastre du réseaux d'assainissement des eaux indiquent le découpage des bassin-versants, leur surface et les équivalents habitants qui y sont rattachés, le réseau d'assainissement et l'emplacement des chambres. Ces données ont permis de délimiter, pour chaque secteur d'intérêt, les bassins versants qui participent à l'écoulement dans le réseau. 4 secteurs sont concernés par cette étude dont seuls les trois premiers sont détaillés dans le présent rapport :

- Le secteur « **Grand-Bureau** », pour lequel le concept de mise en séparatif doit être réalisé, il s'agit du cœur de l'étude présentant de nombreuses complexités qui seront détaillées en seconde partie.
- Le secteur « **Caroline** »
- Le secteur « **Cheval-Blanc, Allobroges** », pour lequel une étude de mise en séparatif a déjà été réalisée préalablement
- Le secteur « **Grosselin** » dont le concept de mise en séparatif doit être validé, ce dernier secteur ne sera pas abordé.

Une vue générale des secteurs mentionnés est présentée à la Figure 7 . Une schématisation des apports aux chambres principales est donnée Figure 5 et Figure 6 pour les eaux usées et pluviales du secteur Grand-Bureau. Les synoptiques relatifs aux secteurs « Caroline » et « Cheval-Blanc, Allobroges » sont donnés en annexe 4. Les estimations des débits et des diamètres pour le réseaux d'eaux pluviales suivent la méthodologie abordée dans l'état de l'art. Les cartes des bassins-versants qui drainent des eaux usées et ceux qui drainent des eaux pluviales ainsi que les bassins-versants assainis en unitaire sont donnés de l'annexe 1.A. à 3.B. pour les secteurs « Grand-Bureau », « Caroline », et « Cheval-Blanc, Allobroges ».

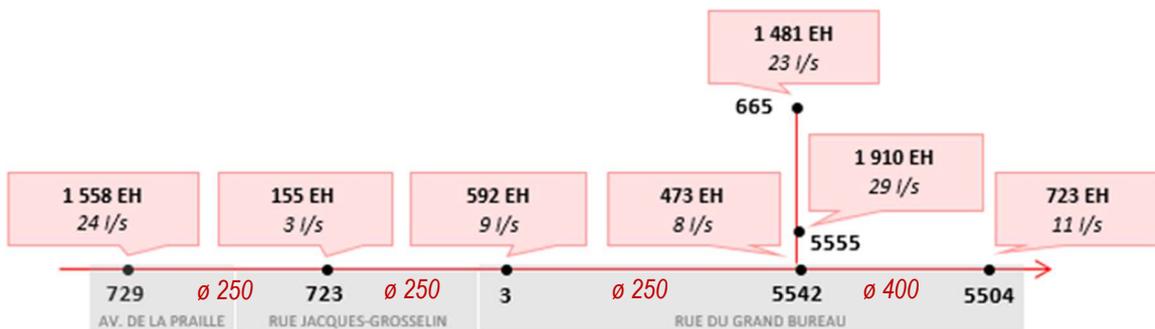


Figure 5 Synoptique relatif aux apports d'eaux usées sur le secteur « Grand-Bureau »

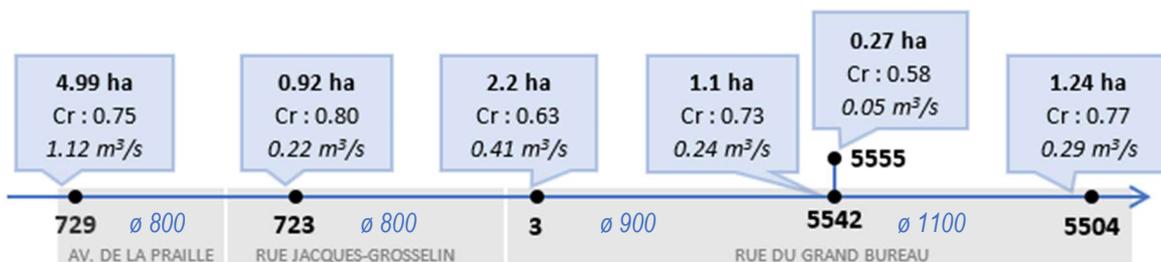


Figure 6 Synoptique relatif aux apports d'eaux pluviales sur le secteur « Grand-Bureau »

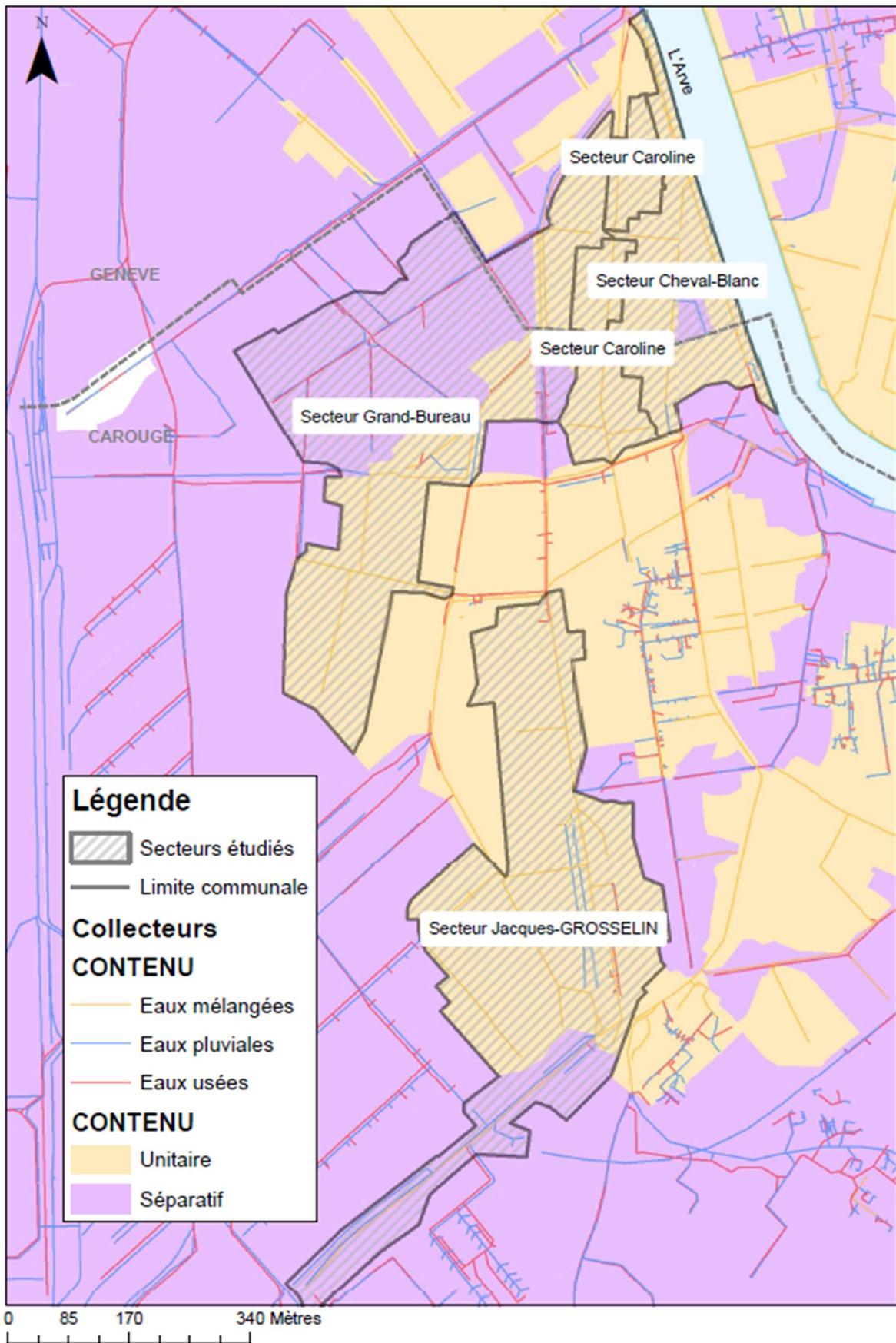


Figure 7 Délimitation des secteurs étudiés.

L'état du collecteur est déduit du défaut le plus important repéré sur le tronçon : même si l'état général du collecteur est bon, s'il présente ponctuellement un défaut grave de niveau 0, le tronçon sera classé au niveau 0. Une opération ponctuelle peut donc potentiellement permettre de revenir à un niveau 3, voir 4. Le détail des défauts repérés sur chaque tronçon est donné en annexe 5

Tous les collecteurs unitaires sur la zone d'étude du secteur de la Ville de Genève présentent des défauts d'une gravité non négligeable. 198 ml de canalisations au niveau de la rue des Noirettes et de la rue des Allobroges sont classés en noir en raison d'une importante corrosion, de fissures et d'un très mauvais état, voire d'une destruction, du radier. 830 m l sont classés en rouge en raison principalement de corrosion et de fissures, de la présence de racines et de dépôts importants. Enfin, 1686 m l de collecteurs sont classés en brun et présentent des défauts de type corrosion légère, présence de dépôts ou de racines isolées.

- **Commune de Carouge**

L'état des collecteurs a été analysé en 2009 dans le cadre du PGEE de la commune de Carouge. A cette époque, environ 3% du réseau nécessitait une action immédiate sur des collecteurs en béton, un peu moins de 8% nécessitait une intervention en urgence dans les 1 à 2 ans, le reste du réseau nécessitait pour moitié une intervention à moyen terme et pour autre moitié une intervention à long terme. Les défauts les plus graves se trouvaient sur les collecteurs unitaires caractérisés par une forte corrosion mettant à mal leur étanchéité. Bien que nous ne disposions pas de l'état actuel des collecteurs, nous savons que des travaux ont été effectués sur les

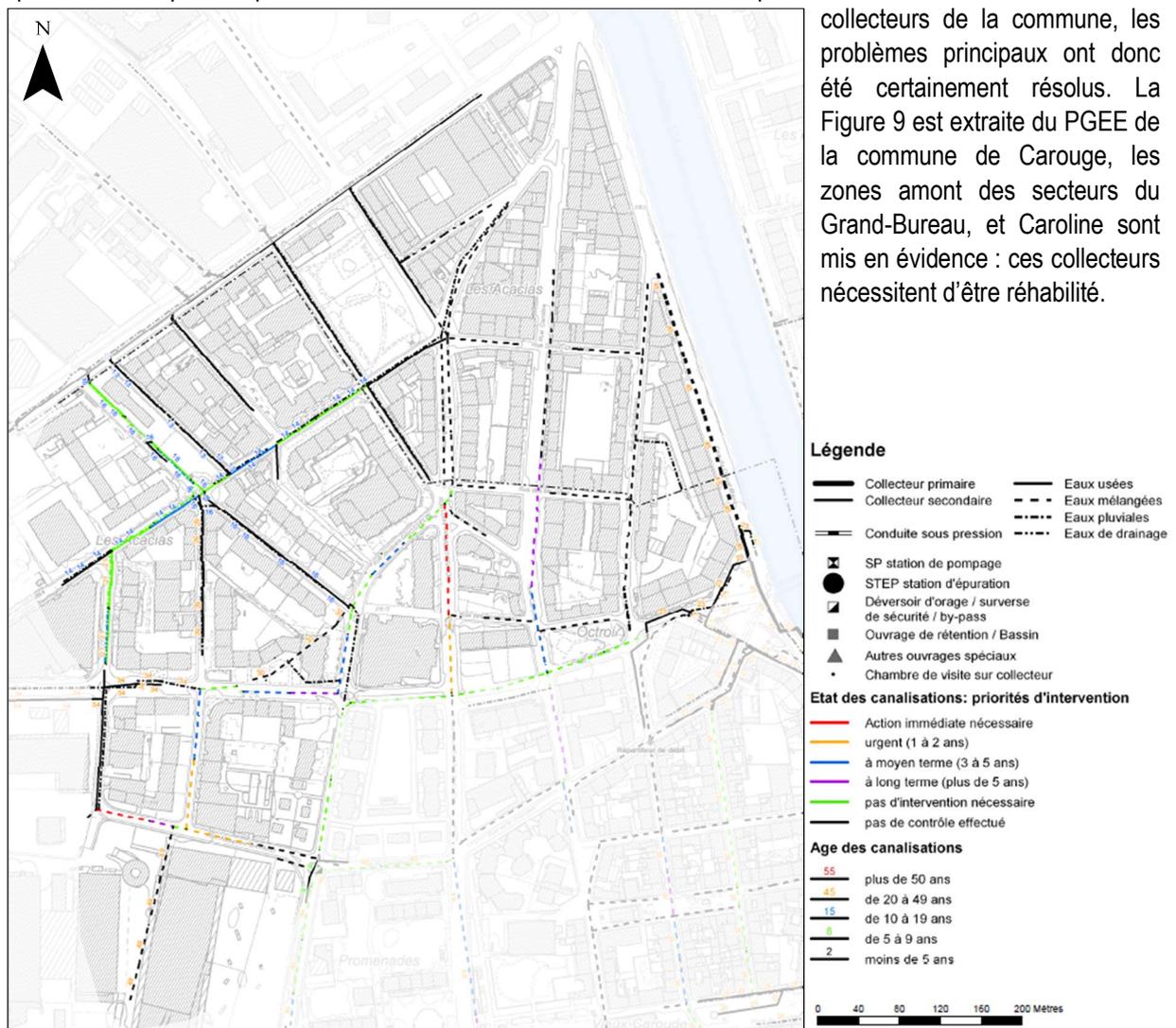


Figure 9 Extrait de la carte d'état général des canalisations établie en 2009 dans le cadre du PGEE de la commune de Carouge.

2.2.b Eaux claires parasites

Les eaux claires parasites (ECP) correspondent à des apports indésirables d'eau qui ne sont ni des eaux usées, ni des eaux pluviales, au sein des collecteurs, voir Figure 10. L'importance de réduire la présence d'ECP découle de leurs impacts sur les réseaux, le fonctionnement des STEP et le milieu naturel notamment :

- L'usure des collecteurs, détérioration des matériaux de remblai sous l'action des eaux d'infiltration
- La diminution de l'efficacité des stations d'épuration
- L'augmentation des coûts d'exploitation (augmentation des débits traités en STEP et des débits pompés)
- L'accroissement des charges polluantes rejetées en cause de l'augmentation de la fréquence des déversements

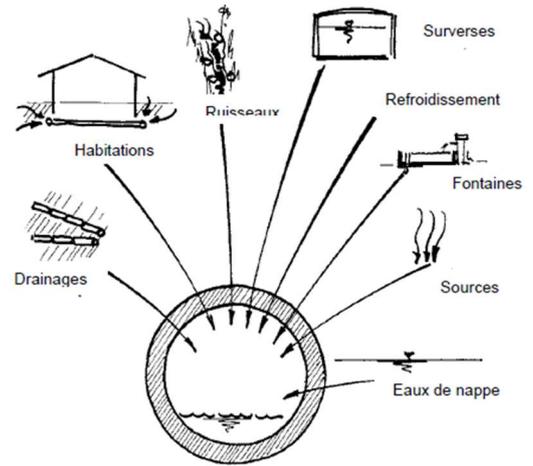


Figure 10 Origine des eaux claires parasites.

Les ECP sont déterminés à partir des débits nocturnes qui transitent dans le réseau : une part correspond aux débits minimums issus des rejets domestiques et industriels qui peut être obtenue par calcul théorique, la seconde part est assimilée aux ECP. D'après le rapport d'état sur les Eaux Claires Parasites issues du PGEE de la Ville de Genève, dont les résultats proviennent de trois campagnes de mesures en avril 2007 ; février et juillet 2008, les ECP sont négligeables sur le périmètre concerné par cette étude. Le taux d'ECP déterminé s'élève malgré tout à près de 22%.

Concernant la commune de Carouge, le rapport d'état sur les Eaux Claires Parasites issu du PGEE a été réalisé sur la base de deux campagnes de mesures menées en février 2006 pour la période sèche et en mai 2006 pour la période humide ainsi que des mesures continues d'avril à septembre 2006. La quantité d'ECP est significativement plus élevée en période humide, elle est corrélée avec les périodes de hauts niveaux de la nappe. Les secteurs assainis en système unitaire amènent beaucoup d'ECP : la mise en séparatif permettra d'améliorer cette situation. Finalement les études réalisées ont permis de déterminer un débit d'ECP spécifique par habitant pour la commune de Carouge, plus élevé que celui des communes adjacentes, s'élevant à 120 l/j/EH.

Globalement, les eaux claires parasites représentent près de 30% des eaux amenées à la STEP d'Aire.

2.2.c Débits d'eaux usées

Les données renseignées dans les PGEE respectifs pour chacune des communes apportent des renseignements différents sur les débits d'eaux usées. Concernant la Ville de Genève, le débit spécifique par EH est estimé à 233 l/j et les mesures ont mis en évidence une variation journalière des débits rejetés typique des grandes villes avec un premier pic dans la matinée et un second en soirée, voir Figure 11. Les mesures de la Ville de Carouge ont également mis en évidence des variations journalières similaires, voir Figure 12 et le débit spécifique est estimé à 200 l/j/EH.

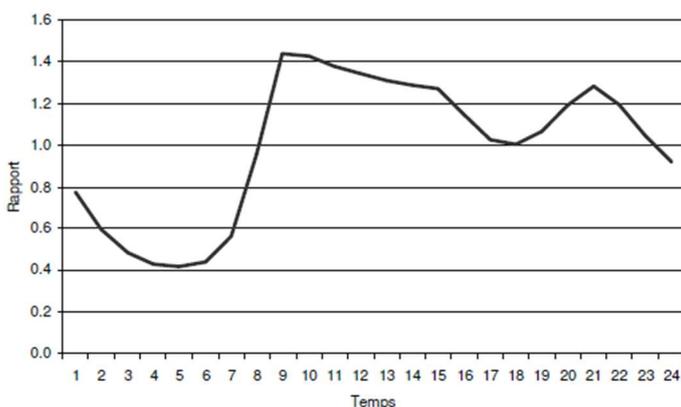


Figure 11 Mesures des débits de temps sec sur la Ville de Genève

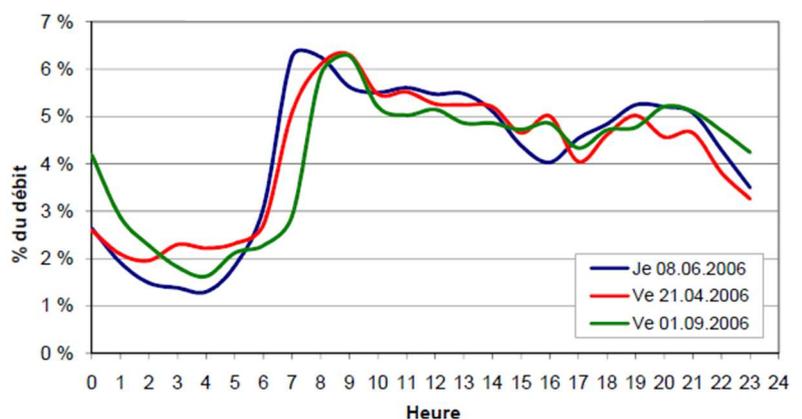


Figure 12 Mesure des débits de temps sec sur la Ville de Carouge

2.3 Aspects environnementaux

La norme SIA 190:2107 stipule que les spécificités et conditions locales du projet doivent être étudiées au regard des aspects environnementaux. Nous présentons ici les données relatives à l'hydrologie et l'hydrogéologie et abordons également le traitement des eaux usées.

2.3.a Hydrologie : météorologie et cours d'eau

La Suisse rencontre une grande variabilité spatiale des précipitations en raison de la topographie Alpine complexe. Son climat est également influencé par l'Atlantique bien que le pays soit enclavé, avec un courant frais en été et doux en hiver (Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2018). La région concernée par cette étude est située dans le Plateau ouest, WP pour *Western Plateau*, pour lequel les variations cycliques annuelles sont peu marquées, et qui présentent une pluviométrie annuelle moyenne de 1110 mm, voir Figure 13. Les événements extrêmes sont généralement associés à des orages dont la fréquence d'apparitions est plus importante en été.

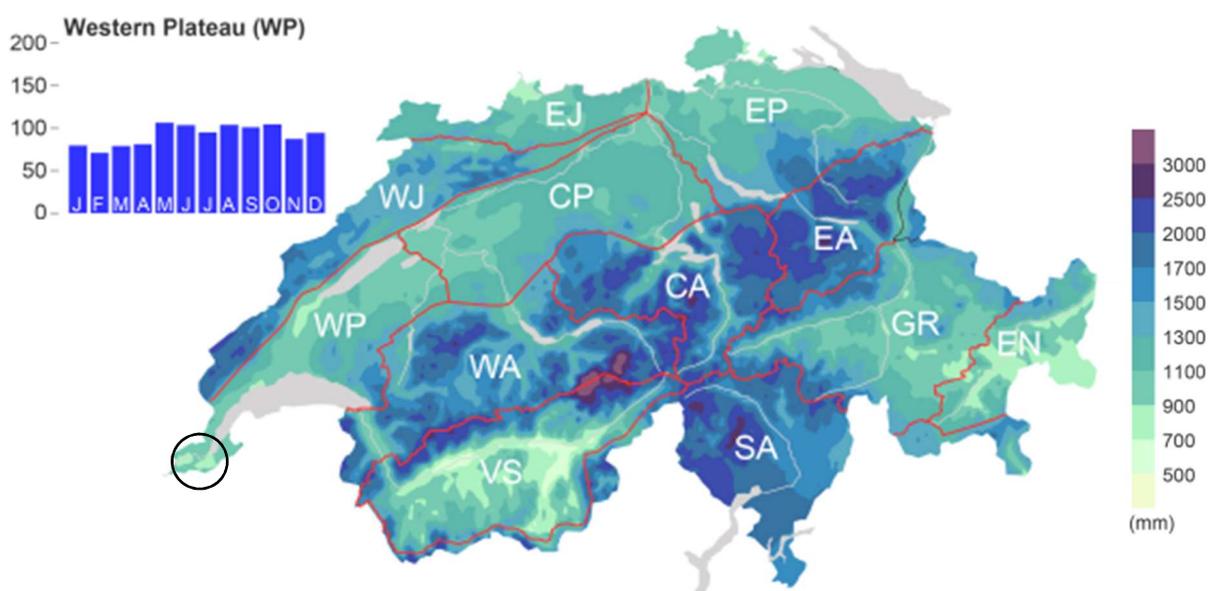


Figure 13 Précipitations mensuelles moyennes calculées sur la période 1981 - 2010. Unités en mm.
(National Centre for Climate Services, 2018)

L'Arve est un affluent du Rhône qui draine les eaux des massifs du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges. Son bassin versant dépasse les 2000 km² dont 95% se trouvent sur le territoire français avec 6% de la superficie couverte par les glaciers : son régime est tond nival avec une influence glaciaire. Les débits maximaux sont observés entre mai et juillet et les débits minimaux sont observés de novembre à février. Son module interannuel calculé sur la période de 1975 à 2014 est de 77 m³/s (DGEau, 2016). La directive cantonale traitant de l'admissibilité des déversements d'eaux pluviales dans le sous-sol et dans les eaux superficielles classe l'Arve dans les grands cours d'eau sensibles. Les résultats du monitoring des rivières sont publiés sur le site du canton, pour l'Arve les derniers résultats sont datés de 2014 : la rivière présentait alors des indices diatomiques satisfaisants (DI-CH) et d'excellents indices biologiques relatifs à la macrofaune benthique (IBCH ou IBG).

Les indicateurs physico-chimique démontrent un impact anthropique du bassin-versant amont avec notamment la présence de produits pharmaceutiques, les pesticides n'impactent pas ce cours d'eau, voir Tableau 3 (SECOE, 2014). Dans l'ensemble la qualité du cours d'eau s'est améliorée notamment grâce au programme « Arve Pure 2012 » qui s'est prolongé en « Arve Pure 2018 » mené en France pour réduire la pollution du cours d'eau afin de répondre aux exigences de la DCE. Des actions à long termes sont également en cours sur la Ville de Genève pour revitaliser le cours d'eau en revalorisant la structure du fond du lit et des berges.

Tableau 3 Etat Arve à la station la plus proche du secteur d'étude : « école de médecine » (SECOE, 2014)

Paramètres						Remarques	
IBG						Substrats artificiels – nbr EPT en mars, ensuite plus rares. Belle diversité : 39 taxons	
DI-CH						Bon lors des deux campagnes – 36% espèces pionnières en septembre	
E.coli						Médiocre	
COD	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Psol		Moyen	
Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Très bon	
Pesticides		Pharmaceutiques		Soins Personnels		Benzotriazoles (caféine)	

Une évaluation a été réalisée dans le cadre de l'établissement des PGEE notamment de la Ville de Genève en adéquation avec la directive STORM afin de déterminer les exigences minimales pour les déversoirs d'orage. Cette évaluation du type « immission » considère la capacité de la rivière à recevoir les rejets d'eaux mélangées en fonction de son débit d'étiage, Q_{347}^1 , de sa largeur moyenne et de sa vitesse d'écoulement. Les exigences minimales pour l'Arve sont données dans le Tableau 4.

Tableau 4 Exigences minimales pour les déversoirs d'orage pour la rivière l'Arve selon la directive STORM (NEREE, 2016)

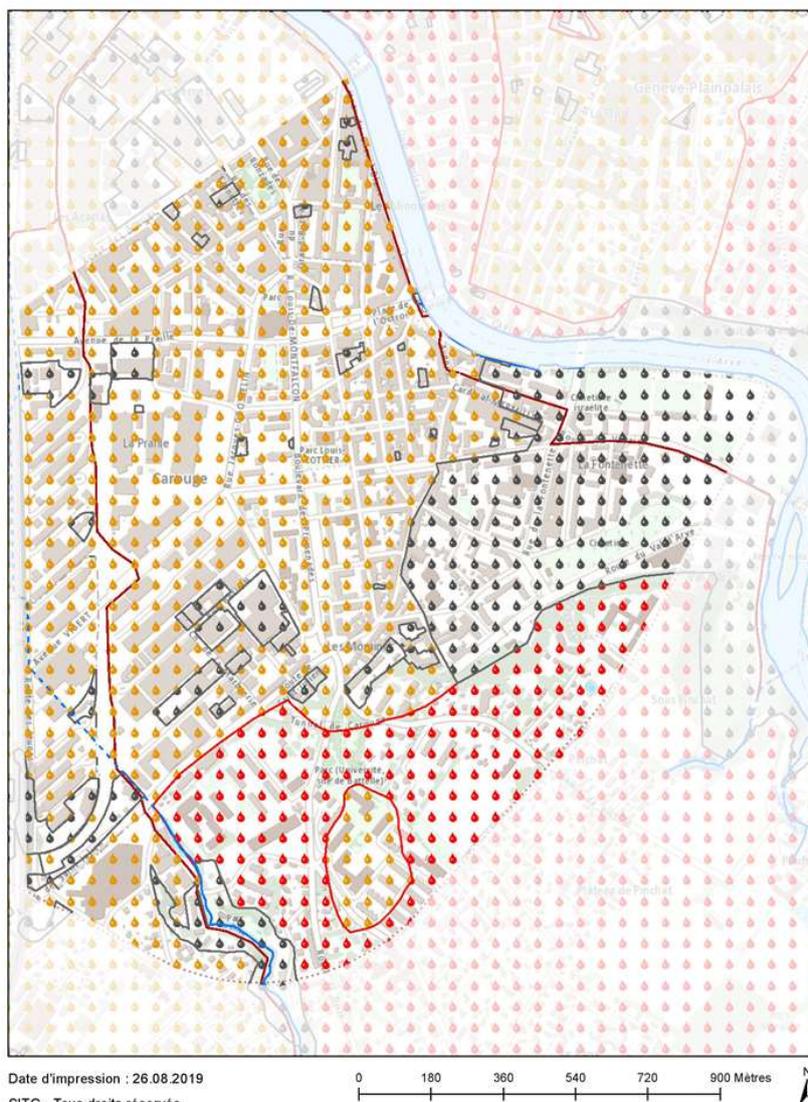
Cours d'eau	Q_{347} m^3/s	Valeurs de rejet tolérées par année		
		Durée $h/année$	Volume spécifique $m^3/a \cdot hared$	Nombre $n/année$
Arve <i>Gros cours d'eau</i>	21	<9	<800	<30

L'Arve dispose de zones d'expansion des crues afin de réduire la vulnérabilité des zone habitée contre les dangers liées aux crues. Le secteur PAV, détaillé en III.2.1. et situé en partie en zone ouest de la commune de Carouge, est considéré comme une zone à risque en raison de son important développement impliquant une densification des activités et du logement. Le secteur est protégé pour une crue centennale, cependant, un événement exceptionnel, une défaillance au niveau des galeries de dérivation de la Drize ou des embâcles à l'amont des tronçons enterrés pourraient entraîner des inondations.

¹ Le débit Q_{347} est défini comme le débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année, dont la moyenne est calculée sur une période de dix ans et qui n'est pas influencé sensiblement par des retenues, des prélèvements ou des apports d'eau. (Service hydrologique et géologique national, 1999)

2.3.b Hydrogéologie et possibilités d'infiltration

Deux nappes d'eaux souterraines se croisent sur le périmètre de l'étude. Au nord, la nappe superficielle de Carouge-La Praille est un aquifère de faible épaisseur, entre 1 et 3m, contenu dans les alluvions de terrasse de l'Arve, de l'Aire et de la Drize. Cette nappe est présente entre 2 et 8m de profondeur et elle est couverte par des terrains peu perméables, elle n'est pas exploitée pour l'alimentation en eau potable ni pour des besoins industriels. Au sud, cette nappe se superpose à la nappe profonde du Genevois, elles sont séparées par une formation très imperméable. La nappe du Genevois est transfrontalière, elle s'étend sur 19 km pour une zone saturée de 10 à 50m d'épaisseur ; le niveau moyen de l'eau est détecté entre 15 et 80m de profondeur. Cette nappe assure environ 20% de l'approvisionnement en eau potable du canton, elle est alimentée par infiltration directe des eaux de surfaces et par l'infiltration à travers le lit de l'Arve. Une station de réalimentation artificielle de la nappe a été construite pour pallier à sa surexploitation dans les années 60 et 70. Cette nappe est strictement protégée (République et canton de Genève, 2014). Le canton de Genève classe les mesures de précautions et la nécessité de mettre en place des aménagements pour limiter les risques de pollution des eaux superficielles et souterraines en trois secteurs selon le contexte géographique, géologique et hydrogéologique : les **secteurs AO** pour les eaux superficielles, limités aux rives du Lac Léman et à certaines zones dont le biotope est d'importance nationale ; le **secteur Au** relatif aux aquifères de roches meubles qui sont le siège de nappes d'eaux exploitables, et le **secteur B** qui indique des zones menacées protégées tout de même par une épaisseur suffisante de couche morainique. Seul le sud de la commune de Carouge présente des secteurs classifiés B et Au. C'est zones sont au-delà du périmètre stricte d'intervention.

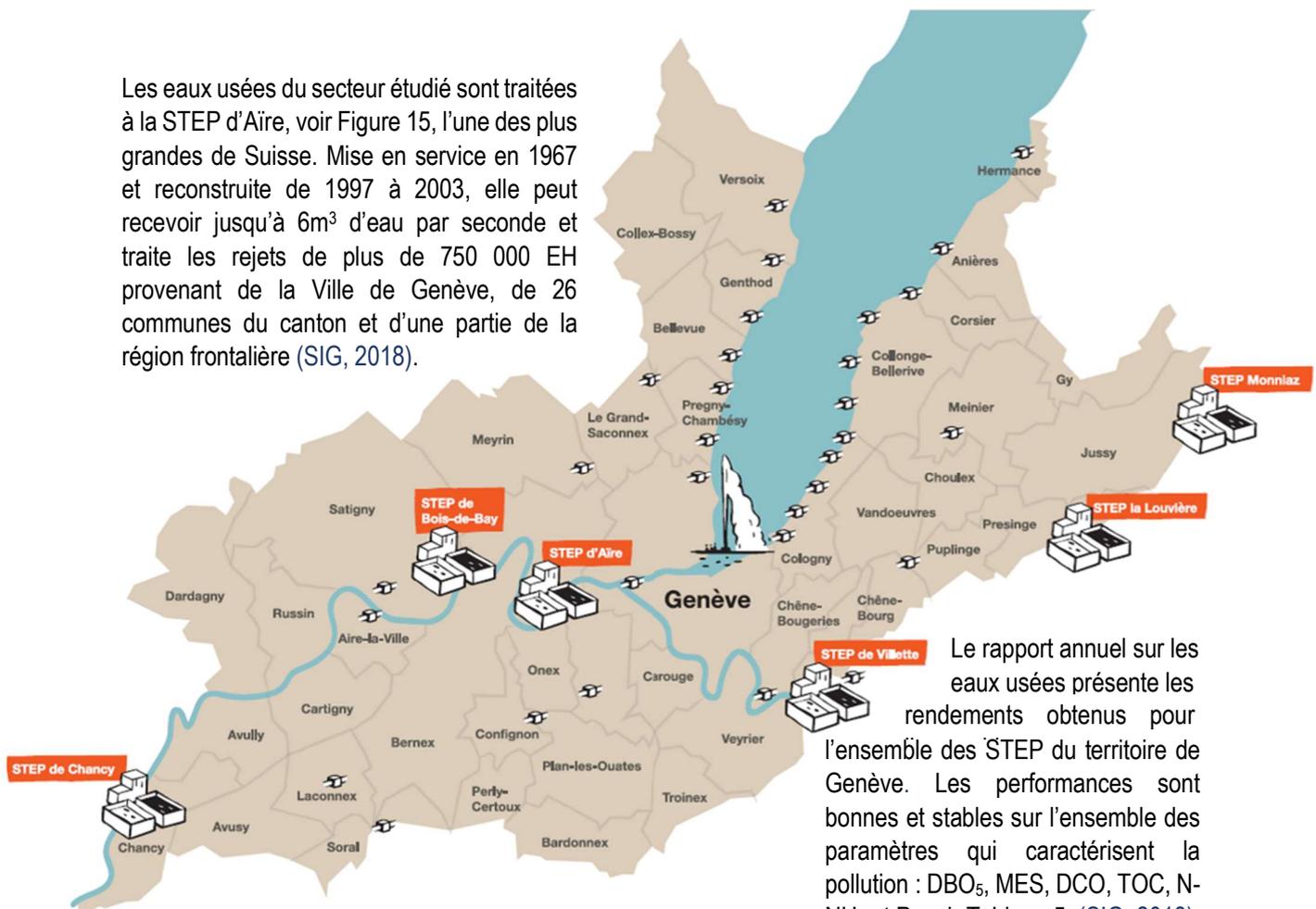


La Loi du 24 janvier 1991 sur la protection des Eaux impose la nécessité de vérifier les éventuelles possibilités d'infiltration dans le but de réduire les débits transités au sein du réseau. La base de données du SITG décrit le potentiel d'infiltration selon une échelle à trois niveaux de mauvais à bon. Lorsqu'aucun niveau ne peut être donné, les possibilités sont à déterminer au cas par cas : c'est le cas majoritaire sur le secteur d'étude, excepté pour quelques parcelles sur lesquelles les possibilités d'infiltration sont mauvaises voir non admises, voir Figure 14.

Figure 14 Potentiel d'infiltration, extraction du SITG.

2.3.c Traitement des eaux usées

Les eaux usées du secteur étudié sont traitées à la STEP d'Aire, voir Figure 15, l'une des plus grandes de Suisse. Mise en service en 1967 et reconstruite de 1997 à 2003, elle peut recevoir jusqu'à 6m³ d'eau par seconde et traite les rejets de plus de 750 000 EH provenant de la Ville de Genève, de 26 communes du canton et d'une partie de la région frontalière (SIG, 2018).



Le rapport annuel sur les eaux usées présente les rendements obtenus pour l'ensemble des STEP du territoire de Genève. Les performances sont bonnes et stables sur l'ensemble des paramètres qui caractérisent la pollution : DBO₅, MES, DCO, TOC, N-NH₄ et P, voir Tableau 5. (SIG, 2018).

Figure 15 Répartition des stations d'épuration du canton de Genève (SIG, 2018).

Tableau 5 Evolution des rendements globaux d'élimination de la pollution dans les STEP du canton de Genève. (SIG, 2018)

(en %)	2013	2014	2015	2016	2017
DBO₅ Demande biochimique en oxygène	88	91	93	95	96
MES Matières en suspension	89	93	92	94	94
DCO Demande chimique en oxygène	85	86	88	91	91
TOC Carbone organique	83	85	85	88	92
N-NH₄ Azote ammoniacal	68	71	86	90	88
P_{tot} Phosphore total	77	74	73	76	76

La CIPEL, Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman, réalise également chaque année un contrôle des stations d'épuration. En 2017, 213 STEP étaient en service sur le territoire couvert par la CIPEL, incluant la STEP d'Aire. Les préoccupations actuelles portent sur le traitement des micropolluants. Pour augmenter l'efficacité des stations d'épuration dans cette optique, le Parlement a approuvé en 2014 une modification de la loi sur la protection des eaux pour ouvrir un financement avec la mise en place, en 2016 et limitée à 2040, de la perception de la taxe nationale sur les eaux usées dans le but de doter certaines STEP d'une étape de traitement supplémentaire : ainsi les cantons ont obligation de déclarer à l'OFEV le nombre d'habitants raccordé à chaque STEP (OFEV, 2018). Dans ce contexte, la STEP d'Aire fait l'objet d'un projet d'extension prévu sur 7 ans pour un budget de 115 millions de CHF, qui la surclassera au rang de la plus grande station de Suisse (BG, 2019).

II. MISE EN SEPARATIF DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT

Cette seconde partie constitue le cœur de cette étude. Un premier chapitre apporte une réflexion sur la mise en séparatif, pose les éléments ayant guidé la conceptualisation des solutions et décrit ces solutions. Le second chapitre relate l'étude du fonctionnement hydraulique du réseau à travers la description du modèle, des paramètres de simulation, et des résultats obtenus.

1. ETUDE PRELIMINAIRE, ETUDE GEOMETRIQUE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS

Ce chapitre amène à la conceptualisation des solutions possibles pour mettre en séparatif les secteurs concernés par l'étude. Une première réflexion permet de comprendre et de justifier le choix de ce système d'assainissement au regard de la directive STORM et d'après l'analyse des réseaux amont.

1.1 Fondements du choix du système d'assainissement

1.1.a Etude préliminaire – directive STORM.

La VSA décrit 3 configurations pour le réseau d'assainissement ; voir Figure 16: les réseaux unitaires, les réseaux séparatifs et les réseaux modifiés. Dans tous les cas, les eaux pluviales non polluées sont prioritairement infiltrées.

- Les **réseaux unitaires** drainent les eaux usées et les eaux pluviales, qu'elles soient polluées ou non, dans une même canalisation jusqu'à la station d'épuration protégée éventuellement par des systèmes de déversement et éventuellement de rétention.
- Les **réseaux séparatifs** drainent les eaux pluviales polluées ou non dans une conduite spécifique jusqu'au milieu naturel. Les eaux pluviales polluées bénéficient d'un traitement et les eaux pluviales qui font l'objet d'un événement ponctuel de pollution importante, ou risque d'avarie, sont acheminées dans le réseau d'eaux usées
- Les **réseaux modifiés** drainent les eaux usées et les eaux pluviales polluées dans la canalisation d'eaux usées et les eaux pluviales non polluées sont acheminées au milieu naturel dans une conduite spécifique.

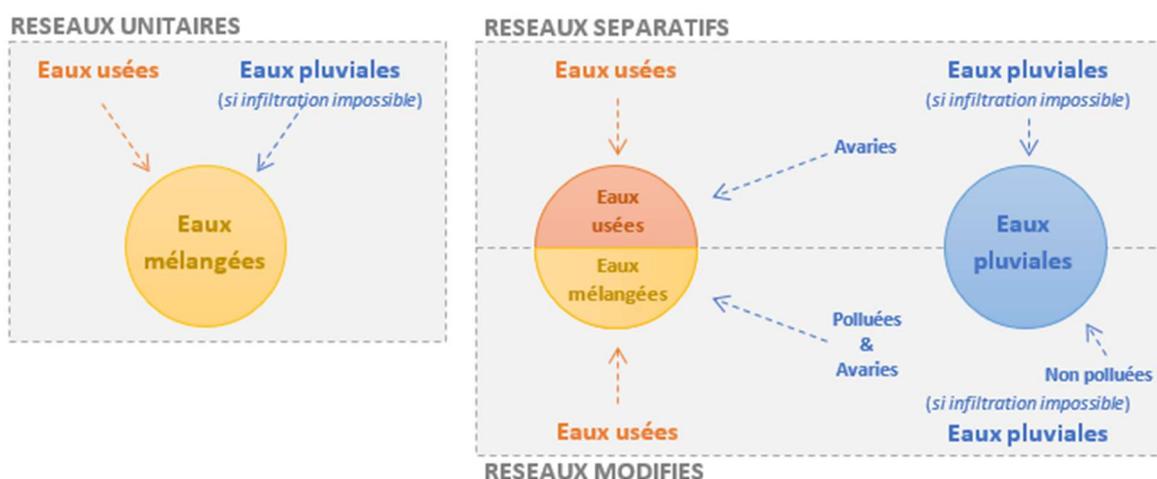


Figure 16 Types de réseaux d'assainissement.

La nouvelle directive du VSA propose une matrice d'évaluation pour aider au choix du type de réseaux entre unitaire et séparatif. Les critères pour le choix d'un des deux systèmes se basent sur des éléments plus ou moins influençables dont certains exemples sont donnés Figure 17.

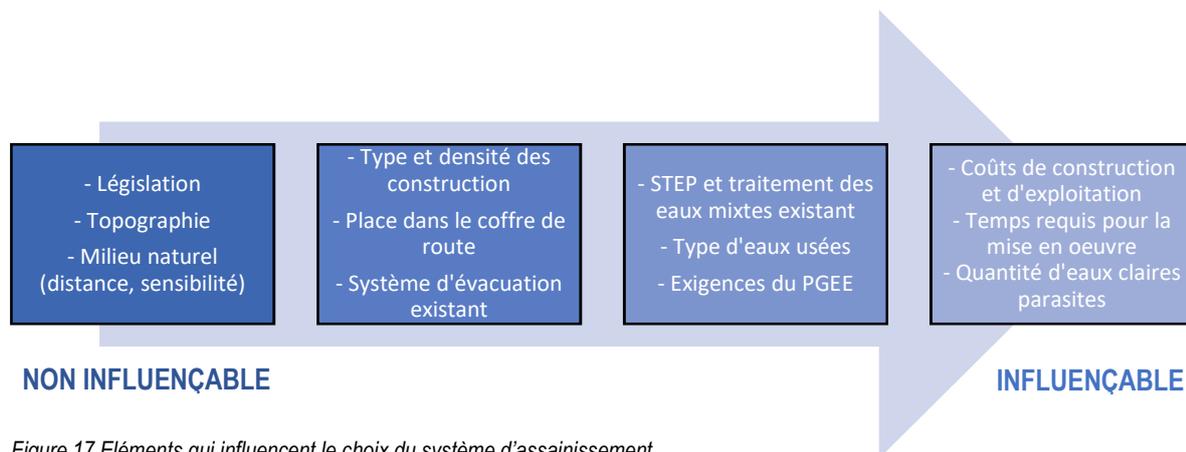


Figure 17 Eléments qui influencent le choix du système d'assainissement.

9 critères selon les propriétés du réseau sont retenus et pondérés. La matrice d'évaluation et les résultats sont donnés dans le Tableau 6. Selon le nombre de points, une tendance à l'un des types de réseaux peut être mise en évidence : ici, l'évaluation montre une nette tendance au système séparatif. Les critères retenus sont les suivants :

- La topographie est de nature plate avec de faibles pentes, il en découle une faible pente des collecteurs, généralement inférieure à 1.5%
- Le milieu récepteur est proche, il s'agit de l'Arve en limite est de la zone d'étude
- Le milieu est fortement urbanisé et présente donc une haute densité de constructions
- Bien que le coffre de route soit sollicité, la place disponible est suffisante pour accueillir un système séparatif
- Une grande partie du système d'évacuation existant est en séparatif
- Il existe des infrastructures de gestion des eaux mixtes (déversoirs d'orage...)
- La station d'épuration dispose d'une grande réserve hydraulique
- La quantité d'eaux claires parasites sur la commune de Carouge est importante, tout particulièrement lors des périodes de hauts niveaux de la nappe : elle est en moyenne de 7l/s sur l'année et atteint jusqu'à 17 l/s (soit environ 200l/jour/hab). Cependant, la quantité d'ECP est inférieure à 30%.
- La quantité d'eaux pluviales nécessitant un traitement est faible car les eaux pluviales sont considérées comme non polluées excepté pour la route des Acacias qui présente un fort trafic routier.

Tableau 6 Matrice d'évaluation pour le choix du système d'assainissement.

CRITERE	PROPRIETES		POIDS
	1 pt	2 pt	
Topographie	Plat, pente faible ou contre-pente	Pente suffisante	1
Situation des eaux réceptrices	Proche du BV	Assez éloignées du BV	3
Densité des constructions	Faible densité	Haute densité	2
Place dans le coffre de route	Amplement suffisant	Peu de place	1
Infrastructures existantes			
Système d'évacuation	Séparatif	Unitaire	3
Gestion des eaux mixtes	Inexistant	Existant	3
STEP	Faible réserve hydraulique	Grande réserve hydraulique	1
Type d'eaux usées			
Eaux claires parasites	beaucoup >50%	peu <30%	2
Eaux pluviales nécessitant un traitement	pourcentage faible	grand pourcentage	2

TOTAL :	≤ 32 : tendance au séparatif ≥ 40 : tendance à l'unitaire	26
----------------	---	-----------

1.1.b Réseau séparatif dormant et réseau unitaire maintenu.

La mise en séparatif des réseaux d'assainissement est un processus progressif qui dépend notamment des nécessités de travaux, liées par exemple à l'état des collecteurs, ainsi que des opportunités de travaux, par exemple lors de réfection de voiries .

Alors que certaines zones peuvent être déjà en séparatif, le caractère se perd à l'aval du système où le réseau est raccordé sur les eaux mélangées : ces zones sont dites en « séparatif dormant ». Un critère important incitant à la poursuite de la mise en séparatif est donc la valorisation de ces quartiers. Sur la commune de Carouge, plusieurs secteurs à l'amont du réseau sont en séparatif dormant, voir Figure 18. La mise en séparatif du secteur d'étude ne permettra pas immédiatement d'activer le caractère séparatif de ces zones : le centre de Carouge actuellement en réseau unitaire nécessite également d'être mis en séparatif. Le secteur « Grosselin » qui n'est pas détaillé dans ce rapport, est comprise dans ce secteur.

La mise en séparatif n'est pas planifiée sur la totalité des secteurs : le concept d'évacuation des eaux du PGEE sur la commune de Carouge préconise de conserver le système unitaire du quartier du Vieux Carouge, mis en évidence sur la Figure 18 en orange, qui restera, à termes, le seul quartier en système unitaire. Plusieurs raisons justifient ce choix : en premier lieu les coûts des travaux de séparation des eaux dans ce quartiers se montrent très élevés en sus de la difficulté à mettre en œuvre une séparation intégrale en raison de l'âge et de la configuration du bâti. Cependant, les opportunités pour dévier les eaux mélangées hors des eaux usées seront prises en considération.

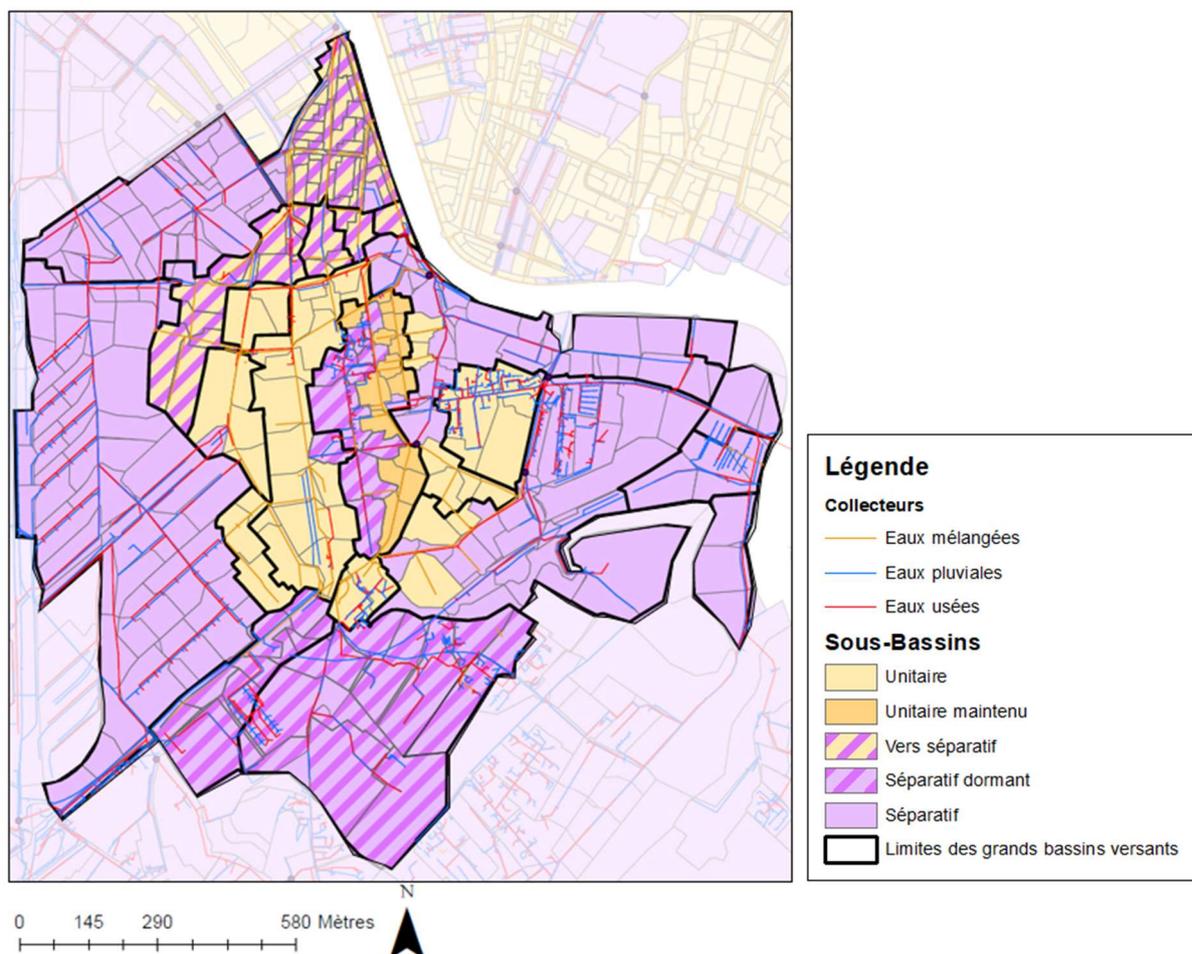


Figure 18 Mise en évidence des zones en séparatif dormant, des secteurs maintenus en séparatifs et des secteurs pour lesquels la mise en séparatif est détaillée dans ce rapport.

1.2 Etude géométrique et pré-dimensionnement

1.2.a Méthodologie

La réalisation de l'étude géométrique du réseau d'assainissement a pour but principal d'acquérir la compréhension globale de son fonctionnement et de mettre en évidence les points sensibles du réseau. Cette étude est réalisée grâce au logiciel de dessin assisté par ordinateur autoCAD complété de COVADIS. Ce dernier s'insère dans l'environnement autoCAD et propose des outils spécifiques de conception de réseaux et voiries. COVADIS propose également une aide sommaire au dimensionnement des réseaux d'eau potable et d'assainissement par le biais de la méthode superficielle de Caquot et de la méthode rationnelle. Cette étude n'exploite pas ces possibilités qui auraient nécessité la reprise complète des sous-bassins ; le prédimensionnement est calculé à la main et validé par le biais de la modélisation hydraulique sous Mike-Urban.

L'exploitation des données disponibles afin de construire les profils et cartes nécessaires à la compréhension du système de collecte a fait l'objet d'une mise en œuvre en plusieurs étapes schématisées Figure 19. La première étape d'extraction consiste dans le choix des limites géographiques et du type de données à extraire. La seconde étape permet de trier les données nécessaires parmi les jeux de données obtenus. Un travail préliminaire sous arcGIS est effectué sur les données du CRAE pour dissocier les différents types de réseaux, EU, EP et EM, et de les convertir au format autoCAD de même que les regards. Les données du marquage routier sont épurées afin de ne garder que les données du cadastre, les marquages, le nom des rues et la végétation. La troisième étape consiste en l'import du MNT sous COVADIS puis sa conversion en état de terrain nécessaire au renseignement des côtes du terrain dans l'étape qui suit. Cette dernière met en lien toutes les données sélectionnées. L'étape 5 regroupe les manipulations relatives à la création du réseau d'assainissement à l'aide des outils COVADIS sur la base des données extraites et des informations du SITG. Enfin, la réalisation des profils en longs permet de comprendre le réseau et de visualiser les interactions entre les collecteurs, et les plans de situations sont réalisés pour les différentes solutions. Ces éléments sont joints dans une pochette complémentaire au rapport.

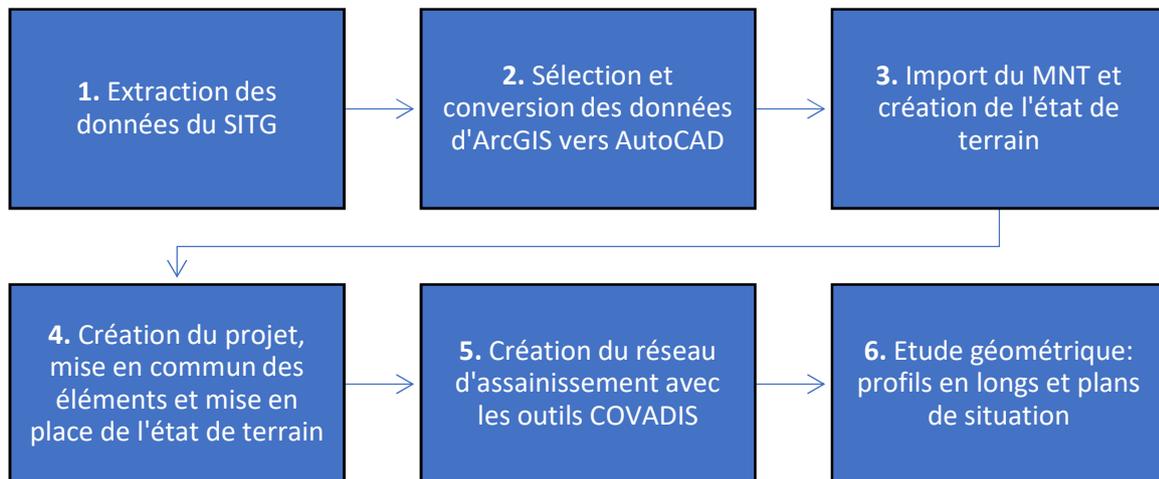


Figure 19 Méthodologie de l'étude géométrique.

1.2.b Eléments de contraintes

La conceptualisation des modifications à apporter sur un réseau d'assainissement existant doit prendre en compte les contraintes amont et aval pour permettre la continuité de l'écoulement et assurer l'évacuation des eaux. Par ordre d'importance décroissante, les contraintes qui ont été considérées sont les suivantes :

- Le réseau existant

Instinctivement, le réseau existant représente la première des contraintes : la continuité des affectations, eaux pluviales ou eaux usées, et les éventuels croisements à réaliser restreignent les variantes possibles. Sur le secteur Grand-Bureau, l'affectation des réseaux à l'amont ainsi que deux carrefours giratoires rendent complexe la mise en séparatif, voir Figure 20. La présence d'ouvrages spéciaux, leur utilité et leur géométrie limite les possibilités d'intervention. De même, ces possibilités sont fonction du propriétaire de l'ouvrage ou du collecteur : les collecteurs primaires étant notamment de la propriété et de la responsabilité des SIG et non du canton. L'état des collecteurs intervient également comme un élément guide dans le choix des solutions.

- L'emplacement des potentiels exutoires

Les contraintes les plus importantes sont situées à l'aval du réseau : il s'agit des potentiels exutoires des eaux pluviales. Le secteur de l'étude présente deux possibilités pour évacuer les eaux pluviales : au niveau du pont des Acacias et à l'amont, au niveau du futur exutoire du quai du Cheval-Blanc, mentionné dans l'étude relative à la mise en séparatif du quai du Cheval-Blanc et de la rue des Allobroges réalisée par le groupement de mandataires NEREE.

- L'occupation du sol et du sous-sol

L'occupation du sol est un élément de contrainte à considérer : la mise en œuvre de travaux dans un contexte urbain implique d'anticiper leur complexité ainsi que les conséquences sur les usagers. A l'emplacement du déversoir VG4, la route et le pont des Acacias sont traversés par le tram, voir Figure 20 c'est pourquoi les solutions proposées privilégient de ne pas réaliser de travaux à proximité des voies du tram et de maintenir le fonctionnement actuel du déversoir VG4. Il est nécessaire également de prendre connaissance des autres réseaux présents dans le sous-sol, à savoir l'électricité, à une profondeur d'environ 80cm, le gaz et l'eau potable, à environ 1m et les réseaux télécom ainsi que la signalisation lumineuse et l'éclairage qui sont à environ 60cm de profondeur.

- L'altimétrie

L'altimétrie du terrain naturel influence les pentes des collecteurs gravitaires : une profondeur de recouvrement minimale d'1m devrait être respectée pour protéger les collecteurs de la circulation routière. Bien qu'il n'y ait pas concrètement de profondeur maximale, les coûts et la complexité des travaux et de l'entretien sont proportionnels à la profondeur.

- L'aspect financier/l'ampleur des travaux

La sélection des solutions qui respectent toutes les contraintes citées précédemment se fait généralement sur la base des aspects financiers. L'ampleur des travaux, et la facilité de mise en œuvre vis-à-vis des étapes transitoires peuvent également constituer un critère pour déterminer la solution la plus adéquate.

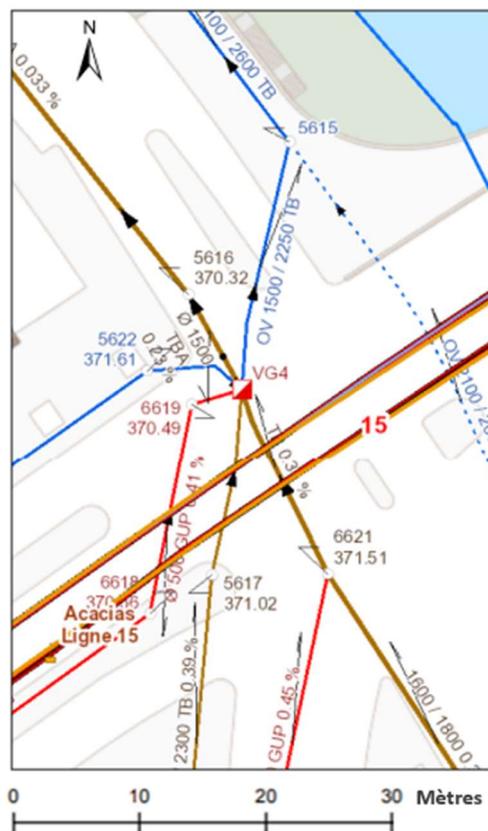


Figure 20 Situation au niveau du déversoir VG4 : mise en évidence du passage des voies de tram, extraction du SITG

1.2.c Pré-dimensionnement des collecteurs et des siphons

Les principes de pré-dimensionnements des collecteurs ont été énoncés dans l'état de l'art au chapitre 1.1.2. et les diamètres sont donnés sur les synoptiques du chapitre 1.2.1.b. pour le secteur « Grand-Bureau » ainsi qu'en annexe 4 pour les autres secteurs. La recherche de solutions alternatives implique le recours à un siphon dans le but de passer l'obstacle que représente le collecteur primaire qui longe le quai du Cheval-Blanc pour le collecteur d'eaux claires qui doit être raccordé à l'exutoire. Le siphon consiste en l'abaissement local de la conduite sous le tracé normal de manière à induire sa mise en charge. Pour assurer la continuité de l'écoulement :

L'énergie potentielle due à la différence d'altitude entre l'amont et l'aval du siphon doivent permettre de vaincre les pertes de charges engendrées par l'ouvrage

PERTES DE CHARGE SINGULIERES :

$$H = K \frac{v^2}{2g}$$

Avec

- H : La perte de charge singulière
- K : Le coefficient de perte de charge singulière
- v : La vitesse de l'effluent
- g : l'accélération de la pesanteur

PERTES DE CHARGE LINEAIRES :

(Lechapt & Calmon)

$$J = lg * L * \frac{Q^M}{D^N}$$

Avec

- J : La perte de charge
- Q : Le débit
- D : Le diamètre de la conduite
- L, M, N des coefficients dépendant de la rugosité

A chaque changement de géométrie est associé un coefficient K (HAGER W. H., 1999):

- Rétrécissement : K= 0.4
- Coude : K= 0.6
- Saillie : K= 0.5

La norme SIA 190-2017 relative aux canalisations renseigne plusieurs consignes de constructions :

- L'ouvrage d'entrée doit être conçu comme un déversoir.
- La branche descendante peut être plus pentue (1:1) et verticale sur les conduites d'eaux pluviales.
- Un compartiment de purge doit être installé au point bas, de préférence après la branche descendante. Le tronçon plat sous l'obstacle doit avoir une légère pente en direction du compartiment de purge.
- Un dispositif de pompage doit en principe être installé dans le compartiment de vidange.
- La pente maximale de la branche montante est de 1 :2 (-50%) ; sur les canalisations d'eaux pluviales, elle peut être réalisée à plus fort pente.
- La sortie doit être aménagée comme un regard de jonction.
- Les changements de direction doivent être aménagés à l'aide de raccord préfabriqués.
- Les conduites d'entrée et de sortie doivent être équipées de vannes d'arrêt.

En sus, un système de prétraitement, de type dessablage, peut être mis en place en amont du siphon.

Trois physionomies de fonctionnement du siphon peuvent être rencontrées selon la justesse du dimensionnement vis-à-vis des débits qui transitent. Lors d'un fonctionnement idéal, l'écoulement à l'amont de l'ouvrage n'est pas influencé : c'est en vue de ce type de fonctionnement que l'ouvrage est dimensionné pour le débit maximum envisagé, voir Figure 21. Le second état implique un abaissement de la ligne d'eau à l'amont de l'ouvrage : le siphon « tire » et peut provoquer l'introduction d'air. Pour éviter cette physionomie, la hauteur d'eau au-dessus de la génératrice supérieure du siphon doit être égale à deux fois la valeur de $v^2/2g$ dans la branche descendante du siphon. Enfin, le dernier cas est rencontré lorsque la capacité du siphon est insuffisante : le siphon « bourre » et l'écoulement à l'amont est influencé par l'aval pouvant entraîner une mise en charge du collecteur amont, voire des débordements (ASTEE, 2017). Cette dernière situation est donc à éviter.

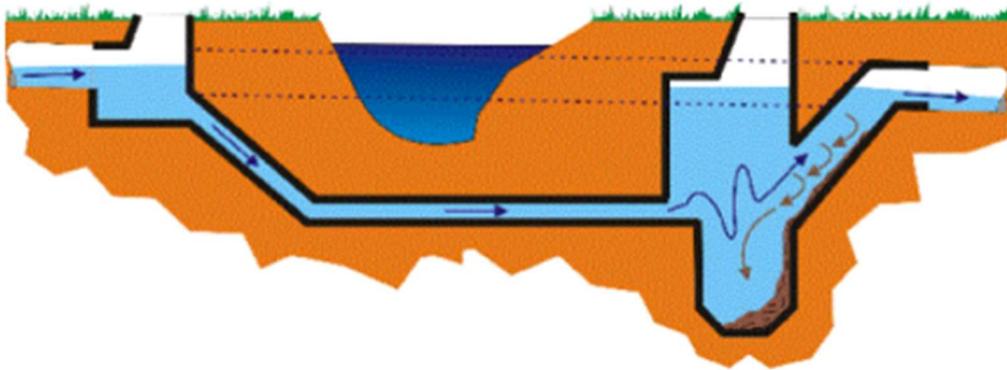


Figure 21 Schéma d'un siphon dont le fonctionnement est idéal (ASTEE, 2017).

1.3 Description des solutions

La description des solutions est organisée en trois temps avec tout d'abord une description des concepts généraux puis une l'analyse multicritère des solutions retenues suivie d'un aperçu des alternatives qui ont été explorées.

1.3.a Concepts généraux.

Parmi les multiples possibilités, seules deux solutions dont les plans de situations sont joints au dossier sont détaillées. Une solution de base pour laquelle un écoulement gravitaire est maintenu sur la totalité des secteurs de l'étude et une variante pour laquelle la mise en place d'un siphon est proposé à l'amont de l'exutoire du quai du Cheval-Blanc. Ces solutions sont décrites selon trois axes : la situation aux exutoires, les particularités et le récapitulatif des modifications. Une brève étude sur la rue des Noirettes est jointe en annexe 7 ainsi que la situation à l'amont de la rue du Grand-Bureau en annexe 8.

- **Situation aux exutoires**

BASE La solution de base propose de maintenir le concept de mise en séparatif du secteur Allobroges / Cheval-Blanc tel qu'il a été proposé par le groupement de mandataires NEREE en 2014. Ainsi, il est proposé de construire un nouveau rejet d'eaux claires dans l'Arve au niveau du carrefour entre la rue des Allobroges et le quai du Cheval-Blanc. La conception du rejet doit respecter plusieurs points notamment : l'intégration dans le site avec la mise en place d'enrochements et d'empierrements, la compatibilité avec la protection du milieu : l'énergie du déversement ne doit pas mettre en péril la stabilité naturelle des berges et un angle de 45° par rapport au sens du courant de la rivière doit être prévu pour ne pas perturber l'écoulement dans la rivière. (NEREE, 2014). A l'aval de la rue Caroline et de la rue du Grand-Bureau, la géométrie du VG4 est maintenue et le collecteur ovoïde 1500/2300 drainant initialement des eaux mélangées et réaffecté en eaux usées. Les eaux claires sont évacuées dans un ancien collecteur ovoïde 2100/2600 datant du début du XXe siècle qui traverse le point des Acacias pour rejoindre l'exutoire. Un effet de chasse serait alors mis en jeu pour évacuer les dépôts de limons actuellement présents dans ce collecteurs inutilisé. La situation actuelle au niveau du pont des Acacias est donnée Figure 22 avec la mise en évidence des deux collecteurs susmentionnés.

VARIANTE La situation à l'aval de la rue Caroline et de la rue du Grand-Bureau dans la solution variante est similaire à la solution de base. La situation au carrefour de la rue des Allobroges et du quai du Cheval-Blanc varie du concept susmentionné : bien que la situation à l'exutoire même puisse être maintenue, un siphon est mis en place sur le collecteur d'eaux pluviales provenant de la rue des Allobroges de manière à traverser le collecteur primaire en béton armé diamètre 1000 qui représente un obstacle en raison des changements d'altitudes induites par les modifications du tracé à l'amont qui sont décrit plus loin.

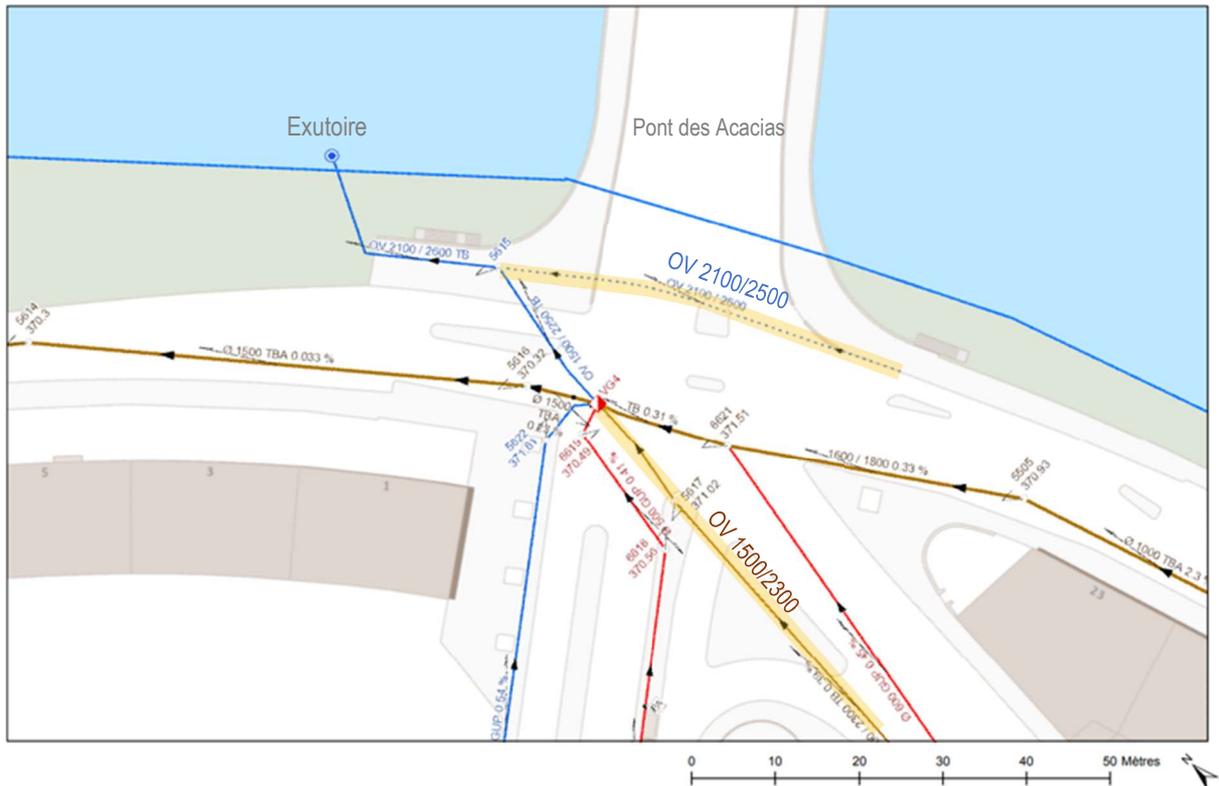


Figure 22 Mise en évidence de la situation au pont des Acacias: exutoire d'eaux claires et déversoir, extrait du SITG.



La situation à l'exutoire du pont des Acacias présente la même géométrie dans les deux solutions, seuls les diamètres varient. L'emplacement de la chambre au changement de trajectoire du collecteur, avant de se brancher dans l'ovoïde 2100/2500, est déterminé en fonction de l'encombrement du sous-sol où se croisent de nombreux services, voir Figure 23. L'emplacement des nouvelles chambres devra également faire l'objet d'une vérification vis-à-vis des autres réseaux.

Légende

Réseaux divers

- Télécom
- Electricité
- Gaz
- Eau potable
- Assainissement

Figure 23 Situation des réseaux divers au pont des Acacias, extrait du SITG.

- **Particularités**

BASE La solution de base est caractérisée par un changement d'affectation des collecteurs sur la rue du Grand-Bureau. Le collecteur initialement dédié aux eaux pluviales est assigné aux eaux usées et le collecteur unitaire est assigné aux eaux pluviales. Ce dernier est remplacé et réhaussé en lieu et place de l'ancien ovoïde 1000/1500 de manière à permettre de croiser par-dessus le collecteur primaire à l'aval du réseau. Le collecteur de la rue des Noirettes est refait à neuf et également réhaussé pour permettre le croisement avec le nouveau collecteur d'eaux usées, qui relie les chambres 5555 et 5541, et se raccorder à la chambre 5542. La chambre 5537 est modifiée ainsi qu'une partie du collecteur aval pour assurer la continuité entre le collecteur ovoïde 600/800 réaffecté en eaux usées et l'ovoïde connecté au déversoir VG4. La mise en séparatif de la rue Caroline se fait dans la continuité des travaux réalisés début 2019 : le nouveau collecteur d'eaux pluviales est allongé jusqu'au croisement avec la rue du Grand-Bureau et l'ovoïde 600/900 unitaire est réaffecté en eaux usées.

VARIANTE La solution variante garde le même tracé pour la mise en séparatif de la rue Caroline. Pour permettre le maintien des affectations de la rue du Grand-Bureau : à savoir le collecteur d'eaux pluviales à gauche de la rue du Grand-Bureau, refait et réhaussé en lieu et place de l'ovoïde 600/800, et l'affectation de l'actuel collecteur unitaire ovoïde 1000/1500 en eaux usées ; cette solution propose de dévier le tracé des eaux claires sur la rue Simon DURAND pour se raccorder au niveau de la rue des Allobroges. Cette alternative nécessite un abaissement des radiers pour permettre le croisement de la rue Caroline, par-dessous, ce qui implique la mise en place du siphon à l'aval de la rue des Allobroges. Le dimensionnement du siphon, compte tenu de la faible pente disponible, nécessite de limiter les pertes de charges au maximum et fait donc appel à plus grand diamètre que l'amont : c'est un diamètre minimal de 1200 qui est requis. L'emplacement des chambres à l'amont et à l'aval du siphon est déterminée par l'encombrement du sous-sol avec notamment une conduite de gaz qui longe le collecteur primaire côté Arve et le réseau d'eau potable et d'électricité qui se trouvent du côté de la rue des Allobroges.

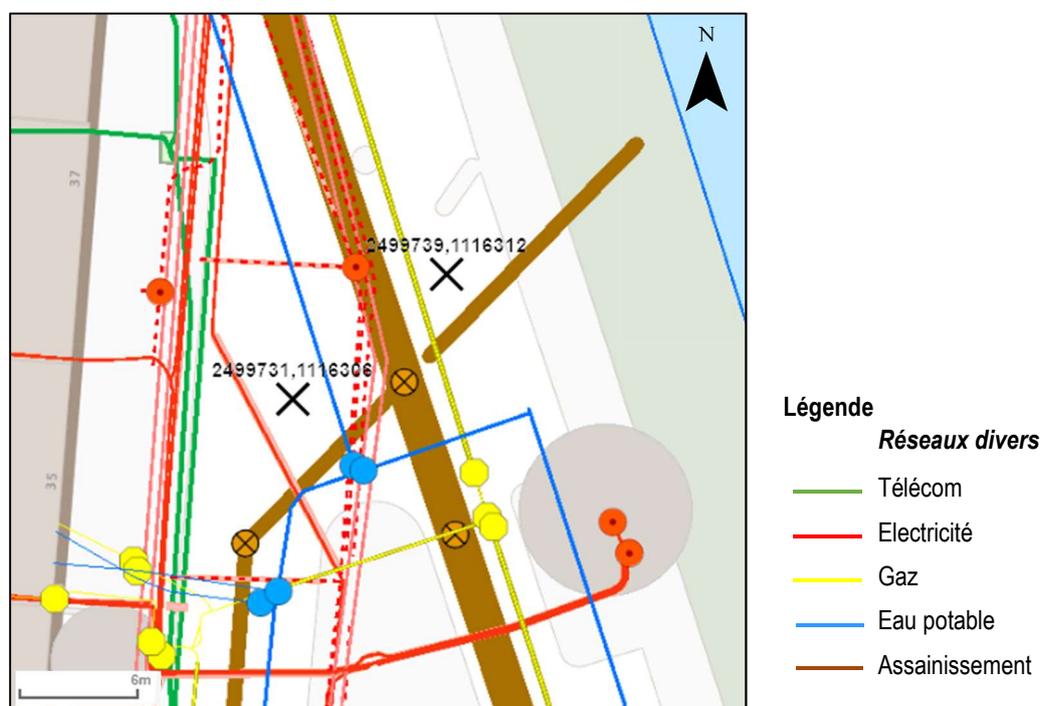


Figure 24 Situation des réseaux divers à l'exutoire du quai du cheval blanc, extrait SITG.

- **Récapitulatif des modifications**

Les matériaux choisis pour les nouveaux collecteurs sont le PVC pour des diamètres inférieurs à 600 mm pour un critère économique et le PRV pour les diamètres supérieurs à 600 mm pour sa résistance à l'abrasion et à la charge lourde. Le détail du linéaire de nouveaux collecteurs par diamètre et par affectation est donné dans le Tableau 7 pour les secteurs Grand-Bureau et Caroline.

Tableau 7 Récapitulatif du linéaire de canalisation à poser par diamètre, hors secteur Allobroges/Cheval-Blanc

	<i>mm</i>	BASE <i>linéaire en m</i>	VARIANTE <i>linéaire en m</i>
EP	ø 300	91 <i>Rue des Noirettes</i>	86 <i>Rue des Noirettes</i>
	ø 400	/	73 <i>Rue du Grand-Bureau</i>
	ø 500	/	71 <i>Rue du Grand-Bureau</i>
	ø 600	160 <i>Rue Caroline</i>	160 <i>Rue Caroline</i>
	ø 700	180 <i>Rue Caroline</i>	180 <i>Rue Caroline</i>
	ø 800	/	123 <i>Rue Caroline (aval)</i>
	ø 1000	150 <i>Rue du Grand-Bureau</i>	189 <i>Rue Simon DURAND</i>
	ø 1200	186 <i>Rue Caroline (aval)</i>	/
	TOTAL	767	882
EU	ø 300	78 & 64 <i>Rue Simon DURAND & rue des Mouettes</i>	64 <i>Rue des Mouettes</i>
	ø 400	5 <i>Rue du Grand-Bureau</i>	/
	ø 500	22 <i>Rue Caroline</i>	/
	TOTAL	169	64

Le concept d'évacuation des eaux relatif au secteur Allobroges / Cheval-blanc, maintenu en intégralité dans la solution de base, propose la pose des collecteurs d'après le linéaire approché donné dans le Tableau 8.

Tableau 8 Récapitulatif du linéaire de canalisation à poser par diamètre, secteur Allobroges/Cheval-Blanc

	<i>mm</i>	BASE <i>linéaire en m</i>	VARIANTE <i>linéaire en m</i>
EP	ø 400	120	120
	ø 500	200	200
	ø 600	270	270
	ø 700	285	225
	ø 800	120	130
	ø 900	105	/
	ø 1000	/	150
	ø 1200	/	5
TOTAL	1100	1100	

1.3.b Comparatif des solutions proposées

KARNIB A. (KARNIB A., 1996) propose dans sa thèse une approche multicritère d'aide au choix de solution pour les réseaux techniques urbains, tout particulièrement dans le domaine de l'assainissement. Cinq métacritères sont mis en avant : économique, fonctionnel, écologique, esthétique et respect des contraintes de pose. Nous préférons associer ce dernier métacritère aux « travaux » de manière à pouvoir comparer les solutions sur davantage d'aspects. La comparaison des deux solutions détaillées est axée sur ces critères et détaillée dans le Tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9 Comparaison multicritère des solutions proposées.

SOLUTION :	BASE		VARIANTE	
	Commentaire	Evaluation	Commentaire	Evaluation
Fonctionnel				
<i>Maintien de l'écoulement gravitaire</i>	Écoulement gravitaire sur tous le linéaire		Nécessité d'un siphon	
<i>Optimisation des pentes</i>	Pentes faibles < 0.3		Pentes faibles mais > 0.3	
Écologique				
<i>Réduction des impacts au milieu naturel</i>	Déversements rares à l'état existant, peu d'impact		Déversements rares à l'état existant, peu d'impact	
<i>Décharge du collecteur primaire et de la STEP</i>	Décharge du réseau primaire		Décharge du réseau primaire	
Esthétique	<i>Aucun ouvrage visible</i>	/	<i>Aucun ouvrage visible</i>	/
Travaux				
<i>Ampleur des travaux</i>	Changement d'affectation Travaux importants mais sectorisés		Déviation du tracé initial Plusieurs interventions sur la Rue Caroline	
<i>Profondeur de pose</i>	< 4.5 m		Jusqu'à 6m	
<i>Distance aux croisements</i>	Faible		Ajustable selon conditions	
<i>Intervention sur le réseau d'EU</i>	Minime		Aucune	
Economique	Solution la moins chère		Solution la plus chère	

1.3.c Alternatives non retenues

L'exploration de nombreuses alternatives qui se sont avérées irréalisables a conduit aux propositions détaillées précédemment. Ce chapitre présente succinctement ces essais afin d'apporter une compréhension éclairée des choix qui ont été faits.

• Situation à l'exutoire

La volonté de maintenir le déversoir VG4 implique une contrainte dans la réaffectation des collecteurs qui s'y connectent. La réaffectation du collecteur ovoïde 1500/2300 d'eaux mélangées vers eaux pluviales pourrait être mise en œuvre en fermant la vanne pour rendre effective la séparation des eaux usées. Cependant, la hauteur du seuil qui permet la surverse des eaux mélangées vers le réseau d'eaux claires entrainerait un refoulement dans le collecteur amont. Cette option n'est donc pas optimale et c'est la réaffectation de l'ovoïde 1500/2300 en eaux usées qui a été retenue préférentiellement.

• Affectation des collecteurs

Deux collecteurs parallèles ont déjà été mis en place le long de la rue du Grand-Bureau. L'affectation des collecteurs à l'amont a été déterminée d'après le réseau existant afin de limiter les interventions sur le réseau. Les affectations sur la seconde partie de la rue ont cependant été modifiées et les deux options (eaux pluviales à gauche ou à droite) ont été étudiées. Dans le cas d'une solution sans déviation des eaux claires, si les affectations sont maintenues avec les eaux pluviales à gauche, plusieurs points sont à noter :

- le croisement au carrefour giratoire de la rue des Noirettes, rue des Ronzades, rue Simon DURAND nécessite l'abaissement du collecteur depuis la chambre 5555
- Le passage du collecteur d'eaux pluviales par-dessus le collecteur primaire implique la réhausse du tronçon d'eaux pluviales depuis la chambre 5541.
- Le collecteur ovoïde 600/800, s'il pouvait être maintenu, ne dispose pas d'une capacité hydraulique suffisante.

Cette option n'est pas optimale puisqu'elle nécessite la reprise des deux collecteurs de la rue du Grand-Bureau. La mise en place de siphons au croisement de la rue du Grand-Bureau n'a pas été retenue en raison des risques et difficultés d'entretien.

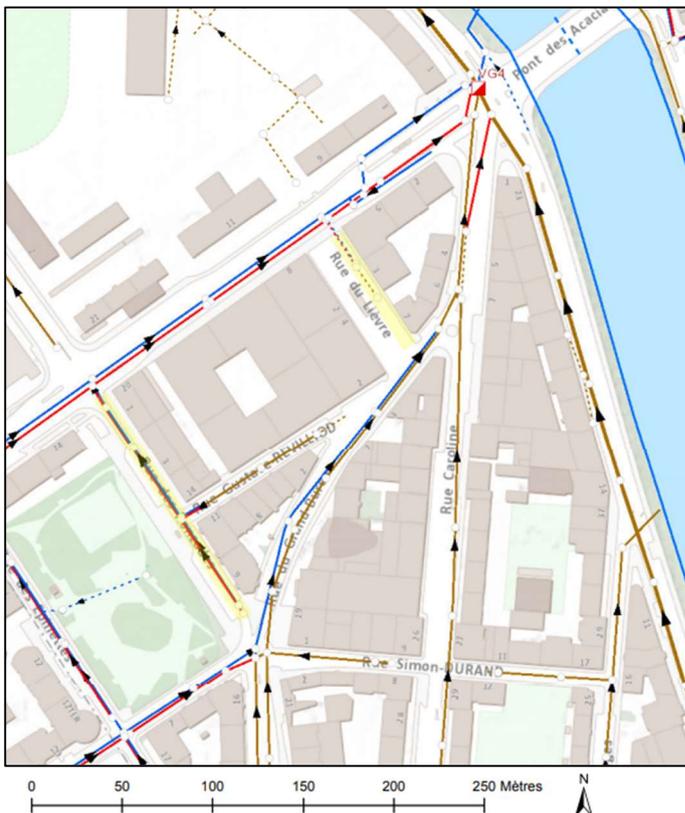


Figure 25 Situation géographique de la rue des Ronzades et de la rue du Lièvre, extrait du SITG.

• Déviation des eaux pluviales

Le raccordement des collecteur d'eaux pluviales de la rue du Grand-Bureau aux actuels collecteurs d'eaux claires de la rue des Ronzades et de la rue du Lièvre, voir Figure 25, ont été étudiés dans le but de simplifier la situation au niveau du pont des Acacias. Ces déviations ne peuvent pas être mises en œuvre en raison de la capacité insuffisante des collecteurs d'eaux claires de la rue du Lièvre et de la rue des Ronzades. De plus, l'altimétrie du réseau ne permet pas non plus de mettre en œuvre ces déviations. Un raccord direct sur le collecteur d'eaux pluviales de la route des Acacias impliquerait des travaux sur la voie de tram, de plus, la capacité hydraulique du collecteur ne permet pas de nouveau raccordement.

2. ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU RESEAU

La modélisation des réseaux de collecte d'eaux usées, à l'instar des réseaux de distribution d'eau potable, est habituellement réalisée dans le cadre de l'analyse de la performance mais également dans les procédés de planification. Cette étude présente une modélisation détaillée du réseau permettant d'en analyser le fonctionnement hydraulique selon les solutions retenues pour mettre en lumière les améliorations apportées et aider à l'anticipation des étapes de travaux à réaliser, décrites en dernière partie. Le recours à la modélisation hydraulique s'articule en 4 étapes du traitement de données initiales à l'analyse des résultats présentés en Figure 26.

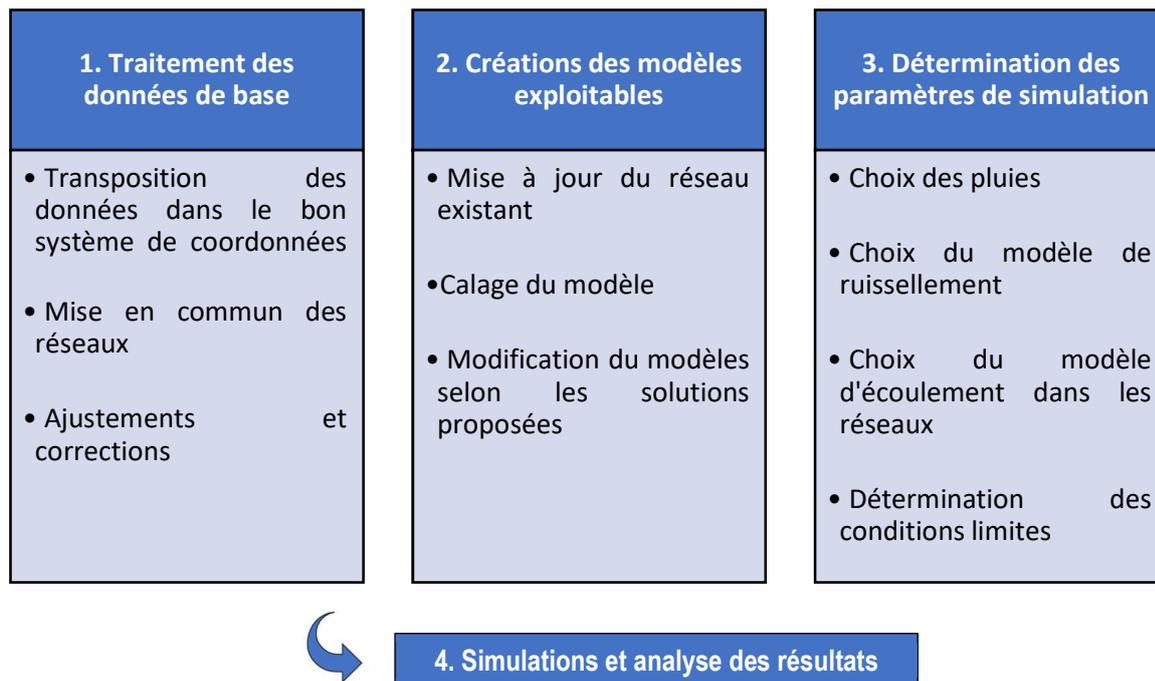


Figure 26 Méthodologie propre à l'étude du fonctionnement hydraulique.

2.1 Description du modèle : données de base et construction du modèle

Le traitement des données de base et la création des modèles exploitables sont des étapes préliminaires indispensables à la modélisation. Ces étapes sont détaillées en trois points : un premier paragraphe décrit les données initiales et la méthodologie employée pour construire les modèles, le second paragraphe décrit les modèles définitifs et le dernier point aborde le calage du modèle.

2.1.a Données initiales et méthodologie de construction du modèle

La structure d'un modèle sur Mike Urban est composée de trois types d'éléments principaux : les nœuds qui correspondent aux chambres ou aux exutoires, les collecteurs et les bassins-versants ; auxquels peuvent s'ajouter des éléments complémentaires comme les bassins de rétention, les déversoirs ou les pompes.

Les données ayant servi de base pour structurer les modèles de la zone d'étude correspondent à des modèles détaillés réalisés dans le cadre des PGEE de la ville de Genève et de la ville de Carouge dont le contenu est décrit dans le Tableau 10.

Tableau 10 Récapitulatif des données de base.

NOM	NB DE NOEUDS	LINEAIRE DE CANA <i>m</i>	NB DE BV	SURFACE DRAINEE <i>ha</i>	NB D'EH	NB ELEMENTS SPECIAUX
Ville de Genève	4523	166 590	3803	1 235	189 182	33 déversoirs
Commune de Carouge EU	638	23 285	292	263	26 260	12 déversoirs 1 pompe
		<i>Dont EU : 13 597</i>				
		<i>Dont EP : 62</i>				
Commune de Carouge EP	658	28 020	282	255	10 685	12 déversoirs
		<i>Dont EU : 141</i>				
		<i>Dont EP : 18 913</i>				
		<i>Dont EM : 8 966</i>				

L'obtention d'un modèle exploitable a nécessité la mise en œuvre de plusieurs étapes d'ajustement :

1. *La transposition des données de la ville de Carouge dans le nouveau système de coordonnées, auquel se rattachent les données de la ville de Genève*

L'outil « reframe » mis à disposition par l'office fédéral de topographie permet de transposer des données de l'ancien système de coordonnées suisse MN03 (CH1903) dans le nouveau système de coordonnées MN95 (CH1903+). Pour réaliser cette modification, les données des modèles EU et EP relatifs à la commune de Carouge ont préalablement été exportées en format ESRI pris en charge par l'outil de la confédération suisse. Les données transformées sont ensuite réimportées dans Mike Urban. Elles ne sont alors pas exploitables et nécessitent plusieurs opérations d'export et d'import pour que le logiciel puisse les restructurer.

2. *La mise en commun des réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales de la ville de Carouge*
3. *La sélection des données nécessaires et suffisantes du modèle de la ville de Genève*
4. *Le raccord des modèles de la ville de Carouge et de la ville de Genève*

La mise en commun des réseaux de la ville de Carouge et le raccord des modèles des deux villes sont réalisés via les mêmes outils d'export et d'import proposés par Mike Urban, ce qui nécessite des ajustements, notamment :

- La suppression des données doubles
- L'ajout des réseaux et chambres manquants
- La reconnexion des bassins-versants isolés et la correction des mauvaises connexions

5. *La réalisation des modifications nécessaires sur le réseau pour obtenir :*

- Un modèle des réseaux existants
- Les modèles des solutions proposées à l'état de saturation

2.1.b Données des modèles

Le modèle de base correspond à la jointure des modèles de la Ville de Carouge avec le secteur de la Ville de Genève concerné par l'étude. Les données relatives aux équivalents habitants sont volontairement renseignées à l'état de saturation. Le Tableau 11 recense les principales caractéristiques des modèles créés.

Tableau 11 Principales caractéristiques des modèles créés pour l'état existant, la solution de base et la variante.

NOM	NB DE NOEUDS	LINEAIRE DE CANA <i>m</i>	NB DE BV	SURFACE DRAINEE <i>ha</i>	NB D'EH	NB ELEMENTS SPECIAUX
Modèle EXISTANT	1156	52 197	623	486	32 004	6 déversoirs
		<i>Dont EU : 19 664</i>				
		<i>Dont EP : 22 139</i>				
		<i>Dont EM : 10 394</i>				
Solution de BASE	1208	53 656	661	486	53 550	6 déversoirs
		<i>Dont EU : 21 745</i>				
		<i>Dont EP : 24 313</i>				
		<i>Dont EM : 7 442</i>				
Solution VARIANTE	1209	53 599	651	486	53 101	6 déversoirs
		<i>Dont EU : 21 681</i>				
		<i>Dont EP : 24 244</i>				
		<i>Dont EM : 7 442</i>				

La Figure 27 illustre le modèle hydraulique relatif à la situation initiale. Les conduites unitaires sont représentées en orange tandis que les conduites d'eaux usées sont en rouge et les conduites d'eaux pluviales sont en bleu. Les bassins-versants qui drainent les eaux pluviales sont rayés en bleu et ceux qui drainent les eaux usées sont rayés en rouge. Les bassins-versants assainis en eaux mélangées sont en orange.



Figure 27 Illustration du modèle hydraulique pour la situation initiale.

2.1.c Calage du modèle hydraulique

L'étape de calage permet de fiabiliser le modèle hydraulique en s'assurant que les résultats obtenus à la suite des simulations sont cohérents. Deux étapes de calages sont généralement mises en œuvre :

- Un **calage quantitatif**, pour lequel les débits simulés doivent se rapprocher au mieux des débits mesurés. Cette étape est appliquée pour des pluies faibles et moyennes qui correspondent à des niveaux de service N1 et N2 dans la méthodologie française.
- Un **calage qualitatif** basé sur les observations réelles, d'inondations par exemple, et la concomitance avec les résultats de simulations réalisées avec des pluies fortes ou exceptionnelles. Cette étape est appliquée pour des niveaux de service N3 et N4 dans la méthodologie française.

Le contexte de l'étude implique de mettre en œuvre une approche différente. En effet, la méthodologie de construction du modèle, décrite précédemment, met en jeu des données ayant déjà passé les étapes de calage. Le débit spécifique par EH est fixé à 0.320 m³/EH/J sur les deux communes, cette valeur tient également compte des eaux claires parasites. Les paramètres des bassins-versants ont été ajustés au cours de la réalisation des PGEE. Pour s'assurer malgré tout de la fiabilité du modèle suite aux différentes étapes de fusion et d'ajustement, les débits simulés en plusieurs points avec la pluie de la station de Chevrier ajustée à un temps de retour 10 ans, ont été comparés entre les simulations réalisées dans le cadre du PGEE et le modèle créé pour l'état existant, voir Tableau 12.

Tableau 12 Comparaison des débits entre le modèle du PGEE et le modèle construit.

EXUTOIRE	Surface réduite <i>ha</i>	Q10 PGEE <i>m³/s</i>	Q10 modèle <i>m³/s</i>	EXUTOIRE
CAN13-E	1.1	0.30	0.43	Genève
CAN15-E	5.6	1.33	1.2	Genève
CAN25-E	11.5	2.80	4.0	Genève
CAN449-E	1.1	0.39	0.45	La Drize
CAN47-E	1.9	0.33	0.35	L'Arve
CAN49-E	5.0	1.74	2.1	L'Arve
CAN50-E	0.8	0.25	0.27	L'Arve
CAN51-E	1.2	0.18	0.2	L'Arve
CAN52-E	3.5	1.03	0.95	L'Arve
CAN53-E	23.1	10.10	14	L'Arve
CAN590E	37.4	7.6	8.0	La Drize
CAN600E	0.8	0.28	0.18	Genève

Le critère de Nash calculé d'après la formule donnée dans l'état de l'art en 1.1.3. donne une valeur de 0.86. Cependant, l'échantillon pris en considération pour vérifier la fiabilité du modèle est petit et des différences sont observables en certains points. Celles-ci peuvent s'expliquer par les modifications qui ont été effectuées sur le réseau entre temps : les valeurs du PGEE sont datées de 2006. De plus, cette vérification est effectuée entre deux valeurs simulées : les valeurs du PGEE ne sont pas des mesures mais résultent de l'utilisation du modèle préalablement calé. Dans l'ensemble, cette vérification nous permet d'assurer la cohérence du modèle. Bien sûr, le modèle n'est pas une représentation exacte de la réalité et ne prétend pas être exempt d'erreurs qui peuvent être liées à la connaissance du réseau et à l'absence de certaines données ou à la saisie des données elles-mêmes, notamment géométriques, dans le modèle. Les incertitudes sont également présentes au niveau des mesures qui ont été initialement effectuées pour réaliser les modèles des PGEE de la Ville de Carouge et de la Ville de Genève.

2.2 Paramètres de simulation

L'approche 1D/1D de Mike Urban relative à la modélisation des épisodes pluvieux est basée sur trois composantes :

- L'hydrologie liée aux précipitations
- Les flux de surface relatifs au ruissellement
- Les flux au sein du système d'assainissement

La mise en œuvre d'une simulation se fait en deux étapes. Dans un premier temps, la définition des conditions limites relative au ruissellement induit par l'évènement, ou la série d'évènement, renseignée dans le modèle, permet de simuler les débits ruisselés. Dans un second temps, les débits transitant dans les canalisations peuvent être simulés à partir des résultats du ruissellement et des données renseignées vis-à-vis des rejets urbains.

2.2.a Choix et description des pluies

Les simulations par temps de pluie sont de deux ordres : événementielles et continues. Les simulations de type « événementielles » font intervenir un seul évènement pluvieux et sont utilisées dans le dimensionnement des collecteurs, à contrario des simulations « continues » pour lesquelles une succession d'évènements est simulée et qui permettent plutôt d'étudier le comportement de certains ouvrages particuliers et d'établir des statistiques. Les pluies ont été choisies en adéquation avec les PGEE de la Ville de Genève et de la Ville de Carouge, à savoir : un évènement ponctuel de période de retour 10 ans et une série construite sur la base d'une sélection de 20 pluies. La simulation continue est réalisée à partir de mesures qui s'étendent de 1990 à 2018 sur la même station que la série des 20 pluies.

Simulation événementielle :

Le contexte urbanisé de la zone d'étude implique de fortes crues pour des évènements très intenses de courte durée correspondant à des pluies orageuses de type estival. C'est donc un évènement de type « orage intense » qui fait l'objet des simulations événementielles. En accord avec le PGEE de la Ville de Carouge, la pluie du 14.06.1980 enregistrée à la station de Chevrier, voir annexe 6, puis ajustée sur les courbes IDF 2001 pour la région genevoise pour un temps de retour de 10 ans permet de contrôler le bon dimensionnement des collecteurs. Cette pluie est plus forte que celles décrites pour la simulation multi-événementielle. Son intensité maximale est de 139 mm/h ou 386 l/s*ha, voir Figure 28.

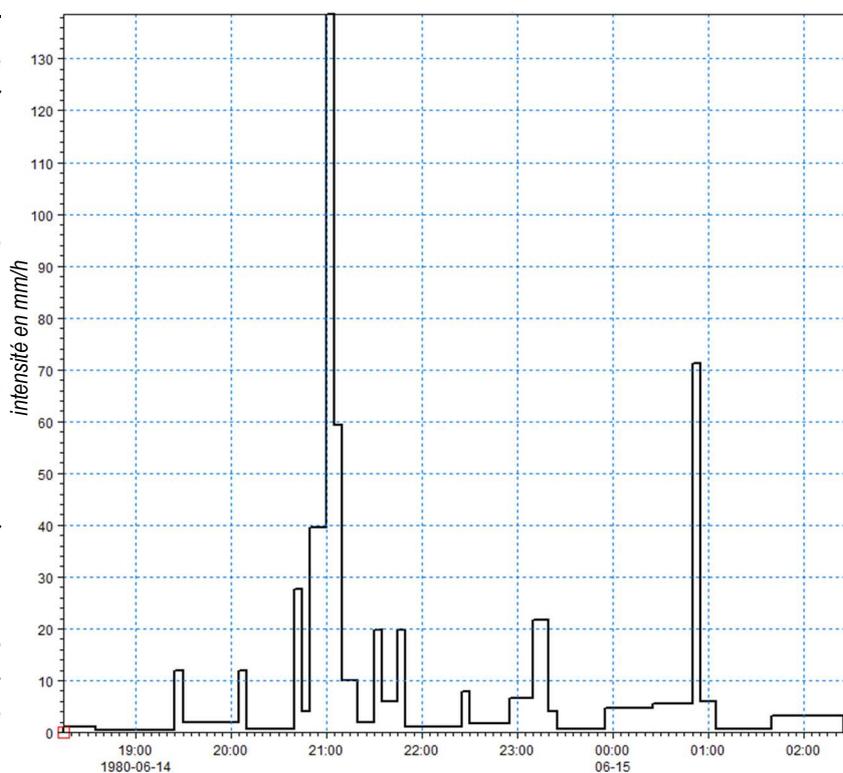


Figure 28 Variation de l'intensité de la pluie du 14.06.1980 mesurée à la station de Chevrier et ajustée pour une période de retour de 10 ans.

Bien que les pluies orageuses puissent être très localisées, la pluie est considérée comme uniformément répartie sur l'ensemble du modèle.

Simulation multi-évènementielle :

Tableau 13 Liste des évènements pluvieux de la série de pluies classé par ordre chronologique.

Évènement	Date	Évènement	Date
1	1989 07 07	11	1999 07 13
2	1989 07 10	12	2002 06 27
3	1990 06 08	13	2002 08 06
4	1993 06 09	14	2003 08 16
5	1995 08 24	15	2003 08 29
6	1996 08 10	16	2003 09 07
7	1997 06 12	17	2005 09 10
8	1997 06 13	18	2006 06 25
9	1997 10 07	19	2007 08 02
10	1999 07 05	20	2007 08 07

La série de pluie utilisée pour réaliser les simulations du fonctionnement hydraulique du réseaux d'assainissement est constituée de 20 évènements sélectionnés depuis une série historique de 19 ans de mesures issus de la station de Grange-Falquet, voir annexe 6. Cette sélection a été réalisée à l'issue d'une concertation avec la Ville de Genève dans le cadre de l'élaboration de son PGEE en 2008. La méthodologie ayant abouti à la construction de cette série est basée non pas sur la méthode traditionnelle des courbes intensité-durée-fréquence mais elle a été choisie en raison de l'effet que produisent les pluies sur le réseau d'assainissement, en termes de volumes et de débits d'eau produits. Les 20 plus grands évènements ont donc été retenus, assurant ainsi la prise en compte de tous les évènements pertinents. La Figure 11 présente les intensités des pluies de la série choisie.

Les temps de retour pour chaque évènement ont été déterminés par la formule statistique de Hazen, les trois plus grands évènements ont un temps de retour de 38 ; 12.7 et 7.6 ans. L'évènement de dimensionnement, le plus proche d'un temps de retour de 10 ans, est classé au deuxième rang avec un temps de retour de 12.7 ans. Cette dernière correspond à la pluie du 13.06.1997 avec une intensité maximale de 95 mm/h et une durée de 30 min .

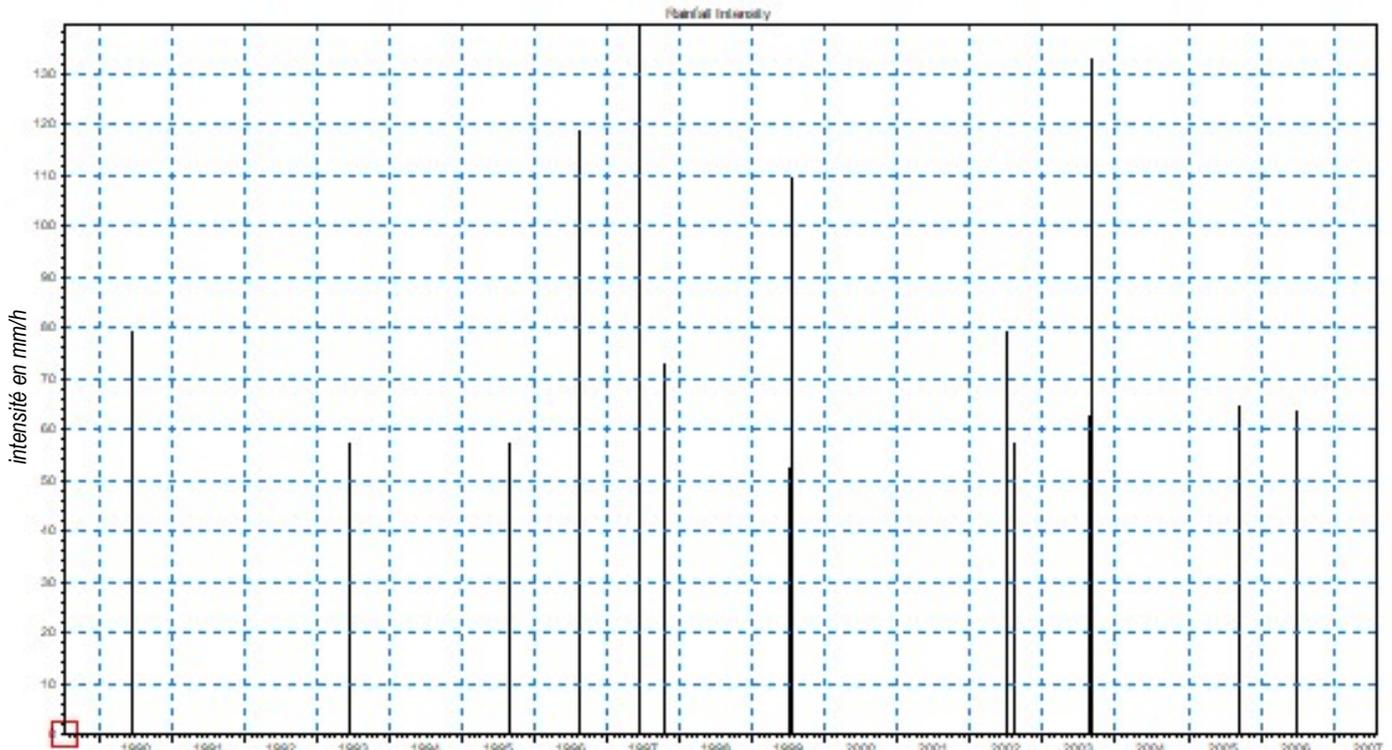


Figure 29 Intensité des pluies simulées.

2.2.b Modèle de simulation du ruissellement

Les modèles hydrologiques qui permettent d'estimer le ruissellement pour les bassins-versant urbains sont de deux types :

- **Les modèles de surface** : ils prennent en compte uniquement le ruissellement de surface et sont particulièrement adaptés aux zones densément urbanisées avec une majorité de surfaces imperméables.
- **Les modèles continus** : ils considèrent également les éléments de sub-surface et sont davantage adaptés à des zones rurales. Ce type de modèle est également adapté pour simulation longue durée qui impliquent une succession d'évènements pluvieux.

Etant donné le contexte fortement urbanisé de la zone d'étude, les simulations sont réalisées avec un modèle de surface. Mike Urban propose 4 modèles de ce type :

- **La méthode spatio-temporelle (A)** : le ruissellement est contrôlé par les pertes initiales et continues ainsi que par la surface qui y contribue. La forme de l'hydrogramme simulé dépend du temps de concentration et de la courbe « spatio-temporelle » : tous deux décrivent de manière conceptuelle la vitesse de réponse du bassin-versant et sa forme.
- **Le modèle à réservoir non linéaire à onde cinématique (B)** : le ruissellement de surface est assimilé à un écoulement à surface libre dans un canal, soumis aux forces gravitaires et de frottement. Il est contrôlé par les différentes pertes et la surface qui y contribue. L'hydrogramme du ruissellement est déterminé par les paramètres des bassins-versants : la longueur, la pente, la rugosité.
- **Le modèle réservoir linéaire (C1 et C2)** : le ruissellement de surface est proportionnel à la profondeur en eau du bassin-versant. La quantité ruisselée est déterminée par les pertes initiales, la surface contributive et pertes liées à l'infiltration. La forme de l'hydrogramme est déterminée par la constante de temps des bassins versants. Les deux versions du modèle sont celles utilisées aux Pays-Bas (C1) et en France (C2).
- **La méthode de l'hydrogramme unitaire (UHM)** : le ruissellement est déterminé linéairement pour un seul évènement pluvieux pour lequel les précipitations en excès qui y participent sont déduites de l'infiltration qui peut être soit constante, soit proportionnelle ou déterminée d'après l'une des méthodes du *Soil Conservation Service, SCS*.

Le modèle d'écoulement choisi est le **modèle B à réservoir non linéaire à onde cinématique**, il est en effet le modèle retenu au niveau cantonal dans la réalisation des PGEE et PREE. Ce modèle hydrodynamique permet de différencier les différents types de surface :

- Perméables : à faible, moyenne ou forte infiltration
- Imperméables : plates ou pentues

Ce modèle prend également en compte les pertes : évaporation, mouillage et stockage dans les dépressions.

Les calculs prennent en considération l'hypothèse que les sacs-grilles, avaloirs etc... sont en nombre et en capacité suffisants pour intercepter la totalité du ruissellement de surface, indépendamment du temps de retour de l'évènement pluvieux. Les paramètres physiques et géométriques des bassins-versants renseignés dans le modèle sont les suivants :

- Surface du bassin-versant, *ha*
- Coefficient de ruissellement maximum du bassin-versant, soit $0.85 * \text{taux d'imperméabilisation}$
- La longueur de l'écoulement, estimé comme étant égal à $\sqrt{\text{Surface}}$
- La pente moyenne du bassin-versant

2.2.c Modèle d'écoulement dans les réseaux

Le moteur de calcul MOUSE qui permet de simuler les écoulements dans le réseau est basé sur le modèle de Barré de Saint-Venant constitué de deux lois de conservation : l'équation de conservation de la masse (1) et l'équation de conservation de la quantité de mouvement (2). La résolution de ces équations est basée sur les hypothèses suivantes :

- L'eau est incompressible et homogène : sa densité ne varie pas
- La pente du radier est très faible, de ce fait le cosinus de l'angle avec l'horizontal considéré est de 1
- Le flux est considéré en tout point parallèle au radier en raison des faibles profondeurs : l'accélération verticale est négligée
- Le flux est torrentiel (le régime fluvial peut également être modélisé avec MOUSE selon des conditions plus restrictives)

$$(1) \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$(2) \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAl_f = gAl_0$$

Avec : **Q** = débit en m³/s
A = surface du flux en m²
y = profondeur du flux en m
g = accélération gravitationnelle en m/s²
x = distance dans le plan de l'écoulement en m
t = temps en s
α = coefficient de distribution de vitesse
l₀ = pente du radier
l_f = pente de frottement

Trois approches de résolutions de ces équations sont disponibles sur Mike Urban

- **L'approche « onde cinématique »** où le flux est calculé sur l'hypothèse que les forces de frottement et la gravité se compensent pour simplifier la résolution de l'équation de conservation de la quantité de mouvement. Cette méthode ne permet pas de simuler le remous causé par la présence d'une condition limite imposant une influence à l'aval
- **L'approche « onde diffusive »** qui prend en considération les forces de frottement, la gravité et la pression hydrostatique pour simuler également l'influence des conditions aval qui impliquent la formation de remous.
- **L'approche « onde dynamique »** résout l'intégralité de l'équation de conservation de la quantité de mouvement. En dépit des temps de calcul considérablement augmentés, cette approche est adaptée lorsque les pentes sont faibles de même que les forces de frottement.

Bien que les ressauts hydrauliques ne puissent pas être décrits dans le détail, ces approches assurent une description correcte à l'amont et à l'aval du ressaut. Le modèle hydrodynamique pour la simulation des écoulements dans le réseau utilisé dans le cadre de cette étude et celui à « **onde diffusive** » en raison de la prise en compte des courbes de remous et de l'optimisation du temps de calcul lié à la taille du modèle.

Plusieurs approches permettent de renseigner les pertes de charge à chaque nœud, cependant, dans un premier temps, celles-ci ont été désactivées, une réflexion complémentaire doit être portée sur certains nœuds spécifiques. Les recommandations du manuel d'utilisateur sont de désactiver les pertes de charge aux nœuds où les changements de direction sont moindres.

2.3 Résultats des simulations

L'analyse des résultats des simulations poursuit trois objectifs : l'acquisition d'une connaissance sur le fonctionnement global du réseau, la validation des solutions proposées et de leur dimensionnement et également l'estimation des impacts de cette mise en séparatif sur la réduction des rejets. Les résultats sont donc présentés en trois temps : tout d'abord le fonctionnement par temps sec est présenté au regard de la problématique de l'autocurage, puis les résultats de la simulation pour la pluie de dimensionnement sont donnés, et enfin une évaluation de l'impact de la mise en séparatif est présentée.

2.3.a Fonctionnement par temps sec

Les simulations de temps sec permettent de mettre en évidence les problématiques d'autocurage. L'autocurage permet de limiter les dépôts dans le réseau : il s'agit de *l'aptitude d'une conduite d'assainissement à transporter les solides contenus dans les écoulements qu'elle reçoit sans s'encrasser* (ELLIS B., et al., 2004). La plus importante conséquence de l'autocurage est de limiter la production d'H₂S hautement toxique pour l'Homme qui pourrait résulter des dépôts. L'accumulation des dépôts dans les conduites a d'autres conséquences, d'une moindre gravité mais tout aussi sérieuses : la diminution des capacités hydrauliques, la modification des caractéristiques de l'écoulement pouvant impliquer des dysfonctionnement dans le réseau et favoriser les déversements vers le milieu récepteur. De nombreux critères sont proposés par la littérature pour déterminer si les conditions sont propices à l'autocurage ou non : ces critères prennent en compte des paramètres comme la pente, la vitesse, le débit ou la forme de la conduite. Les pentes sur le secteur étant très faible, nous considérons le critère de vitesse donné dans la norme SIA 190 :2017 relative aux canalisations qui sont indiquées dans le Tableau 14.

Tableau 14 Vitesses minimales d'écoulement pour assurer l'autocurage en fonction du diamètre de la conduite.

Diamètre intérieur de la conduite	Vitesse minimale d'écoulement
< 400 mm	0.7 m/s
400 – 1000 mm	0.8 m/s
> 1000 mm	1.0 m/s

La nécessité d'autocurage étant spécifique aux collecteurs d'eaux usées ou d'eaux mélangées, les simulations ont été réalisées sur des modèles simplifiés desquels les collecteurs d'eaux pluviales ont été retirés pour permettre une meilleure visualisation des résultats. Les Figure 31 et Figure 32 illustrent les vitesses d'écoulement des eaux usées pour la base et la variante. Les résultats pour les deux solutions sont similaires, on note une forte proportion de collecteurs pour lesquels l'autocurage n'est pas assuré excepté sur le collecteur primaire du quai du Cheval-Blanc, sur le collecteur de la rue du Grand-Bureau et une partie du collecteur de la rue Caroline. Cette problématique se retrouve sur l'ensemble de la commune de Carouge, dans la quasi-majorité du réseau. Les faibles vitesses d'écoulement s'expliquent par les faibles débits d'eaux usées, malgré la présence d'ECP, de même que la présence de faibles pentes et le surdimensionnement des collecteurs. La forme ovoïde des anciens collecteurs favorise malgré tout l'écoulement, de plus certaines canalisations sont équipées de cunettes. Le modèle prend en compte certaines de ces géométries avec l'outil « CRS » (cross section shape), notamment sur la rue Caroline, voir Figure 30, pour laquelle la géométrie des collecteurs a été renseignée dans le cadre de l'élaboration du PGEE.

Il est possible de déterminer la capacité de transport solide d'un collecteur avec la formule du D_{50} de Laplace qui détermine le diamètre médian des particules entraînées par l'écoulement (ASTEE, 2017) :

$$D_{50} = 10^4 * Rh * I + 0.5$$

Avec : **Rh** : le rayon hydraulique en m
I : la pente en m/m.

La conduite unitaire ovoïde 600/800 de la rue Caroline amenée à être réaffectée en eaux usées, par exemple, présente un D_{50} de 2.1 pour une pente moyenne de 0.8 et un rayon hydraulique de 0.02 avec un taux de remplissage considéré à 0.05%. L'ouvrage est donc soumis à la formation de dépôts minéraux. Il est conseillé de respecter des valeurs de $D_{50} > 5$ mm pour limiter la formation des dépôts et réduire les charges d'exploitation (ASTEE, 2017). Les risques de formation de sulfure peuvent être vérifiés d'après le modèle Z de Pomeroy Parkhurst avec la formule suivante :

$$Z = \frac{3 \cdot DBO_5 \cdot P}{s^{1/2} \cdot Q^{1/3} \cdot b} \cdot 1,07^{T-20}$$

Valeurs pour la conduite
 600/800 de la rue Caroline :

Avec :	DBO₅ : la demande biologique en oxygène à 5 jours en mgO ₂ /l	330 mgO ₂ /l (PGEE)
	P : le périmètre mouillé de la canalisation en m	0.2 m
	T : la température de l'effluent en °C	23 °C (KHOURY J., 2009)
	s : la pente de la canalisation en m/m	0.008 m/m
	Q : le débit dans la canalisation en l/s	8.5 l/s
	b : la largeur au miroir de la surface de l'effluent en m	0.18 m

Les données relatives à la conduite de la rue Caroline amenée à être affectée en eaux usées sont données ci-dessus. La température des effluents oscillent entre 17°C et 23°C (KHOURY J., 2009). La valeur de Z obtenue s'élève à plus de 18 000 pour la température maximale, soit en saison estivale. Ce résultat dénote de la présence de sulfure et le risque de corrosion est réel. Pour une température moyenne de 20°C, la valeur de Z s'élève à plus de 6 000 ce qui indique la présence de sulfures en faible concentration et donc un risque de corrosion plus faible. Le risque est minimisé pour des valeurs de Z inférieures à 5 000 (ASTEE, 2017). L'entretien du réseau permet de maintenir son fonctionnement malgré ces contraintes avec le recours au curage régulier des collecteurs. La réhabilitation par chemisage permet également de diminuer la rugosité des collecteurs qui sont en grande partie en béton et ont donc une résistance plus élevée à l'écoulement que des collecteurs en PVC.

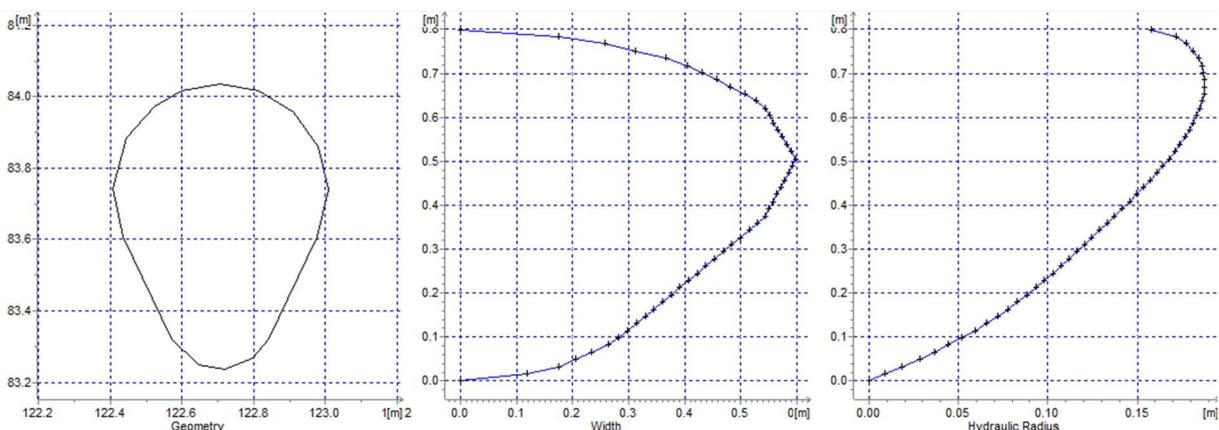


Figure 30 Géométrie de la conduite 600/800 de la rue Caroline, renseignée sur Mike Urban dans le cadre de l'élaboration du PGEE.

Légende :

Vitesse d'écoulement :  0.7 0.8 1 m/s

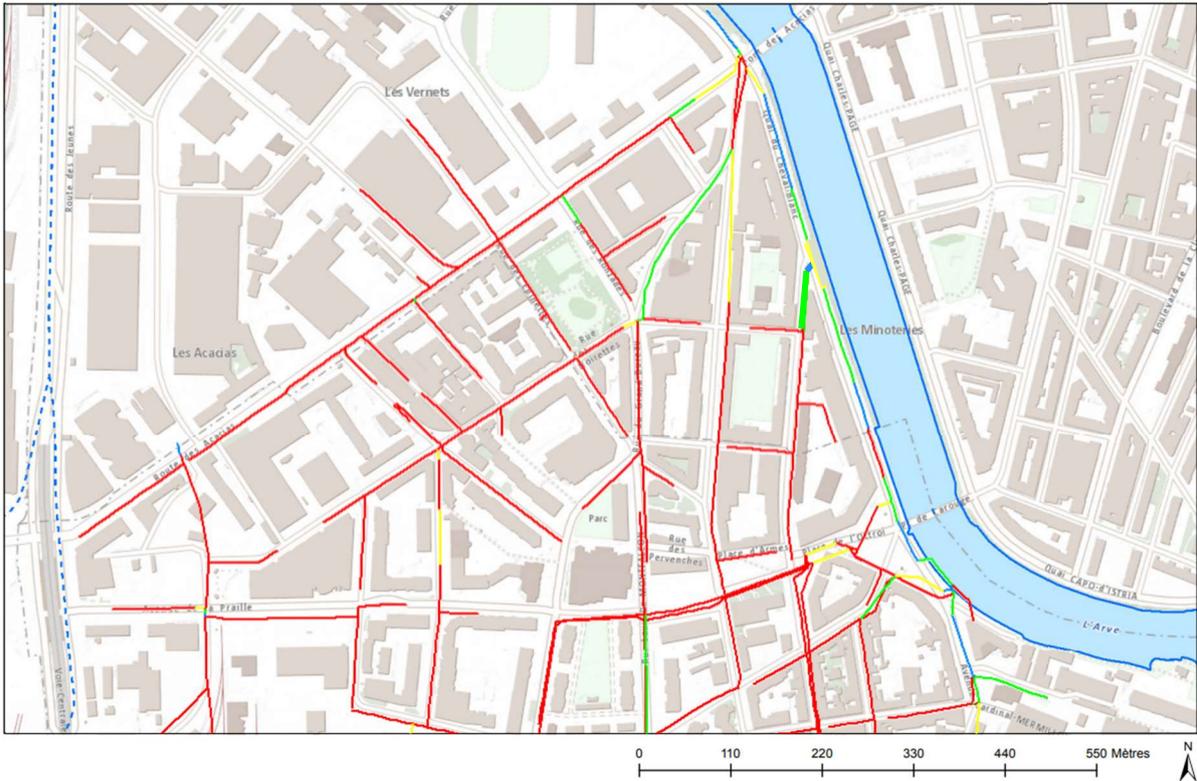


Figure 31 Résultats par temps sec pour la solution de base.

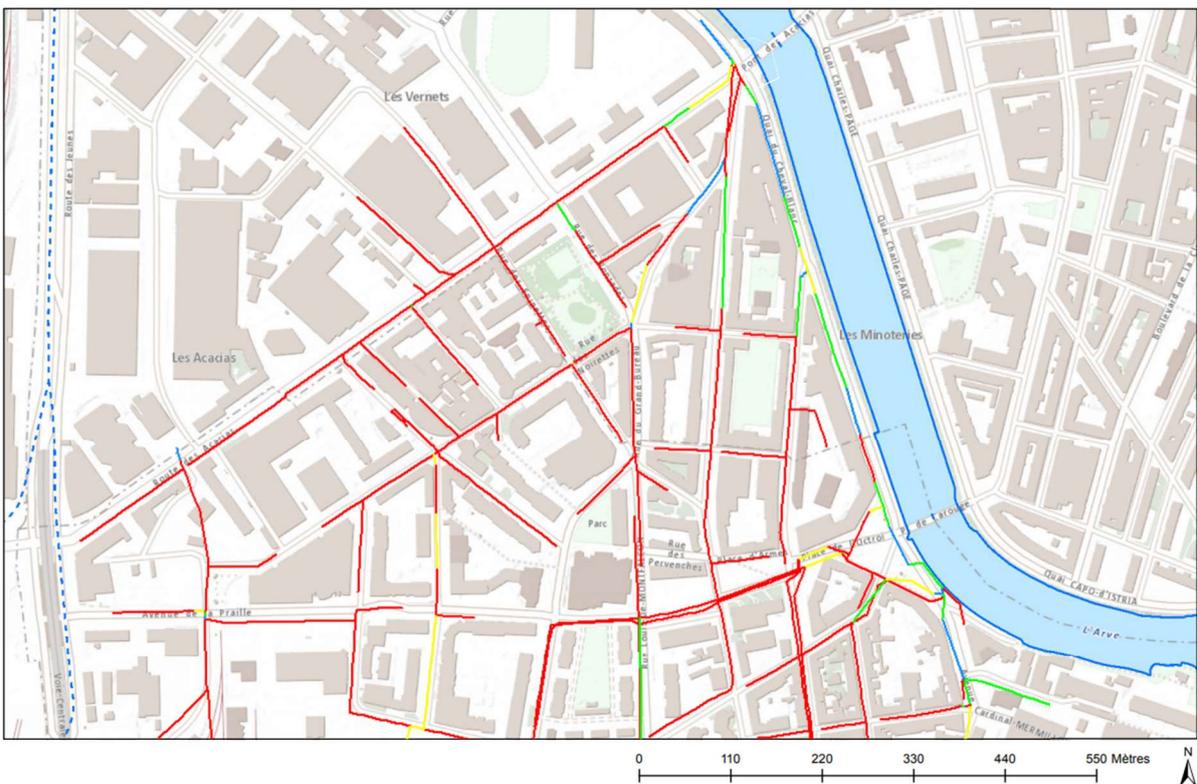


Figure 32 Résultats par temps sec pour la variante.

2.3.b Dimensionnement des collecteurs

La modélisation hydraulique permet de vérifier la continuité de l'écoulement ainsi que d'ajuster le dimensionnement des collecteurs grâce à la visualisation des hauteurs d'eau dans les profils en long des tronçons caractéristiques des solutions proposées. Cette vérification est abordée par secteurs avec tout d'abord le secteur Caroline, puis le secteur du Grand-Bureau et enfin le secteur Allobroges/Cheval-Blanc. La liste des profils en long présenté n'est pas exhaustive.

- **Collecteur de la rue Caroline.**

Le concept de mise en séparatif de la rue Caroline est similaire quel que soit la solution proposée, base ou variante. Le profil en long Figure 33 représente le collecteur d'eaux pluviales depuis l'amont de la rue Caroline, à la chambre 2011 existante, jusqu'au raccord sur l'ancien collecteur ovoïde 2100/2500. Les pentes du dernier tronçon seront à ajuster selon les caractéristiques de ce dernier collecteur. Parmi les 20 pluies du PGEE de la Ville de Genève, l'évènement classé en deuxième position le plus souvent sur ce secteur est celui du 13.06.1997 : c'est la pluie retenue pour le dimensionnement. Ce profil met en évidence le remplissage du tronçon pour cet évènement, en bleu, ainsi que la hauteur d'eau maximale relative à l'évènement classé en première position. Ce profil met en évidence le bon fonctionnement hydraulique du tronçon pour la pluie de dimensionnement, T 12.5 ; mais également pour la pluie classée au premier rang. Pour cette dernière, le taux de remplissage ne dépasse pas les 75% sur tous le tronçon. Il est à noter que les simulations réalisées avec la pluie de temps de retour 10 ans adaptés des mesures de la station Chevrier impliquent des hauteurs d'eau plus fortes qui dépassent la limite réglementaire.

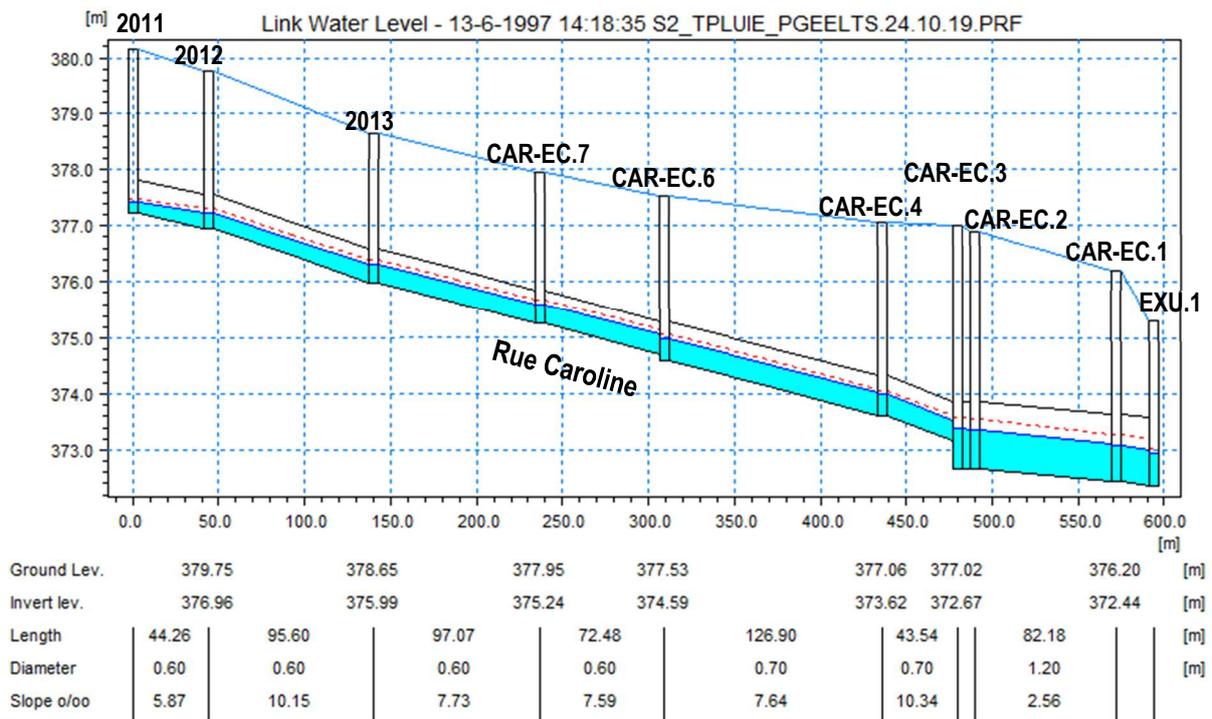


Figure 33 Hauteur d'eau dans les collecteurs de la rue Caroline jusqu'à l'exutoire, solution de BASE, pluie du 13.06.1997

- Secteur du Grand-Bureau

Solution de base

La continuité de l'écoulement dans le réseau d'eaux pluviales doit être vérifiée sur deux chemins dans le cadre de cette solution : depuis la rue des Noirettes, Figure 34, et depuis l'amont de la rue du Grand bureau, Figure 35. Dans les deux tronçons, le taux de remplissage ne dépasse jamais 73% pour la pluie du 13.06.1997.

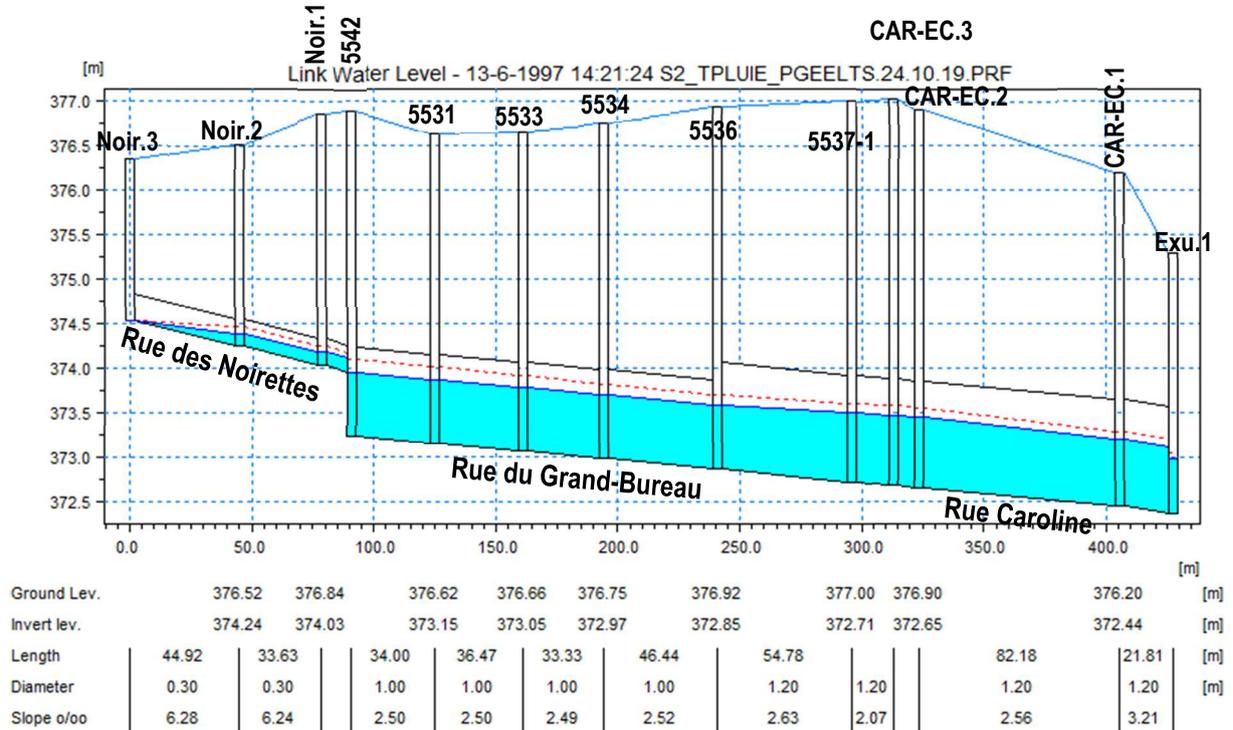


Figure 34 Hauteur d'eau dans les collecteurs depuis la rue des Noirettes jusqu'à l'exutoire, solution de BASE, pluie du 13.06.1997

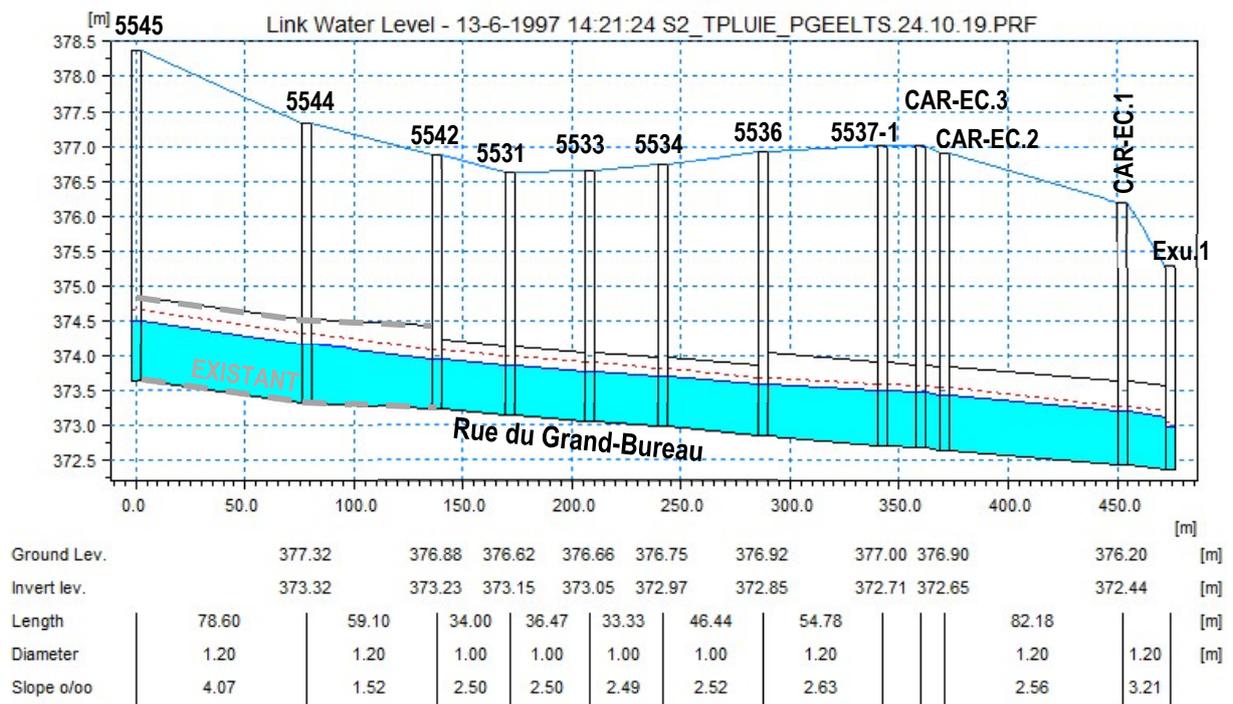


Figure 35 Hauteur d'eau dans les collecteurs de la rue du Grand-Bureau, solution de BASE, pluie du 13.06.1997

2.3.c Evaluation de l'impact de la mise en séparatif

La mise en séparatif du secteur poursuit deux objectifs : réduire à zéro les éventuels déversements du déversoir VG4 situé au niveau du pont des Acacias pour éviter les rejets d'eaux mélangés dans l'Arve et décharger le réseau primaire pour réduire la charge hydraulique arrivant à la STEP d'Aire lors des forts évènements pluvieux. L'évaluation de l'impact de la mise en séparatif dans l'optique de ces objectifs est abordée en deux temps : le fonctionnement du déversoir VG4 et l'impact la mise en séparatif.

- **Le fonctionnement du déversoir VG4**

Un schéma du déversoir est donné en annexe 9. Le fonctionnement du déversoir VG4 a été étudié à deux reprises en 2007 et en 2009 avec les logiciels HEC-Ras et Swimm. Les eaux mélangées provenant de l'ovoïde 1500/2300 arrivent à l'altitude la plus élevée dans l'ouvrage. Une vanne règle les débits d'eaux qui transitent dans le collecteur primaire de diamètre 1500 mm. Cette vanne réglable en hauteur définit le niveau de la surverse par laquelle l'eau rejoint le réseau d'eaux pluviales qui rejette dans l'Arve par un ovoïde 1500/2250.

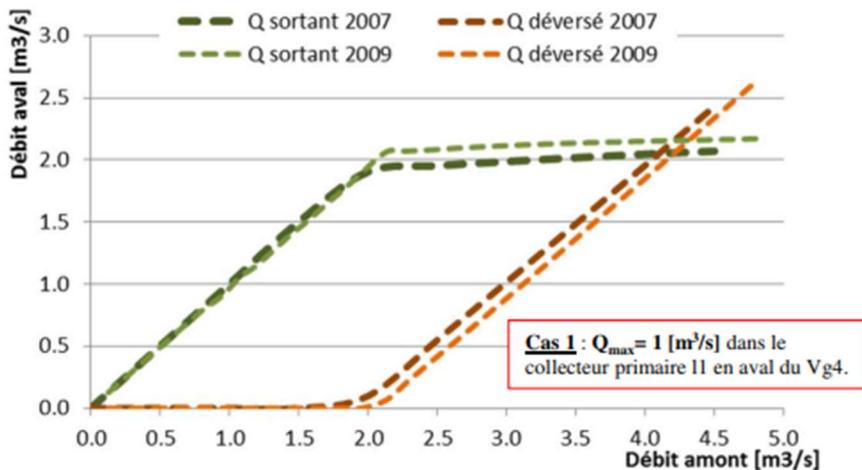


Figure 37 Comparaison de la loi de déversement déterminée initialement en 2007 (en gras et foncé) avec la loi déterminée en 2009 pour un débit de 1 m³/s dans le primaire, soit primaire vide

La hauteur d'eau nécessaire pour entrainer un déversement est d'environ 2.4m ce qui implique un débit entrant de près de 2m³/s. Les modélisations réalisées en 2009 prennent en considération les influences aval. Elles ont montré une influence du remplissage du primaire sur le fonctionnement de l'ouvrage, voir Figure 37 et Figure 38. Lorsque le collecteur primaire est en charge, les déversements débutent avant que le débit d'entrée n'atteigne 2 m³/s.

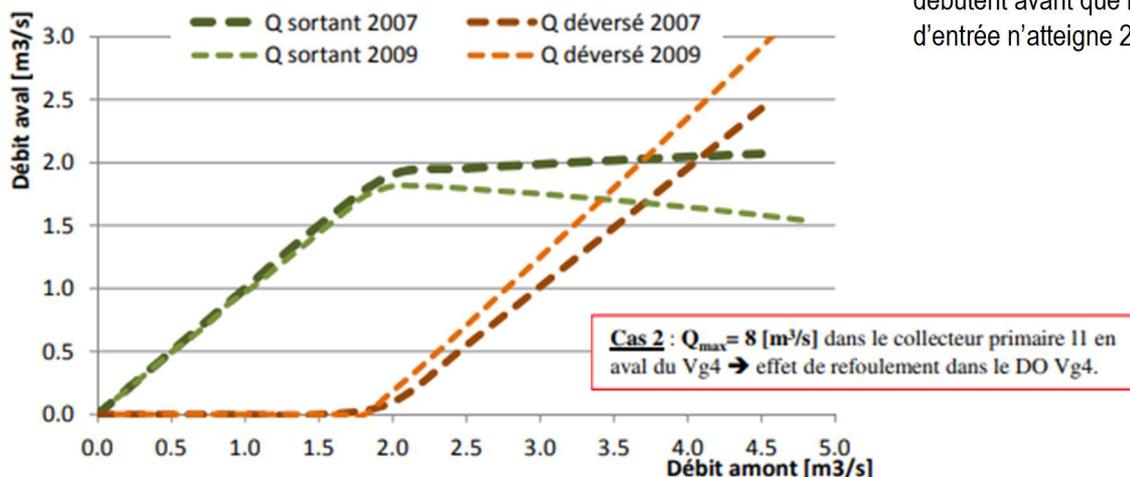


Figure 38 Comparaison de la loi de déversement déterminée initialement en 2007 (en gras et foncé) avec la loi déterminée en 2009 pour un débit de 8 m³/s dans le primaire, soit primaire en charge

Dans la mesure du possible, des simulations longue durée ont été réalisées sur la base des données de pluies de Grange-Falquet disponibles de 1990 à 2018. La complexité de la mise en œuvre de ces simulations résulte du temps nécessaire et des multiples erreurs susceptibles d'être rencontrées. Malgré la création de modèles simplifiés, desquels ont été supprimés les réseaux et bassins-versant déconnectés du déversoir d'intérêt, la durée des simulations, sur la période, est estimée à plus d'une semaine. De plus, des erreurs liées aux pas de temps ont été systématiquement rencontrés : le réseau se trouve surchargé en raison d'une arrivée importante d'eau dans certains nœuds. La réduction du pas de temps de la simulation permet de résoudre ces problèmes mais implique une augmentation considérable de la durée de simulation. Finalement, les résultats qui ont été obtenus n'ont pas pu mettre en évidence de déversement sur le déversoir VG4 que ce soit dans la situation existante ou après la mise en séparatif des réseaux. Une simulation événementielle avec la pluie de Chevrier de période de retour 10 ans a permis de vérifier que le fonctionnement du déversoir est en adéquation avec les données susmentionnées : le débit entrant de 1.9 m³/s dans le modèle existant entraîne un léger déversement d'environ 36 m³, voir Figure 39 et Figure 40.

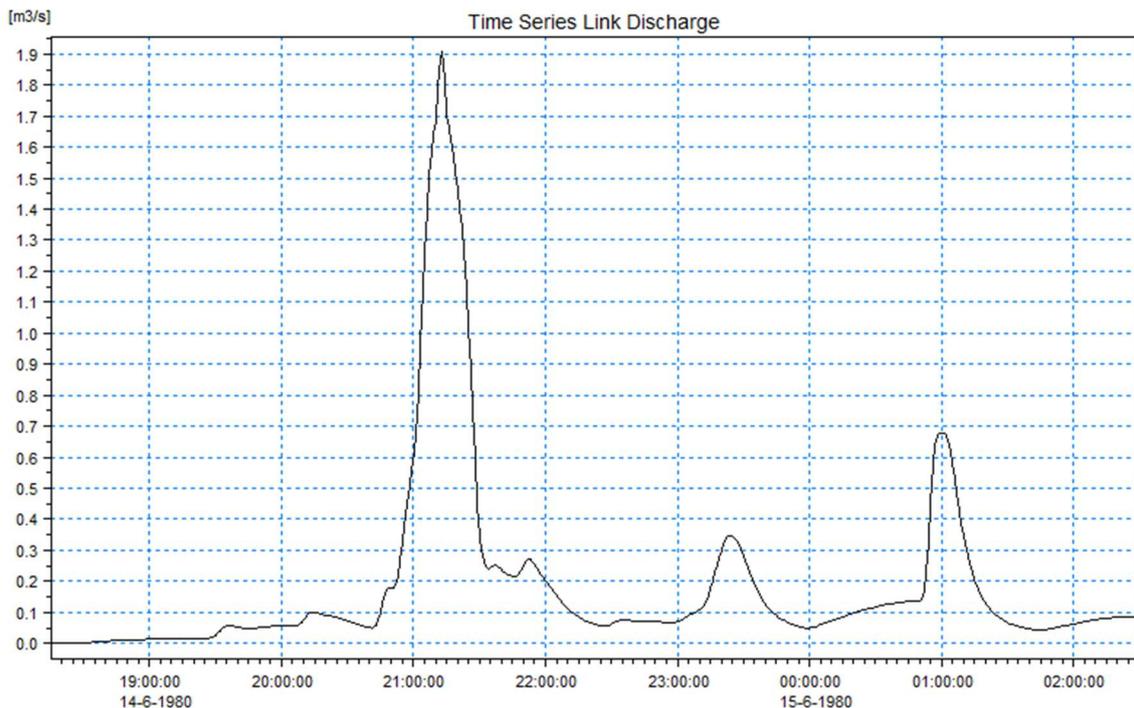


Figure 39 Débit entrant au déversoir VG4 depuis la canalisation d'eaux mélangées ovoïde 1500/2300, état existant, simulation de la pluie T10 de Chevrier.

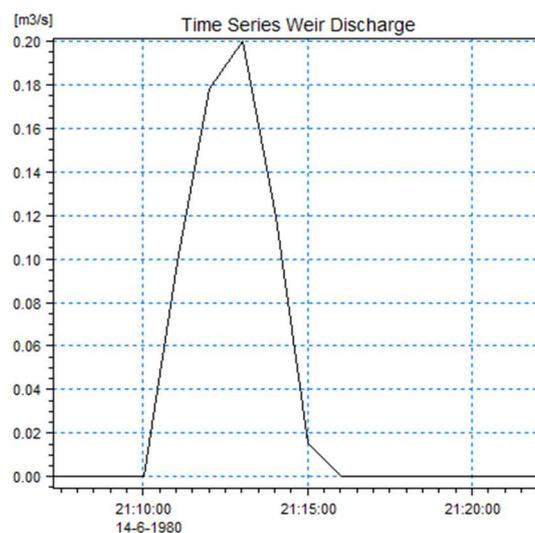


Figure 40 Débit déversé au VG4, état existant, simulation de la pluie T10 de Chevrier.

- **Impact de la mise en séparatif**

L'étude du fonctionnement du déversoir VG4 a permis de mettre en évidence que l'enjeu de la mise en séparatif ne réside pas tant dans la réduction des déversements que dans la diminution du débit dans le réseaux primaire afin de décharger la station d'épuration. La Figure 41 met en parallèle les volumes rejetés annuellement au milieu naturel au niveau de l'exutoire du pont des Acacias dans le cas de la solution de base et dans le cas de la situation actuelle entre 2012 et 2016. Les années 2017 et 2018 ne sont pas représentées en raison de l'absence de données de pluie sur une partie de l'année 2018 et de problèmes rencontrés pour poursuivre la simulation sur l'année 2017. On constate une nette augmentation des volumes rejetés dans le cas de la mise en séparatifs. Le réseaux primaire se trouve donc déchargé de la différence entre les volumes rejetés dans la situation actuelle et dans la solution proposée estimés à près de 150 000 m³ par an. Ces résultats sont cohérents avec les objectifs visés par la mise en séparatif.

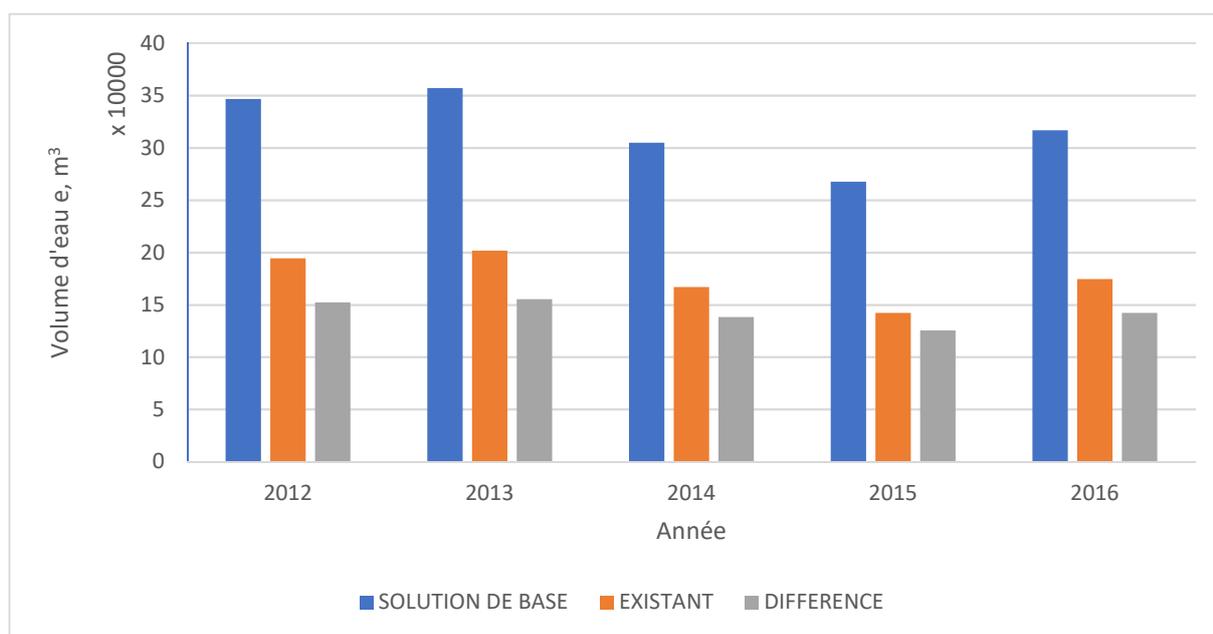


Figure 41 Impact de la mise en séparatif sur les volumes rejetés à l'exutoire du pont des Acacias

III. ETUDE DE FAISABILITE ET PERSPECTIVES D'URBANISATION

Cette dernière partie est scindée en deux chapitre distincts : le premier établit une étude de faisabilité dans la continuité des solutions proposées en détaillant les aspects techniques et financiers tandis que le dernier chapitre propose une ouverture sur les perspectives du secteurs et des environs en termes d'urbanisme.

1. ETUDE DE FAISABILITE

Ce chapitre présente successivement les étapes de travaux et leurs aspects techniques, l'exploitation et l'entretien du réseau et l'estimation des coûts ainsi que les modalités de financement.

1.1 Etapes des travaux et aspects techniques

1.1.a Réalisation par étapes

Les étapes de réalisation des travaux pour la mise en séparatif du réseau sont dépendantes de plusieurs facteurs : la gestion de l'évacuation des eaux lors des étapes transitoires, la présence de travaux sur les secteurs concernés, le degré de gravité lié à l'état des canalisations.

Des travaux d'assainissement du bruit impliquant la réfection de la chaussée sont prévus à court termes sur la rue Caroline, c'est donc prioritairement ce secteur qui doit faire l'objet de la mise en séparatif de plus. La situation à l'aval de cette rue est déterminante pour pouvoir finaliser les modifications du secteur Grand-Bureau.

Pour la solution de base sur le secteur Grand-Bureau, une étape préalable au remplacement du collecteur actuellement en eaux mélangé est de raccorder les sorties d'eaux usées au collecteur parallèle amené à changer d'affectation pour passer d'eaux pluviales à eaux usées. Les modifications des branchements à l'amont de la rue du Grand-Bureau permettront de séparer complètement en eaux usées le collecteur ovoïde 600/800 de gauche. La réaffectation du collecteur de droite, ovoïde 800/1200, en eaux pluviales nécessite la mise en séparatif de l'amont du réseau détaillée en annexe 8 . Ces modifications permettent ensuite de connecter les chambres 5555 et 5541 dans la continuité du futur réseau d'eaux usées. Le remplacement du collecteur d'eaux mélangées se fait depuis la chambre 5542, les eaux peuvent continuer d'être évacuées à l'aval dans l'exutoire VG4 avant que les eaux pluviales ne soient définitivement séparées et rejetées à l'exutoire du pont des Acacias.

Pour la variante, les contraintes concernant la réalisation des travaux sur le secteur Grand-Bureau sont restreintes mais c'est la déviation effective des eaux pluviales qui permettra de finaliser la séparation des eaux. Il est possible de réaliser dans un premier temps le remplacement et le rehaussement de la conduite d'eaux pluviales depuis la rue des Noirettes et de garder une connexion transitoire au déversoir d'orage. La déviation des eaux pluviales est dépendante de la mise en place du siphon : la mise en place du tronçon depuis la rue du Grand-Bureau jusqu'à l'exutoire du quai du Cheval-Blanc doit se faire de l'aval vers l'amont avec la déconnexion des chambres 5542 et 5544 en dernière étape. .

Les solutions proposées permettent de maintenir le fonctionnement du VG4 lors des étapes transitoires: la conduite qui draine initialement des eaux mélangées est maintenue pour les eaux usées. Lors des phases de travaux, toutes les eaux peuvent continuer à être évacuées par cette conduite. Il était prévu initialement de modéliser le fonctionnement hydraulique du réseau lors des étapes transitoires ; cette modélisation est cependant devenue superflue puisque la capacité du collecteur maintenu à évacuer les eaux mélangées est déjà assurée.

Considérant l'état des collecteurs, la réhabilitation de la canalisation d'eaux pluviales de la rue des Noirettes est prioritaire, de même que la réhabilitation de l'actuel collecteur rue des Allobroges, destiné aux eaux usées. Les collecteurs qui ne sont pas remplacés doivent malgré tout être réhabilités dans l'ensemble.

1.1.b Aspects techniques

• Pose des canalisations

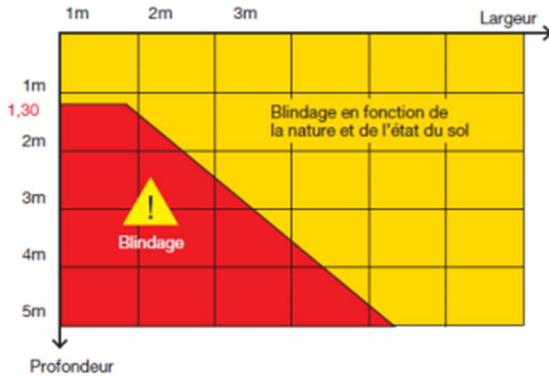


Figure 42 Géométries de fouille nécessitant un blindage (GDF SUEZ, 2014).

La mise en œuvre des branchements et des collecteurs d'assainissement est détaillée et encadrée principalement par la norme SN EN 1610 :1997, elle est également complétée par la norme SIA 190 :2017.

La réalisation des fouilles doit respecter une géométrie dépendante de la profondeur de la canalisation ainsi que de son diamètre. La largeur de la fouille est déterminée en fonction de la profondeur et en fonction du diamètre de la conduite à poser selon les Tableau 15 et Tableau 16. Selon la profondeur et la largeur de fouille, un blindage doit être mis en place pour assurer la stabilité de la tranchée, voir Figure 42.

Tableau 15 Largeur minimale de la fouille en fonction du diamètre de la canalisation à poser

DN mm	Espace de travail total (OD + x) m		
	Fouille blindée, en U	Fouille non blindée, en V	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
≤ 225	OD + 0.40	OD + 0.40	OD + 0.40
$> 225 \text{ à } \leq 350$	OD + 0.50	OD + 0.50	OD + 0.40
$> 350 \text{ à } \leq 700$	OD + 0.80	OD + 0.80	OD + 0.40
$> 700 \text{ à } \leq 1200$	OD + 0.90	OD + 0.90	OD + 0.40
> 1200	OD + 1.00	OD + 1.00	OD + 0.40

Tableau 16 Largeur minimale de la fouille en fonction de sa profondeur.

Profondeur de fouille m	Largeur de fouille minimale m
< 1.00	0.60
$\geq 1.00 \text{ à } \leq 1.75$	0.80
$> 1.75 \text{ à } \leq 4.00$	0.90
> 4.00	1.00

Les matériaux pour la zone de la canalisation doivent être conformes à la norme SN EN 1610 pour garantir la stabilité durable et la résistance de la canalisation enterrée. Les matériaux doivent supporter des charges verticales liées au remblai mais également au trafic ainsi que longitudinales et transversales liées au terrain notamment. Les matériaux, l'appui, le supportage, les épaisseurs des couches d'enrobage et sa granulométrie sont choisis en considérant le diamètre et le matériau du tuyau ainsi que la nature du sol. Selon les cas, les matériaux excavés peuvent être réemployés. La Figure 43 présente les couche de matériaux qui supportent et recouvrent la canalisation.

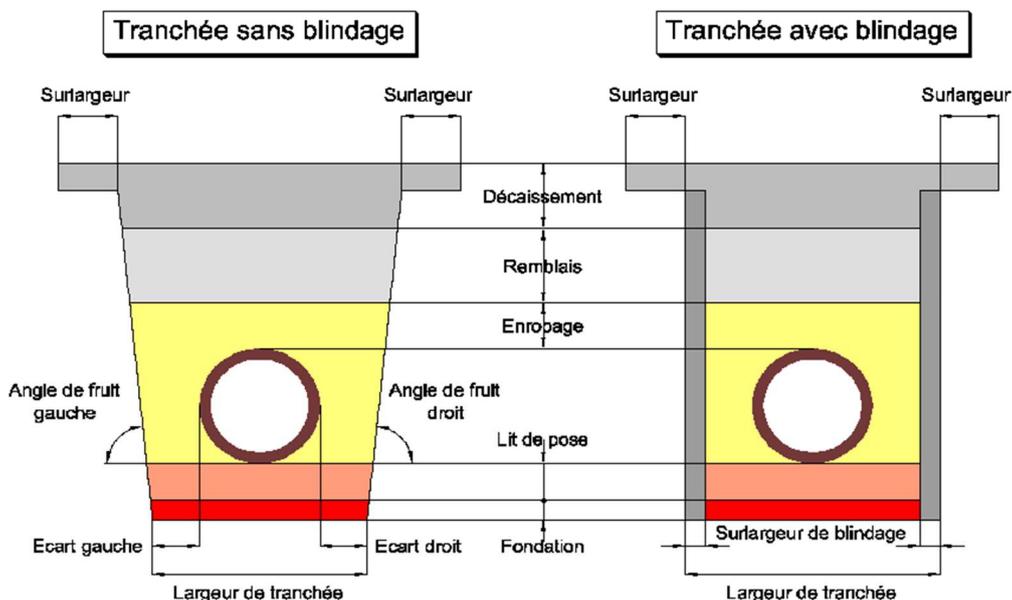


Figure 43 Coupe d'une tranchée pour pose de canalisation, avec et sans blindage. extrait du logiciel COVADIS.

1.1.c Réhabilitation des collecteurs

La réhabilitation des canalisations par chemisage permet de mettre en conformité les collecteurs sans avoir à réaliser de fouille en résolvant des défauts ponctuels ou continus, comme les fissures ou la corrosion, avec la mise en place d'une gaine. Trois grandes étapes conduisent la réhabilitation par chemisage (FRAUENKNECHT P., 2014) :

1. L'évaluation des travaux à réaliser

Les conduites sont d'abord nettoyées par jet d'eau à haute pression, appelé hydrocurage, pour retirer les dépôts, elles sont ensuite inspectées par caméra pour repérer les défauts de type embranchements pénétrants ou présence de racines. Une déformation du tuyau supérieure à 10% peut compromettre la faisabilité des travaux et la présence de bris pourraient déchirer la gaine.

2. Les travaux préparatoires

Deux interventions permettent de préparer la conduite en amont de la pose de la gaine : le fraisage des défauts pénétrants et le colmatage des infiltrations. La conduite est à nouveau nettoyée et inspectée après l'intervention.

3. Le chemisage

Plusieurs méthodes existent, parmi lesquelles le chemisage continu fait intervenir une gaine préformée en usine mise en place par traction avec durcissement au rayon UV ou par inversion. La première méthode consiste à tracter de regard à regard la gaine imprégnée d'une résine photodurcissante. Lorsque la gaine est placée, elle est déployée par injection d'air puis durcie à l'aide du passage d'un train à lumière UV. La seconde méthode repose sur l'inversion d'une gaine revêtue de résine à l'aide d'air comprimé ou d'eau sous pression.

D'autres méthodes de réhabilitation peuvent être mises en œuvres telles la mise en place de coques en PRV que le tubage par enroulement hélicoïdal pour les ouvrages visitables (MERMET N., 2014).

1.2 Exploitation et entretien du réseaux d'assainissement

L'exploitation et l'entretien du réseau visent à réduire principalement les risques de mise en danger de la santé publique et d'atteinte au milieu naturel. Ils permettent le bon fonctionnement du réseau, assurent sa fiabilité, son efficacité et valorise les équipements en améliorant leur durée de vie. Le concept d'exploitation est élaboré par le propriétaire ou ses mandataires dans la réalisation du PGEE, elle est approuvée par l'autorité de surveillance, l'OCEau, et est mise en œuvre par l'exploitant. Le réseau secondaire est propriété des communes, elles doivent en assurer l'exploitation et l'entretien sous le contrôle de l'autorité cantonale, cette mission pouvant être déléguée à l'exploitant du réseau primaire, les SIG. Deux composantes entrent dans le cadre de l'exploitation du réseau : l'entretien courant qui comprend les contrôles et le curage, et l'entretien constructif qui concerne des interventions ponctuelles comme la réparation de fissures, la reconstruction d'un regard ou le fraisage de raccords mal réalisés (République et canton de Genève, 2009).

Plusieurs problèmes peuvent toucher les canalisations : les dépôts en tout genre, les concrétions calcaires, la pénétration de racines ou la présence d'infiltration/exfiltrations. Le programme d'exploitation prévoit de réaliser régulièrement des contrôles visuels ainsi que le curage des collecteurs. La fréquence des interventions dépend principalement de la pente et prend également en compte l'état du collecteur, son matériau, l'âge, la section... Le PGEE de la commune de Carouge prévoit une répartition en 5 bassins-versants pour assurer la rotation des interventions. En dehors de quelques tronçons à forte pente pour lesquels les intervalles de contrôle visuel sont de 5 ans et celles de curage sont de 10 ans, les inspections sont programmées tous les 3 ans et le curage tous les 5 ans sur toute la commune. Une fréquence similaire des inspections visuelles et du curage doit s'appliquer aux collecteurs considérés dans cette étude.

Le regards de visite sont susceptibles de rencontrer des problèmes de plusieurs ordres : mauvais état des couvercles, problèmes d'accès, odeurs, infiltrations d'eaux, dépôts... La vérification du bon état des regards est réalisée lors des inspections visuelles. Selon la configuration des arrivées, certains regards doivent faire l'objet d'une attention particulière, notamment lorsqu'il y a confluence des canalisations. Les problèmes susmentionnés étant principalement de nature constructive, ils doivent être signalés par l'exploitant au propriétaire pour que les mesures nécessaires puissent être prises.

1.3 Estimation des coûts et financement

Les aspects financiers sont abordés en trois temps avec tout d'abord l'estimation des coûts de travaux puis l'estimation des coûts de la réhabilitation suivie des modalités de financement.

1.3.a Coûts des travaux

L'estimation des coûts est réalisée à l'aide d'un outil fourni par L'OCeau permettant de calculer la valeur économique de remplacement des collecteurs selon les coûts moyens de 2014. Les calculs prennent en compte la longueur des tronçons, leur profondeur et le diamètre des canalisations. Le détail des valeurs de référence sont données en annexe 10. Les honoraires d'ingénieurs, géomètres, huissiers... sont estimés à 15% du coût HT des travaux.

La solution proposée pour la base n'implique pas d'intervention sur le secteur Allobroges/Cheval-Blanc vis-à-vis du concept qui a été proposé en 2014. Le devis estimatif de la mise en séparatif de ce secteur est de 2'100'000 CHF HT donné dans le rapport du groupe NEREE pour la variante préconisée (NEREE, 2014).

Tableau 17 Coûts des travaux TTC, hors honoraires d'ingénieurs

		BASE CHF TTC	VARIANTE CHF TTC
Rue des Noirettes	EP	110 000	100 000
Rue du Grand-Bureau	EP EU	820 000 14 000	400 000 /
Rue Caroline	EP EU	800 000 <i>avant croisement</i> 450 000 <i>à l'aval</i> 62 000	800 000 <i>avant croisement</i> 310 000 <i>à l'aval</i> /
Rue Simon-DURAND	EP EU	/ 115 000	500 000 /
Rue des Mouettes	EU	90 000	90 000
Rue des Allobroges et Quai du Cheval-Blanc	EP	2 250 000 (NEREE, 2014)	2 250 000
TOTAL		4 450 000 CHF TTC	4 711 000 CHF TTC

1.3.b Coût de la réhabilitation

L'état des collecteurs sur le secteur de la Ville de Genève nécessitent d'être réhabilités. Les coûts au mètre linéaire de réhabilitation ont été transmis par l'entreprise SCRASA. Seuls les collecteurs dont le niveau de gravité est de 1 ont été considéré, excepté pour la rue Caroline pour laquelle la réhabilitation du collecteur unitaire réaffecté en eaux usées est également proposé sur toute la longueur. Les chiffres relatif au prix de la réhabilitation sont donnés dans le Tableau 18

Tableau 18 Estimation du coûts de la réhabilitation des collecteurs en mauvais état.

Diamètre mm	Rue	Prix CHF/ml	Linéaire m	Total CHF
1000/1500	Rue du Grand-Bureau	680	233	158 440
600/800	Rue du Grand-Bureau	450	143	64 350
	Rue Caroline		471 dont -> 111 en niveau de gravité 1	211 950 ou 49 950
400	Rue Simon DURAND	300	280	84 000
400/600	Rue des Allobroges	350	321	112 350
300/400	Rue Simon DURAND	300	64	19 200
TOTAL				650 290 min : 488 290

1.3.c Financement des réseaux d'assainissement

L'Association des Communes Genevoises, ACG, regroupe l'ensemble des 45 communes du canton de Genève : l'ACG est un organe fédérateur et un support opérationnel pour les communes, elle défend leurs intérêts auprès des autorités publiques (APOTHELOZ T., 2017). Entré en vigueur au 1^{er} janvier 2015 et géré par l'ACG, le Fonds Intercommunal d'Assainissement, FIA, a pour but de gérer le réseau secondaire des communes. A cet effet, les communes louent leur réseau secondaire au Fonds Intercommunal d'Assainissement qui en assume les frais d'entretien et d'exploitation que ces travaux soient réalisés par les communes elles-mêmes ou par des tiers, à l'instar des SIG qui exploitent et entretiennent les réseaux secondaires des 44 communes Genevoises (hors Ville de Genève) (SIG, 2018). Le FIA dispose de plusieurs ressources dont :

- La **taxe unique de raccordement, TUR** :

En vigueur depuis le premier janvier 2015, la TUR rassemble deux composantes :

- Une composante « eaux usées » qui est calculée sur le mode d'affectation des surfaces ou la nature des activités
- Une composante « eaux pluviales » qui est calculée proportionnellement à la surface imperméable du projet de construction.

La TUR incite à la non imperméabilisation des aménagements extérieurs et permet également un abattement non négligeable de la composante « eaux pluviales » en cas de réalisation de mesures de gestion des eaux pluviales à la parcelle ou de végétalisation des toitures. En effet, en cas de réalisation de toitures végétalisées qui respectent la norme SIA 312, le règlement prévoit un abattement de 50% de la composante « eaux pluviales ». De même, lorsque les mesures de gestion sont favorables à la biodiversité, le taux d'abattement est augmenté de 20%.. Les surfaces du projet sur lesquelles les eaux pluviales sont intégralement infiltrées sont exonérés de la taxe (DGEau, 2017).

- La **taxe annuelle d'utilisation du réseau secondaire** :

La taxe d'utilisation du réseau secondaire fait partie intégrante du prix de l'eau supporté par l'utilisateur, elle est collectée par SIG et reversée intégralement aux communes propriétaires des réseaux secondaires de collecte des eaux usées. Elle est composée d'une part fixe et d'une part variable. Les deux parts sont dépendantes de la tranche annuelle de référence relative au volume d'eau consommé annuellement. Le prix de l'eau est également déterminé par trois autres composantes : une part dédiée à la production et à la distribution de l'eau potable, une taxe d'épuration des eaux usées et une taxe fédérale sur les eaux usées. La grille tarifaire en vigueur depuis 2016 est donnée Figure 44.

Tranche annuelle de référence (m ³ /an)		Production et Distribution Eau Potable 		Taxe d'épuration des Eaux Usées		Taxe d'utilisation du réseau secondaire 		Taxe fédérale sur les Eaux Usées 
		Forfait annuel (CHF/an)	Prix du m ³ dépassant le forfait (CHF/m ³)	Forfait annuel (CHF/an)	Prix du m ³ dépassant le forfait (CHF/m ³)	Forfait annuel (CHF/an)	Prix du m ³ dépassant le forfait (CHF/m ³)	Prix en CHF/m ³
Minimum	Maximum							
0 m ³	100 m ³	275.-	-	260.-	-	44.-	-	0.11.-
100 m ³	500 m ³	275.-	2.32.-	260.-	2.28.-	44.-	0.40.-	
500 m ³	5'000 m ³	1'203.-	1.76.-	1'172.-	1.73.-	204.-	0.30.-	
5'000 m ³	20'000 m ³	9'123.-	1.50.-	8'957.-	1.48.-	1'554.-	0.26.-	
+ de 20'000 m ³		31'623.-	1.33.-	31'157.-	1.31.-	5'454.-	0.23.-	

Figure 44 Prix de l'eau : grilles tarifaire appliquée depuis 2016 (SIG, 2019)

- La **taxe périodique sur les voiries publiques**

La prise en charge des chantiers publics d'assainissement par le FIA suit une procédure type en 5 grandes étapes. Dans un premier temps, les honoraires de l'offre retenue suite à l'appel d'offre relatif au projet doivent être validés par l'OCEau et approuvés par le conseil. La validation du volet technique se fait en concertation avec l'OCEau. Le volet financier est ensuite approuvé par le Conseil après validation de l'OCEau. L'avant dernière étape est la délibération du conseil municipal qui amène à la conduite des travaux. Enfin, le décompte final est réalisé sur la base des mètres effectivement facturés : le versement du premier loyer se fait après approbation par le Conseil.

2. PERSPECTIVES D'URBANISATION

Le canton de Genève prévoit un important remaniement d'une importante zone industrielle et artisanale située sur les territoires de la ville de Genève, de Carouge et de Lancy. Ce grand projet, « Praille Acacias Vernets », ou PAV, a pour ambition de revaloriser l'environnement naturel au cœur de la ville en réouvrant notamment le cours d'eau de la Drize dont un important tronçon est aujourd'hui enterré. Ce chapitre a pour vocation d'apporter un éclairage sur l'avenir de la gestion des eaux de surface à proximité du secteur d'étude et propose une ouverture sur les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et sur la gestion durable de l'eau.

2.1 Le projet « Praille Acacias Vernets ».

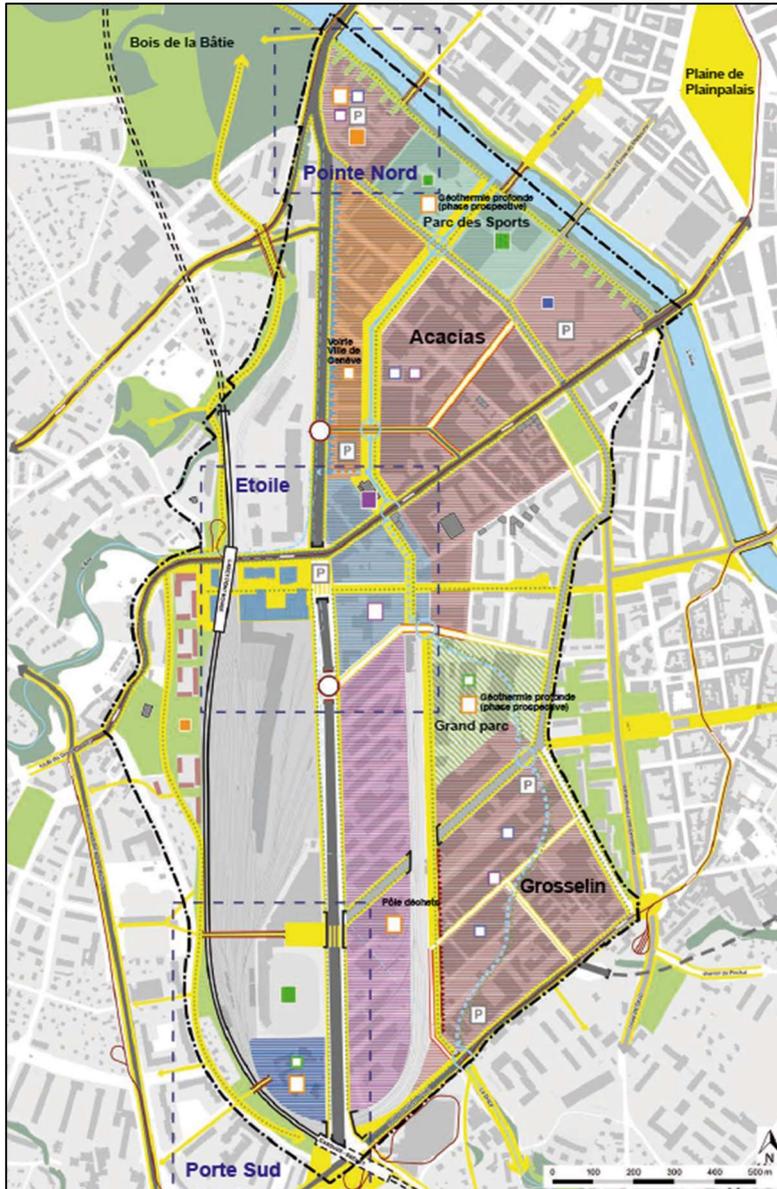


Figure 45 Emprise du PAV (République et canton de Genève, 2015)

pouvait être dépassée, notamment du fait d'un bouchage partiel ou total. Etant donné la mutation du secteur prévoyant une augmentation importante des personnes et des biens, la protection contre les risques naturels (inondations) et technologiques (accidents majeurs) doivent être assurés. Ces impératifs sécuritaires ouvrent des opportunités majeures en termes d'aménagements des espaces publics, de paysage et d'environnement avec une remise en scène de l'eau au cœur de la ville.

Débuté en 2005, le projet PAV a pour ambition de transformer, sur plusieurs décennies, près de 230 hectares situés au cœur de la ville sur la plus grande et ancienne zone industrielle et artisanale genevoise. Le plan directeur de quartier a été élaboré par l'Etat de Genève en collaboration avec les Villes de Genève, Carouge et Lancy et en concertation avec les divers acteurs concernés pour construire un projet mixte et durable, à la fois urbain et proche de la nature donnant la priorité au logement, avec environ 11 000 nouveaux logements, et à la qualité de vie. Les transports collectifs et la mobilité douce, piétons et cyclistes, sont mis en avant avec notamment deux stations CEVA (Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse), le futur réseau express régional (République et canton de Genève, 2015).

Le projet vise l'exemplarité sur le plan de l'environnement avec un cadre de vie amélioré par la présence d'espaces verts et la remise à ciel ouvert des rivières. En effet, le secteur du PAV est traversé par deux rivières : l'Aire et la Drize, qui ont été mises sous terre au cours du XX^{ème} siècle. Des dangers d'inondation ont été mis en évidence par des études ayant montré que la capacité des voûtages

La remise à ciel ouvert de l'Aire et de la Drize, estimée à plus de 50 millions de francs, vise plusieurs objectifs : en termes d'hydraulique avec le retour d'une dynamique fluviale naturelle tout en assurant la sécurité des personnes et des biens, en termes d'environnement avec la restauration d'une continuité biologique et en termes d'urbanisme avec la volonté d'offrir un cadre vie qui participe au bien-être des populations. L'aménagement du lit des cours d'eau vise à mimer une situation naturelle avec une alternance de radiers rapides et peu profonds et de zones plus profondes en extérieur des méandres correspondant vraisemblablement à l'équilibre morphodynamique naturel pour l'Aire et la Drize. Cependant, la présence d'infrastructure lié au contexte urbain nécessite de figer les secteurs remis à ciel ouvert : l'aménagement du lit mineur sera contenu dans un carcan limitant l'évolution latérale ou verticale du lit, voir Figure 46. (Groupement CERA-GREN-HydroGéo conseils, 2016) (Groupement CERA - GREN - Urbaplan, 2018)

La forte sensibilité de la Drize en raison de son débit modeste a mené au choix d'interdire les rejets d'eaux pluviales dans les cours d'eau notamment en considérant que les eaux de rejets provenant d'un environnement aussi urbanisé ne correspondent pas aux objectifs de qualité visés. Toutefois, certaines opportunités, étudiées au cas par cas, ne sont pas exclues sous certaines conditions notamment de qualité : les eaux doivent être classées parmi les « non polluées », être propices au développement des organismes sensibles et répondre aux conditions d'hygiène pour la baignade. Ces règles visent à promouvoir les techniques douces comme les toitures végétalisées (Groupement CERA - GREN - Urbaplan, 2018).

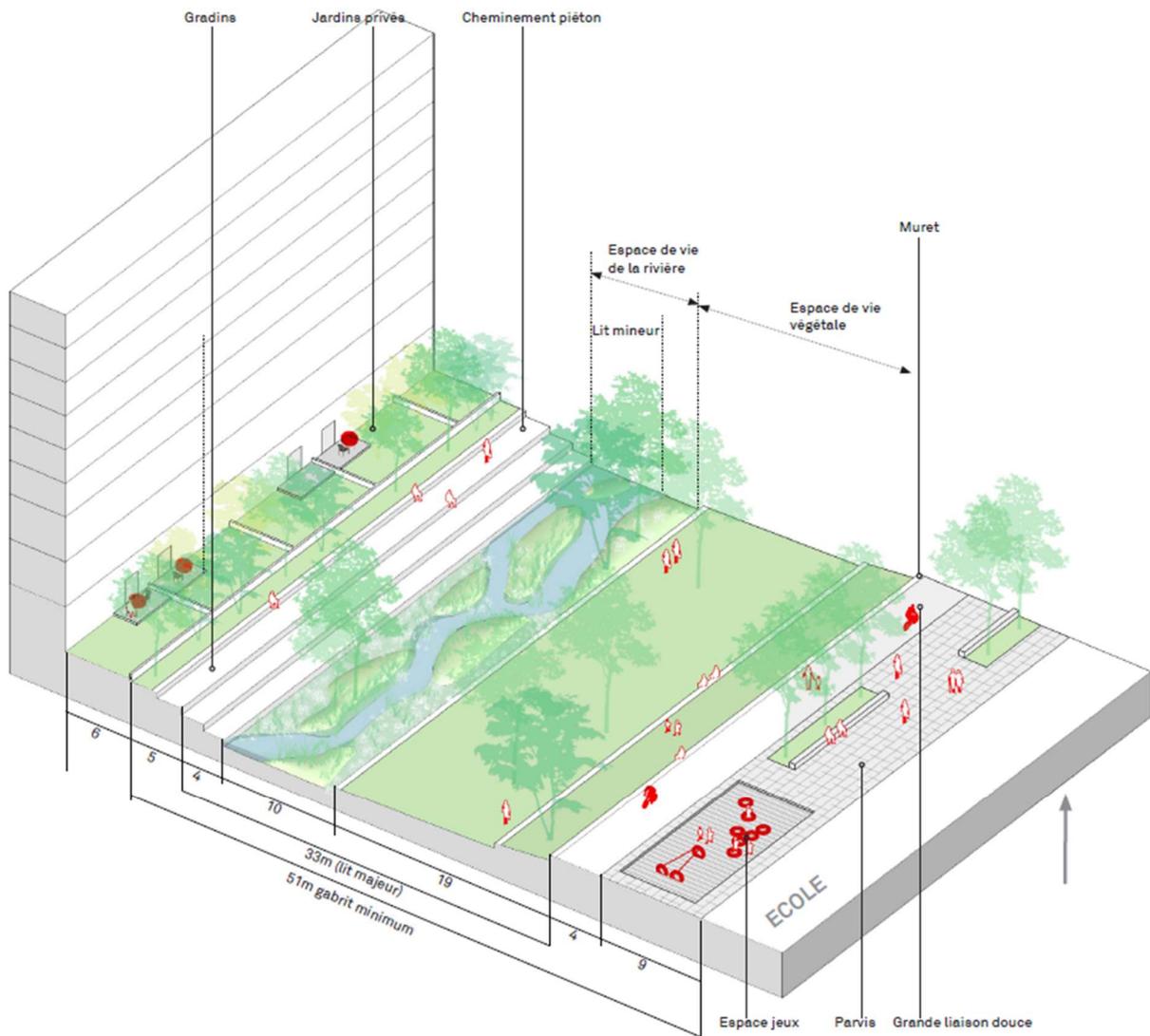


Figure 46 Coupe illustrative d'aménagement pour les rues intérieures du quartier. (Fischer montavon + associés ; Atelier Marion Talagrand / Biol conseils / Energys / Citec, 2016)

2.2 Gestion alternative des eaux pluviales

La gestion des eaux pluviales à la parcelle poursuit principalement deux objectifs: la désengorgement des réseaux d'assainissement, le traitement de la pollution éventuellement présente. La réduction des rejets dans les réseaux, tout particulièrement dans les systèmes unitaires, permet à la fois de limiter les déversement d'eaux mélangées dans le milieu naturel et d'éviter la surcharge des stations d'épurations. Quant au traitement de la pollution, il assure le retour d'une eau de qualité dans son cycle naturel. La méthodologie de dimensionnement des différents ouvrages de gestion des eaux pluviales à la parcelle suit une logique équivalente avec, dans un premier temps, la détermination de la capacité de rétention (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010):

$$V = S_r * R * Q * C_s$$

Avec : **S_r** : la surface qui participe au ruissellement en m^2
R : Le coefficient de ruissellement
Q : La quantité de pluie incidente en mm/m^2 ou l/m^2
C_s : Un coefficient de sécurité dépendant du contexte

Dans un second temps, le calcul du débit d'infiltration en mm/h doit être réalisé :

$$D = S_i * K$$

Avec : **S_i** : la surface dédiée à l'infiltration en projection horizontale en m^2
K : capacité d'infiltration en mm/h

Il est nécessaire ensuite de contrôler l'épaisseur de la lame d'eau, rapport entre le volume calculé et la surface d'infiltration, puis de contrôler la durée de vidange, rapport entre le volume calculé et le débit d'infiltration.

La question de l'évacuation des eaux de pluie trouve de nombreuses réponses alternatives à adapter selon le contexte (OFEFP, 2000) parmi lesquelles nous présentons, de manière non exhaustive et succincte, plusieurs des solutions pour des cas de figure variés, espaces publics ou privés : les jardins de pluie, les toitures végétalisées et les revêtements infiltrants.

2.2.a Les jardins de pluie

Développés aux Etats-Unis dans les années 90 où ils se sont popularisés, les jardins de pluies sont conçus pour recevoir les eaux de pluie provenant des toitures ou des surfaces pavées dans une dépression de faible profondeur dont le sol poreux permet l'infiltration ainsi que le développement d'une végétation capable de résister à des inondations temporaires, voir Figure 47. Ce type de jardins permet généralement de réduire à zéro les rejets au réseau. En cas d'évènements pluvieux de forte intensité, il est cependant possible que le sol soit saturé: l'eau en excès est alors simplement drainé et rejeté dans les réseaux existants. La conception de ces jardins peut être davantage élaborée selon le contexte et la nécessité, par exemple, de recueillir des eaux polluées. (BRAY B., 2019)

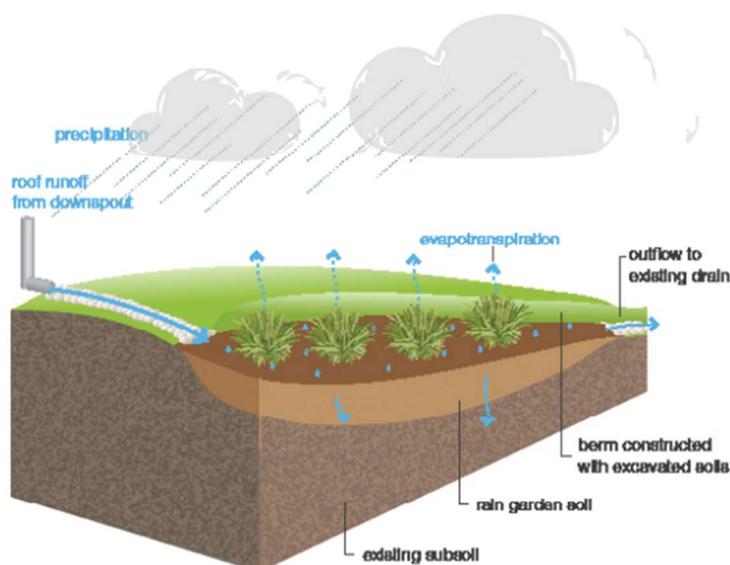


Figure 47 Coupe d'un jardin de pluie domestique typique. (BRAY B., 2019)

2.2.b Les toitures végétalisées

Bien que l'idée de végétaliser les toits ne soit pas nouvelle, c'est au début des années 70 que se développe davantage ce type d'aménagements dans les zones urbanisées. En Suisse, l'OFEFP publie en 1996 un rapport visant à inciter et généraliser l'usage de ce type de toits (OFEFP, 1995) et la norme SIA 312 :2013 fait référence en termes de végétalisation de toitures.

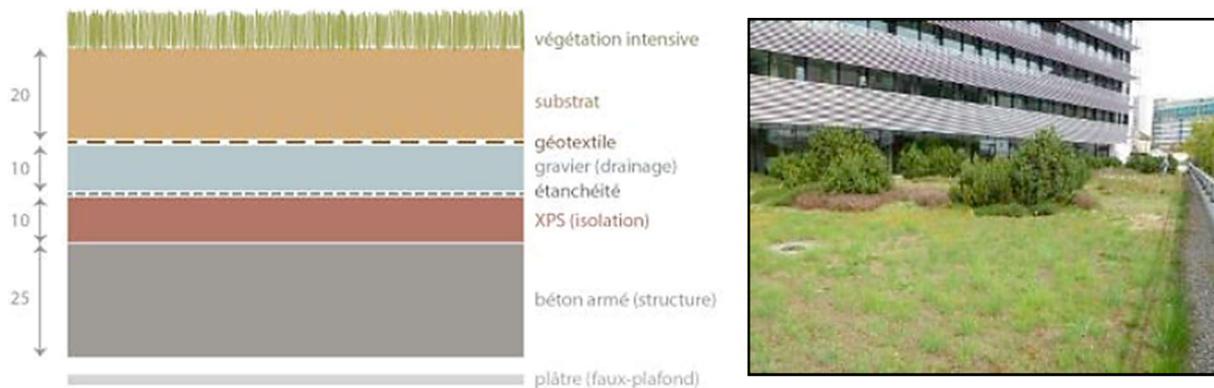


Figure 48 Structure de la toiture végétalisée des hôpitaux universitaires de Genève (ROCHEFORT S., 2016).

Les toitures végétalisées sont classées en deux type distinct :

- Les toitures « **intensives** » ; voir Figure 48: la profondeur du substrat dépasse les 150 mm, leur pentes est généralement de moins de 10° et selon les possibilités d'accès, ces toitures peuvent également servir de jardin. Leur végétation est constituée de graminées, d'herbes vivaces et d'arbustes. La présence d'une couche de drainage permet un écoulement sous la couche de substrat. Les paramètres qui influencent cet écoulement dans les drains sont les caractéristiques du substrat et de la couche de drainage
- Les toitures « **extensives** » : la profondeur maximale de substrat est d'environ 150 mm, elles peuvent être installées sur des surface en pente jusqu'à 45° d'inclinaison. La majeure partie de la végétation est généralement constituée de sedums qui sont des plantes vivaces succulentes. L'écoulement dans les drains se fait après saturation du substrat qui entraîne un écoulement à la surface. Le volume de précipitation nécessaire avant qu'il n'y ait ruissellement est déterminé par la capacité de rétention totale et les paramètres d'écoulement à la surface du substrat (rugosité).

Il faut attendre 2016 pour que soit publié une évaluation détaillée des performances de ces infrastructures portant sur la ville de Genève (ROCHEFORT S., 2016). Au-delà de l'augmentation de la biodiversité dans les zones urbanisées, ces aménagements ont un véritable impact positif dans la gestion des eaux pluviales et la prise en charge de leurs polluants ainsi que sur l'isolation thermique des bâtiments. D'une manière générale, le fonctionnement de ces toitures connaît d'importantes variations saisonnières. En été, les débits restitués après des événements pluvieux sont généralement nuls exceptés lors de très fortes précipitations. Le substrat est capable de retenir les précipitations et de les restituer progressivement dans l'atmosphère par évapotranspiration. En hiver, cependant, l'évapotranspiration est plus faible et insuffisante pour évaporer toute l'eau du substrat. Ce dernier est plus rapidement et plus souvent saturé et ne peut retrouver sa capacité de rétention maximal : davantage de débit est donc restitué au réseau. Les polluants, notamment les métaux, sont retenus en partie sur le substrat : l'épaisseur des matériaux influe sur la capacité de rétention : un temps de séjour plus important favorise les interactions entre les métaux et les particules du sol pour permettre une meilleure rétention. Certaines espèces végétales sont également capables de retenir préférentiellement certains composés (DELENA A., 2018). Concernant l'isolation thermique, les toitures végétalisées permettent en hiver de limiter les déperditions de chaleur tandis qu'en été, elles limitent la surchauffe grâce à l'évapotranspiration.

2.2.c Les revêtements perméables

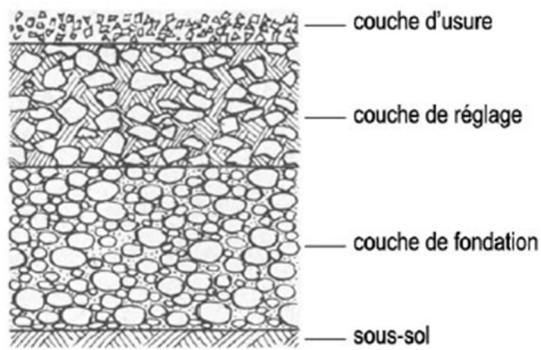


Figure 49 Coupe de principe pour les revêtements perméables (Ville de Neuchâtel, 2004)

En ville, de nombreux espaces peuvent être aménagés de manière « semi-naturelle » pour rétablir la présence de la faune et de la flore. L'usage de matériaux aux caractéristiques physique spécifiques permettent de reconstituer la fonction du sol : infiltration, filtration, oxygénation, échanges, support pour la végétation... Les différents types de revêtements doivent être choisis selon les usages, les caractéristiques physique du sol ou la nécessité de protéger la nappe des éventuels polluants. Tous les types de revêtements présentent cependant une structure similaire, voir Figure 49, qui se compose (Ville de Neuchâtel, 2004) :

- D'une **couche de fondation** pour consolider la surface selon les caractéristiques du sol et les charges auxquelles elle sera contrainte. C'est un matériau filtrant, type gravier dont l'épaisseur varie selon la charge prévue (circulation de véhicules, piétons ou cycliste).
- D'une **couche de réglage** qui permet de régler plus finement le niveau de la couche d'usure. Son épaisseur est d'environ 5 cm, composée de gravier de 0 à 30 mm de diamètre. Lorsque la surface est en pavés, cette couche est remplacée par la couche de pose.
- ou
- D'une **couche de pose** en sable pour les surfaces pavées ou en gravillons pour les dalles alvéolées. Son épaisseur varie de 3 à 5 cm.
- D'une **couche d'usure** ou de surface qui correspond au type de matériau choisi (gravillon, gravier, pavés...). Elle peut être constituée d'un seul ou d'un ensemble de matériaux.

Ces revêtements sont diversifiés, voir Figure 50, et peuvent être appliqués dans de nombreux cas, qu'il s'agisse de chemins et voies carrossables, d'aires de stationnements, de cours ou de terrasses... Leur entretien correspond majoritairement à l'élimination de la végétation non voulue tout en évitant l'utilisation de pesticides, source de pollution. L'usage de sels de déverglçage est exclu (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010).

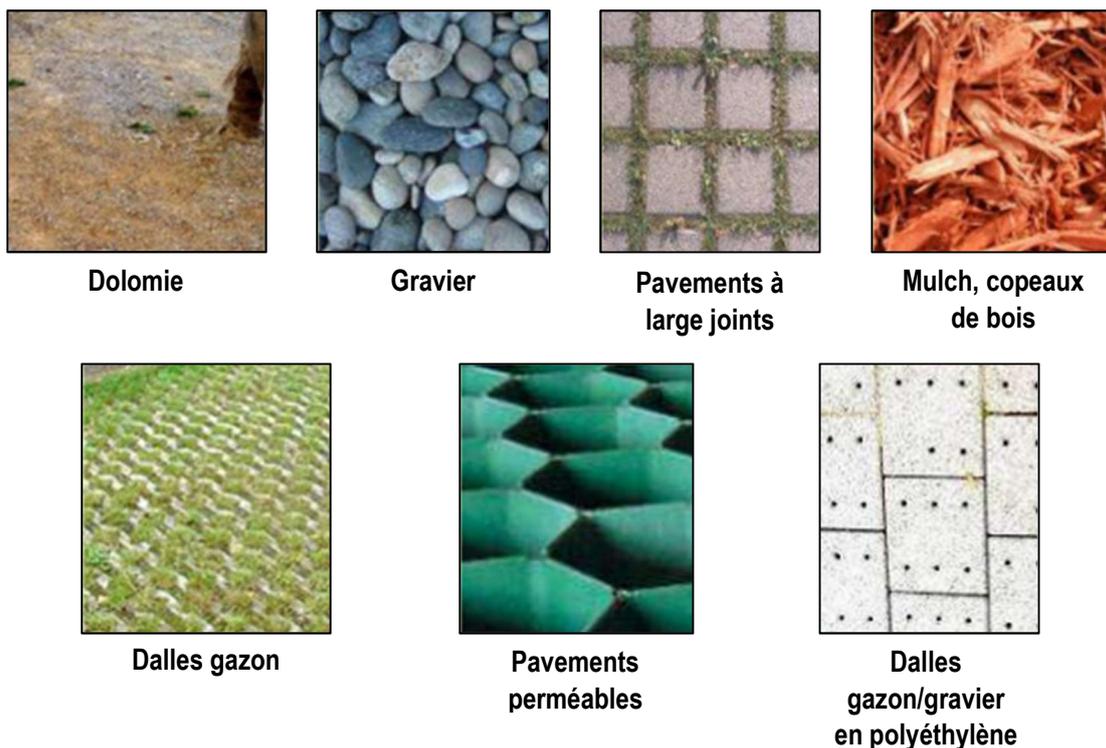


Figure 50 Exemples de revêtements perméables (Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010).

2.3 Gestion durable de l'eau

Le programme national de recherche PNR 61 axé sur la gestion durable de l'eau lancé en 2008 et achevé en 2015 énonce 7 objectifs basés sur une planification à long terme d'infrastructures durables de distribution et de traitement de l'eau : une équité intergénérationnelle élevée, une bonne protection des eaux, un bon approvisionnement en eau, une évacuation sûre des eaux usées, une acceptabilité sociale élevée, de faibles coûts et une exploitation efficace des ressources (HOFFMANN S., 2014). Au-delà de la fiabilisation des systèmes d'évacuations des eaux et de la réduction des impacts sur le milieu naturel par la mise en place d'actions détaillées dans ce rapport, telles que la mise en séparatifs ou la gestion des eaux pluviales à la parcelle, l'exploitation efficace des ressources incite à développer l'utilisation des potentialités qu'offrent les eaux usées en terme de récupération des substances nutritives et d'utilisation efficace de l'énergie.

La valorisation des boues obtenues en sortie de STEP peut se faire de différentes manières. En suisse, l'épandage des boues de STEP sous forme d'engrais est interdit depuis le 1^{er} octobre 2006 en raison de la quantité croissante de polluants qui s'y trouvent. A Genève, c'est à la STEP d'Aire que sont transformées les boues du canton pour la production de biogaz. Ce sont près de 8 millions de Nm³ de biogaz qui sont produit par an dont $\frac{3}{4}$ permettent de couvrir entièrement les besoins en chaleur de la STEP. Le dernier quart est directement injecté dans le réseau de gaz naturel de SIG après élimination du gaz carbonique. Après méthanisation ou digestion, les boues sont éliminées par incinération dans des usines d'incinération des ordures ménagères, des installations d'incinération des boues et des cimenteries. La récupération du phosphore dans les boues avant l'élimination thermique de ces dernières est en questionnement, il serait possible d'en récupérer 90%, ce qui représente, en Suisse, jusqu'à 6000 tonnes de phosphore par an (OFEV, 2019).

Les eaux usées, brutes ou traitées, sont une source d'énergie thermique que l'on sait valoriser. En Suisse, plus de 300 000 appartements pourraient être chauffés à partir de la récupération de chaleur des eaux usées. Un échangeur de chaleur peut, par exemple, être mis en place directement dans le fond du collecteur d'évacuation ou à la station d'épuration, il transfère la chaleur vers un fluide qui circule dans la pompe à chaleur reliée au système de chauffage. Le principe est similaire pour le refroidissement. La récupération de l'énergie thermique des eaux usées est adaptée pour des zones urbaines avec des grands ensembles avec chauffage collectifs et non pour des villas individuelles ou des consommateurs de chaleur industriels (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, 2012; Suisse énergie, 2016). Une étude de cas menée sur un groupe de bâtiments de la Cité-Jonction à Genève qui comprend 9 bâtiments de logements, trois tours résidentielles et une école primaire a montré que la mise en place d'un tel système de récupération d'énergie produisant à hauteur des 2/3 de la chaleur du complexe permettrait de réduire d'un facteur 10 les émissions de CO₂ produites par la combustion, d'énergies fossiles entre-autre, soit une économie annuelle de 2 kilotonnes de CO₂ (KHOURY J., 2009).

Une alternative qui permet de réduire drastiquement la consommation d'eau potable et d'optimiser la récupération des nutriments consiste en la gestion décentralisée des eaux usées impliquant la collecte séparée des eaux vannes qui contiennent la presque totalité des nutriments et des pathogènes. Cette question est notamment creusée en Suisse au sein de l'EAWAG, institut majeur de recherche et d'enseignements dans le domaine des sciences et technologies de l'eau (LARSEN T., 2019).

CONCLUSION

L'élaboration du concept de mise en séparatif de la rue du Grand-Bureau et des rues adjacentes a été menée méthodiquement à travers la poursuite successive d'objectifs complémentaires. La première étape a permis de déterminer les composantes hydrauliques de base : soit la délimitation des bassins-versants et une première estimation des débits d'eaux pluviales et des débits d'eaux usées qui transitent dans le réseau. La seconde étape à dominante géométrique a mis en lumière les contraintes qui ont cadré l'élaboration des deux solutions proposées. Enfin, une troisième étape faisant intervenir la modélisation hydraulique a permis d'acquérir une meilleure connaissance du fonctionnement du réseau projeté. Les solutions envisagées ont fait l'objet d'une réflexion en vue de leur comparaison, elles ont été étudiées sur leurs aspects financiers ainsi qu'à travers le prisme du génie civil. La solution de base se démarque par le maintien du tracé existant, le changement d'affectation des collecteur de la rue du Grand-Bureau et le rehaussement du futur collecteur d'eaux pluviales. Cette solution implique de faibles pentes ainsi que des distances très faibles entre les collecteurs, notamment au niveau de l'exutoire du pont des Acacias. La variante fait intervenir une déviation du tracé pour rejeter les eaux pluviales de l'amont de la rue du Grand-Bureau à l'exutoire du quai du Cheval-Blanc. Cette solution permet d'optimiser les pentes mais implique la mise en place d'un siphon. Les échanges entretenus avec la Ville de Genève laissent entendre une nette préférence pour la solution de base, qui devra faire l'objet d'une étude détaillée en vue de sa mise en œuvre. Dans cet optique, des données complémentaires devront être collectées. Il sera nécessaire de mettre en place une campagne d'intervention pour la vérification et le repérage de l'ensemble des branchements privés existants sur le bassin versant étudié. La faisabilité des nouveaux raccords devra être étudiée. Davantage de précision devra également intervenir dans le choix du positionnement de chacune des chambres afin d'assurer leur faisabilité au regard des autres réseaux divers existants. Au-delà de répondre à la demande du mandataire en s'appliquant à être conforme aux normes et directives locales, cette étude propose une approche globale de la mise en séparatif des systèmes d'assainissement et de la gestion des eaux pluviales. Ainsi, la nouvelle directive STORM a été appliquée pour justifier le recours à la mise en séparatif dans le contexte particulier du secteur étudié. Les perspectives de transformation du paysage urbain ont été exposées de même que plusieurs solutions alternatives de gestion des eaux pluviales à la parcelle. Le cadre universitaire de ce travail a également été surligné à travers l'exploration du cadre légal Suisse et, plus techniquement, celle du fonctionnement du logiciel Mike Urban.

Comme pour toute étude, plusieurs axes d'améliorations peuvent être pointés du doigt. C'est le cas notamment dans la démarche de modélisation hydraulique. Les imprécisions liées au modèle n'ont pas été quantifiées et le calage mérite d'être approfondis par exemple avec la réalisation d'une campagne de mesures pour acquérir de la donnée récente. D'autres logiciels de modélisation sont capables d'intégrer des données spécifiques à l'instar des siphons sur infoworks. De plus, les trois options que propose Mike Urban pour modéliser les écoulements dans les réseaux sont basés sur la résolution plus ou moins approchée des équations de Barré de Saint-Venant. Le logiciel CANOE, par exemple, utilise le modèle de Muskingum, adapté aux faibles hauteurs d'eau. Cette approche serait valorisable dans l'étude du fonctionnement par temps sec.

Pour conclure, tout l'intérêt des réflexions et aménagements mis en œuvre dans le domaine de l'assainissement, en dehors de la sécurité des biens et des personnes, réside dans la protection du milieu naturel. Comme pour tout système, la compréhension de son fonctionnement permet d'assurer son efficacité : c'est d'ailleurs la sensibilisation des populations qui permettra d'assurer que le milieu récepteur ne soit pollué par d'autres rejets, comme les mégots ou autres déversements d'eaux polluées, que ceux des voiries lorsque les eaux usées auront été complètement extraites des eaux claires. C'est dans ce but que les autorités suisses misent sur l'amélioration de l'information, avec la mise en place par exemple de plaques de signalisation créées par la VSA sur les grilles pluviales (sacs grilles), voir Figure 51 ainsi que la promotion d'un comportement plus responsable au sein des ménages (OFEV, 2018).



Figure 51 Signalisation apposée sur les grilles d'égouts, créées par le VSA.

BIBLIOGRAPHIE

- ABILY M., et al., 2015.** Ruissellement de surface en milieu urbain: stratégies d'intégration de données topographiques haute résolution en modélisation hydraulique 2D. 2015.
- Agence de l'eau Rhin-Meuse. 2016.** *Mise en place de l'autosurveillance des réseaux d'assainissement, guide pratique.* 2016. p. 164.
- APOTHELOZ T. 2017.** Une association au service des communes du canton de Genève. *Thierry Apothéloz.* [En ligne] 26 09 2017. <http://www.thierryapotheloz.ch/politique-2/une-association-au-service-des-communes-du-canton-de-geneve/>.
- ARCHAMBEAU P. 2006.** *Contribution à la modélisation de la genèse et de la propagation des crues et inondations.* s.l. : Université de Liège - Faculté des Sciences appliquées, 2006. p. 419.
- ASTEE. 2017.** *Memento technique 2017, Conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées.* 2017. p. 273.
- BABAKHAYE Y. 2007.** *Assainissement liquide de la ville de IMINTANOUT: amélioration du fonctionnement du réseau et choix du système d'épuration.* ENGEES. 2007. p. 118, Travail de fin d'études en vue de l'obtention du Mastère Spécialisé en Management et Ingénierie des Services d'Eau et d'Assainissement.
- BARJOT G. 2010.** *Contribution au schéma directeur d'assainissement de la collectivité d'Hochfelden et environs, Travail de fin d'étude dans le cadre du mastère spécialisé Eau Potable et Assainissement.* s.l. : ENGEES, 2010.
- BELLEFLEUR D. 2014.** *Eléments bibliographiques.* s.l. : ENGEES, 2014. p. 7.
- BG. 2019.** BG remporte Aire 2+, la plus grande STEP de Suisse. *bg-21.* [En ligne] 23 04 2019. <https://www.bg-21.com/news/bg-remporte-aire-2-la-plus-grande-step-de-suisse>.
- BOILLAT J.-L., PFISTER M., 2013.** *Le dimensionnement hydraulique.* Séminaire VSA/EPFL, Hydraulique des canalisations. Lausanne : VSA, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2013. p. 20.
- BOULOGNE E., et al., 2015.** *Gesiton du ruissellement pluvial dans l'aménagement urbain, Rapport bibliographique.* s.l. : Ecole polytechnique universitaire de Montpellier, 2015. p. 49.
- BRAY B., et al., 2019.** Rain garden. *Rain gardens.* [En ligne] 2019. <https://raingardens.info/>.
- CERTU. 2003.** *La ville et son assainissement.* 2003. p. 503.
- CHOCAT B. 2008.** *Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation, Tendances d'évolution et technologies en développement.* s.l. : ONEMA-OIEau, 2008. p. 36.
- CHOULI E. 2006.** *La gestion des eaux pluviales urbaines en europe: Analyse des conditions de développement des techniques alternatives, Thèse pour l'obtention du titre de docteur de l'école nationale des ponts et chaussées.* 2006. p. 266.
- Confédération Suisse. 2014.** *Système modulaire gradué. Office fédérale de l'environnement OFEV.* [En ligne] 04 02 2014. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/etat/eaux--methodes/systeme-modulaire-gradue.html>.

- Conseil municipal, Ville de Genève. 29 août 2018.** Qe-501 - Réponse du Conseil administratif à la question écrite du 17 mai 2018 de Mme Ariane Arlotti et M. Morten Gisselbaek: " Quel est l'impact réel de la mise en séparatif des eaux usées et des eaux de pluie pour l'environnement?". 29 août 2018. p. 2.
- DELENA A. 2016.** *Usages du SIG dans le cycle domestique de l'eau.* ENGEES - EOST. 2016. p. 10.
- DELENA A., SIVACHEVA M., 2018.** *Modélisation du transfert des métaux dans des structures de toitures végétalisées.* Strasbourg : ENGEES - EOST, 2018. p. 14.
- DGALN, CEREMA. 2014.** *Principes généraux de gestion des eaux pluviales, Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du code de l'environnement rubrique 2.1.5.0: rejets d'eaux pluviales.* 2014. p. 16.
- DGEau. 2018.** *Etat des rivières genevoises, point de situation 2012-2017.* 2018. p. 15.
- **2016.** *Etude de la qualité des rivières genevoises, le Rhône et l'Arve, état 2014 et évolution depuis 2002.* 2016. p. 77.
- **2014.** *Etude de la qualité des rivières genevoises, Le Rhône et l'Arve, Etat 2014 et évolution depuis 2002.* Genève : s.n., 2014. p. 83.
- **2017.** *Modalité de calcul de la taxe unique de raccordement (TUR).* 2017. p. 8.
- DHI.** Documentation. [En ligne] http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2019/MIKE_URBAN.htm.
- DUFRESNE M., VAZQUEZ J., 2014.** *Dimensionner un collecteur circulaire d'assainissement gravitaire, Guide technique.* s.l. : ENGEES, ICube, 2014. p. 12.
- ELLIS B., et al. 2004.** *Urban Drainage, a multilingual glossary.* Londres : IWA publishing, 2004. p. 513.
- Fischer montavon + associés ; Atelier Marion Talagrand / Biol conseils / Energys / Citec. 2016.** *Etude en vue de l'élaboration du PLQ PAV Acacias 1, Volet 2: Espaces accessibles.* 2016.
- FRAUENKNECHT P. 2014.** *Chemisage des conduites, rapport technique/domaine du génie-civil.* 2014. p. 9.
- GDF SUEZ. 2014.** *Guide de sélection des blindages.* 2014. p. 24.
- Groupement CERA - GREN - Urbaplan. 2018.** *PRAILLE - ACACIAS - VERNETS, Remise à ciel ouvert de l'Aire et de la Drize, Etude d'avant-projet sur les tronçons Etoile et Boissonnas, Rapport d'étude.* 2018.
- Groupement CERA-GREN-HydroGéo conseils. 2016.** *PRAILLE-ACACIAS-VERNETS, Etude de faisabilité de la remise à ciel ouvert de l'Aire et de la Drize, note de synthèse.* 2016.
- GUILLON A., et al., 2008.** *Les ouvrages de gestion des eaux pluviales à la parcelle en France, Etat des lieux en termes de contrôle et d'entretien.* s.l. : TSM, 2008.
- HAGER W. H. 1999.** *Wastewater hydraulics, Theory and practice.* s.l. : Springer, 1999. p. 663.
- HOFFMANN S., et al., 2014.** *Approvisionnement en eau et assainissement des eaux usées durables en Suisse, Défis et mesures possibles.* 2014. p. 88, PNT 61 - Synthèse thématique 3 dans le cadre du Programme national de recherche PNR 61 "Gestion durable de l'eau" .
- IDTech. 2017.** *Ville de Carouge, Avenue de la Praille (Tronçon J. Grosselin/Caroubiers), Mise en séparatif des réseaux; Rapport hydraulique - demande autorisation de construire.* 2017.
- **2017.** *Ville de Carouge, Rue Caroline, Mise en séparatif des réseaux d'assainissement; Rapport hydraulique - demande autorisation de construire.* 2017.
- **2017.** *Ville de Carouge, Rue de Lancy, Mise en séparatif des réseaux d'assainissement, Rapport hydraulique - demande autorisation de construire.* 2017.

- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement. 2010.** *Gérer les eaux pluviales sur la parcelle.* 2010. p. 26.
- KARNIB A. 1996.** *Approche multicritère pour l'aide au choix d'une solution de réseau technique urbain. Application au réseau d'assainissement pluvial, thèse de doctorat.* Université d'Artois. 1996. p. 220.
- KHOURY J. 2009.** *Récupération de la chaleur des eaux usées: étude de cas de la Cité-Jonction (GE).* Genève : Université de Genève, 2009. p. 97.
- LARSEN T. 2019.** Tove Larsen explains the toilet revolution. *eawag aquatic research.* [En ligne] EAWAG, 11 03 2019. [Citation : 10 10 2019.] https://www.eawag.ch/en/news-agenda/news-portal/news-archive/archive-detail/news/tove-larsen-erklaert-die-toilettenrevolution/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=8ab5d7acd2e3207f0e8fcd8ea3cf6bea.
- MERMET N. 2014.** Réhabilitation des réseaux d'assainissement visitables: petit tour d'horizon des techniques disponibles. *L'eau, l'industrie, les nuisances.* 2014, p. 7.
- MOURAD M. 2005.** *Modélisation de la qualité des rejets urbains de temps de pluie: sensibilité aux données expérimentales et adéquation aux besoins opérationnels, Thèse pour l'obtention du grade de Docteur.* s.l. : INSA, 2005.
- National Centre for Climate Services. 2018.** *CH2018 - Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report.* Zurich : s.n., 2018. p. 271.
- NEREE. 2014.** *Etude d'un concept d'évacuation des eaux, Bassin Versant Allobroges - Cheval-Blanc.* 2014.
- . **2016.** *Rapport sur l'état des débits d'eaux par temps de pluie.* 2016. p. 108, PGEE de la ville de Genève.
- OCEau. 2019.** *Admissibilité du déversement des eaux pluviales, aspects qualitatifs.* 2019. p. 9.
- OFEFP. 2000.** *Où évacuer l'eau de pluie? Exemples pratiques: infiltration, rétention, évacuation superficielle.* 2000. p. 60.
- . **1995.** *Toits végétalisés, Niches écologiques et surfaces de compensation dans les zones d'habitation sous l'angle particulier de la végétalisation extensive.* 1995. p. 59, Cahier de l'environnement n°216.
- OFEV. 2019.** Boues d'épuration. *Office fédéral de l'environnement.* [En ligne] 27 06 2019. https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/guide-des-dechets-a-z/biodechets/types-de-dechets/boues-d_epuration.html.
- . **2016.** *Etat des cours d'eau suisses, résultats de l'observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011-2014.* 2016. p. 92.
- . **2019.** *Etat et évolution des eaux souterraines en Suisse, Résultats de l'Observation nationale des eaux souterraines NAQUA, état 2016.* Berne : s.n., 2019. p. 144.
- . **2018.** Les grilles d'égout, source potentielle de pollution: Des plaquettes au secours des poissons. *Office fédéral de l'environnement.* [En ligne] 28 11 2018. [Citation : 18 10 2019.] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/dossiers/mit-aluplaketten-gegen-fischsterben.html>.
- . **2018.** Traitement des eaux usées communales. *Office fédéral de l'environnement.* [En ligne] 26 10 2018. [Citation :] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/mesures-pour-la-protection-des-eaux/epuration-des-eaux-usees/traitement-des-eaux-usees-communales.html>.
- Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse. 2018.** Climat de la Suisse. [En ligne] 01 11 2018. <https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/climat-de-la-suisse.html>.

- OFROU. 2013.** *Directive: Traitement des eaux de chaussée et des routes nationales.* 2013. p. 94.
- République et canton de Genève. 2019.** 4. Plan général d'évacuation des eaux (PGEE). *Outils de la planification de l'eau.* [En ligne] 27 02 2019. <https://www.ge.ch/outils-planification-eau/plan-general-evacuation-eaux-pgee>.
- **2016.** Direction générale de l'eau, département de l'environnement, des transports et de l'agriculture (DETA). 2016. p. 4.
- **2009.** *Directive d'exploitation des réseaux publics d'assainissement des eaux.* 2009. p. 35.
- **2015.** *Grand projet "Praille Acacias Vernets".* 2015.
- **2014.** *Schéma de protection, d'aménagement et de gestion des eaux (SPAGE), Lac - Rhône - Arve.* 2014. p. 113.
- ROCHFORT S., et al.,. 2016.** *Rapport final du projet "Toitures végétalisées" (TVEG) dans l'agglomération genevoise.* 2016. p. 193.
- ROSSI L., et al.,. 2004.** *Exigences légales en matière d'assainissement par temps de pluie, Projet "STORM: Assainissement par temps de pluie".* 2004. p. 9.
- SECOE. 2014.** *Monitoring des rivières 2014, Synthèse de la qualité physico-chimique et biologique, le Rhône et ses affluents.* 2014. p. 14.
- **2011.** *Santé des cours d'eau genevois, L'essentiel en bref.* 2011. p. 8.
- Service hydrologique et géologique national. 1999.** *Le débit d'étiage Q347, état de la question.* Bern : Département fédéral de l'intérieur, 1999. p. 134.
- Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement. 2012.** *Le bon chauffage au bon endroit.* 2012. p. 56.
- SIG. 2018.** *Assainissement des eaux usées.* 2018. p. 28.
- **2019.** Les tarifs de l'eau potable. *Services Industriels de Genève.* [En ligne] 2019. https://ww2.sig-ge.ch/artisans_independants/nos-offres/eau-potable/tarifs.
- ST-GELAIS K. 2019.** *Modélisation de scénarios de déversements de pétrole et de la température de l'eau dans la rivière Chaudière.* Québec : Université de Laval, 2019.
- Suisse énergie. 2016.** *Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées, Conseils à l'intention des maîtres d'ouvrage, des communes et des exploitatns.* 2016. p. 20.
- THEODORE C. 2014.** *Diagnostic et modélisation des réseaux d'assainissement de la rive gauche du lac d'Annecy, Travail de fin d'étude dans le cadre du mastère spécialisé Eau Potable et Assainissement.* s.l. : ENGEES, 2014.
- VAZQUEZ J., DUFRESNE M., 2012.** *Hydraulique à surface libre.* Formation d'ingénieur, ENGEES. 2012.
- Ville de Neuchâtel. 2004.** *Guide "Nature en ville": Les revêtements perméables, conseils pour la réalisation et l'entretien.* 2004.
- VSA. 2019.** *Gestion des eaux urbaines par temps de pluie.* 2019. p. 434.
- **2019.** Le système modulaire gradué. [En ligne] 29 07 2019. <http://www.modul-stufen-konzept.ch/>.
- ZAIEM J. 2012.** *Analyse de la réponse hydrologique lors de pluies intenses: cas d'application du bassin de drainage du collecteur de la Savane (Ville de Québec), Mémoire de fin d'études.* s.l. : INRS, 2012.

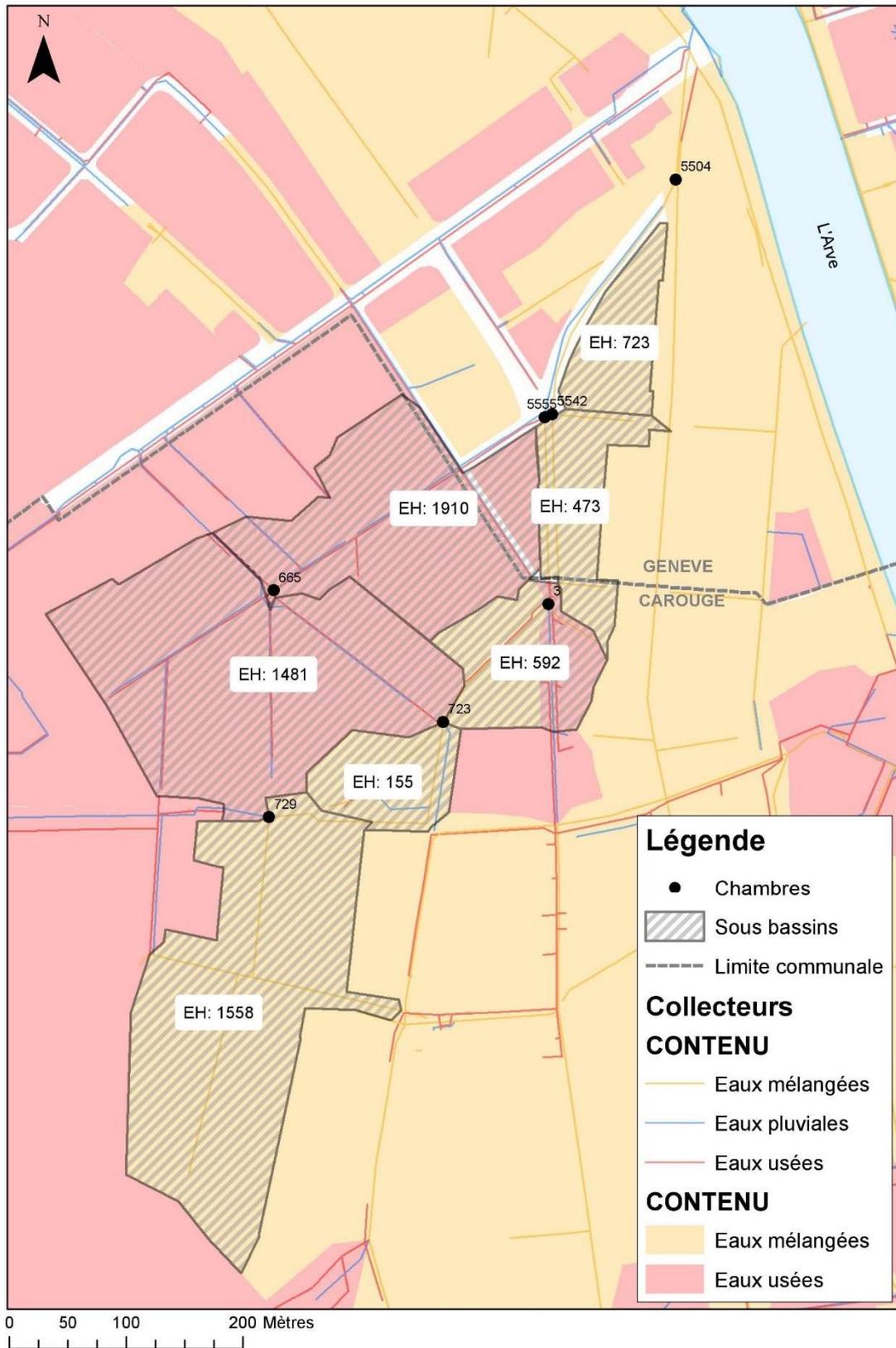
ANNEXES

ANNEXE 1.A : Délimitation des bassins-versants EU et EM du secteur Grand-Bureau, détail des EH par sous-bassin.....	I
ANNEXE 1.B : Délimitation des bassins-versants EP et EM du secteur Grand-Bureau, détail des surfaces et coefficients de ruissellement par sous-bassin	II
ANNEXE 2.A : Délimitation des bassins-versants EU et EM du secteur Caroline, détail des EH par sous-bassin.....	III
ANNEXE 2.B : Délimitation des bassins-versants EP et EM du secteur Caroline, détail des surfaces et coefficients de ruissellement par sous-bassin.....	IV
ANNEXE 3.A : Délimitation des bassins-versants EU et EM du secteur Allobroges/Cheval-Blanc, détail des EH par sous-bassin.....	V
ANNEXE 3.B: Délimitation des bassins-versants EP et EM du secteur Allobroges/Cheval-Blanc, détail des surfaces et coefficients de ruissellement par sous-bassin.....	VI
ANNEXE 4 : Synoptiques des apports d'eaux pluviales et d'eaux usées pour chaque secteur	VII
ANNEXE 5 : Etat des collecteurs – Ville de Genève	VII
ANNEXE 6 : Réseau de mesures hydrométéorologiques, état en 2006, source : SECOE	X
ANNEXE 7 : Situation de la rue des Noirettes.....	XI
ANNEXE 8 : Mise en séparatif du secteur de l'avenue de la praille – <i>amont du secteur Grand-Bureau</i>	XII
ANNEXE 9 : Géométrie du déversoir VG4	XVI
ANNEXE 10 : Série de prix, en CHF, relative au calcul de la valeur économique de remplacement des collecteurs	XVII

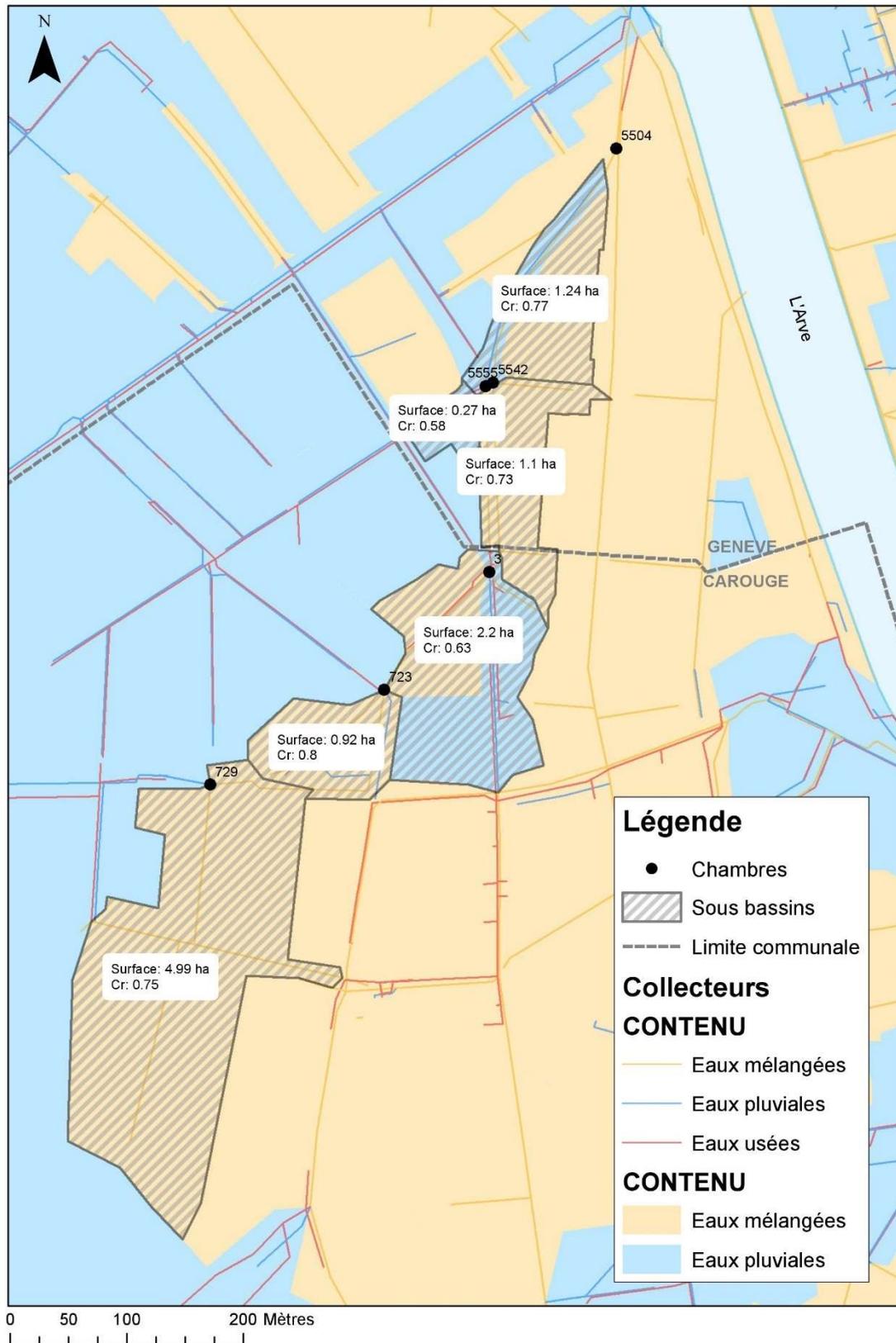
Une pochette complémentaire est transmise, elle inclue :

BASE	VARIANTE
1 plan de situation [0-001]	1 plan de situation [0-002]
3 profils en long : - Rue Caroline [0-201] - Rue des Noirettes – Rue du Grand-Bureau [0-202] - Rue du Grand-Bureau [0-203]	4 profils en long : - Rue des Allobroges- Quai du Cheval/blanc [0-204] - Rue des Noirettes – Rue du Grand-Bureau [0-205] - Rue du Grand-Bureau – Quai du Cheval-Blanc [0-206] - Détails du siphon [0-207]
3 détails constructifs : - Croisement rue Caroline – Rue du Grand-Bureau - Croisement rue des Noirettes – Rue du Grand-Bureau - Exutoire pont des Acacias	3 détails constructifs : - Croisement rue Simon DURAND - Croisement rue Caroline – Rue du Grand-Bureau - Exutoire pont des Acacias

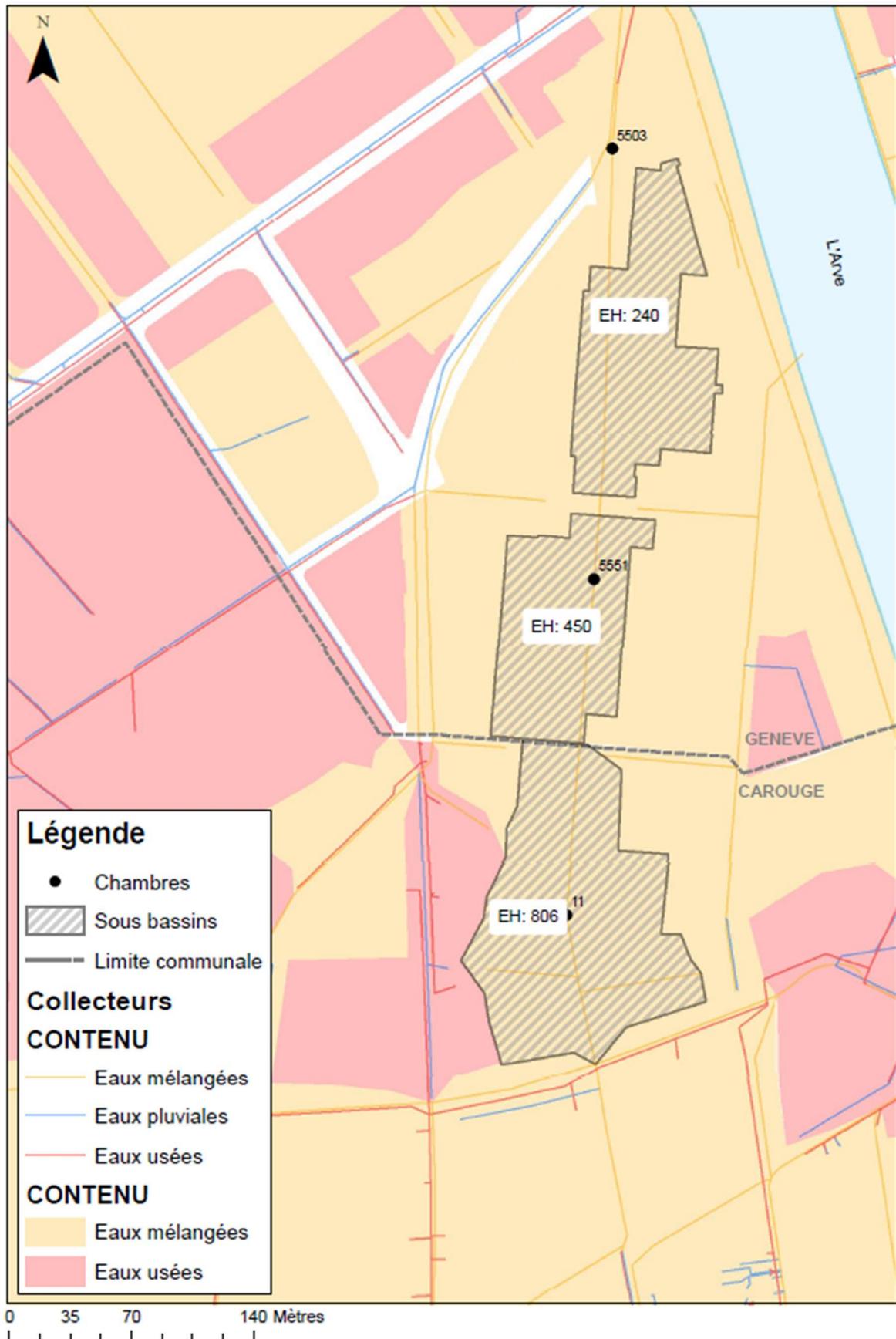
ANNEXE 1.A. : Délimitation des bassins-versants EU et EM du secteur Grand-Bureau, détail des EH par sous-bassin.



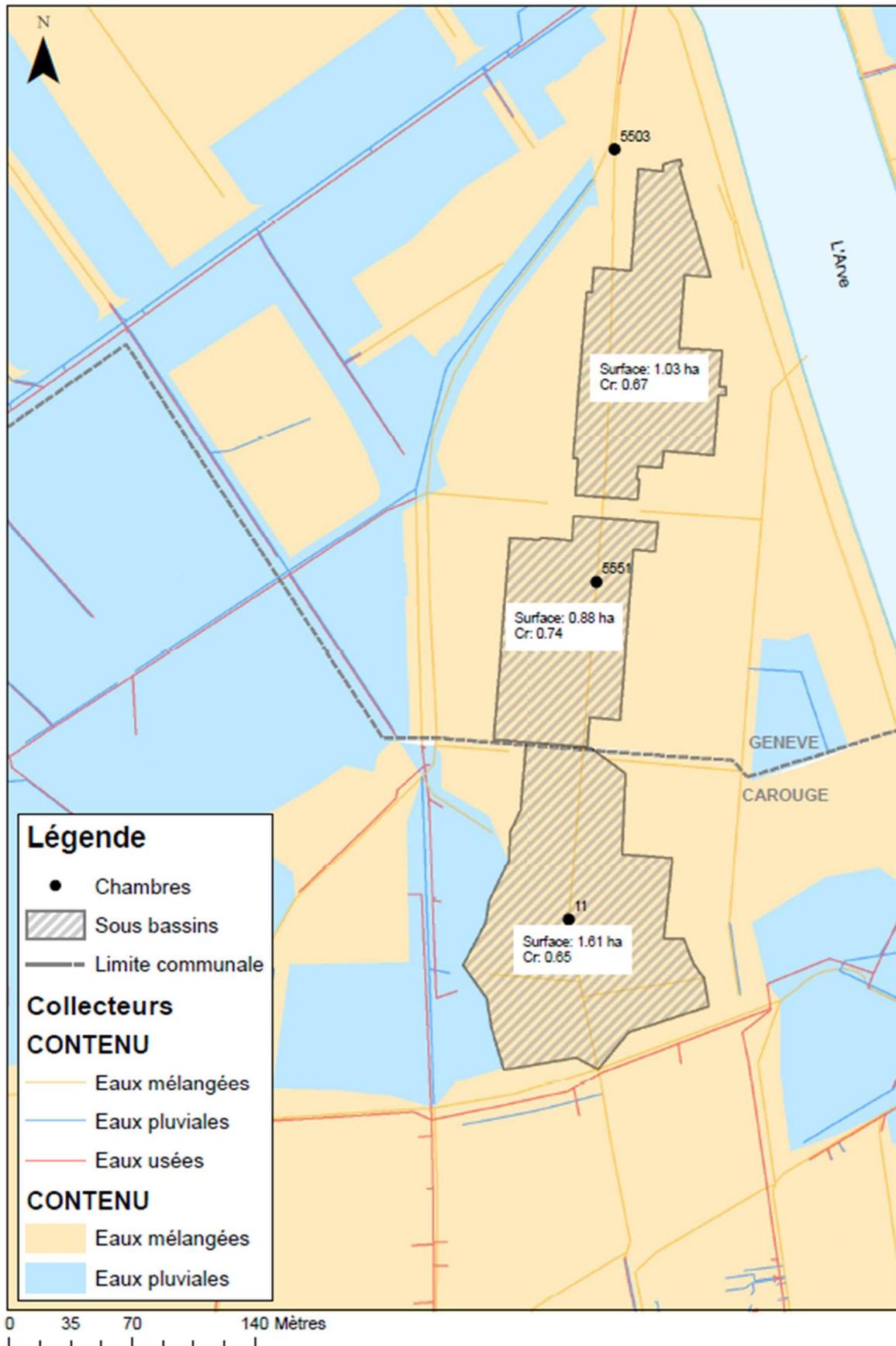
ANNEXE 1.B : Délimitation des bassins-versants EP et EM du secteur Grand-Bureau, détail des surfaces et coefficients de ruissellement par sous-bassin.



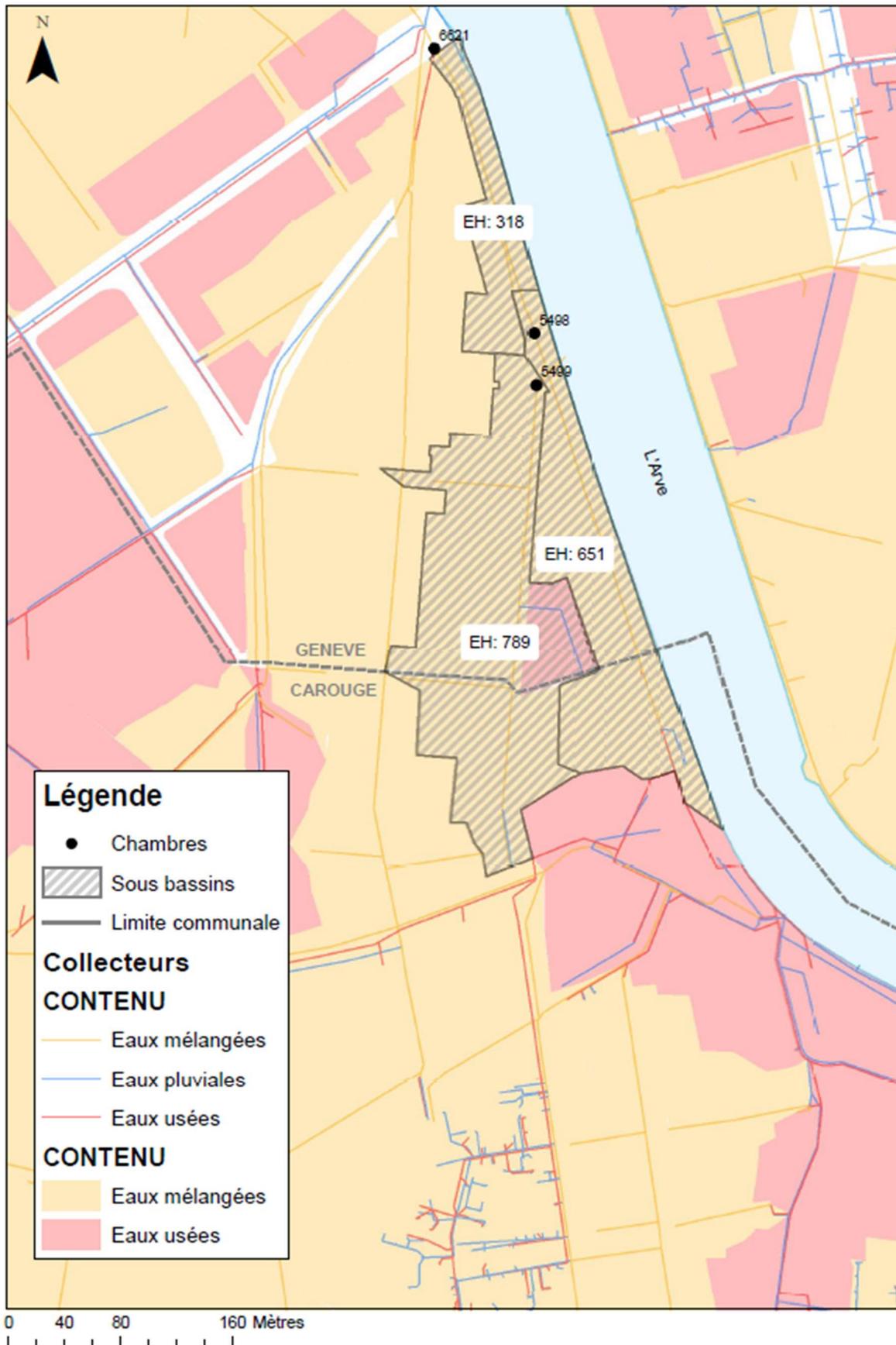
ANNEXE 2.A : Délimitation des bassins-versants EU et EM du secteur Caroline, détail des EH par sous-bassin.



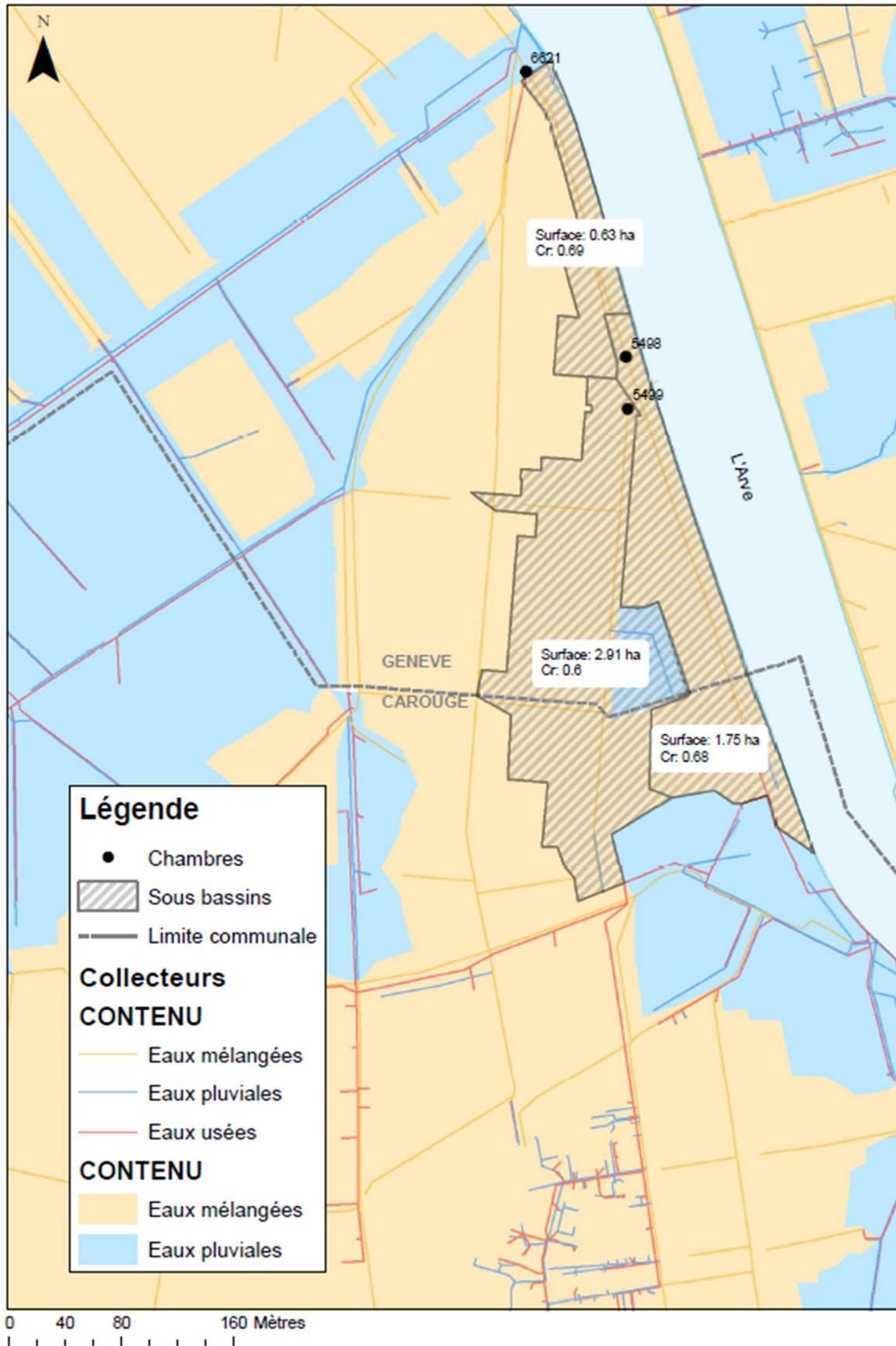
ANNEXE 2.B : Délimitation des bassins-versants EP et EM du secteur Caroline, détail des surfaces et coefficients de ruissellement par sous-bassin.



ANNEXE 3.A : Délimitation des bassins-versants EU et EM du secteur Allobroges/Cheval-Blanc, détail des EH par sous-bassin.



ANNEXE 3.B: Délimitation des bassins-versants EP et EM du secteur Allobroges/Cheval-Blanc, détail des surfaces et coefficients de ruissellement par sous-bassin.



ANNEXE 4 : Synoptiques des apports d'eaux pluviales et d'eaux usées pour chaque secteur

- Secteur Caroline

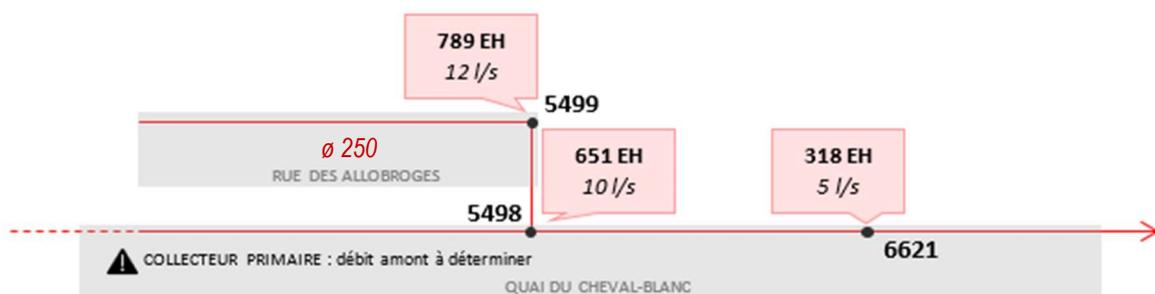


Synoptique 1 Estimation des apports d'eaux usées sur le secteur Caroline

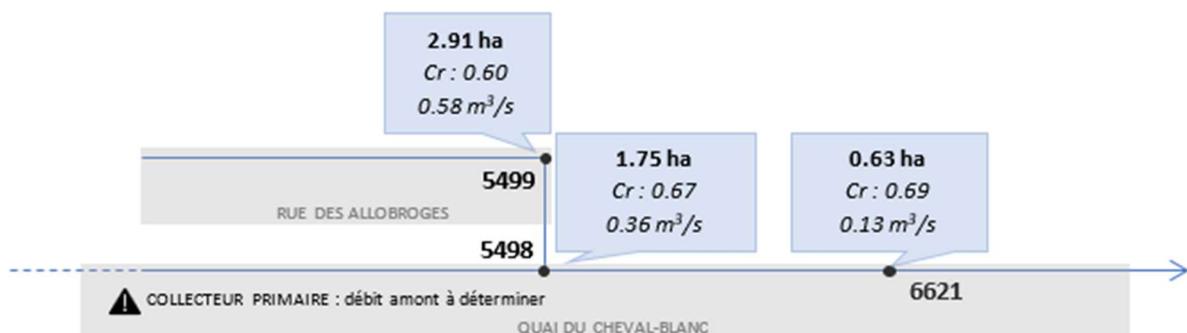


Synoptique 2 Estimation des apports d'eaux pluviales sur le secteur Caroline

- Secteur Allobroges/Cheval-Blanc



Synoptique 3 Estimation des apports d'eaux usées sur le secteur Allobroges/Cheval-Blanc



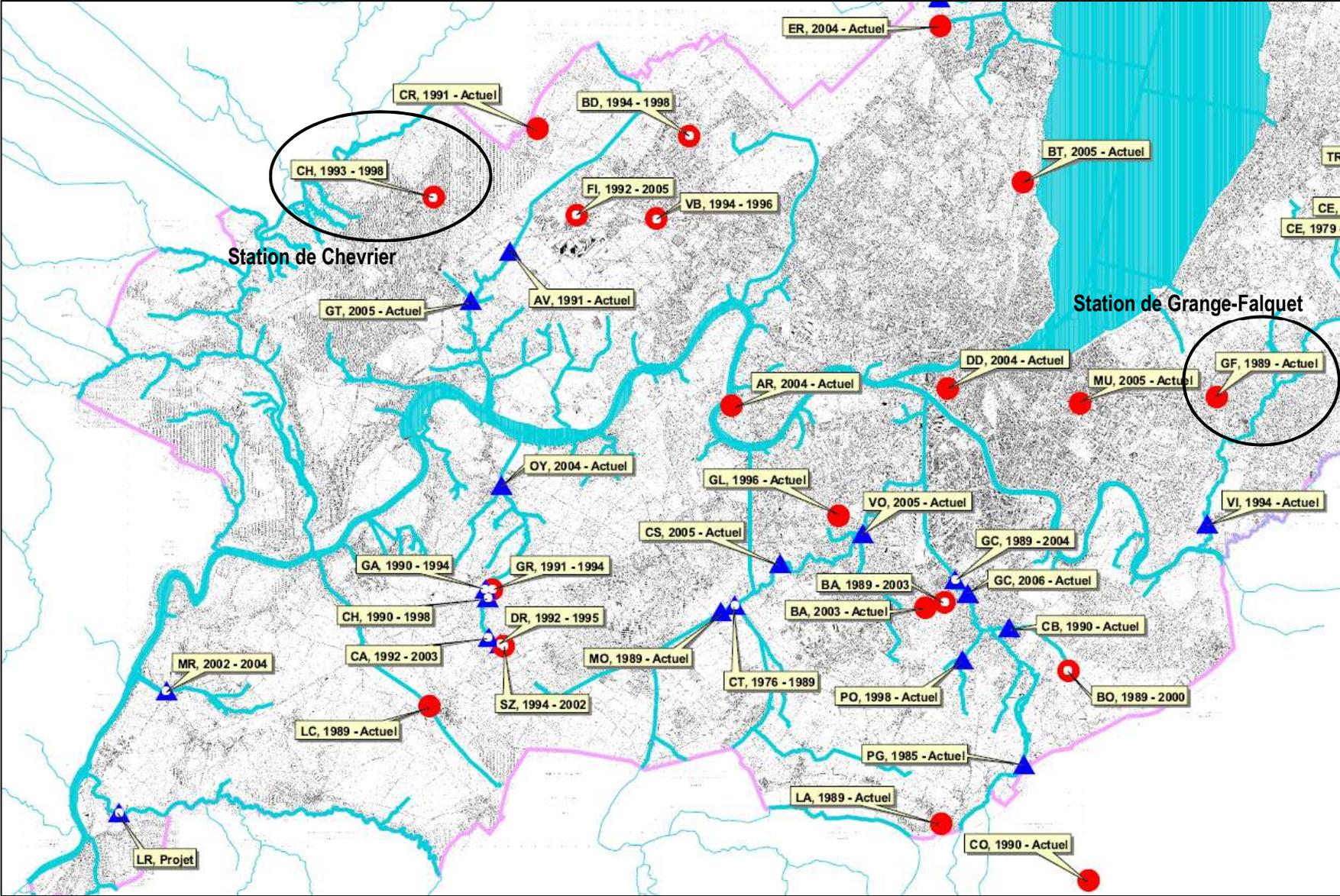
Synoptique 4 Estimation des apports d'eaux pluviales sur le secteur Allobroges Cheval-Blanc.

ANNEXE 5 : Etat des collecteurs – Ville de Genève

CHAMBRE AMONT	CHAMBRE AVAL	DEGRE D'URGENCE	ETENDUE DES DEFAUTS	REMARQUE	LONGUEUR	CURABLE	CONTENU
5530	cc410	0		Corrosion, fissures importantes, ovalisation,	40.75	non	EM
5552	5500	0	linéaire	Corrosion importante, radier en mauvais état, obstacle,	43.51	non	EM
5553	5552	0	linéaire	Corrosion importante, radier détruit,	43.05	non	EM
12	5550	0	linéaire	Corrosion importante, radier en mauvais état, fissures importantes, dépôts importants avec retenue,	29.85	non	EM
5557	5541	0	linéaire	Corrosion importante, radier détruit, dépôts important (pierres),	41.18	non	EP
	6620	1	linéaire	Dépôts importants, fissures importantes, conduite traversante,	32.36	non	EM
5554	5542	1	linéaire	Corrosion, dépôts,	60.10	ouais	EM
5503	5504	1	linéaire	Fissures,	6.56	oui	EM
5615	A17	1	ponctuelle	Infiltrations légères isolées, racines obstruantes en aval,	28.49	oui	EP
VG4	5616	1	ponctuelle		8.72	Non défini	EM
	5548	1		Corrosion importante,	5.61	non	EM
5546	5555	1	linéaire	Corrosion, dépôts importants (pierres)	70.02	non	EM
5539	5503	1	linéaire	Corrosion, concrétions calcaire légères, radier?, dépôts (gravier),	127.58	ouais	EM
5541	5532	1	linéaire	Corrosion, dépôts importants (pierres)	72.79	non	EP
5532	5535	1	linéaire	Corrosion, concrétions calcaire légères isolées, conduite traversante (61.00m + 70.00m en amont), dépôts isolés (pierres),	78.22	non	EP
5499	pb440	1	linéaire	Corrosion importante, infiltrations ?, concrétions calcaires,	11.85	non	EM
5500	5499	1	linéaire	Corrosion importante, collecteur fissuré, radier en mauvais état, racines légères,	73.36	non	EM
5550	5553	1	linéaire	Corrosion importante, dépôts importants avec retenue,	29.07	non	EM
5548	5549	1	linéaire	Corrosion importante, radier en mauvais état, dépôts (pierres),	34.80	non	EM
5549	5500	1	linéaire	Corrosion importante, radier en mauvais état,	28.83	non	EM
8539	5507	1	ponctuelle	Corrosion légère, fissures, obstacle (banderole électrique à 24m),	27.00	ouais	EM
8540	5507	1	linéaire	Corrosion légère, fissures,	24.01	ouais	EM
	5557	1	linéaire	Corrosion importante, radier détruit,	44.96	non	EP
5	8551	1	linéaire	Corrosion, Attention cheminée borgne avec dépotoir à 6 m depuis aval, depuis amont, dépôts importants (pierres),	66.28	ouais	EM
5534	5536	2	linéaire	Corrosion légère, éléments légèrement décalés, dépôts légers (ciment),	46.44	oui	EM
5497	5494	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette, racines isolées,	59.89	oui	EM
pb187	5523	2	ponctuelle	Impactes avec déchirement de la fibre,	32.47	oui	EP
5523	5522	2		Raccord aval en pipe obstrué	50.08	ouais	EP
5537	5504	2	linéaire	Dépôts radier, corrosion,	24.41	oui	EM
5494	5502	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	60.18	oui	EM
5600	5599	2		Corrosion légère, dépôts durs et boue avec légère retenue, éléments légèrement décalés,	60.24	ouais	EM
pb440	5498	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	30.53	oui	EM
5506	5505	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette,	62.08	oui	EM
5545	5544	2	linéaire	Corrosion, dépôts légers (gravier) isolés,	78.60	oui	EM
5542	5531	2	linéaire	Corrosion légère, éléments légèrement décalés,	34.00	oui	EM
5535	5537	2	linéaire	Corrosion, dépôts en amont(pierre-gravier),	57.89	non	EP
5559	5558	2	linéaire	Corrosion légère, conduite traversante en aval,	3.54	ouais	EU
6618	6619	2	linéaire	Mise en charge par collecteur principal, traces de graisses importantes,	17.17	oui	EU
5543	5554	2	linéaire	Corrosion légère,	9.22	ouais	EM

CHAMBRE AMONT	CHAMBRE AVAL	DEGRE D'URGENCE	ETENDUE DES DEFAUTS	REMARQUE	LONGUEUR	CURABLE	CONTENU
5617	VG4	2	linéaire	Corrosion légère, fissure légère isolée,	15.17	oui	EM
5502	5501	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	59.91	oui	EM
5538	5539	2	linéaire	Corrosion, racines légères, radier?, concrétions calcaire légères,	49.02	ouais	EM
6617	6618	2	linéaire	Mise en charge par collecteur principal, traces de graisses importantes, cloques,	57.79	oui	EU
5601	5600	2	ponctuelle	Eléments légèrement décalés, corrosion légère, flache légère,	60.87	oui	EM
5498	5508	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	56.90	oui	EM
5544	5542	2	linéaire	Corrosion légère, éléments isolés légèrement décalés,	59.10	oui	EM
5551	5538	2	linéaire	Corrosion, racines légères, concrétions calcaire légères, radier?,	72.47	ouais	EM
5533	5534	2	linéaire	Corrosion légère, éléments décalés, dépôts légers (ciment),	33.33	oui	EM
5536	5537	2	linéaire	Corrosion légère, éléments légèrement décalés, concrétions calcaires légères isolées, radier?,	58.66	ouais	EM
5540	5530	2	linéaire	Corrosion, dépôts (boue?), fissures légères,	36.81	ouais	EM
6619	VG4	2	linéaire	Mise en charge par collecteur principal	4.15	Non défini	EU
5504	5617	2	linéaire	Corrosion légère, radier?,	97.82	ouais	EM
5508	pb419	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	5.50	oui	EM
5547	5551	2	linéaire	Corrosion, concrétions calcaire légères,	65.52	non	EM
6615	6617	2	ponctuelle	Traces de graisse légère, retenue en aval (refoulement?), cloques,	37.22	oui	EU
pb419	5506	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	57.21	oui	EM
	5540	2	ponctuelle	Corrosion légère, éléments légèrement décalés,	18.60	ouais	EM
5501	pb440	2	linéaire	Corrosion légère de la cunette	28.97	oui	EM
5531	5533	2	linéaire	Corrosion légère, dépôts légers (ciment),	36.47	oui	EM
11	5547	2	linéaire	Corrosion,	129.02	non	EM
pb1633	pb1645	2	ponctuelle	Conduite traversante,	10.31	oui	EP
8551	5546	2	linéaire	Corrosion, Attention cheminée borgne avec dépotoir à 6 m depuis aval, dépôts légers (pierres),	6.53	ouais	EM
5521	pb1633	2	ponctuelle	Conduite traversante,	2.18	oui	EP
5597	VG49	3			45.04	oui	EM
VG4	5615	3	ponctuelle	Dépôts (béton) en amont,	20.21	oui	EP
cc410	6611	3		Impactes en paroi,	11.80	oui	EU
5623	5622	3	ponctuelle	Concrétions calcaire légères, raccord pénétrant,	70.43	oui	EP
5599	5598	3		Corrosion légère, éléments légèrement décalés,	59.47	ouais	EM
pb1651	5516	3	ponctuelle	Impactes légers,	77.15	oui	EP
5558	5556	3	linéaire	Corrosion légère,	63.82	oui	EU
pb1645	pb1649	3	ponctuelle	Impactes léger, dépôts durs légers,	80.42	oui	EP
6614	6615	3	linéaire	Cloques, traces de graisse légères,	81.54	oui	EU
5514	6616	3	linéaire	Corrosion, graisse légère,	20.28	oui	EM
5527	pb187	3	ponctuelle	Impactes légers,	21.45	oui	EP
	5541	3	linéaire	Corrosion légère, collecteur obstrué à 4.00m en amont,	3.58	non	EP
6620	6621	3	ponctuelle	Flache,	66.69	oui	EU
5526	cc521	3		Dépôts (lait de ciment),	48.55	oui	EU
5518	5517	3	ponctuelle	Impactes légers, concrétions calcaire légères,	78.18	oui	EP
5528	5526	3		Dépôts durs (ciment) en amont,	55.30	oui	EU
6607	6608	3	ponctuelle	Déformation du tuyau à 50.00m,	57.89	oui	EU
VG49	6608	3	ponctuelle	Eclats de fibres,	17.30	ouais	EU
pb1632	5521	3	ponctuelle	Dépôts durs isolés,	41.93	oui	EP

ANNEXE 6 : Réseau de mesures hydrométéorologiques, état en 2006, source : SECOE



ANNEXE 7 : Situation de la rue des Noirettes

L'état du collecteur d'eaux pluviales de la rue des Noirettes nécessite sa réfection. Dans cette optique, deux options sont ouvertes :

1. Le maintien de la connexion au niveau de la rue du Grand-Bureau, tel que présenté dans les solutions de base et la variante
2. Le changement de sens du collecteur avec raccord à l'amont, en chambre 6123.

La validation de la faisabilité de la seconde option se base sur la capacité du collecteur d'eaux pluviales à l'aval, rue des Epinettes, à recevoir le débit supplémentaire drainé par le collecteur de la rue des Noirettes. Pour estimer le débit total qui circulerait alors dans le collecteur de la rue des Epinettes, 11 bassin-versants ont été pris en compte, délimités sur la figure ci-contre. Le débit d'eaux pluviales pour une pluie de période de retour T10 à l'aval du secteur délimité est estimé à 0.61 m³/s.

Selon la pente considérée, le dimensionnement hydraulique du collecteur pour un débit de 0.61 m³/s varie :

- **Pente mini** du tronçon \varnothing 700 :
0.23% sur environ 21.7 m
➔ Diamètre \varnothing 800 nécessaire

- **Pente moyenne** du tronçon \varnothing 700 :
0.75% sur environ 160m
➔ Diamètre \varnothing 600 nécessaire

Il semble donc possible de mettre en place le changement de sens du collecteur d'eaux pluviales de la rue des Noirettes, toutefois avec réserve. La modélisation hydraulique sur Mike Urban a montré que le collecteur d'eaux pluviales de la route de Acacias est mis en charge pour une pluie de période de retour 10 ans. Cet argument n'est pas en faveur du changement de sens de l'évacuation des eaux pluviales de la rue des Noirettes.

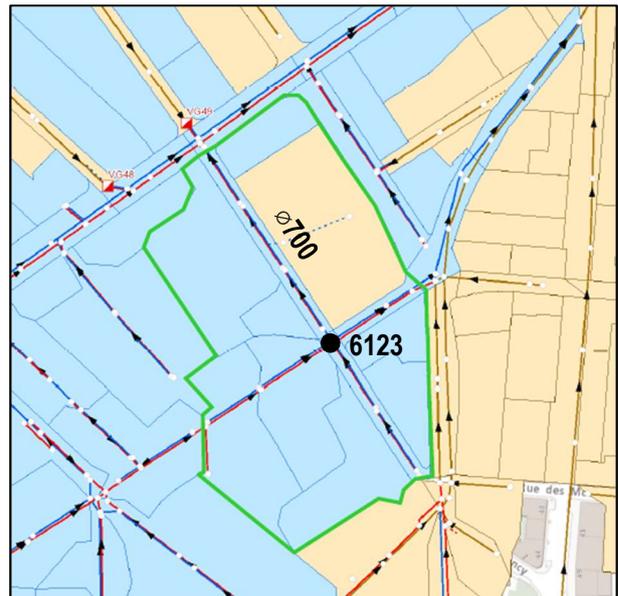


Fig. 1 Bassin-versants considérés pour vérifier la faisabilité de la connexion du collecteur de la rue des Noirettes à la chambre 6123.

ANNEXE 8 : Mise en séparatif du secteur de l'avenue de la praille – amont du secteur Grand-Bureau

La mise en séparatif de la rue du Grand-Bureau est dépendante de celle des bassins-versants drainés depuis l'avenue de la Praille. La présente annexe détaille une solution de mise en séparatif pour cette zone, avec les données relatives à l'état des collecteurs, la liste des bassins-versants concernés, la vérification de la capacité des collecteurs existants en vue de la réaffectation en eaux pluviales, et une proposition succincte pour la mise en place de nouveaux collecteurs d'eaux usées. Le secteur amont de la rue du Grand-Bureau comprend les rues suivantes :

- Délimitation du secteur :**
- Rue Alexandre GAVARD
 - Rue des Caroubiers
 - Avenue de la Praille

ETAT DES COLLECTEURS

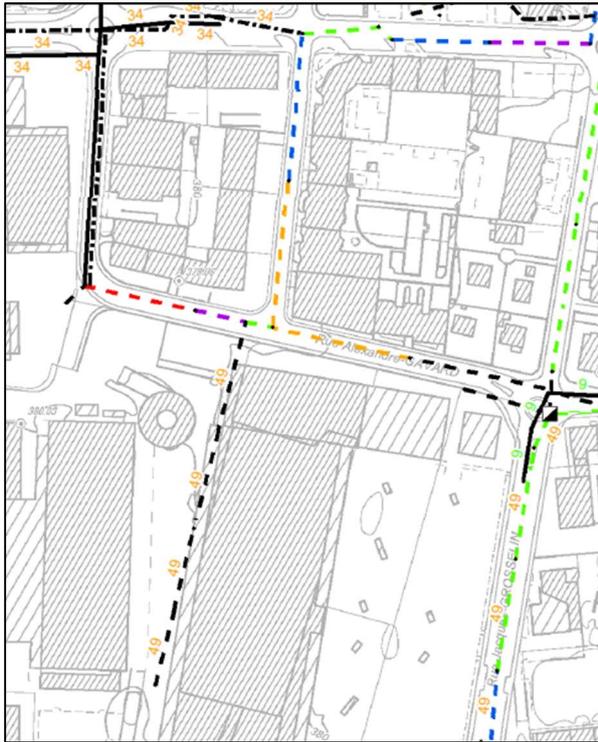


Une partie des collecteurs du secteurs présente une durée de vie réduite à moins de 20 ans, voir à moins de 9 ans pour les plus abimés. Parmi les défauts repérés, on trouve principalement des dépôts et des défauts de branchement ainsi que l'altération du matériaux.

- Durée de vie probable des canalisations**
- plus de 50 ans
 - de 20 à 49 ans
 - de 10 à 19 ans
 - de 5 à 9 ans
 - moins de 5 ans
 - non évalué

Fig. 2 Durée de vie probable des collecteurs.

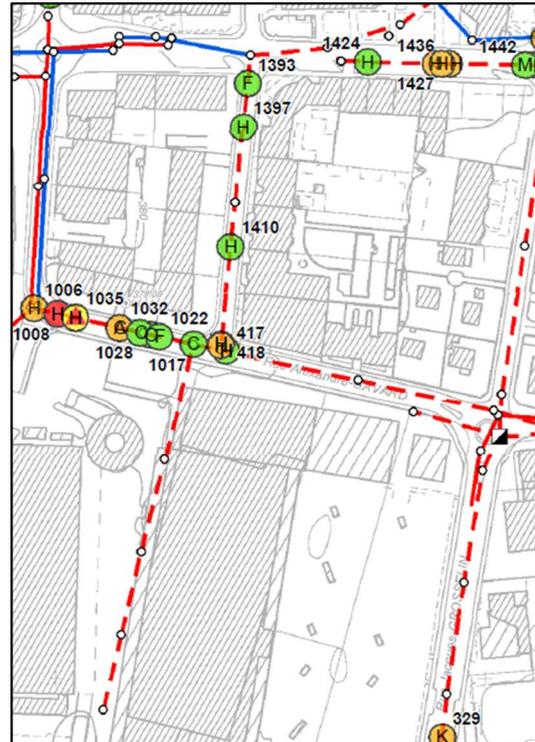
MISE EN SEPARATIF DU SECTEUR AVENUE DE LA PRAILLE 2/4



Etat des canalisations: priorités d'intervention

- Action immédiate nécessaire
- urgent (1 à 2 ans)
- à moyen terme (3 à 5 ans)
- à long terme (plus de 5 ans)
- pas d'intervention nécessaire
- pas de contrôle effectué

Fig. 4 Etat des collecteurs



Importance des défauts :

- Action immédiate nécessaire
- Action urgente (1 à 2 ans)
- Action à moyen terme (3 à 5 ans)
- Action à long terme (+ de 5 ans)
- Pas d'intervention

Type de défaut / dommage

A	Altération du matériau
B	Cadre du regard de visite non scellé
C	Contre-pente
D	Couvercle de regard non adapté aux charges de service
E	Défaut d'alignement
F	Défaut de branchement
G	Déformation (ovalisation)
H	Dépôts
I	Effondrement
J	Equipement de regard défectueux
K	Fissurations
L	Infiltration d'eau parasite
M	Joints défectueux
N	Matériaux divers dans canalisation
O	Mauvais remplissage des fonds PVC du regard de visite
P	Mauvais rhabillage du regard de visite
Q	Perforation
R	Racines
S	Terrassement
Z	Autre

Fig. 3 Défauts des collecteurs

Données des bassins-versants :

N°	COMMUNE	CONTENU	RESEAU	PENTE MOY.	COEF. RUISS.	TAUX D'IMP.	EH dom	EH ind.	SURFACE <i>ha</i>
1	Carouge	Eaux mélangées	Secondaire	3.7	0.85	1.00	321	83	1.47
2	Carouge	Eaux mélangées	Secondaire	2.9	0.84	0.99	122	417	1.55
3	Carouge	Eaux mélangées	Secondaire	4.3	0.85	1.00	80	4	0.41
4	Carouge	Eaux mélangées	Secondaire	3.7	0.59	0.69	219	12	0.61
5	Carouge	Eaux mélangées	Secondaire	4.4	0.50	0.58	269	31	0.95

MISE EN SEPARATIF DU SECTEUR AVENUE DE LA PRAILLE 3/4

Eaux pluviales :

Vérification de la capacité hydraulique du réseau en vue de la réaffectation des collecteurs unitaires en collecteurs d'eaux pluviales.

RESEAU D'EAU CLAIRE

AMONT	AVAL	LONGUEUR <i>m</i>	PENTE MOY <i>%</i>	DEBIT <i>m³/s</i>	DIAMETRE	
					EXISTANT	RECOMMANDE
830	826	177	0.56	0.39	OV 600/900	OV 500/750 - OK
832	826	77.6	0.33	0.37 <i>(surestimé)</i>	OV 400/500	OB 500/750
826	825	12.7	1.3	0.76	OV 600/900	OV 500/750 - OK
875	825	130	1.65	0.11	OV 400/500	OV 300/400 - OK
825	824	70	0.57	0.98	OV 700/1050	OV 700/1050 - OK
824	729	70	0.46	1.12	OV 700/1050	OV 800/1200

Remarques :

Le mauvais état du collecteur allant de la chambre 832 à 826 (passant par la chambre 831) ainsi que sa capacité au regard d'un débit calculé pour une pluie T10 (sous réserve que toute l'eau du bassin versant 1 transite par ce collecteur), justifient le remplacement complet de la canalisation qui nécessite :

- La déconnexion du collecteur à la chambre 832 : création d'une nouvelle chambre
- L'augmentation du diamètre du collecteur :
 - \varnothing 500 pour une pente de 1%, pente minimale en début de tronçon d'après la Norme SIA 190 :2017

Eaux usées :

Dimensionnement des nouveaux collecteurs d'eaux usées.

RESEAU D'EAU USEE

AMONT	AVAL	LONGUEUR <i>m</i>	PENTE <i>%</i>	DEBIT DE POINTE <i>l/s</i>	DIAMETRE <i>m</i>
EU1	EU3	170	1	8	250
<i>Sur parcelle</i>					
EU2	EU3	70	1	6	250
EU3	EU4	20	0.5	14	250
EU5	EU4	100	1	1	250
EU4	EU6	70	0.5	19	250
EU6	EU 2016	70	0.5	23	250

Remarques :

Les contraintes géométriques se situent chambre EU 2016 (existante) dont le radier est à 375.29. Les altitudes des nouvelles chambres EU1, EU2 et EU5 déterminent les pentes des tronçons EU3 – EU4, EU4-EU6, et EU6-EU 2016.



ANNEXE 10 : Série de prix, en CHF, relative au calcul de la valeur économique de remplacement des collecteurs

SERIE DE PRIX (LES COUTS SONT HT)			
N°	ARTICLE	UNITE	PRIX UNITAIRE
1.01	Installation de chantier milieu urbain sous-chaussée	%	5%
1.02	Installation de chantier milieu urbain hors-chaussée	%	4%
1.03	Installation de chantier plein champs	%	3%
2.01	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.20	m	18.00
2.02	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.25	m	25.00
2.03	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.30	m	35.00
2.04	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.35	m	49.00
2.05	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.40	m	52.00
2.06	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.50	m	62.00
2.07	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.60	m	174.00
2.08	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.70	m	282.00
2.09	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.80	m	288.00
2.10	Fourniture et pose collecteur diamètre : 0.90	m	372.00
2.11	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.00	m	432.00
2.12	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.10	m	492.00
2.13	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.20	m	600.00
2.14	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.30	m	708.00
2.15	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.40	m	816.00
2.16	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.50	m	876.00
2.17	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.60	m	996.00
2.18	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.70	m	1092.00
2.19	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.80	m	1248.00
2.20	Fourniture et pose collecteur diamètre : 1.90	m	1356.00
2.21	Fourniture et pose collecteur diamètre : 2.00	m	1464.00
3.01	Mise en œuvre béton d'enrobage	m3	220.00
4.01	Excavation pleine masse à la machine et à la main	m3	32.00
4.02	Remise en œuvre matériau excavé, yc mise en dépôt	m3	30.00
4.03	Reprise matériau et mise en décharge	m3	50.00
4.04	Blindage de tranchées	m2	35.00
4.05	Fourniture et pose grave de remblayage, yc compactage	m3	60.00
5.01	Dégrapage enrobé à la machine	m3	50.00
5.02	Evacuation et mise en décharge enrobé, yc taxes	m3	40.00
5.03	Coupe enrobé	m	15.00
5.04	Fourniture et pose enrobé	m2	90.00
6.01	Dégrapage terre végétale et mise en dépôt	m3	12.00
6.02	Mise en œuvre terre végétale depuis dépôt, y.c. compactage	m3	21.00
7.01	Fond de regard de visite	p	1000.00
7.02	Fût de regard de visite	m	250.00
7.03	Couvercle 10 t regard de visite avec cadre	p	1100.00
8.00	Raccords privés (pièce à coller)	p	250.00

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme

Mastère Spécialisé

Spécialité

Eau Potable et Assainissement

Auteur

Aude DELENA

Année

2019

Titre :

Participation aux Plans Généraux d'Evacuation des Eaux de la ville de Genève & de Carouge : étude de la poursuite de la mise en séparatif des réseaux d'assainissement.

Nombre de pages texte : **62** annexes : 17 (hors plans)

Nombre de références bibliographiques : 78

Structure d'accueil :

sd ingénierie genève sa
1213 Petit-Lancy, SUISSE

Maître de stage :

Laurent CHEVASSU

Résumé

Ce travail de fin d'études s'intègre dans la seconde phase de l'élaboration du PGEE de la Ville de Genève, avec la recherche de solutions pour permettre la poursuite de la mise en séparatif d'un secteur situé à cheval sur la commune de Genève et la commune de Carouge dans le cadre d'un mandat de l'entreprise sd ingénierie genève sa. Le contexte fortement urbanisé du secteur concerné met en jeu de nombreuses contraintes et l'expertise nécessaire au choix des propositions formulées a été menée sur deux axes : une analyse à caractère géométrique et l'étude du fonctionnement hydraulique du réseau sur la base d'une modélisation avec le logiciel Mike Urban.

Mots-clés

assainissement, gestion des eaux pluviales, Mike Urban, mise en séparatif, modélisation hydraulique, Plans Généraux d'Evacuation des Eaux, réseaux, STORM, Suisse,