

Titre: Développement d'un outil d'analyse fonctionnelle des réseaux
Title: d'eaux pluviales

Auteur: Fatou Fall
Author:

Date: 2021

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Fall, F. (2021). Développement d'un outil d'analyse fonctionnelle des réseaux
Citation: d'eaux pluviales [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie.
<https://publications.polymtl.ca/6340/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/6340/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Musandji Fuamba, & Said Rhouziane
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Développement d'un outil d'analyse fonctionnelle des réseaux d'eaux
pluviales**

FATOU FALL

Département des génies civil, géologie et des mines

Mémoire

présenté pour un mémoire en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences
appliquées*

Génie civil

Mai 2021

© Fatou Fall, 2021.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Développement d'un outil d'analyse fonctionnelle des réseaux d'eaux pluviales

Présenté par :

Fatou FALL

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

a été dûment accepté pour un mémoire par le jury d'examen constitué de :

Ahmad SHAKIBAEINIA, président

Musandji FUAMBA, membre et directeur de recherche

Said RHOUZLANE, membre et codirecteur de recherche

Elmira HASSANZADEH, membre

DÉDICACE

A ma très chère Maman, mon très cher Père, à toute ma famille

Je ne pense même pas pouvoir les remercier assez, pour tout ce qu'ils ont fait pour moi, dès ma naissance jusqu'à maintenant en passant par mon cursus scolaire et universitaire. Je veux parler de mes chers parents. Mon cher père a toujours été pour moi source de référence et d'inspiration par ses nombreuses qualités inégalables. Mention spéciale à ma bien-aimée maman, la personne pour qui je me bats nuit et jours. L'occasion ne se présente pas tous les jours, donc, je vous dis, vraiment, un grand, merci.

REMERCIEMENTS

J'adresse une mention spéciale à mon directeur de recherche de m'avoir aidée dans les procédures de demande de permis d'études et d'avoir accepté de m'encadrer. Car c'est tout sauf évident, je veux citer par-là, Pr Fuamba Musandji. Un grand merci de m'avoir encadrée dans ce mémoire. Je sais que je ne vous remercierais jamais assez Professeur à par formuler des prières pour vous, longue vie et santé de fer Professeur !!!!!

Je tiens également à remercier mon codirecteur de recherche Saïd Rhouzlane, mon codirecteur. En effet, votre pédagogie et votre patience ont rendu vos cours passionnants. Vous avez toujours su rester à mon écoute et votre encadrement permanent m'a été réellement précieux. Je vous remercie de m'avoir encadrée mais aussi d'avoir été très patient avec moi.

Je tiens à remercier le professeur Jean Bélanger d'avoir enrichi nos connaissances dans le domaine des techniques de construction et de réhabilitation en me choisissant comme chargée de travaux pratiques du cours CIV8185.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Michel Brodeur, responsable du service du Génie de la ville de Saint-Hyacinthe pour sa disponibilité et son écoute. À Monsieur Pierre Dugré, Ingénierie Égout de l'entreprise Aquadata. Je vous remercie de m'avoir fourni assez de documentation sur les réseaux d'eaux urbains de la ville de Saint hyacinthe.

Je tiens à remercier sincèrement Mr Abdourakhmane Fall, chercheur en réseaux et télécommunications pour ses encouragements et son soutien permanent durant les durs moments de ma formation à l'école polytechnique. Je ne trouve même pas les mots pour le remercier à part formuler des prières pour lui.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur Seny Mbaye de m'avoir aidée dans la partie programmation du modèle développé. Votre intervention a été très efficace et pour cela, je renouvelle mes plus vifs remerciements. C'est avec un immense plaisir et un soulagement inqualifiable que j'ai pu constater que vous avez rapidement pris en compte ma demande.

J'adresse mes remerciements à mes professeurs de l'université de Thiès, Sénégal de m'avoir encadrée et de m'avoir donné le courage de percer dans le domaine de l'hydraulique et de l'assainissement et de m'avoir appris les bases de ce métier. Je remercie aussi Monsieur Saliou Faye, hydraulicien, pour son soutien durant les durs moments de ma formation à Polytechnique Montréal.

Je tiens également à remercier tous les employés du département CGM de l'École Polytechnique ainsi qu'à mes collègues, Anta Samb, Fiona Leclercq, Sidi Konaté, Alseny Barry et Maryam Taherparvar, étudiants en maîtrise recherche. Je ne vais pas oublier Barkham Thiam et Mandela Diallo, doctorants en génie des matériaux à Polytechnique de Montréal. Merci pour vos encouragements et pour les corrections que vous avez eu à apporter dans le mémoire.

Je ne pourrais pas terminer sans remercier les membres du jury pour leur lecture attentive de ce mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail.

RÉSUMÉ

Le gouvernement du Québec, par l'intermédiaire du ministère des Affaires municipales, des régions et de l'occupation du sol (MAMROT) a décidé de promouvoir la réalisation des plans d'interventions auprès des villes et municipalités en produisant et en diffusant un guide d'élaboration des plans d'interventions. Ces plans d'interventions permettent aux municipalités d'évaluer leurs réseaux, d'interpréter les données et de proposer des solutions pour la réhabilitation. L'étude bibliographique a montré qu'il n'y a aucun outil qui aide les gestionnaires à améliorer leur plan d'intervention. Dans ce contexte, nous avons conçu, programmé, et réalisé, un outil informatique basée sur le développement orienté objet. Cet outil est basé sur l'analyse fonctionnelle et il est composé de différentes interfaces qui aident les municipalités à monter leur plan d'intervention en leur permettant d'organiser les données, de définir les besoins du réseau, de fournir des diagrammes, des cahiers de charges et d'évaluer les indicateurs d'eau pluviale. Il propose une démarche d'analyse fonctionnelle qui a été testé pour identifier les besoins du collecteur d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe, ses interactions avec le milieu environnant et son état de dégradation. Les résultats de cette analyse ont montré la pertinence de l'interaction entre le collecteur et son milieu environnant, les paramètres entrants et sortants et les critères de flexibilité. L'évaluation des indicateurs d'eaux pluviales et les calculs de pointage effectué par notre outil montre que les défauts structuraux et fonctionnels observés dans le collecteur sont plus nombreux que les défauts hydrauliques. C'est pourquoi l'outil informatique développé constitue une application simple à utiliser et permet aux gestionnaires de compléter leur plan d'intervention avec l'analyse fonctionnelle.

ABSTRAT

The Quebec government, through the Minister des Affaires municipales, des regions et de occupation du sol (MAMROT), has decided to promote the development of intervention plans for cities and municipalities by producing and distributing a guide for the development of intervention plans. These intervention plans allow municipalities to evaluate their networks, interpret the data and propose solutions for rehabilitation. The literature review showed that there are no tools to help managers improve their response plans. In this context, we designed, programmed, and implemented a computer tool based on object-oriented development. This tool is based on functional analysis and is composed of different interfaces that help municipalities to build their intervention plan by allowing them to organize data, define network needs, provide diagrams, specifications and evaluate stormwater indicators. It proposes a functional analysis approach that was tested to identify the needs of the City of Saint-Hyacinthe's storm sewer, its interactions with the surrounding environment and its state of degradation. The results of this analysis showed the relevance of the interaction between the collector and its surrounding environment, the input and output parameters and the flexibility criteria. The evaluation of the stormwater indicators and the scoring calculations performed by our tool show that the structural and functional defects observed in the collector are more numerous than the hydraulic defects. This is why the developed computer tool constitutes an easy-to-use application and allows managers to complete their intervention plan with the functional analysis.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ	vi
ABSTRAT	vii
TABLE DES MATIÈRES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES ANNEXES	xiii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xiv
CHAPITRE 1. INTRODUCTION.....	1
1.1. Problématique.....	1
1.1.1. Définition de l'analyse fonctionnelle.....	2
1.1.2. Définition de l'analyse structurelle	3
1.1.3. Définition du plan d'intervention.....	4
1.2. Mise en contexte.....	4
1.3. Objectifs.....	6
1.4. Méthodologie de travail.....	7
1.4.1. Limitations	8
1.5. Organisation générale du mémoire.....	8
CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	10
2.1. Généralités sur les réseaux d'eau pluviale	10
2.2. Conception des réseaux d'évacuation des eaux pluviales	10
2.2.1. Bassin versant.....	11
2.2.2. Hypothèse.....	11
2.2.3. Formules de calcul pour le dimensionnement de la conduite	12
2.2.4. Règles de bonne pratique.....	15
2.3. Problématique des réseaux d'eau pluviale	16
2.4. Correction des défaillances.....	16
2.5. Les guides techniques et les outils informatiques de gestion des réseaux d'eau pluviale.....	17
2.6. Collecte et analyse des données disponibles.....	20

CHAPITRE 3. ANALYSE STRUCTURELLE ET FONCTIONNELLE DES RÉSEAUX D'EAU PLUVIALE	22
3.1. Notion de système.....	22
3.2. Méthodologie de l'analyse structurelle.....	22
3.3. Méthodologie de l'analyse fonctionnelle.....	25
3.4. Analyse fonctionnelle externe et interne.....	27
3.5. Évaluation des indicateurs de performances	31
3.5.1. Évaluation de l'indicateur EPL-1 (État structural).....	33
3.5.2. Évaluation de l'indicateur EPL-2 problème hydraulique.....	34
3.5.3. Indicateur EPL-3 (Défauts fonctionnels).....	35
3.5.4. Indicateurs EPL-4 (problème hydraulique)	35
3.6. Système d'évaluation des conduites	36
CHAPITRE 4. CONCEPTION DE L'OUTIL INFORMATIQUE D'ANALYSE FONCTIONNELLE DES REP.....	39
4.1. Fonctionnement de l'outil.....	39
4.2. Justification du choix de langage de programmation informatique....	42
4.3. Explication des interfaces.....	43
CHAPITRE 5. ANALYSE FONCTIONNELLE D'UN COLLECTEUR D'ÉGOUT PLUVIAL DE LA VILLE DE SAINT HYACINTHE.....	48
5.1. Présentation de la ville de Saint Hyacinthe.....	48
5.2. Présentation du réseau d'eaux pluviales de la ville de Saint-Hyacinthe	49
5.3. Identification des besoins	50
5.4. Analyse fonctionnelle du collecteur 15815 d'égout pluvial.....	55
5.4.1. Analyse de l'état des pathologies.....	57
5.4.2. Présentation des données du collecteur 15815 entrées dans l'outil informatique AFREP	62
5.4.3. Analyse de fonctionnelle externe et interne du collecteur 15815	63
5.4.4. Identification des éléments du milieu extérieurs (EME) au collecteur 15815	64
5.4.5. Liste des fonctions : FP (Fonction principale) et FC (Fonction contrainte)	66
5.5. Évaluation des indicateurs de performances avec l'outil AFREP	70
5.6. Évaluation du pointage rapide du PACP.....	72
5.7. Évaluation des défauts continus dans le collecteur	75

5.8. Prise de décision.....	77
CHAPITRE 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	78
Bibliographie.....	80
ANNEXES A.....	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Diamètre intérieur des conduites d'égouts [13]	15
Tableau 3-1 : les catégories, les exigences et le niveau des indicateurs.....	32
Tableau 3-2 : les indicateurs d'eaux pluviales.....	33
Tableau 3-3 : Statut de l'indicateur EPL-1.....	34
Tableau 3-4 : Statut de l'indicateur EPL-2.....	34
Tableau 3-5 : Statut de l'indicateur EPL-4.....	36
Tableau 5-1 : Identification des éléments du milieu environnant du réseau d'eau pluviale de la ville de Saint-Hyacinthe.....	52
Tableau 5-2 : Valeurs typiques de f_0 en fonction des différents types du sol (Rivard, 2005).....	53
Tableau 5-3 : : Analyse des défauts hydrauliques sur le collecteur 15815	58
Tableau 5-4 : Analyse des défauts structuraux observés sur le collecteur 15815	59
Tableau 5-5 : Analyse des défauts fonctionnels observés sur le collecteur 15815.....	61
Tableau 5-6 : Liste des défauts structuraux, leurs nombres et leurs cotes.....	73
Tableau 5-7 : : Résultats de calcul de l'indice de l'état structural du collecteur 15815.....	74
Tableau 5-8 : la liste des défauts fonctionnels, leurs nombres et leurs cotes.....	74
Tableau 5-9 : Résultats de calcul de l'indice de l'état fonctionnel de la conduite 15815 ..	75
Tableau 5-10 : Calcul des pointages pour l'évaluation des défauts continus dans le collecteur.....	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Schéma fonctionnel du projet	7
Figure 3-1 : Analyse structurelle des infrastructures linéaires des réseaux d'eau pluviale	24
Figure 3-2 : Analyse fonctionnelle des systèmes ponctuels.....	25
Figure 3-3 : Présentation des outils d'analyse fonctionnelle.....	27
Figure 3-4 : Diagramme de la bête à cornes	28
Figure 3-5 : Diagramme de la pieuvre avec les éléments du milieu environnant	29
Figure 3-6 : Exemple de diagramme de la FAST	30
Figure 3-7 : Exemple de diagramme de la SADT	31
Figure 4-1 : Schéma de l'algorithme proposé.....	40
Figure 5-1 : Figure 5.3 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe[33].....	49
Figure 5-2 : Répartition des matériaux des conduites des égouts pluviaux de la ville de Saint-Hyacinthe	50
Figure 5-3 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe.....	51
Figure 5-4 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe[34].	52
Figure 5-5 : Diagramme de pieuvre généré par l'outil AFREP.....	54
Figure 5-6 : Diagramme de la SADT appliquée au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe	55
Figure 5-7 : Carte de localisation du collecteur 15815 (CIMA+).....	56
Figure 5-8 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au collecteur d'égout pluvial	64
Figure 5-9 : Diagramme de la pieuvre générée par l'outil AFREP	67
Figure 5-10 : Diagramme de la SADT générée par l'outil AFREP	68
Figure 5-11 : Diagramme de Fast généré par l'outil AFREP	69
Figure 5-12 : Cahier des charges généré par l'outil AFREP.....	70
Figure 5-13 : Évaluation des indicateurs EPL -1 et EPL-2 avec l'outil AFREP.....	71
Figure 5-14 : Évaluation des indicateurs EPL -3 et EPL-4 avec l'outil AFREP.....	71
Figure 5-15 : Répartition graphique des indicateurs EPL Générée par l'outil AFREP	72

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Les données d'inspection du collecteur 15815

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

- AMDEC : Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités
- AFREP : Analyse fonctionnelle des réseaux d'eau pluviale
- APTE (Application aux Techniques d'entreprises)
- BNQ : Bureau de normalisation du Québec
- CDCF : Cahier des charges fonctionnel
- CERIU : Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines
- CCTV : Caméra d'inspection conventionnelle
- EDF : Électricité de France
- EEU : Évaluation eau urbaine
- EP : Eau pluviale
- EPL : Indicateurs des eaux pluviales
- FAST : Fonction d'analyse des systèmes techniques
- MDDEFP : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
- MAMROT : ministère des Affaires municipales et de l'occupation du territoire
- PACP : Pipeline Assessment And Certification Program (programme d'évaluation et de certification des conduites)
- PI : Plan d'intervention
- RHP : Réhabilitation ponctuelle
- REP : Réseaux eaux pluviales
- RT : Remplacement total
- SADT: Structured analysis and design technique
- SDF : Sûreté de fonctionnement
- TO : Caméra téléobjectif

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

1.1. Problématique

Les problèmes souvent rencontrés dans les réseaux d'eau pluviale sont de nature structurale, hydraulique et environnementale. Les problèmes structuraux regroupent les différents défauts qui peuvent être observés dans les réseaux d'eau pluviale. Ce sont les problèmes de fissures, fracture, bris, trou, effondrement, déformation, joint, dommage à la surface, défaillance du revêtement, défaillance de soudure, défauts de réparation ponctuelle et défauts de conduite en briques. Les problèmes hydrauliques peuvent survenir quand la quantité d'eau à évacuer dépasse la capacité du réseau à le capter, ce qui se manifeste généralement par des conduites en surcharges, des refoulements du fait de l'augmentation des eaux de ruissellement. Ces problèmes sont à l'origine des inondations qui entraînent à leur tour des pertes de vie. Les problèmes environnementaux peuvent entraîner la pollution des zones environnantes du fait du non-respect des normes de rejets. On peut avoir aussi des problèmes de sédimentation dans les conduites d'évacuation des eaux pluviales.

De nos jours, l'évaluation des réseaux d'eau urbains revêt d'une importance capitale compte tenu des problèmes fréquents observés, ainsi que les nombreuses contraintes et objectifs auxquels doivent répondre ces réseaux. Ces dysfonctionnements observés dans ces réseaux peuvent nuire à l'environnement, aux activités humaines et à la santé de la population. Notons que les réseaux d'eau pluviale font partie des infrastructures municipales et leur remise à niveau et leur maintien nécessitent des ressources financières onéreuses. C'est pourquoi il est indispensable de leur porter une attention particulière afin de mieux connaître leur état et d'opérer de façon optimale.

Les réseaux d'égout sont constitués d'un ensemble de composantes hydrauliques comprenant des conduites, des regards, des puisards, des stations de pompage, des bassins de rétention et de différents ouvrages de contrôle [1]. Leur mission est la collecte et l'évacuation adéquate des eaux vers l'exutoire.

Il a été identifié cinq catégories de problèmes auxquels les gestionnaires se doivent de faire face à un moment ou l'autre du cycle de vie de leurs ouvrages :

- Développement des nouveaux secteurs;
- Secteurs existants avec problème de drainage;
- Érosion et sédimentation;
- Pollution des cours d'eau récepteurs [2].

Pour lutter contre ces problèmes, les gestionnaires des réseaux d'eau pluviale ont besoin de maintenir la performance hydraulique, de se renseigner sur les réseaux techniques proches de l'égout pluvial, de contrôler la qualité des eaux de ruissellement, de renouveler ou réhabiliter les conduites.

En 2005, pour s'assurer que les interventions sur les réseaux font l'objet d'une analyse structurée, le gouvernement du Québec, par l'intermédiaire du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), a décidé de promouvoir la réalisation de plans d'intervention auprès des villes et municipalités, en produisant et diffusant un guide d'élaboration des plans d'intervention. Ces derniers permettent de prioriser les conduites nécessitant des interventions [3] afin de bien planifier les interventions. C'est pour cela, il est important d'évaluer l'état structural, fonctionnel, hydraulique et environnemental de la conduite. Ainsi, le gouvernement du Québec a mis en place des indicateurs de performance afin de permettre aux municipalités d'évaluer l'état de leur réseau, d'interpréter les données, mais aussi de proposer des solutions alternatives pour la réhabilitation des égouts pluviaux. Pour répondre à ces enjeux et assurer la maintenance de ces réseaux plusieurs approches ont été développées afin de concevoir, d'évaluer, de diagnostiquer, et donc, de décrire la réalité complexe des réseaux. L'une de ces approches est l'analyse fonctionnelle.

1.1.1. Définition de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui « consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur » [4]. Elle peut être utilisée au début du cycle de vie d'un produit pour en effectuer la conception, mais également pour améliorer ou réhabiliter un produit. Celle-ci permet de déterminer les

fonctions principales, les fonctions secondaires et les fonctions contrainte. Bref, elle permet d'obtenir une vision d'ensemble du produit et des fonctions de celui-ci. Il est alors possible d'associer des solutions techniques à ces fonctions tout en tenant compte de la vision d'ensemble et ainsi d'optimiser. Cette méthode permet donc, dans un premier temps, d'identifier les fonctions de service, les fonctions techniques principales, les fonctions techniques secondaires du réseau, soit l'analyse fonctionnelle externe du réseau.

L'analyse fonctionnelle permet donc d'identifier les fonctions de service du réseau, soit l'action qui est attendue du réseau pour répondre au besoin. Ces fonctions de service peuvent se répartir en fonction d'usage, par exemple fournir de l'eau potable, soit de répondre au besoin de base, mais également en fonctions d'estime, par exemple fournir un débit rapide ou une pression suffisante, soit les conditions dans lesquelles il faut répondre au besoin de base.

Une fois les fonctions de service identifiées, il faut identifier les fonctions techniques qui permettront d'accomplir ces fonctions de services. Que ce soient les fonctions techniques permettant de répondre directement au besoin de base, soient les fonctions techniques principales, ou encore, permettant de répondre aux conditions dans lesquels il faut répondre au besoin de base, soient les fonctions techniques secondaires. Ces conditions, ou contraintes peuvent être de l'ordre de la sécurité, de l'ergonomie, du confort, de l'environnement, des normes et règlement en vigueur, économique et autre. Puis, dans un second temps, de sélectionner les solutions techniques pour répondre à ces fonctions, soit l'analyse fonctionnelle interne du réseau.

1.1.2. Définition de l'analyse structurelle

L'analyse structurelle est une méthode qui montre la cohérence et la conservation des flux entre les différents niveaux d'un système et ses sous-systèmes. Le premier niveau est surnommé le premier palier. Par la suite, les processus seront décomposés en sous-processus, ainsi de suite. Donc, il faudra identifier clairement les éléments du système et leurs interactions. Un système de réseaux hydrauliques, à l'instar des réseaux d'eau pluviale, se définit, d'une part, à partir des éléments structurels (ou des sous-systèmes) qui le composent, d'autre part, à partir des fonctions qu'il accomplit. A chaque niveau de

décomposition du système, les éléments structurels remplissent à leur tour des fonctions qui contribuent à la réalisation des fonctions globales de l'infrastructure [5].

1.1.3. Définition du plan d'intervention

Le ministère des Affaires municipales et de l'occupation du territoire a présenté des guides pour soutenir les municipalités du Québec dans l'élaboration d'un plan d'intervention des réseaux d'eaux urbains et des chaussées [3]. L'objectif du guide est d'apprécier le réseau en assurant un bon encadrement, de préciser les mécanismes d'établissements des priorités et intégrer les travaux de chaussées au même titre que les conduites d'eaux urbaines.

1.2. Mise en contexte

Les études de priorisation des interventions pour la réhabilitation des réseaux d'eaux urbains introduisent des concepts d'analyse de risque et d'évaluation des indicateurs. Des auteurs affirment que pour l'étude de danger et la sûreté de fonctionnement dans le monde industriel, est souvent utilisé l'analyse fonctionnelle des systèmes [6]. À titre d'exemple en industrie, l'analyse des modes de défaillance, des criticités et des effets découle d'une analyse fonctionnelle. Pour le système de génie civil à caractères linéaires comme les réseaux d'eaux urbains, l'analyse fonctionnelle est absente dans la préparation des plans d'intervention exigés par le ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire [7]. Cette réalité a été confirmée par notre étude de la revue bibliographique. D'autres auteurs comme Peyras et serre [8] ont présenté des travaux scientifiques et techniques d'analyse fonctionnelle de certains ouvrages hydrauliques. L'analyse fonctionnelle conduit à des difficultés méthodologiques nouvelles qui n'ont pas été résolues dans le domaine industriel. Au niveau de l'ingénierie, cela se traduit par des questions très pragmatiques :

- Quel système étudier ?
- Comment établir l'analyse structurelle ?
- Quel découpage en tronçons ?

La notion de tronçon vue du côté du gestionnaire est-elle pertinente pour la démarche d'analyse? [9].

La bibliographie montre qu'ils existent des guides et des outils informatiques de gestion des réseaux d'eaux pluviales utilisant l'analyse fonctionnelle d'une façon partielle.

Les manuels de gestion des réseaux pluviaux existants sont les guides de gestion des actifs municipaux pour le renouvellement des infrastructures ponctuelles en eau, Infraguide, les plans d'intervention, le guide de gestion des eaux pluviales. Ces guides permettent de protéger la santé des personnes, de la faune, de la flore, de s'informer sur les dangers liés aux inondations et de proposer des solutions pour lutter contre les problèmes structureux et fonctionnels. De plus, ils proposent une bonne stratégie d'aménagement du territoire pour permettre la gestion durable des réseaux d'eau pluviale, d'identifier le type de dégradation, d'estimer les données manquantes pour les infrastructures non inspectées ni évaluées (état actuel) et de montrer la méthodologie pour les gens qui veulent élaborer leur plan d'intervention.

La méthodologie de l'analyse fonctionnelle pour le développement d'un prototype SIG a été utilisée pour analyser la résilience urbaine de la ville de Dublin [10]. Cet outil permet d'analyser de façon pertinente les réseaux techniques en l'améliorant et permettant une planification de l'aménagement du territoire et la gestion de crise de manière à tenir compte des comportements du réseau face à la perturbation. L'outil informatique développé permet d'évaluer les réseaux d'assainissement, de collecter les données, et de calculer les indicateurs de performance hydrauliques. Ces outils informatiques permettent entre autres d'élaborer et d'exploiter une base de données pour la gestion des eaux pluviales [11].

Par ailleurs, un modèle basé sur la logique floue a été proposé pour allier deux aspects hydraulique et structural. Le système expert flou (SEF) développé par Bengassem offre la possibilité de traiter parallèlement les résultats d'évaluation de la performance hydraulique et structurale, Il est utilisé d'une part, pour nuancer l'appartenance aux différents intervalles, des paramètres de performance, caractérisés par des limites abruptes, et d'autre part, pour agréger ces paramètres [12]. Il y'a aussi le logiciel aqua GÉO qui a été mis en place en 1987 et il permet de faire le diagnostic, l'analyse et à la gestion de l'état des réseaux d'aqueduc, d'égouts et de voirie.

La ville de Toronto se base souvent sur l'analyse du cycle de vie pour évaluer l'état de dégradation des infrastructures souterraines en s'aidant par la télé inspection.

Il ressort de la synthèse bibliographique qu'il n'y a aucun outil qui se base sur l'analyse fonctionnelle pour la conception, la réalisation ou la maintenance des réseaux d'eau pluviale. Ces guides de gestion des réseaux d'eau pluviale ne montrent pas les interactions qui existent entre le réseau d'eau pluviale et ses composants, ne font pas une analyse complète des besoins, ne recensent pas toutes les fonctions à satisfaire et les contraintes à respecter pour le réseau d'eau pluviale. De plus, ces guides ne présentent pas l'analyse structurelle et fonctionnelle durant toute la phase du cycle de vie. Les outils informatiques sont limités, car ils ne donnent pas toutes les phases de l'analyse fonctionnelle du système, ne font pas du développement objet. Les décideurs se sont uniquement basés sur les bases de données et les simulations numériques. C'est en ce sens que nous avons décidé de soutenir les municipalités en développant un outil qui permettrait d'améliorer la rédaction des plans d'intervention, d'avoir une meilleure connaissance de l'environnement du réseau d'eau pluviale en appliquant la méthodologie de l'analyse fonctionnelle. Pour cela, nous allons identifier les besoins du système d'évacuation des eaux pluviales et définir les fonctions principales et des fonctions contraintes. Cette démarche est centrée sur les interactions qui existent entre le système et son milieu environnant. Elle montre les exigences qualitatives (pollution, turbidité, matière en suspension et transport des solides) et quantitatives (débit, vitesse, pente, Hauteur piézométrique).

1.3. Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de proposer un outil d'analyse fonctionnelle des réseaux d'eau pluviale. Et en conséquence, les objectifs spécifiques poursuivis sont de:

- Réduire le temps de collecte des données;
- Schématiser les systèmes et les sous-systèmes des réseaux;
- Identifier les différents besoins et les différentes parties du réseau;
- Présenter les interactions Système / sous-système et leurs milieux environnants ;
- Traduire les fonctions du système en fonction techniques ;
- Élaborer le diagramme des flux entrants, des flux sortants, les contraintes et les mécanismes du système ;
- Évaluer les indicateurs de performances

La figure 1.1 montre le schéma fonctionnel de notre projet de recherche.

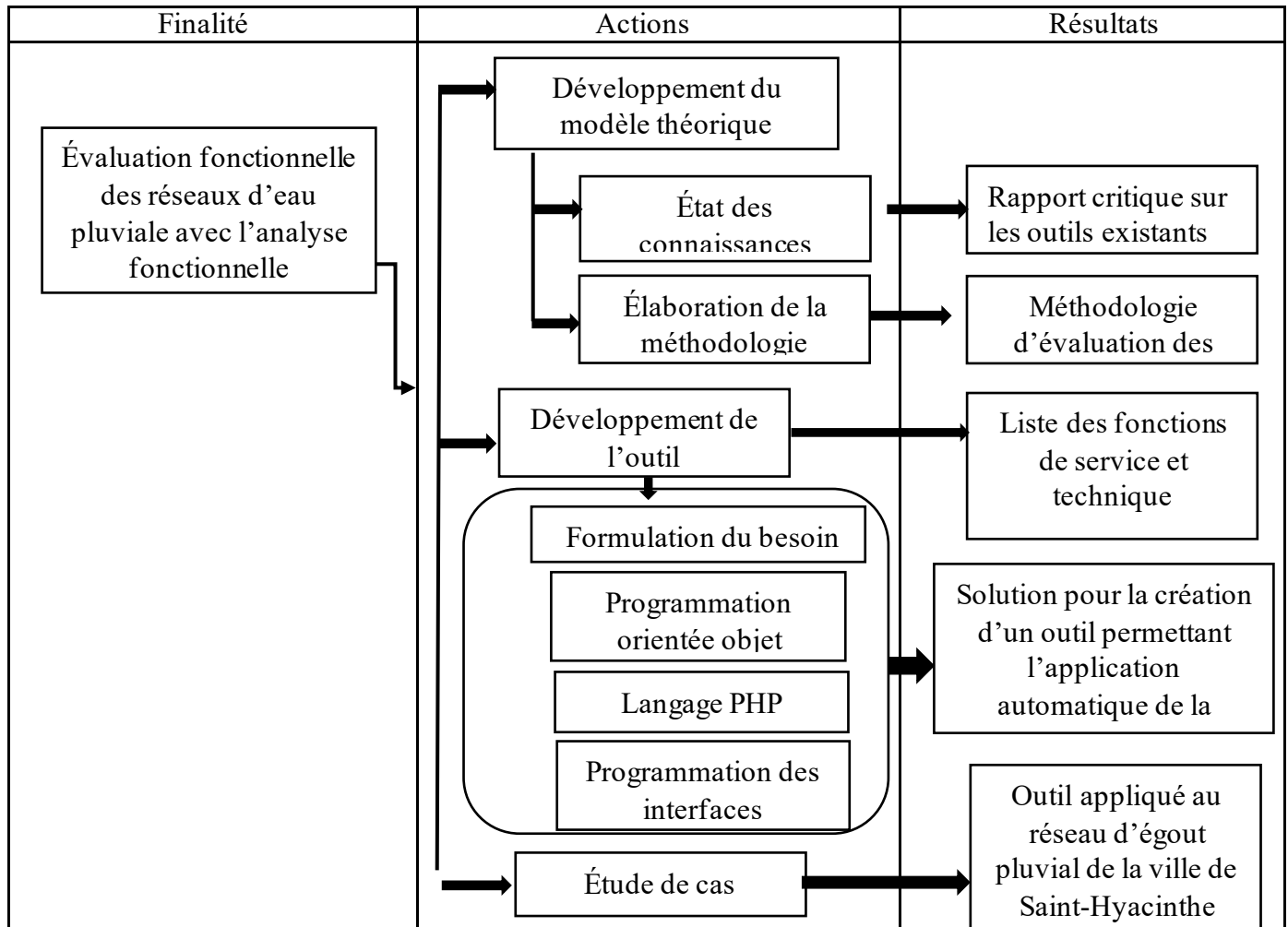


Figure 1-1 : Schéma fonctionnel du projet

1.4. Méthodologie de travail

Pour atteindre ces objectifs, on applique une stratégie qui se décline comme suit

- Revue de la littérature;
- Collecte des données
- Présentation de la méthodologie d'analyse structurelle et fonctionnelle;
- Programmation d'un algorithme numérique basée sur la méthodologie d'analyse fonctionnelle qualitative;
- Conception de l'outil informatique d'analyse structurelle et fonctionnelle;
- Application au réseau d'eaux pluviales de la ville de Saint-Hyacinthe;

- Proposition des solutions pour la réhabilitation.

Il est à noter que l'outil développé fonctionne par tronçon et elle est composée de différentes interfaces qui permettent d'organiser les données, de fournir des diagrammes, des cahiers de charges et d'évaluer les indicateurs de performance. Ainsi, il est pertinent d'avoir :

- les données d'une étude de priorisation des interventions au niveau d'un bassin versant;
- les données des inspections télévisées entre deux regards d'égout;
- Les données fournies par une étude hydraulique récente.

Pour cela, nous allons refaire l'évaluation du réseau par l'outil; vérifier si les tronçons choisis par l'étude de priorisation sont les mêmes que ceux proposés par l'outil, de faire la saisie manuelle ou dynamique des données, de refaire tous les calculs de pointage afin d'évaluer le nombre d'occurrences des défauts d'un niveau donné à l'intérieur d'une section de conduite. Notons que les évaluations se font séparément pour les défauts structuraux et pour les défauts d'opération et d'entretien (O&E).

1.4.1. Limitations

Le présent travail ne prend pas compte tous les tronçons du réseau d'égout pluvial en même temps. C'est-à-dire, on ne peut pas faire l'analyse fonctionnelle et structurelle de plusieurs conduites de façon automatique. Les calculs de dimensionnement et la modélisation hydraulique ne feront pas l'objet d'étude dans ce projet.

1.5. Organisation générale du mémoire

Le présent mémoire est composé de 5 chapitres.

Le premier chapitre retrace l'introduction qui présente la problématique, les objectifs et la méthode de travail. Le second chapitre aborde la revue de la littérature qui relate les généralités sur les réseaux d'eau pluviale et présente la collecte des données et les formules mathématiques utilisées. Le chapitre 3 se focalise sur la méthodologie d'analyse structurelle et fonctionnelle du réseau d'eau pluviale. Le chapitre 4 présente la démarche de conception de l'outil informatique développé. Le chapitre 5 aborde l'analyse

fonctionnelle d'un collecteur d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe. Le chapitre 6 présente les perspectives et la conclusion finale.

CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1. Généralités sur les réseaux d'eau pluviale

Jadis, les premiers réseaux de drainage des rues ont été mis en place par des Romains afin d'évacuer les eaux de ruissellement dans les parties basses. De ce fait, les gestionnaires des réseaux d'eau pluviale proposaient des solutions simples afin d'évacuer les eaux pluviales vers le milieu récepteur sans causer de dommage à l'environnement. Pendant des siècles, les systèmes de puisard acheminaient l'eau vers des conduites souterraines, ces eaux rejetées ne causaient pas beaucoup de problèmes majeurs et les populations vivaient en parfaite harmonie. Cette méthode est pratique pour rejeter les eaux de pluie de faibles intensités, mais en cas de pluie torrentielle, cette approche devient inefficace et les populations se plaignent des refoulements observés dans le réseau. Pour pallier ce problème, la solution employée était simplement d'ajouter d'autres puisards sans trop se soucier des impacts en amont ou en aval du point qu'on cherchait à soulager [2].

De nos jours, les problèmes observés dans les réseaux d'assainissement deviennent de plus en plus importants du fait de l'occupation anarchique du territoire, de l'accroissement démographique, de l'urbanisme et de l'augmentation de l'intensité de la pluie. Ces difficultés occasionnent généralement des pertes humaines, la destruction de la faune et de la flore, des refoulements dans les conduites et quelquefois même des débordements dans le milieu récepteur. Pour pallier ces problèmes, les municipalités en tant que gestionnaire de leurs réseaux d'eau urbains doivent mettre à leur disposition un bon outil d'évaluation fonctionnelle afin de définir correctement leur besoin.

2.2. Conception des réseaux d'évacuation des eaux pluviales

L'égout pluvial est un réseau qui reçoit toutes les eaux de ruissellement, y compris celles en provenance des drains de fondation et selon les politiques locales, celles qui s'écoulent des drains de toiture [13].

Ces réseaux sont constitués d'un ensemble de composantes hydrauliques comprenant les conduites, les regards, les puisards, les vannes, les bassins de rétention, etc.

La fonction principale du réseau d'évacuation des eaux pluviales est de drainer rapidement vers le milieu naturel les eaux de ruissellement pour éviter la submersion des voies publiques. Toutefois, des inondations resteront possibles en cas d'orage exceptionnel malgré les prévisions et les calculs sur la probabilité de la période de retour.

2.2.1. Bassin versant

Le bassin versant est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite.

Les paramètres physiques et géométriques essentiels qui caractérisent classiquement un bassin versant sont:

- Sa pente moyenne en ;
- Sa superficie;
- Son temps de concentration;
- Sa courbe hypsométrique;
- Son coefficient de ruissellement.

2.2.2. Hypothèse

Pour appliquer la méthode rationnelle, il est important de poser des hypothèses suivantes avant le calcul des paramètres de dimensionnement :

- L'intensité de la pluie est constante dans le temps et uniforme dans l'espace,
- Le coefficient de ruissellement est constant dans le temps,
- Les surfaces imperméables sont uniformément réparties dans l'espace,
- La récurrence du débit maximal est la même que celle de la pluie,
- Le bassin versant s'apparente à un rectangle.

2.2.3. Formules de calcul pour le dimensionnement de la conduite

Pour bien dimensionner les réseaux d'eaux pluviales, il est important de connaître l'intensité de la pluie, les paramètres physiques et morphologiques du bassin versant et les méthodes de calculs du débit et du diamètre de la conduite.

D'après Bière, les courbes IDF représente graphiquement la variation de l'intensité moyenne de la pluie en fonction de sa durée (< 3h et souvent même < 1h) pour divers intervalles de récurrence. La figure suivante représente les courbes IDF de la ville de Montréal. Les intervalles de récurrence les plus fréquents sont 25 ans, 15 ans, 10 ans, 5 ans, 2 ans, 1 an, 6 mois et 3 mois.

$$I = \frac{CN^x}{(a+t)^n} \quad ; \quad I = \frac{M}{t+B} \quad ; \quad I = \frac{M}{t^{n+B}} \quad (2.1)$$

I = Intensité de la pluie en (mm/h)

N= intervalle de récurrence de la pluie

T= durée de la pluie (min)

a, M, C, B, x, n = constantes relatives à chaque intervalle de récurrence à chaque région.

L'intensité de la pluie est obtenue à partir de la courbe intensité- Durée- Fréquence du lieu et elle correspond à la récurrence T= 5 ans pour l'égout pluvial.

La figure 2.1 montre les intensités de la pluie en fonction de la durée-fréquence.

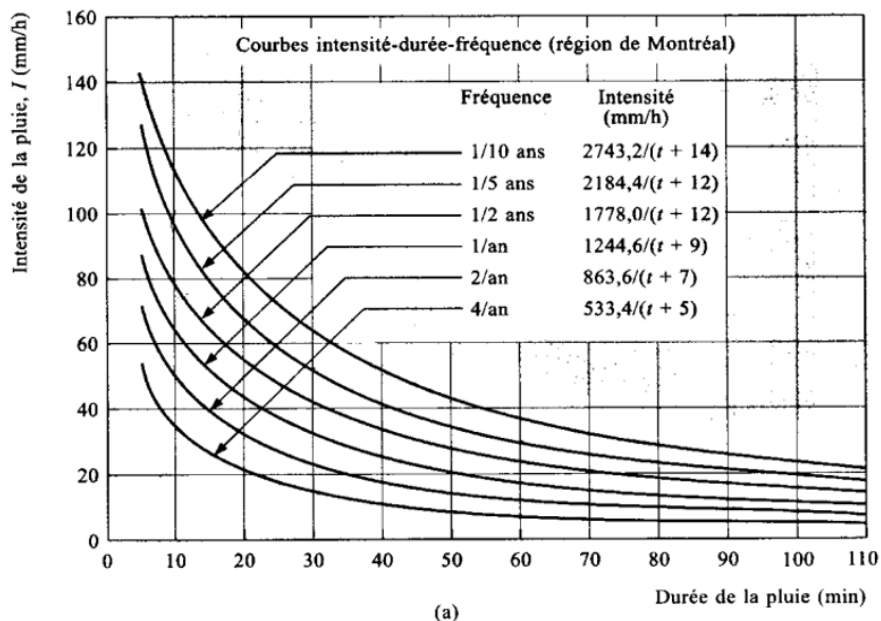


Figure 2.1: Courbe IDF (Brière, 2012)

Ainsi, La méthode rationnelle est l'une des méthodes utilisées, dans le cas de petits bassins versants, pour la détermination d'un débit de projet (Q_{max}) qui servira à la conception du réseau d'égouts pluviaux. Cette méthode se base sur plusieurs hypothèses telles qu'une intensité de pluie et un coefficient de ruissellement constant et uniformément réparti dans l'espace pour chaque élément de surface donné (sous bassin versant) ou encore que la récurrence du débit maximal soit la même que celle de la pluie. Et pour faciliter le calcul des surfaces qui contribuent à l'écoulement pour une pluie donnée, on supposera que la forme de chaque sous-bassin versant s'apparente à un rectangle. Les conduites d'assainissement sont dimensionnées pour fonctionner à surface libre, toute surpression dans une section d'un tronçon donnée peut provoquer des fissures et nuire à son bon fonctionnement. Donc le débit ne doit pas dépasser une valeur limite qui est souvent le débit à pleine section.

- Calcul du débit maximum (Q_{max})

$$Q_{max} = K \cdot (\sum A_i \cdot R_i) \cdot I \quad (2.1)$$

- K : coefficient de conversion, il est égal à $275 \cdot 10^{-3}$
- A : Superficie du bassin versant (km^2)

- R : Coefficient de ruissellement
 - Intensité de la pluie (mm/h)
 - Q_{\max} en m^3/s
- Calcul du diamètre minimum (D_{\min})

$$D_{\min} = \left(\frac{3.2084 \cdot Q \cdot n}{\sqrt{S}} \right)^{3/8} \quad (2.2)$$

- Q : débit max en m^3/s
 - n : rugosité de la conduite
- Vitesse de la conduite pleine (V_p)

$$V_p = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4} \right) \sqrt{S} \quad (2.3)$$

- D : diamètre en m
- S : pente de la conduite
- n : rugosité de la conduite
- V_p : en m/s

Noter qu'il est important pour calculer la vitesse quand la conduite est pleine, il faut d'abord choisir le diamètre approprié et la pente admissible sur ce tronçon.

Le tableau 2.1 présente le choix des diamètres commerciaux pour la conception des réseaux d'eau pluviale.

Tableau 2-1 : Diamètre intérieur des conduites d'égouts [13]

Diamètre			Ciment-amiante	Béton armé
nominal (mm)	réel*			
	(mm)	(po)		
100	102	4	x	
125	127	5	x	
150	152	6	x	x
200	203	8	x	x
225	229	9		x
250	255	10	x	
300	305	12	x	x
350	355	14	x	
375	380	15		x
400	405	16	x	
450	455	18	x	x
500	510	20	x	
525	535	21		x
600	610	24	x	x
675	685	27		x
750	760	30	x	x
900	915	36	x	x
				(diamètre pouvant atteindre 3800 mm)

* Diamètre réel = diamètre nominal \times (2,54/2,50): 2,54 et 2,50 sont respectivement le nombre réel et le nombre approximatif de centimètres dans un pouce.

2.2.4. Règles de bonne pratique

Les règles de bonne pratique pour les égouts pluviaux sont les suivantes :

- Le diamètre minimal est de 300 mm et l'écoulement est gravitaire,
- Le diamètre aval \geq Diamètre amont au niveau d'un regard,
- Au niveau d'un regard, la profondeur d'une couronne intérieure aval est \geq à la profondeur d'une couronne amont,
- La vitesse est comprise entre 0.9 et 3 m/s,
- Ne pas installer les réseaux sanitaires et pluviaux et potables dans un même plan horizontal,
- Le coefficient de rugosité de Manning (n) ne doit pas être inférieur à 0.013.

2.3. Problématique des réseaux d'eau pluviale

Un réseau d'eau pluviale a pour mission d'assurer les fonctions suivantes :

- Réception : Se fait à partir des eaux de ruissellement qui entrent dans les regards/puisard ou avaloir,
- Évacuation : Il s'agit d'évacuer les eaux pluviales en respectant les critères d'admissibilité de la vitesse d'écoulement dans les conduites.
- Restitution : C'est le fait de rejeter les eaux pluviales vers le milieu récepteur en respectant les normes.

Une conduite d'égout pluvial transporte de l'eau de pluie ou de la neige non traitée vers le milieu récepteur. Par conséquent, si des liquides dangereux comme l'huile à moteur, l'essence, la peinture ou les nettoyeurs passent par cette conduite, ils pollueront le système d'évacuation, environnementale, fonctionnelle et hydraulique.

La défaillance structurale des réseaux représente l'incapacité du réseau à supporter les charges internes et externes. En effet, dans les zones urbaines le trafic routier important peut avoir un impact sur le réseau du fait de la capacité des camions lourds. De plus, la vétusté de la conduite peut être la cause de l'infiltration et de l'exfiltration de la conduite d'où les problèmes de fuite dans le réseau.

La défaillance environnementale peut être définie comme la pollution des zones environnantes du fait du non-respect des normes de rejets. Le déversement des eaux unitaires par les déversoirs d'orage est le problème que l'on observe le plus souvent en zone urbaine.

Les problèmes hydrauliques peuvent survenir quand la quantité d'eau à évacuer dépasse la capacité du réseau à le capter, ce qui se manifeste généralement par des conduites en surcharge, des refoulements du fait de l'augmentation de la quantité d'eau ruisselée. Ces problèmes sont à l'origine des inondations qui entraînent à leur tour des pertes de vie.

2.4. Correction des défaillances

Les types de défaillances cités précédemment sont source de problèmes majeurs. C'est pourquoi, les municipalités doivent mettre en place des pratiques de gestion

environnementale afin de réduire les débits et les charges de polluants, de mettre en place des infrastructures vertes et enfin de proposer des solutions de gestion à temps réel de débordement des eaux pluviales. On peut corriger aussi les défaillances en faisant une extension du réseau ou de la réhabilitation.

2.5. Les guides techniques et les outils informatiques de gestion des réseaux d'eau pluviale

Dans cette partie du rapport, nous allons vous montrer les quelques outils de gestion qui existent, utilisant l'analyse fonctionnelle d'une façon partielle.

Le Centre d'expertise et de la recherche des infrastructures urbaines (CERIU) et le bureau de normalisation du Québec (BNQ) ont collaboré pour proposer un protocole de classification de l'état des égouts en 1997.

La CERIU a pour mission :

- Aider les décideurs à échauffer un plan de gestion durable des réseaux d'eau pluviale (REP);
- Protéger la santé des personnes, de la faune et de la flore;
- S'informer sur les dangers liés aux inondations, l'érosion et la pollution;
- Trouver des solutions pour lutter contre ces problèmes
- Proposer une bonne stratégie d'aménagement du territoire pour permettre une gestion durable des réseaux d'eau pluviale.

Le protocole de CERIU identifie l'état de dégradation des égouts selon différents scénarios de défauts apparents: défauts structuraux, défauts d'origines opérationnels, infiltration ou état des jonctions connectées. Il utilise les résultats des inspections télévisées et il néglige la condition extrinsèque de la conduite. L'objectif de ce protocole est entre autres de réaliser une inspection visuelle ou par caméra téléobjectif ou par caméra conventionnelle afin de connaître l'état structural ou fonctionnel du réseau d'eau urbain [14]

Le guide de gestion des eaux pluviales présente différentes approches et techniques permettant de réduire les conséquences hydrologiques dues à l'urbanisation accrue. En plus de décrire les ouvrages de gestion des eaux pluviales les plus utilisés. Ce manuel présente

les critères qui peuvent guider la planification, la conception et la mise en œuvre des meilleures pratiques [15].

Le plan d'intervention énumère quatre indicateurs pour les réseaux d'égout pluvial. Les indicateurs EPL-1 permettent d'identifier les défauts structuraux. L'inspection se fera selon le programme de PACP. L'indicateur EPL- 2 vise l'identification des segments qui ont des problèmes hydrauliques (nombre de refoulements).

Du fait de la vétusté des canalisations et de la croissance des substances toxiques comme le sel d'ammoniac, et le sel de la voirie, les municipalités canadiennes dépensent plus de 15 milliards de dollars chaque année pour améliorer l'état de leurs infrastructures vieillissantes. C'est pour cette raison qu'ils ont mis en place de l'Infraguide afin de limiter les coûts de maintenance et d'entretien, mais aussi de proposer des solutions durables pour une gestion intégrée des eaux pluviales [16].

Infraguide a pour objectif de :

- Planifier et entretenir les infrastructures d'eaux urbaines;
- Aider les décideurs à choisir une solution durable pour la gestion optimale de leurs REP;
- Élaborer les moyens de contrôler et réduire l'écoulement et l'infiltration de l'eau;
- Évaluer la performance hydraulique, structurale et environnementale de leur réseau;
- Optimiser les usines de traitement.

Ainsi plusieurs contrôles vont être effectués afin de bien gérer leur réseau et de planifier leur intervention. Parmi ces contrôles, nous pouvons citer :

- Contrôle à la sortie de l'émissaire : pour réduire le volume de ruissellement;
- Contrôle à la source : pour réduire la production et l'entrée de polluants dans les eaux pluviales de ruissellement;
- Planification intégrée de la gestion des eaux pluviales : pour gérer, le drainage des eaux pluviales et diminuer les risques d'inondation.

En France, la démarche de l'Arbre fonctionnel RELIASEP est souvent utilisée pour rechercher les sous-fonctions essentielles à la satisfaction du besoin. Cette démarche

intègre les exigences EDF à toutes les étapes de la vie d'un produit. L'arbre fonctionnel sert de base à l'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et leur Criticité (AMDEC). Cette méthode permet de visualiser le cheminement fonctionnel des dégradations. Reliasep se révèle efficace pour l'étude de systèmes complexes plutôt « matériels » que « logiciels » [17].

Par ailleurs, il existe dans la littérature plusieurs outils informatiques de gestion des réseaux d'eau pluviale. Parmi ces outils, nous pouvons GESREAU qui est un outil d'aide à la gestion des eaux - application au canton de Vaud [18]. Cet outil permet d'élaborer une base de données pour la gestion des eaux pluviales, de faire la transformation des données, d'analyser les données des réseaux hydrauliques et hydrographiques de gérer les réseaux eaux urbaines.

L'outil développé par Serge Lhomme analyse les réseaux en étudiant la résilience urbaine. Cette dernière peut être définie comme étant la capacité d'une ville à absorber des perturbations et à récupérer ses fonctions à la suite de ces perturbations [19]. Il s'intéresse davantage au fonctionnement de la ville face à ces inondations. De plus, il a proposé un prototype SIG qui permet d'analyser de façon pertinente les réseaux techniques en l'améliorant et permettant une planification de l'aménagement du territoire et la gestion de crise de manière à tenir compte des comportements du réseau face à la perturbation. Le modèle est appliqué sur le réseau d'assainissement de la ville de Dublin. Cette étude de la résilience des réseaux d'assainissement de Dublin constitue une contribution pour les autorités afin d'avoir une approche sur les capacités de résistance, d'absorption et de récupération des réseaux d'assainissement. La résilience de leur territoire semble parfois entrer en contradiction avec certaines définitions académiques. Le prototype SIG proposé est limité, car elle ne permet pas de prévoir tous les risques et l'étude s'est penchée dans un premier temps à l'étude des objets techniques et sociotechniques, car elle n'intègre pas la notion de résilience sociale.

Merzouk et Al ont développé un outil informatique permettant d'évaluer les réseaux d'assainissement, de collecter les données, et calculer les indicateurs de performance hydrauliques [11]. La simulation et la conception de leur réseau a été faite avec le logiciel PC-SWMM pour la conception et la modélisation des réseaux d'assainissement. Le logiciel

ArcMap et Arcgis a été utilisée pour la cartographie des bassins versants et du réseau hydrographique.

Également, le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) a octroyé une aide financière au Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines afin qu'elle complète la base de données de l'application territoire [20].

L'un des objectifs de l'application territoire est :

- Prévoir les points d'accès au réseau d'eau urbain
- Présentation de l'état du réseau sur l'ensemble des municipalités (bon mauvais, excellent, acceptable, très mauvais)
- Faciliter l'accès au document d'aménagement à l'aide de la bibliothèque virtuelle.

2.6. Collecte et analyse des données disponibles

La documentation nécessaire pour effectuer l'analyse fonctionnelle du réseau comprend :

- Le plan d'intervention de l'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe
- les rapports d'inspection réalisés par l'entreprise CIMA+,,
- les fichiers Excel montrant les détails des inspections télévisées et l'historique du réseau
- les cartes montrent l'ossature du réseau d'égout pluvial, les bassins versants et les réseaux hydrographiques.

Les paramètres nécessaires à l'implémentation de notre outil seront extraits de cette documentation, organisés et analysés avant leur exploitation. Pour bien analyser les réseaux d'eau pluviale, il est important de connaître l'ensemble des données requises, les indicateurs et les besoins annuels. La liste suivante présente les données d'entrées de notre outil.

- Indicateur du tronçon intégré
- Indicateur de la conduite d'eau pluviale
- Localisation de la rue
- Localisation du début et de la fin du tronçon
- Type de conduite (collecteur, refoulement ou les deux)
- Type de matériaux et diamètre de la conduite
- Longueur de la conduite

- Année de construction, de réhabilitation
- Durée de vie
- Type d'inspection (visuelle ou par caméra)
- ❖ Classe d'intervention
 - A : Aucune intervention
 - B : Auscultation requise
 - C : Intervention souhaitable
 - D'Attention immédiate
- ❖ Intervention préconisée sur le secteur ou sur le segment
 - RT : Remplacement total
 - RP : Remplacement ponctuel
 - EP : Entretien préventif
 - Auscultation (AUS)
 - ET (Étude hydraulique).

CHAPITRE 3. ANALYSE STRUCTURELLE ET FONCTIONNELLE DES RÉSEAUX D'EAU PLUVIALE

3.1. Notion de système

L'approche systémique née aux États-Unis au début des années 50, connue et adoptée en France depuis les années 70, ouvre une voie neuve et prometteuse à la recherche et à l'action. Elle repose sur l'appréhension concrète d'un certain nombre de concepts tels que le système, son interaction, sa rétroaction, sa régulation, son organisation, sa finalité, sa vision globale et enfin son évolution [21]. Un système est un ensemble d'éléments interagissant entre eux selon certains principes ou règles. Il est déterminé par son but, sa frontière, son organisation, ses interactions entre le système et le sous-système et les interactions entre le système et ses éléments du milieu environnant.

Il existe plusieurs types de systèmes dans la littérature qui peuvent être définis comme suit :

- Systèmes ouverts : il est dit « ouvert » lorsqu'il peut échanger de la matière et de l'énergie avec le milieu extérieur. Exemple : un organisme vivant.
- Systèmes fermés sur leur environnement : est dite « fermée » lorsqu'il peut échanger de l'énergie, mais pas de matière avec le milieu extérieur. Exemple : un réfrigérateur.
- Système isolé : il est dit « isolé » lorsqu'il n'échange ni matière ni énergie avec le milieu extérieur. Exemple : une bouteille thermos.
- Systèmes naturels : Un système naturel est une entité complexe dans le temps et l'espace, dont les unités constitutives interagissent entre elles pour préserver l'intégrité, la structure et le comportement du système plus vaste auxquelles elles appartiennent,
- Système qu'elles tendent à restaurer après une perturbation non destructrice, assurant par là même leur propre préservation. Exemple : une cellule, un organisme [22],

Systèmes en réseaux linéaires : Exemple : Réseau eau potable, réseau eaux usées.

3.2. Méthodologie de l'analyse structurelle

Pour bien faire l'analyse structurelle, il est important de respecter la cohérence et la conservation des flux entre les différents niveaux.

Le premier niveau est surnommé le premier palier. Par la suite, les processus seront décomposés en sous-processus, ainsi de suite. Ainsi les différents processus peuvent être spécifiés sous forme de langage naturel, d'expressions mathématiques ou de façon graphique. Donc, il faudra identifier clairement les éléments du système, leurs interactions et les équations mathématiques qui définissent ces interrelations.

Le résultat de l'analyse systémique du réseau d'eau pluviale se fait de haut en bas, allant d'un niveau global de compréhension vers des niveaux de détail. L'organisation structurelle du réseau d'évacuation des eaux pluviales est représentée par une décomposition descendante. Le réseau de drainage des eaux pluviales (EP) est composé des infrastructures linéaires et des infrastructures ponctuelles :

Les infrastructures linéaires des REP : c'est l'ensemble des conduites de drainage des eaux pluviales, incluant les équipements connexes tels que les regards, les vannes, les avaloirs, les regards, etc. [23].

Les infrastructures ponctuelles : Ensemble d'équipements assurant une fonction spécifique dans un réseau d'eau pluviale. Par exemple, un système de stockage traitement, un système de régulation de débit.

3.2.1. Les infrastructures linéaires des réseaux d'eau pluviale :

Les ouvrages linéaires des réseaux d'eau pluviale sont les collecteurs, les intercepteurs et l'émissaire.

- Un collecteur : Il transporte exclusivement les eaux de pluie, la fonte ou de la neige vers le regard en amont.
- Un émissaire : Il sert à rejeter les eaux pluviales vers l'exutoire qui peut être un milieu naturel, une rivière, la mer, etc.

Les canalisations se présentent généralement sous la forme cylindrique, ovoïde, circulaire, rectangulaire, trapézoïdale, triangulaire, etc. Les types de conduites sont souvent en fonte, en béton armé, en béton non armé, en ciment, en matières plastiques en PVC, en brique, etc. Ces matériaux sont choisis en fonction de la nature du sol, des sédiments, de la nature des eaux évacués, des charges externes et de son milieu environnant.

La figure 3.1 présente l'analyse structurelle du système linéaire des réseaux d'eau pluviale.

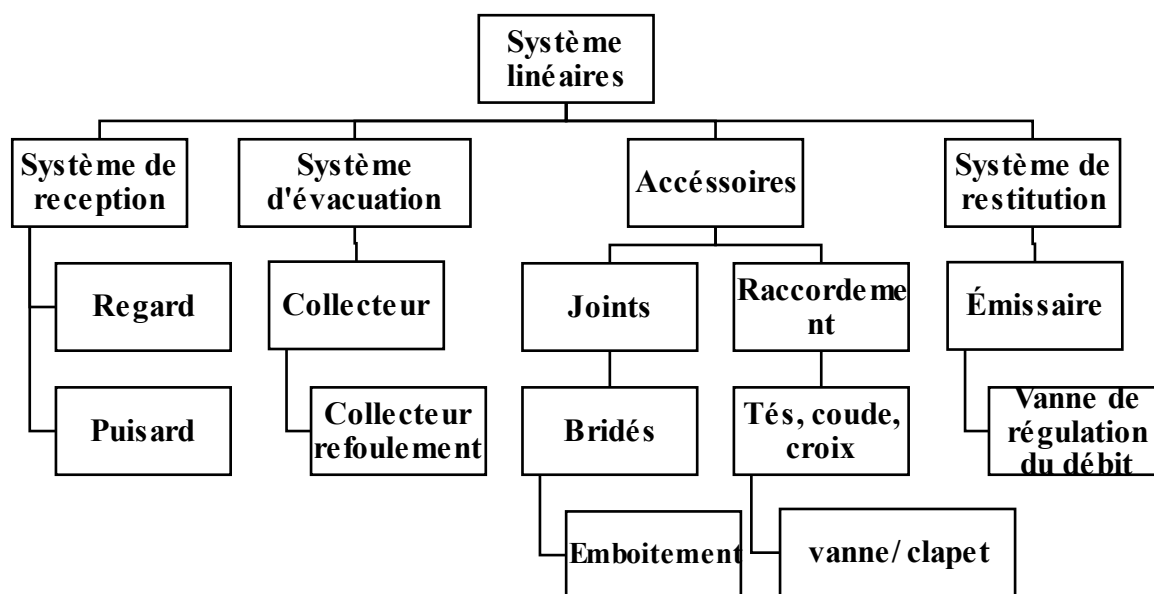


Figure 3-1 : Analyse structurelle des infrastructures linéaires des réseaux d'eau pluviale
Selon le guide des infrastructures municipales pour le renouvellement des infrastructures ponctuelles en eau, les ouvrages ponctuels sont composés des ouvrages de traitement et de rétention, des postes de pompes, d'une chambre de majeur des eaux pluviales

- Les ouvrages de traitement et de rétention :

Un ouvrage de traitement et de rétention est un ouvrage hydraulique conçu pour recevoir et traiter les eaux de ruissellement. Dans le guide de CERIU, ces ouvrages sont subdivisés en deux et définis comme suit:

- Les bassins de rétention: ce sont principalement les bassins secs (avec ou sans retenue prolongée), les bassins avec retenue permanente;
- Les technologies spécifiques : ce sont les ouvrages de rétention et de traitement autres que les bassins de rétention c'est-à-dire les marais, les systèmes avec infiltration ou avec filtration, les chambres de rétention souterraines, les conduites-réservoirs, les séparateurs d'huiles et de sédiments.

Ces ouvrages de rétention traitement comprennent uniquement des bassins de stockage traitement qui ont des composants civils, mécaniques électriques et les instrumentations de contrôle du débit.

- Lots civils : Ce sont les chambres de rétention souterraines, les conduites-réservoirs, les structures de contrôle de débit et de traitement, les déversoirs pour trop-plein
- Lots mécaniques : Ce sont la tuyauterie, les systèmes de contrôle de débit et de traitement (régulateur, orifice, système d'enlèvement des huiles et matières en suspension) ainsi que tout équipement mécanique connexe (ex.: motopompe)
- Lots électriques : Ce sont les génératrices, les panneaux électriques, les centres de contrôle de moteurs
- Les instrumentations de contrôle : On peut citer le débitmètre
- Poste de pompage

La figure 3.2 montre l'analyse structurelle des systèmes ponctuels.

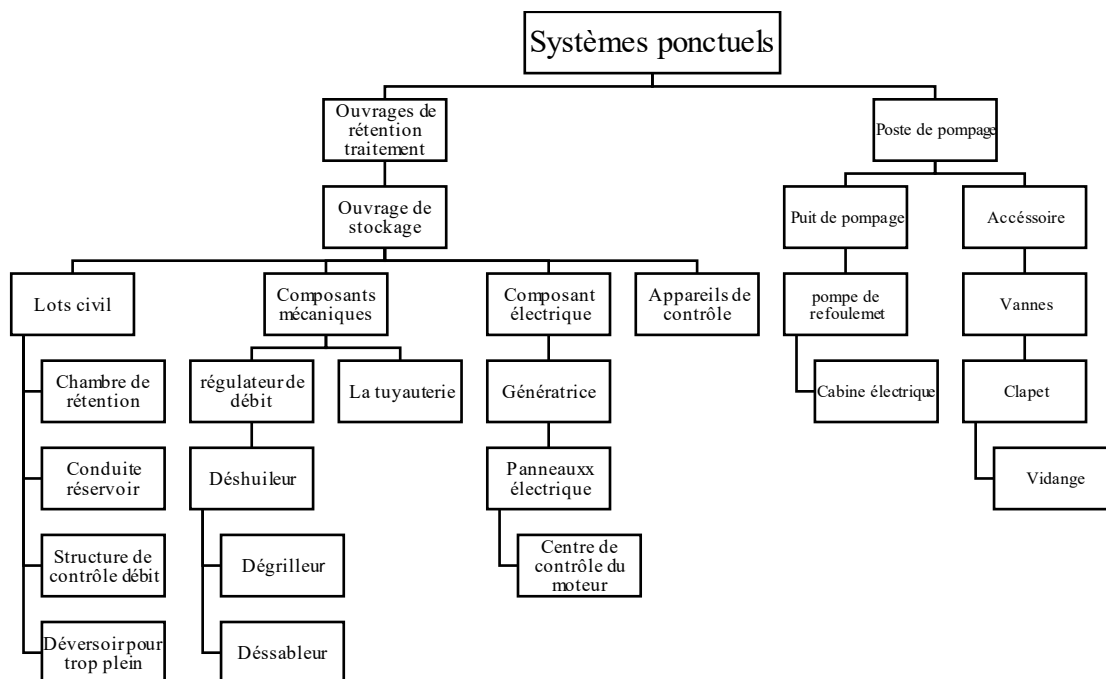


Figure 3-2 : Analyse fonctionnelle des systèmes ponctuels

3.3. Méthodologie de l'analyse fonctionnelle

En 1947, la première méthode assimilable à l'analyse fonctionnelle est apparue. Elle fut mise en pratique aux États unis (chez Général Electric). Cette méthode est souvent appliquée dans le domaine de l'aviation, des industries et de la mécanique [24]. Un autre auteur a donné une définition très explicite de l'analyse fonctionnelle et de l'analyse de la

valeur dans son livre nommé conception des produits mécaniques. Il affirme que l'analyse de la valeur n'est ni plus ni moins qu'un ensemble de techniques pour affecter des moyens qui soient en adéquation avec l'importance relative des besoins à satisfaire [25].

L'analyse fonctionnelle du système est utilisée dans les phases d'un projet afin de créer ou améliorer un produit. Elle est composée de l'analyse fonctionnelle externe et interne. L'analyse fonctionnelle externe du réseau permet d'identifier les besoins et de répertorier les fonctions. Les méthodes suivantes ont été développées soit le diagramme de la bête à cornes, le diagramme de la pieuvre et le cahier des charges fonctionnelles. Pour l'analyse fonctionnelle interne du réseau, ce sont plutôt les méthodes FAST et SADT.

Elle a pour objectif de recenser en déterminant les différentes fonctions d'un produit, caractériser en énonçant les critères d'appréciation et leur niveau de flexibilité, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions d'un produit. Le premier pas d'une démarche rationnelle de conception de produit est l'expression du besoin. La pratique de l'analyse de la valeur a montré que l'expression fonctionnelle du besoin était un facteur déterminant de la compétitivité. Un outil méthodologique est apparu nécessaire pour détecter et formuler le besoin et justifier en aval les exigences techniques [25]

Dans ce qui suit, nous allons donner quelques définitions des termes comme besoin, fonction et produit. Ces définitions sont tirées de la norme NFX 50-150 :

- Le **besoin** est la nécessité ou le désir éprouvé par l'utilisateur, il concerne la nature des attentes de l'utilisateur et non le marché.
- La **fonction** est l'action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité. Une fonction est formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un complément. La formulation de la fonction doit être indépendante des solutions susceptibles de la réaliser. Le produit est fourni à l'utilisateur pour répondre à son besoin.
- Le **produit** peut être un matériel, un service, un système, un ouvrage, un processus industriel ou administratif, ou toute combinaison de ceux-ci.

La figure 3.3 montre l'analyse fonctionnelle et ses outils.

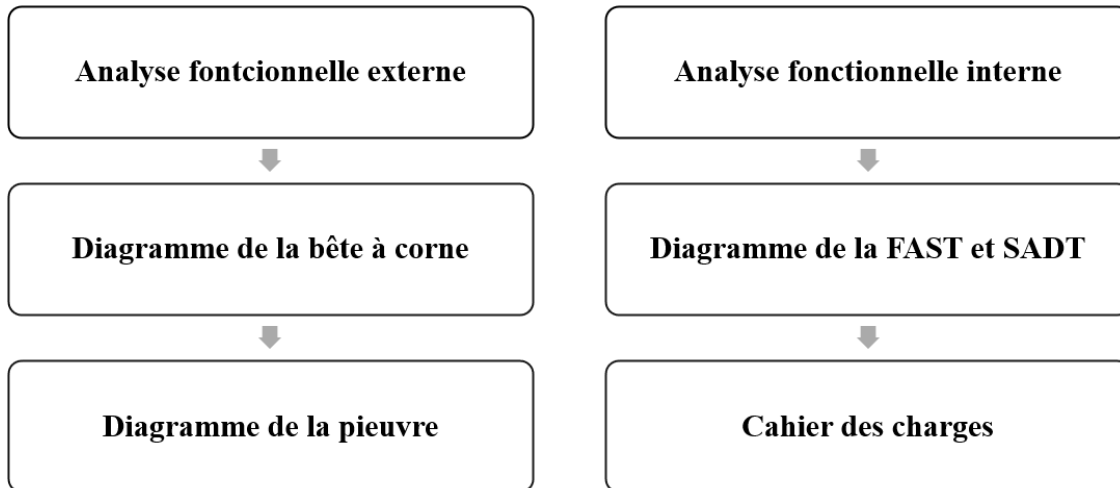


Figure 3-3 : Présentation des outils d'analyse fonctionnelle

3.4. Analyse fonctionnelle externe et interne

L'approche fonctionnelle s'appuie sur les fonctions d'un système pour comprendre son fonctionnement, puis ses dysfonctionnements. À partir de l'analyse structurelle, elle établit de façon systématique et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur du système [26]. La méthode d'analyse fonctionnelle externe des réseaux d'eau pluviale se fait en montrant les interactions qui existent entre le réseau et son milieu environnant et elle établit les relations fonctionnelles entre l'extérieur et l'intérieur du réseau d'eau pluviale.

La figure 3.4 montre un exemple de diagramme de la bête à cornes appliqué à l'égout pluvial.

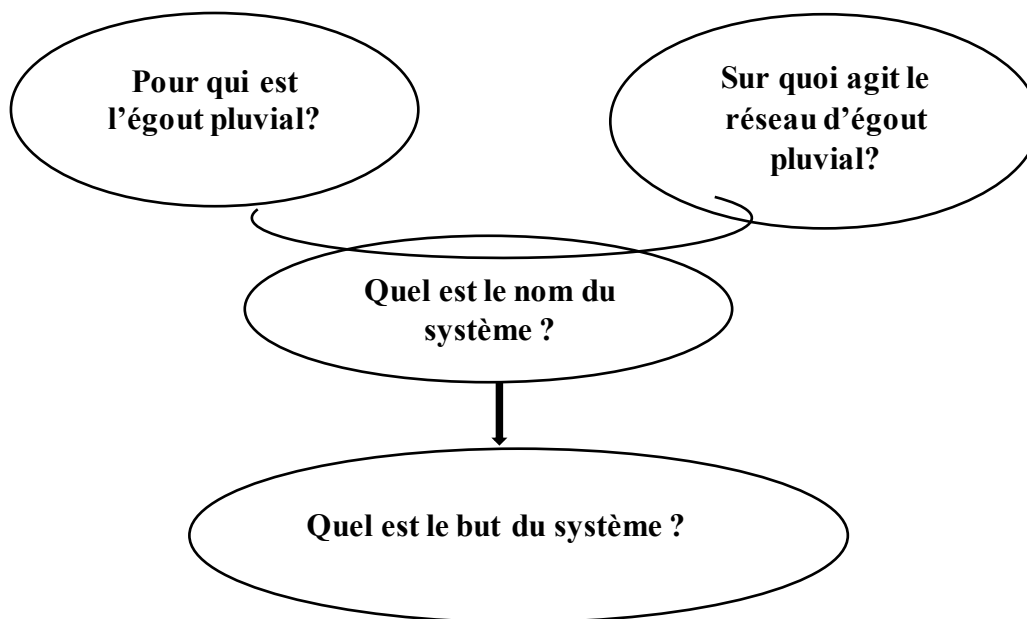


Figure 3-4 : Diagramme de la bête à cornes

Le diagramme de la pieuvre implique de faire l'inventaire des éléments du milieu environnant (EME) du système puis de dresser la liste des fonctions découlant des interactions entre le système et ces éléments. La méthode du diagramme de la pieuvre est un digramme qui s'intéresse aux interactions du système avec son environnement. Il faut donc identifier l'ensemble des éléments du milieu environnant du système, soit l'ensemble des éléments qui interagiront, ou auront un effet, avec ou sur celui-ci. Par exemple, il peut s'agir de l'utilisateur du système, de la législation qui régit le système, l'environnement physique où il se trouve et autres.

Par la suite, on identifie l'ensemble des fonctions principales, soit les fonctions mettant en relation deux éléments du milieu environnant le système par le biais de celui-ci. Ces fonctions visent à répondre à la question suivante.

- Quelles sont les raisons pour lesquelles l'objet a été créé?

Les fonctions contraintes sont par la suite identifiées, soit les adaptations du système à son environnement par le biais d'une relation directe entre le système et un élément de son environnement. Elles visent à répondre à la question en dessous.

- Quelles sont les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire?

La figure 3.5 présente un exemple de diagramme de la pieuvre.

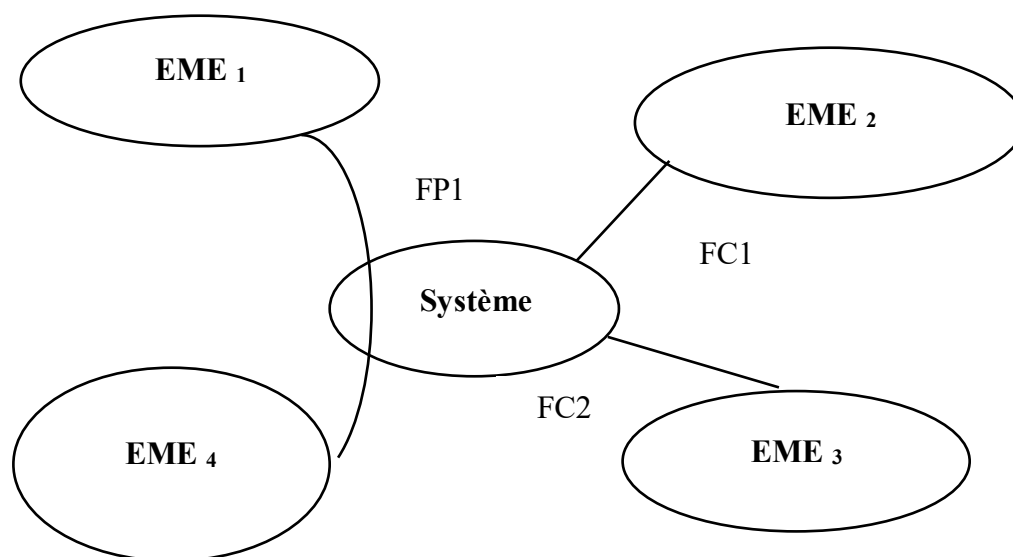


Figure 3-5 : Diagramme de la pieuvre avec les éléments du milieu environnant

L'analyse fonctionnelle interne dégage chaque fonction technique principale et complémentaire et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques. Elle caractérise le fonctionnement interne de l'objet ou système technique et consiste à rechercher les fonctions techniques, les décomposer en sous – fonctions et à établir et caractériser les liens entre éléments de l'objet ou système technique étudié [27]. Pour faire l'analyse interne de notre réseau, nous utilisons la méthode de la technique du système d'analyse fonctionnelle FAST et de la méthode de l'analyse structurée et technique de conception (SADT) et le cahier des charges.

Le diagramme de FAST permet de comprendre la logique dans la réalisation d'une fonction, soit le comment. Elle permet de comprendre le rôle de chacun des éléments du système. Il faut toujours se poser la question Comment la fonction de service 1 est-il faite ? De la gauche vers la droite et la question pourquoi le système comporte la solution technique 1 ? De la droite vers la gauche. Elle ne définit pas les interactions entre les fonctions.

La figure 3.6 montre un exemple de diagramme de la FAST.

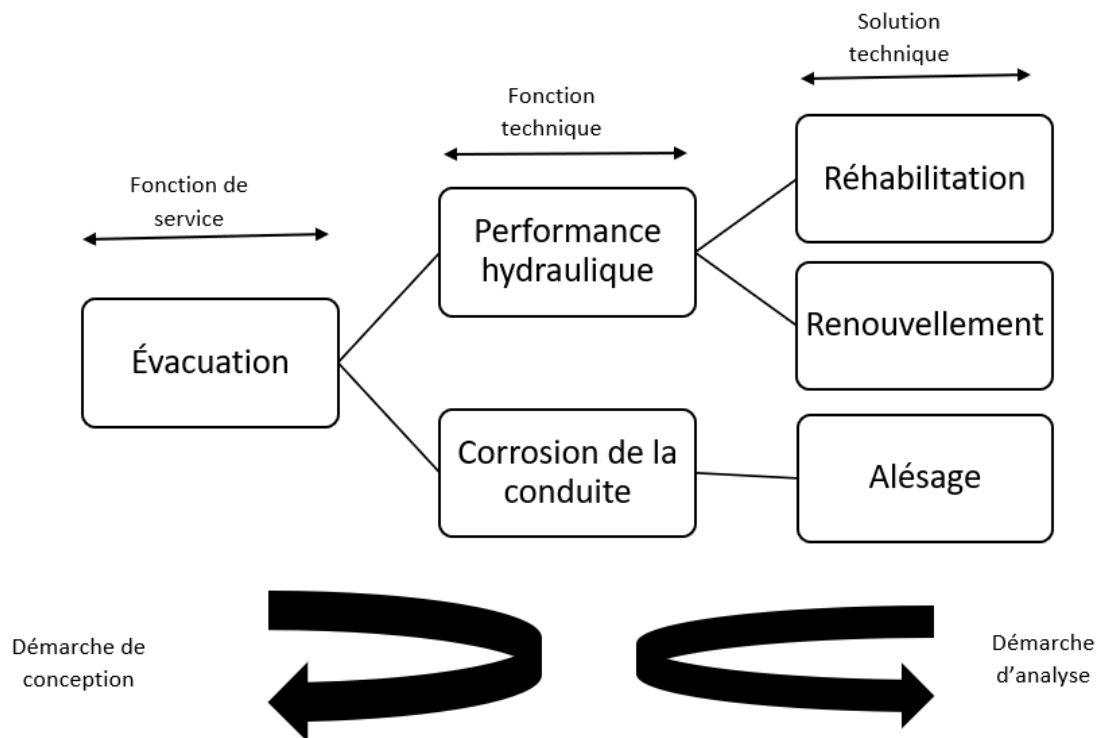


Figure 3-6 : Exemple de diagramme de la FAST

La boîte s'établit en répondant aux questions suivantes :

- Pourquoi cette fonction ?
- Quand doit-on réaliser cette fonction ?
- Comment réaliser cette fonction ?

L'Analyse structurée et technique de conception (SADT) est une méthode d'origine américaine, développée par Doug Rossen (1977) puis introduite en Europe à partir de 1982 par Michel Galinier. C'est vers les années 1980 que cette méthode se répandit dans le monde. Elle permet une description graphique du système avec une analyse descendante qui chemine du général (niveau Ao) au particulier (niveaux Aijk). Cette méthode est composée de :

- Des données d'entrées / Matières d'œuvre d'Entrées (MOE),
- Les matières d'œuvre sortantes et le cahier des charges .

La figure 3.7 montre un exemple de diagramme de la SADT.

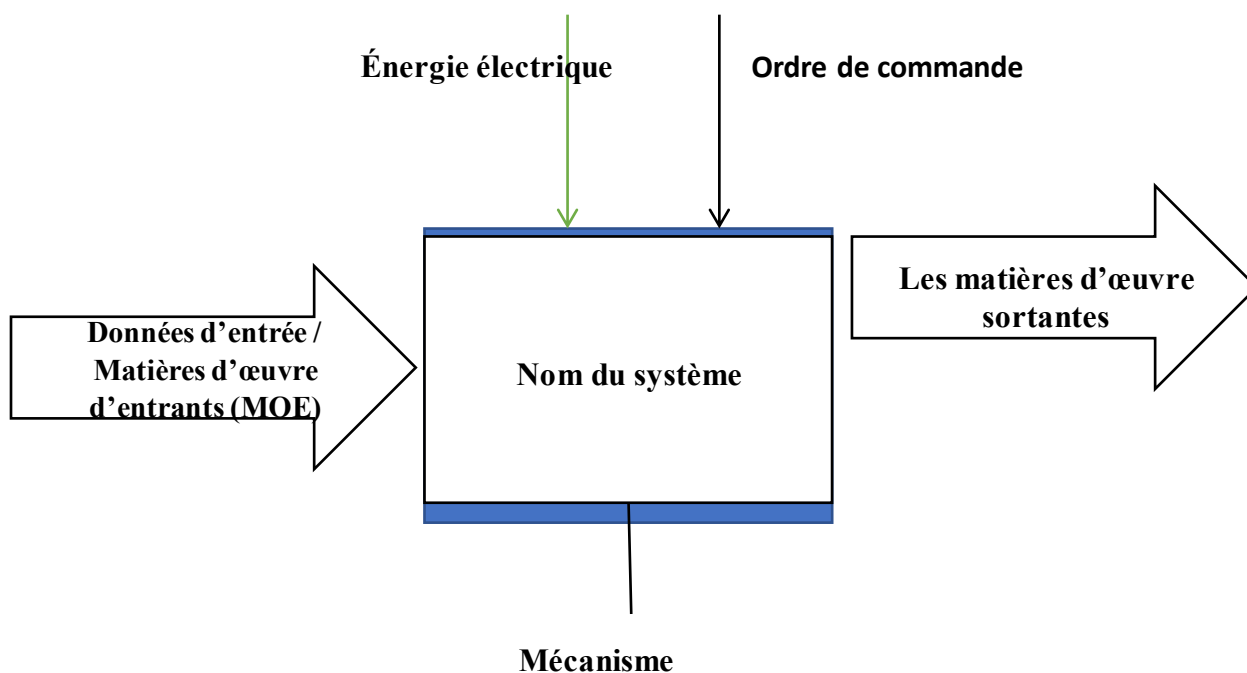


Figure 3-7 : Exemple de diagramme de la SADT

La méthode du cahier des charges fonctionnelles permet d'effectuer l'inventaire complet des fonctions principales et des fonctions secondaires, ou contrainte, du système étudié. On liste donc l'ensemble des fonctions identifiées avec le diagramme de la pieuvre, et pour chacune d'elles, on identifie les critères d'évaluation, le niveau visé pour chacun de ces critères et la flexibilité pour chacun de ces critères [4]. Il permet au maître d'ouvrage d'exprimer son besoin pour le projet. Le cahier facilite donc la communication entre les partenaires et permet de concevoir le produit le plus optimal.

3.5. Évaluation des indicateurs de performances

L'indicateur est un outil qui sert à déterminer un statut de condition d'une infrastructure par interprétation, par combinaison ou par calculs, à partir de différents paramètres et de la hiérarchisation, dans certains cas [3].

Le tableau 3.1 présente les catégories, les exigences et le niveau de l'indicateur :

Tableau 3-1 : les catégories, les exigences et le niveau des indicateurs

Catégorie de l'indicateur	Structural (évalue l'état physique de l'infrastructure c'est-à-dire les défauts)
	Fonctionnel (apprécier les opérations c'est la capacité du système à remplir ses fonctions)
Exigence de l'indicateur	Requis (essentiel ou minimal)
	Complémentaire (donné par les municipalités si nécessaire)
Niveau de l'indicateur	Sectoriel ou localisé
	Localiser et donner une cote au tronçon défectueux

La façon la plus usuelle de déterminer l'État réel des conduites d'égouts est de les inspecter. Ce ne sont pas des critères d'âge ou de matériau (sauf exception) qui déterminent l'état d'une conduite, mais essentiellement son inspection. De ce fait, pour identifier l'état de dégradation de la conduite d'égout pluvial, on se base sur trois indicateurs EPL-1 (État structural), EPL-2 (problèmes hydrauliques- registre), et EPL-3 (défauts fonctionnels).

Le tableau 3.2 montre les différents indicateurs des réseaux eaux usées et des eaux pluviales.

Tableau 3-2 : les indicateurs d'eaux pluviales

Identifiant	Indicateur	Catégorie	Exigence	Niveau
EPL-1	État structural (Inspection)	Structural	Requis	Localisé
EPL-2	Problème hydraulique (Registre)	Fonctionnel	Complémentaire	Sectoriel
EPL-3	Déficiences fonctionnelles (Inspection)	Fonctionnel	Requis	Localisé
EPL-4	Problème hydraulique (Étude)	Fonctionnel	Complémentaire	Localisé

3.5.1. Évaluation de l'indicateur EPL-1 (État structural)

L'indicateur EPL-1 est calculé en se basant sur les conduites qui ont des défauts structuraux. Les matériaux de conduite rigide comme le béton, le grès ou la brique sont les plus susceptibles de présenter des fissures ou fractures. S'ils ne sont pas traités, ces défauts peuvent se détériorer en bris, trous, déformation et, en définitive en effondrement [28]

La liste suivante montre les types de défauts structuraux:

- Bris (B)
- Fracture/ fracture (F)
- Trous (H)
- Effondrement (X)
- Déformations (D)
- Joints (j)
- Dommages à la surface (S)
- Défaillance de revêtement (LF)
- Défaillance de soudure (WF)
- Défauts de réparation ponctuels (RP)
- Déviation en raison des joints décalés
- Défauts de conduite en brique

Le tableau 3.3 présente l'établissement des statuts d'indicateur EPL-1

Tableau 3-3 : Statut de l'indicateur EPL-1.

État	Cote	Cote maximale PACP sur un même segment		
		Hiérarchisation		
		Niveau A	Niveau B	Niveau C
Excellent	1	1	1	1
Bon	2	S/O	S/O	2
Moyen	3	2	2	3
Mauvais	4	3	3	4
Très mauvais	5	4-5	4-5	5

3.5.2. Évaluation de l'indicateur EPL-2 problème hydraulique

Pour déterminer l'indicateur EPL-2, il est important de connaître le nombre de refoulements enregistrés dans le plan registre enregistrés sur le segment de la conduite ou par la fréquence de nettoyage requise pour éviter des refoulements.

Tableau 3-4 : Statut de l'indicateur EPL-2

État	Cote	Problème hydraulique
Excellent	1	Aucun
Bon	2	1 nettoyage/an
Moyen	3	2 nettoyages / an
Mauvais	4	1 refoulement ou 3 nettoyages/an ou au moins 1 mise en charge
Très mauvais	5	2 refoulements ou + de 3 nettoyages /an

Il est à noter qu'il ne faut pas considérer les refoulements causés par les branchements de service et les refoulements causés par les pluies récurrentes de plus de 25 ans.

3.5.3. Indicateur EPL-3 (Défauts fonctionnels)

Les défauts fonctionnels ne justifient pas nécessairement un renouvellement de conduite. Plusieurs de ces défauts sont associés à un entretien normal d'un réseau, tels que la graisse, les dépôts de calcite, les obstacles, les raccordements pénétrants, etc.

Les défauts à considérer sont les suivants :

- Incrustation (DAE)
- Infiltration (I)
- Niveaux d'eau avec bas fond (MWLS)
- Alignement (L)
- Racine (R)

3.5.4. Indicateurs EPL-4 (problème hydraulique)

L'indicateur est déterminé à partir d'une étude hydraulique poussée. Il s'agit généralement des problèmes de conduites en surcharge, des problèmes de capacité insuffisante. Ainsi ces types de contraintes sont connus à partir des résultats de la simulation comme le logiciel EPA SWMM.

Le tableau 3.5 présente l'établissement des indicateurs EPL-4.

Tableau 3-5 : Statut de l'indicateur EPL-4

État	Cote	Problème hydraulique	Problème de capacité actuelle pour l'égout pluvial
Excellent	1	Aucun	Pluie récurrente de plus de 25 ans
Bon	2	1 nettoyage/an	Pluie récurrente de > 10 à 25 ans
Moyen	3	2 nettoyages / an	Pluie récurrente de > 2 à 10 ans
Mauvais	4	1 refoulement ou 3 nettoyages/an ou au moins 1 mise en charge	Mis en charge lors d'une pluie récurrente de deux ans et moins (sans refoulement)
Très mauvais	5	2 refoulements ou + de 3 nettoyages /an	Refoulement lors d'une pluie récurrente de 2 ans au moins

Il est à noter qu'il est important de calculer le pointage maximal et l'indice d'état de la conduite.

3.6. Système d'évaluation des conduites

Le pointage rapide du PACP permet de fournir un cliché du nombre et de la sévérité maximaux des défauts sur une section de conduite. Le pointage rapide des défauts est calculé en utilisant uniquement les cotes (niveaux de sévérité) des défauts structuraux et pour les défauts fonctionnels on utilise uniquement les cotes (niveaux de sévérité) des défauts d'opération et d'entretien [29]. Le pointage rapide se présente sous forme de 4 critères alphanumériques. Les niveaux d'évaluation proviennent du protocole CERIU/ NASSCO.

- Le premier est la cote (niveau de sévérité) maximale de la section de la conduite.

- Le second est le nombre total d'occurrences (c'est-à-dire le nombre de défauts) de cette côte. Si cette somme est supérieure à 9 alors, on utilise les caractères alphabétiques de la manière suivante
- 10 à 14 correspond à **A**
- 15 à 19 correspond à **B**
- 20 à 24 correspond à **C**
- Le troisième caractère est la deuxième cote la plus élevée parmi les défauts apparaissant le long de la même section de la conduite.
- Le quatrième caractère est le nombre total d'occurrences de cette seconde cote la plus élevée. Les mêmes règles que pour le deuxième caractère s'appliquent si le nombre total d'occurrences dépasse 9.

Le pointage PACP, utilise trois types de calcul permettant de connaître l'état d'une conduite :

- Le pointage de la section (PS)

C'est le produit correspondant au niveau par le nombre de défauts de ce niveau dans la section de la canalisation.

$$PS = \text{Nombre de défauts du niveau N} \times \text{Niveau N} \quad (3.1)$$

- Le pointage global de la conduite

Pour calculer le pointage global de la conduite, il faut additionner les cinq pointages de la section.

$$PG = PS1 + PS2 + PS3 + PS4 + PS5 \quad (3.2)$$

- L'indice d'état de la conduite

C'est l'indicateur de la sévérité global des défauts dans la conduite est obtenu en divisant le pointage global de la conduite par le nombre total de défauts.

$$IE = \frac{\text{Pointage global}}{\text{Nombre total des défauts}} \quad (3.3)$$

- Évaluation des défauts continus dans les conduites

La notion de défaut continu PACP permet d'utiliser une codification spécifique lorsqu'un même défaut est présent sur une longue distance ou se répète sur plusieurs portions de la conduite [29]. Un mécanisme a été conçu afin de transformer les continus en un nombre

équivalent de défauts ponctuels. Ce nombre est calculé en divisant la longueur sur laquelle le défaut continu est observé par 1.5. La valeur trouvée est arrondie à l'unité la plus proche.

$$\text{Nombre équivalent de défaut ponctuels} = \frac{\text{Longueur (m)}}{1.5} \quad (3.4)$$

CHAPITRE 4. CONCEPTION DE L'OUTIL INFORMATIQUE D'ANALYSE FONCTIONNELLE DES REP

4.1. Fonctionnement de l'outil

L'outil est une application dynamique orientée objet qui accompagne les utilisateurs à définir ces besoins. Il permet d'améliorer l'étude des plans d'intervention et de mettre en œuvre des stratégies de réhabilitation. Cette application se base sur une approche d'analyse fonctionnelle des réseaux d'eau pluviale qui comprend quatre phases :

- Définition du système
- L'analyse fonctionnelle externe
- L'analyse fonctionnelle interne
- L'évaluation des indicateurs de performance

L'outil assiste les gestionnaires des réseaux d'eau pluviale dans l'élaboration de leur plan d'intervention en leur posant des questions pour définir les besoins, identifier les contraintes, clarifier les fonctions à accomplir et donner des solutions techniques. Nous avons décidé de choisir le langage PHP car notre objectif est de programmer une application dynamique orientée objet. Le thème LARAVEL a été choisi dans le but d'accélérer la programmation. C'est un Framework web open source écrit en PHP et entièrement développé en programmation orientée objet [30]. MySQL a été utilisé pour la gestion de la base de données et de la plateforme web. GITLAB a été utilisé pour versionner le projet, faire le suivi des bugs et l'intégration continue. Un serveur a été installé pour pouvoir accéder à l'application en ligne nommé analyse fonctionnelle des réseaux d'eau pluviale (AFREP). L'outil informatique conçu accompagne l'utilisateur en lui posant des questions pour l'aider à définir les besoins, contraintes, fonctions à accomplir, solutions techniques et autres éléments qui lui seront nécessaires dans sa conception. De plus, il lui produira les diagrammes, et le tableau, issus des différentes méthodes au fur et à mesure de la procédure pour aider l'utilisateur dans sa réflexion. Au terme de l'exécution de l'algorithme, l'utilisateur aura défini ses besoins, contraintes, fonctions à accomplir, solutions

techniques, et autres éléments, requis pour sa conception, en plus d'avoir les diagrammes et le tableau illustrant ces éléments.

L'outil est composé de plusieurs micro-outils :

- Micro-outil des données : (se référer à la page 32)

Les données d'entrées sont :

- Micro-outil de l'analyse fonctionnelle et structurelle
- Micro-outil de l'évaluation des indicateurs

La figure 4.1 montre l'algorithme proposé pour notre application.

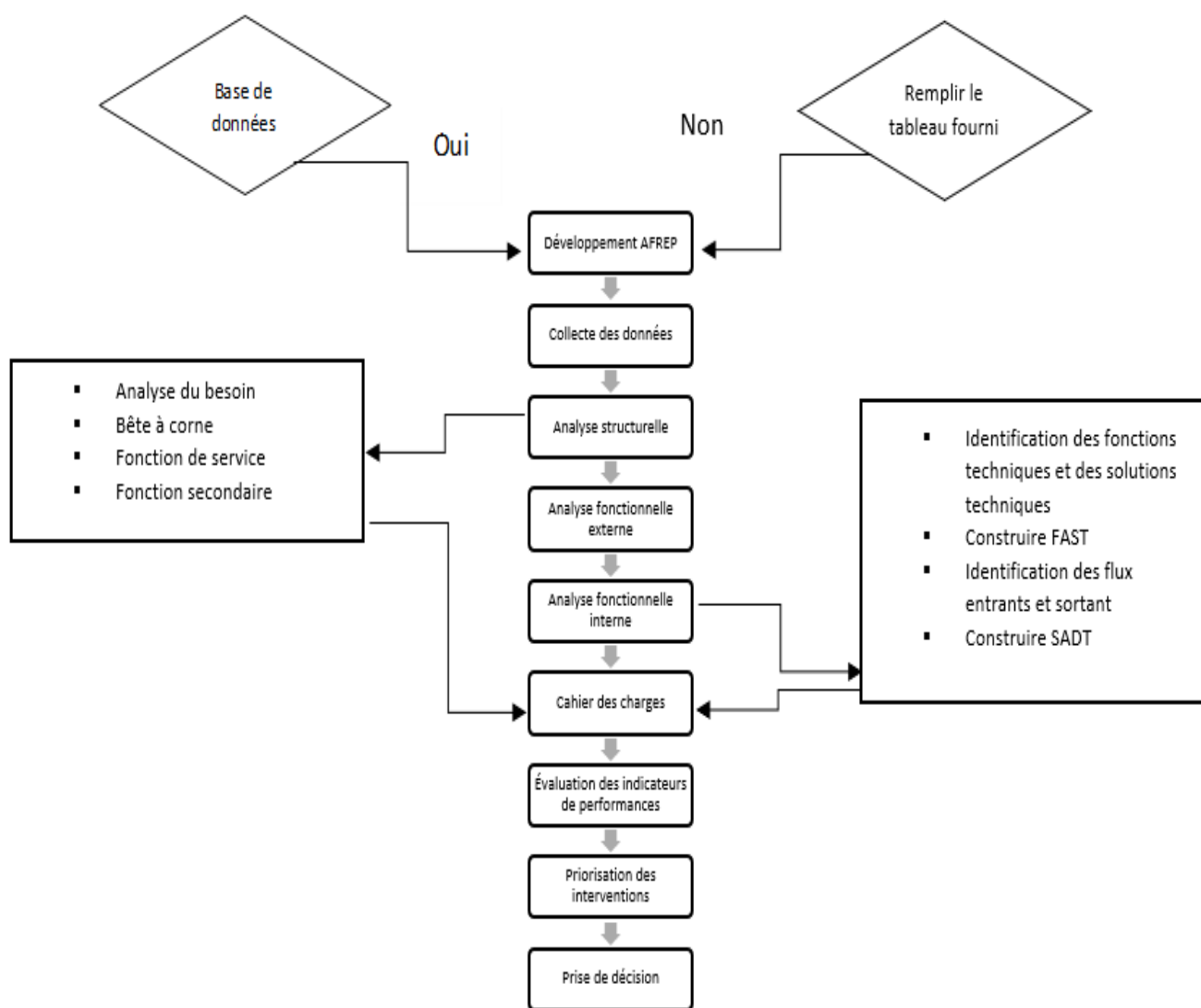


Figure 4-1 : Schéma de l'algorithme proposé

L'outil développé a les fonctionnalités suivantes:

- Importation des données ou remplissages du tableau fourni par l'application,
- Analyse structurale (composants réseaux eaux urbains sous forme de schéma),
- Analyse fonctionnelle (externe et interne),
- Cahier des charges (fonction, objectif, critère d'évaluation),
- Bouton aide (comporte assez d'information pour comprendre l'application),
- Interface d'évaluation des indicateurs performance

Remarque : A la fin de l'analyse fonctionnelle, l'application propose à l'utilisateur un livret électronique montrant tous les résultats de l'analyse fonctionnelle.

La figure 4.2 présente la première interface de notre application.

Analyse fonctionnelle des réseaux d'eaux pluviales

Se connecter

Adresse Email

Mot de passe

Se connecter

Remember Me

[Mot de passe oublié ?](#)

[S'inscrire](#)

Figure 4.2: Interface de l'outil développé AFREP

4.2. Justification du choix de langage de programmation informatique

La programmation par objets peut être définie comme une technique de programmation qui permet de mettre en œuvre une conception basée sur les objets. Ainsi, pour faire ce type de programmation, il existe plusieurs langages de programmation que les informaticiens utilisent pour faciliter le développement d'un logiciel. Dans ce qui précède, la force et la faiblesse de chaque langage sont montrées.

- Java : Facilité de gérer la sécurité et d'écrire des interfaces graphiques;
- Python : Facilité d'utilisation code lisible et rapide créer des outils de qualité professionnelle Code lisible Facilité de trouver les erreurs;
- PHP : Très facile à comprendre et possibilité de le lier avec d'autres applications comme Laravel, MySQL;
- C++ : Apporter plus de fonctionnalité au langage C. Elle est proche du fonctionnement de la machine;
- Matlab : Calculatrice programmable qui permet de manipuler les fonctions mathématiques.
- R permet de traiter les données hydrostatiques et de générer les hydrogrammes.

Vu que notre objectif est de créer une application dynamique orientée objet pour accompagner les utilisateurs et leur permettre de créer leurs propres projets, nous avons décidé de choisir le langage php. La démarche suivie est résumée dans la figure suivante.

Pour donner suite à une étude approfondie de conception pour la plateforme web de développement d'un outil d'analyse fonction des réseaux d'eau urbains, nous avons choisi de partir sur le langage de programmation **PHP** du fait de sa prise en main rapide et facile pour un débutant en programmation web. Plus précisément nous utilisons dans ce projet **Laravel** qui est un Framework web open source écrit en PHP et entièrement développé en programmation orientée objet [31]. Le thème Laravel est distribué sous licence MIT et dans le but d'accélérer le projet, nous travaillons avec un thème de base conçu avec le **Framework et bootstrap 4**. Ce dernier est un Framework open source de développement

web orienté interface graphique créée par Twitter. Il est pensé pour développer des applications et s'adapte à tout type d'écran, et en priorité pour les smartphones. À cela s'ajoute l'utilisation de **MySQL** pour la gestion de la base de données de la plateforme web. MySQL est un système de gestion de bases de données relationnelles. Enfin nous utilisons dans ce travail **Gitlab** qui nous permet de versionner le projet. Gitlab est un logiciel libre de forge basé sur un système de suivi des bugs et l'intégration continue.

4.3. Explication des interfaces

L'outil développé comporte plusieurs interfaces qui sont :

- Interface page d'accueil

La page d'accueil de l'outil propose par défaut à l'utilisateur de créer un compte ou de se connecter. De plus, il est possible aussi de récupérer son mot de passe en cas de perte en cliquant sur le bouton mot de passe oublié.

- Interface donnée

De prime abord, l'utilisateur doit obligatoirement créer un nouveau projet avant de commencer l'analyse. Cette interface propose à l'utilisateur d'importer les données de son réseau urbain ou bien de remplir le tableau de l'application avant de commencer l'analyse fonctionnelle.

L'outil offre plusieurs fonctionnalités à l'utilisateur, car sur chaque interface, la personne peut modifier, visionner ou sauvegarder le tableau qu'il a rempli.

La catégorie tableau de bord est très importante, car toutes les données utilisées dans cette catégorie sont affichées en temps réel afin de permettre aux utilisateurs de mieux s'organiser lors de leurs sorties.

La figure 4.3 montre l'interface de données de l'outil AFREP

Figure 4.3 : Présentation de l'interface des données

- Interface analyse structurale

Cette catégorie permet d'avoir une idée globale de l'ensemble des ouvrages existants sur le réseau d'eau urbain. À ce stade, l'utilisateur a la possibilité de choisir les différents équipements hydrauliques qui composent son réseau. Un formulaire donnant la liste des composantes s'affiche avec des cases cochées.

- Interface analyse fonctionnelle

Cet onglet permet l'affichage des questions et la visualisation des diagrammes de la bête à cornes, de la pieuvre, de la SADT et le cahier des charges. Différentes sous-catégories ont été proposées afin que l'utilisateur puisse écrire, enregistrer ou modifier ces propres réponses dont il avait entré. Ainsi, pour mieux comprendre notre outil informatique, nous allons faire l'analyse fonctionnelle externe et interne de l'outil AFREP avec l'outil développé.

- Pour qui est l'outil AFREP ? C'est pour les gestionnaires des réseaux d'eau pluviale.
- Sur quoi agit l'outil AFREP ? Sur les prises de décision
- Dans quel but ? Aider les municipalités à élaborer leur plan d'intervention.

La figure 4.4 présente les besoins de l'outil à travers le diagramme de la bête à cornes.

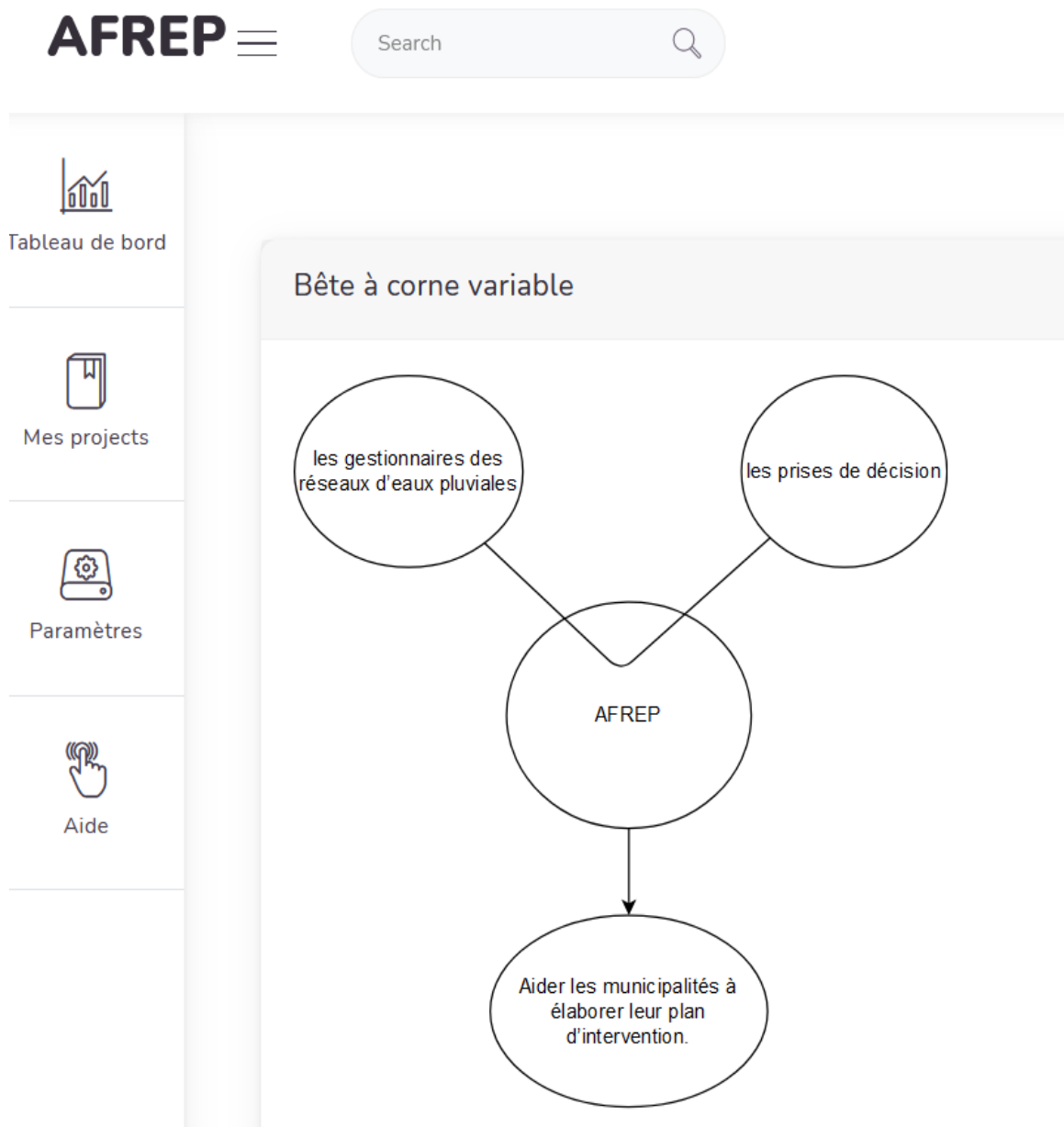


Figure 4.4 : diagramme de la bête à cornes appliqué à l'outil AFREP

La figure 4.5 présente l'analyse fonctionnelle externe de l'outil AFREP.

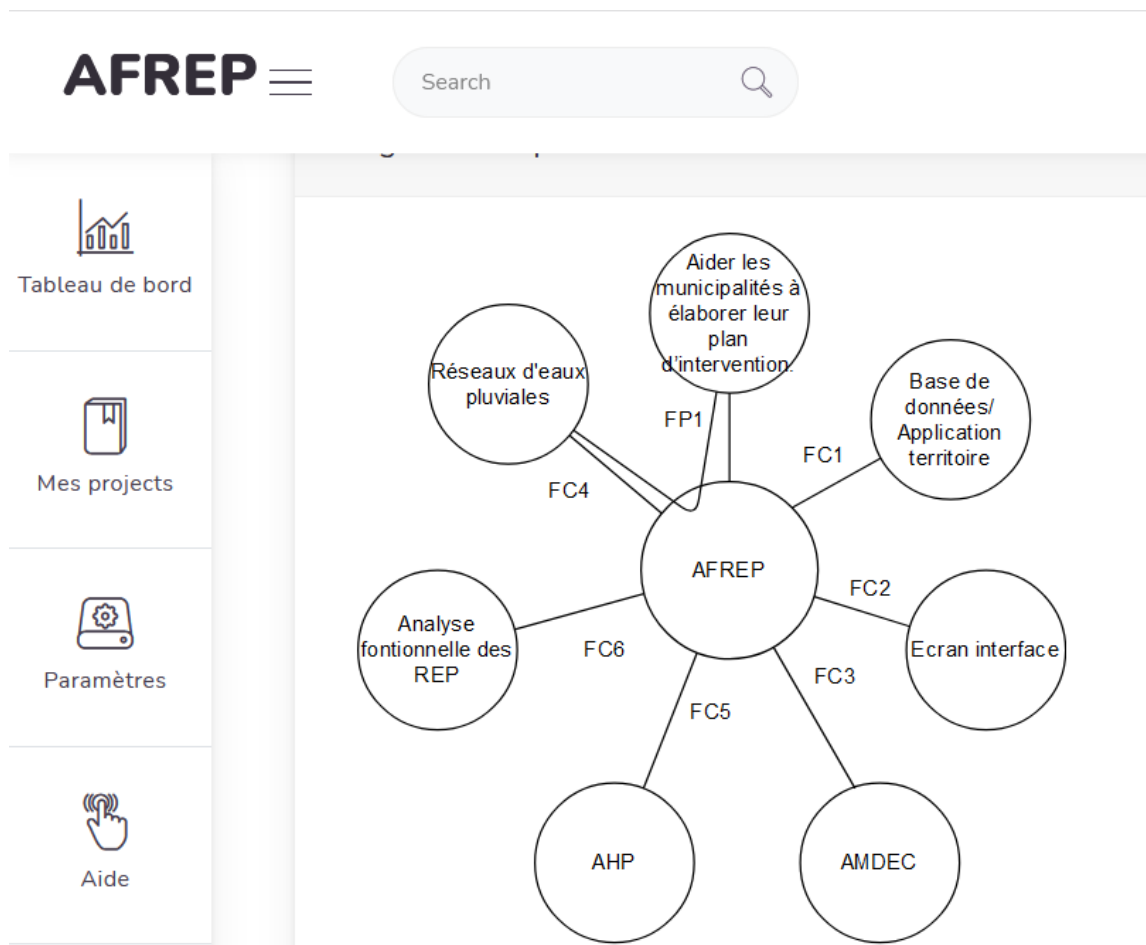


Figure 4.5 : Diagramme de la pieuvre appliqué à l'outil AFREP

- Cahier des charges

Le cahier des charges accompagne l'utilisateur à choisir ce qu'il veut mettre dans son tableau de cahier des charges en répondant aux questions posées par l'outil.

Ces questions suivantes sont posées par l'utilisateur :

- Donnez les fonctions de votre système?
- Donnez les objectifs des fonctions données?
- Pour chaque fonction, donnez la flexibilité et les critères d'appréciation?
- Interface Évaluation des indicateurs

La programmation des interfaces d'évaluation des indicateurs a été faite premièrement à partir du logiciel Excel. Cela étant, nous avons fait la programmation de ces indicateurs

avec l'outil AFREP. Ce dernier est composé de quatre interfaces afin de bien définir et calculer les indicateurs de performance et de proposer des solutions pour la priorisation des interventions. L'outil informatique a été mis sur un serveur.

La figure 4.6 présente l'interface de l'évaluation des indicateurs

AFREP Search

Informations de base

Type Inspection
CCTV

Vocation Conduite
Collecte (C)

Indicateur Troncon
15815

Diametre
375

Longueur
90.8

Hierarchie
Niveau (II)

Type Matériaux Conduite
Béton armé

Annee Installation
Annee Installation

Type Defaults
Type Defaults

Déterminer l'indicateur EPL-1 (Etat structureL_inspection)

Statut Conduite
Mauvais

Hierarchie Conduite
Niveau (II)

Code Conduite
4--6

Niveau Maxima Pacp
Niveau Maxima Pacp

Déterminer l'indicateur EPL-2 (Problème Hudraulique_Registrer)

Nombre Refoulement
0

Frequence Nettoyage
Aucun

Cote Indicateur Epl2
1

Déterminer l'indicateur EPL-3 (Défauts fonctionnels)

Tableau de bord
Mes projects
Paramètres
Aide

Figure 4.6 : Interface évaluation des indicateurs

CHAPITRE 5. ANALYSE FONCTIONNELLE D'UN COLLECTEUR D'ÉGOUT PLUVIAL DE LA VILLE DE SAINT HYACINTHE

5.1. Présentation de la ville de Saint Hyacinthe

Située dans la Municipalité régionale du comté des Maskoutains au cœur de la région administrative de la Montérégie (Rive-Sud de Montréal), la ville de Saint-Hyacinthe est le centre d'une vaste région agricole, nommée aussi capitale agroalimentaire du Québec [32]. Elle possède une vaste concentration d'industries du secteur agroalimentaire, d'institutions d'enseignement et de centres de recherche. La ville est traversée par la rivière Yamaska et elle compte une population estimée à 59614 habitants en 2016. Le climat de Saint-Hyacinthe est continental humide caractérisé par une amplitude thermique élevée, la variation annuelle de la température est de 38°C. La ville connaît parfois de grandes variations de la température qui peut varier entre -41°C enregistrés le 27 janvier 1994 et 35,6°C record enregistrés le 1 août 1975 [32].

En ce qui concerne les réseaux d'égouts, une grande partie a été construite avant 1965, environ 30 % de ceux-ci sont des réseaux unitaires. Depuis des années, les gestionnaires de la municipalité de la ville de sainte hyacinthe mandatent des cabinets d'étude pour faire l'évaluation fonctionnelle et la mise à jour partielle du plan d'intervention des réseaux eaux pluviales afin de :

- Mettre à jour les données de certains segments analysés,
- Incorporer l'analyse des inspections CCTV des conduites défailtantes,
- D'inclure les nouvelles recommandations du plan de gestion des débordements

Cette étude de cas présente, en premier lieu, l'identification des besoins des réseaux d'eaux pluviales de la ville de sainte hyacinthe ensuite la collecte des données, par la suite nous allons faire une analyse de l'état des pathologies sur un tronçon d'égout pluvial. Par la suite, nous allons faire une analyse fonctionnelle de ce collecteur avec l'outil informatique développé AFREP et évaluer les indicateurs de performance. Pour finir, nous allons proposer des solutions pour la réhabilitation de la conduite et conclure avec les recommandations et perspectives.

La Figure 5.1 montre la localisation géographique de la ville Saint-Hyacinthe.

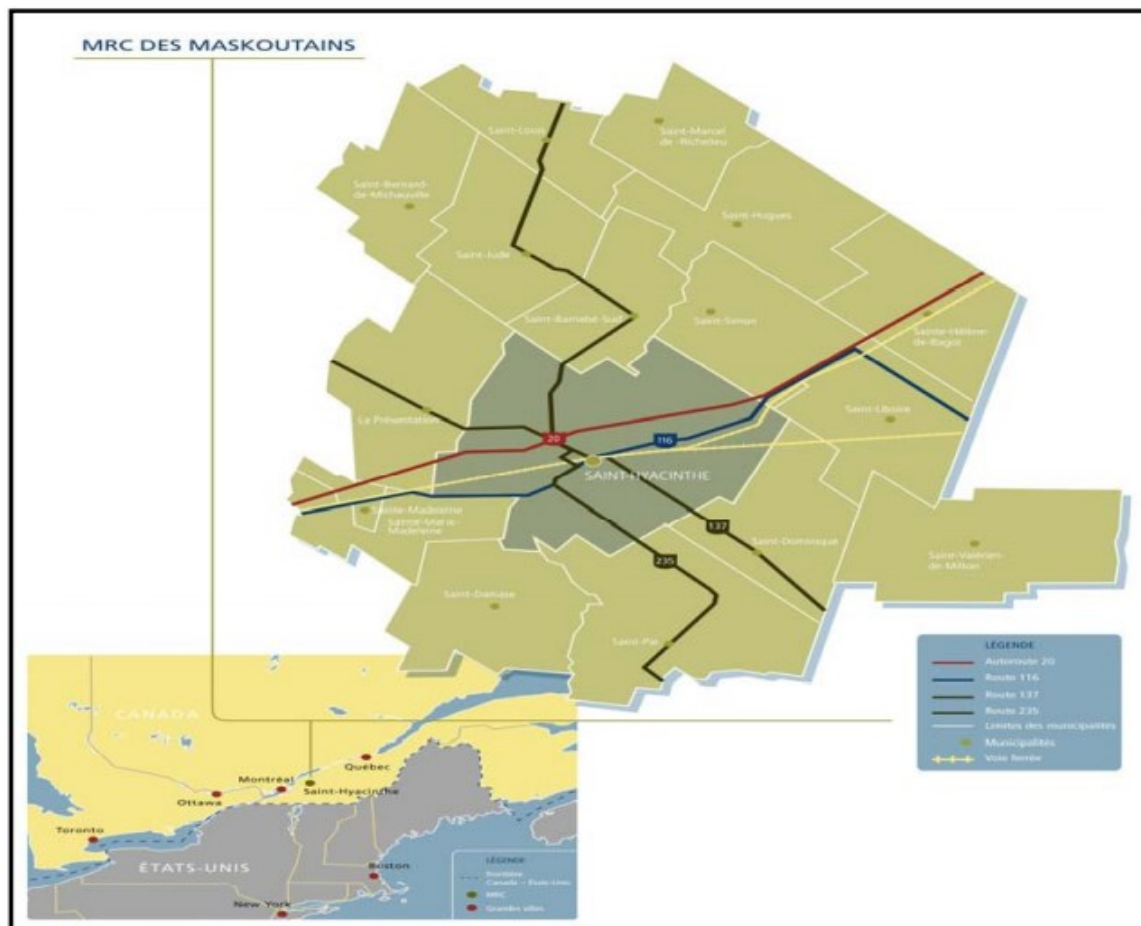


Figure 5-1 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe [33]

5.2. Présentation du réseau d'eaux pluviales de la ville de Saint-Hyacinthe

La ville de Saint-Hyacinthe dispose d'un réseau d'égout pluvial qui draine uniquement les eaux pluviales vers la rivière Yamaska. Elle est traversée par la rivière Yamaska qui sert d'exutoire aux réseaux d'eau pluviale. Il est composé de conduites maitresses de grands diamètres et de conduites secondaires variant entre 375 à 3600 mm. Les types de matériaux des conduites sont en béton armé, polychlorure de vinyle (PVC), tôle ondulée, fonte ductile et amiantes-ciments. Les équipements mécaniques présents sont les vannes, les regards, les équipements de mesures de débit (débitmètre) et de pluies (pluviomètre).

La figure 5.2 présente la répartition des types de conduites d'évacuation des réseaux d'eau pluviale.

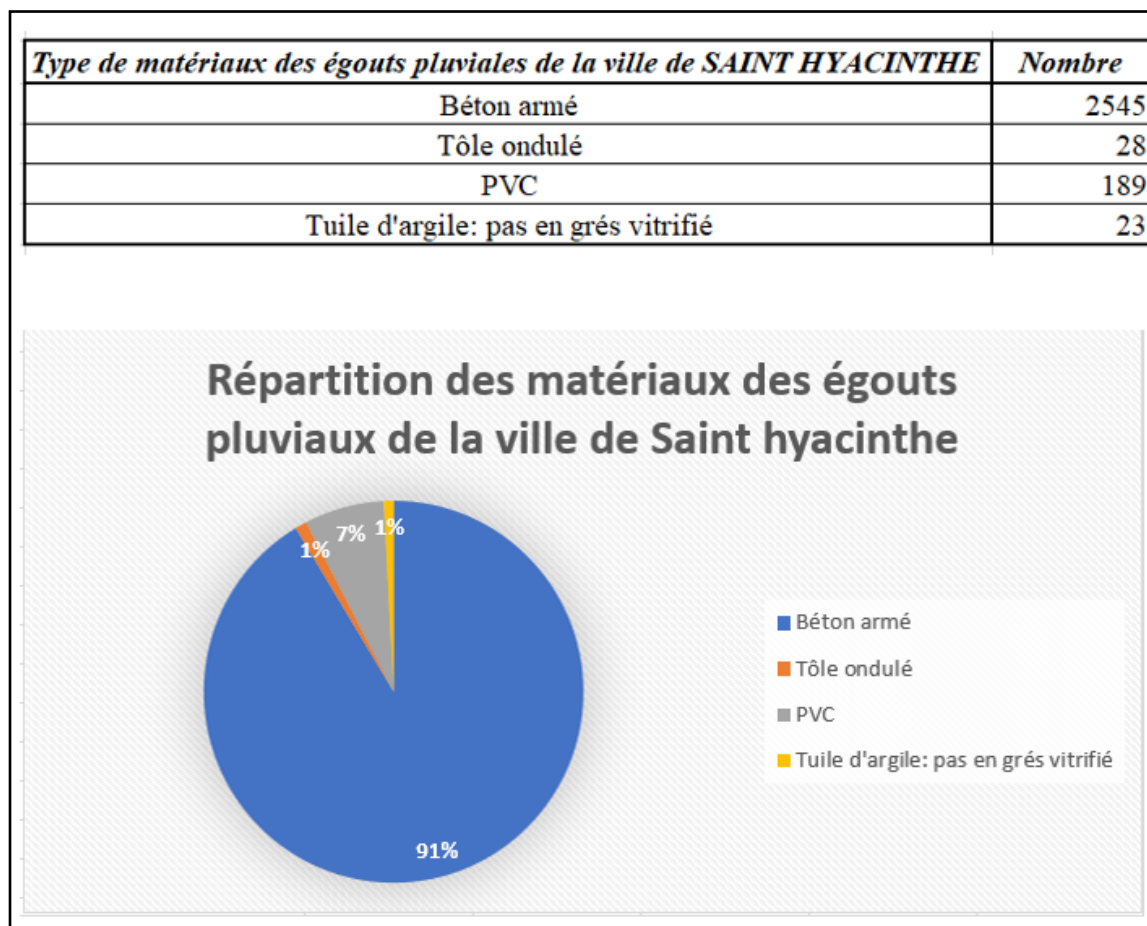


Figure 5-2 : Répartition des matériaux des conduites des égouts pluviaux de la ville de Saint-Hyacinthe

5.3. Identification des besoins

L'identification des besoins des réseaux d'eaux pluviales de la ville de Saint Hyacinthe se fait en se basant sur une analyse fonctionnelle externe. Cette dernière sera représentée sous forme de diagramme de la bête à cornes. Le diagramme de Bête à cornes implique de répondre à trois questions. La première étant pour qui est le système? Dans le cas du système d'évacuation des eaux pluviales de la ville de sainte hyacinthe, le réseau est destiné aux usagers de la municipalité de sainte hyacinthe, qu'il s'agisse des citoyens, des entreprises ou encore des institutions. La seconde question est sur quoi agit le système?

Dans ce cas-ci, le système agit sur les eaux de ruissellement provenant du réseau hydrographique de la ville de Saint-Hyacinthe.

La dernière question est qu'elle est le but du système? Dans le cas du système d'évacuation, le système est pour évacuer les eaux pluviales vers la rivière Yamaska sans causer de dommage à son environnement.

La figure 5.3 présente le diagramme de la bête à cornes généré appliqué au réseau d'eau pluviale.

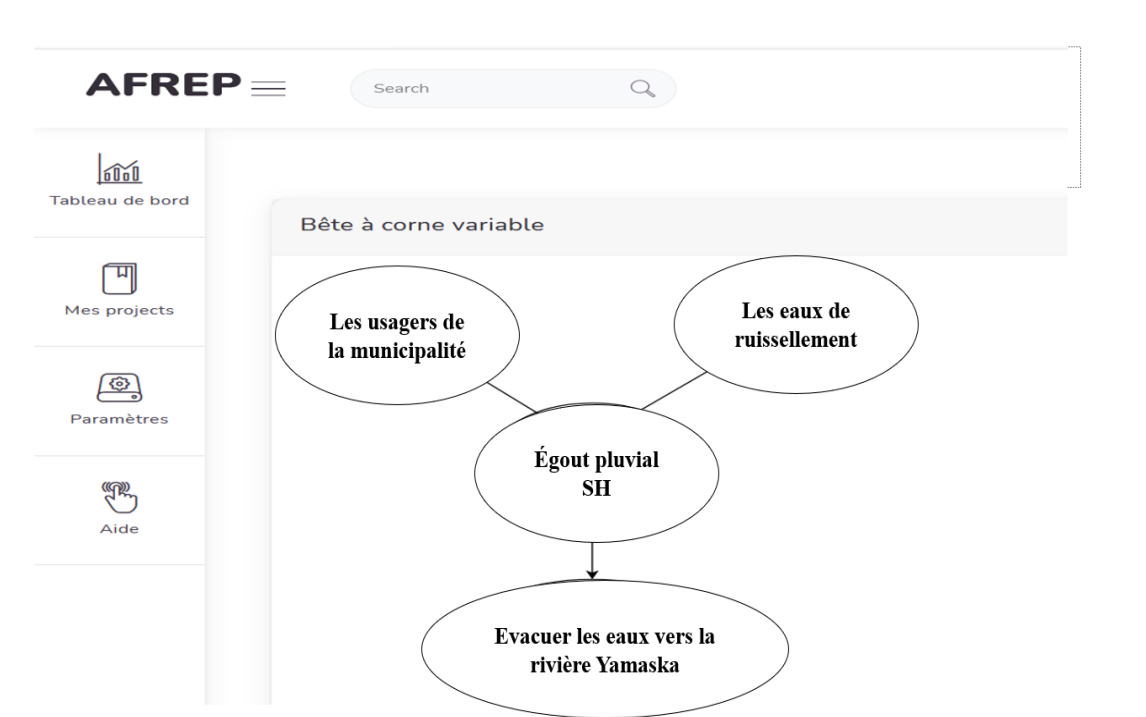


Figure 5-3 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe

L'analyse fonctionnelle externe du réseau se fait en identifiant les éléments du milieu extérieur en relation avec le système d'évacuation des eaux pluviales. Le tableau suivant présente les différents éléments du milieu environnant en relation avec le réseau d'eau pluviale. Le tableau 5.1 identifie les éléments en relation avec le réseau d'eau pluviale.

Tableau 5-1 : Identification des éléments du milieu environnant du réseau d'eau pluviale de la ville de Saint-Hyacinthe.

Milieux environnants en relation avec le collecteur d'égout pluvial de la ville de saintes hyacinthes			
Les bassins versants	Le réseau hydrographique de la ville de Saint-Hyacinthe	La rivière Yamaska	Type de sol

- Les bassins versants de la ville de Saint-Hyacinthe

La figure 5.4 présente la vue d'ensemble des bassins versants de la ville de sainte hyacinthe

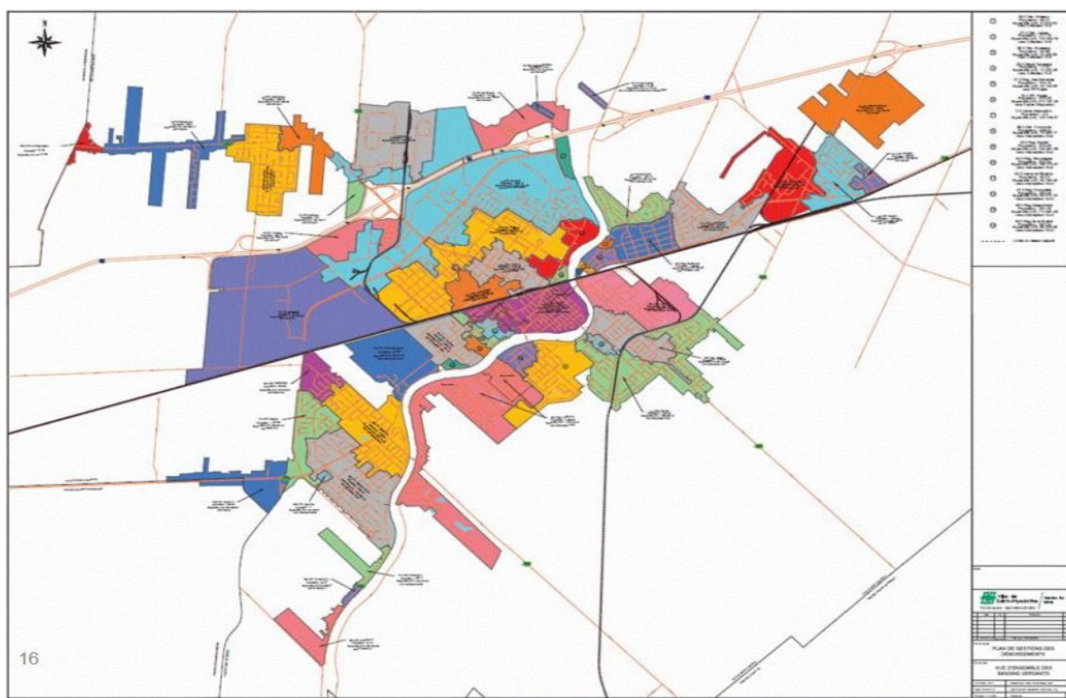


Figure 5-4 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe [34].

- Le type de Sol

Le groupe du sol correspondant à Saint-Hyacinthe peut être classifié comme un sol sec de type argileux, présentant un potentiel faible d'infiltration. Donc, la valeur du taux maximal d'infiltration est de 25 mm/h. Les valeurs du taux de décroissance de la capacité d'infiltration sont montrées ci-dessous au tableau.

Tableau 5-2 : Valeurs typiques de f_0 en fonction des différents types du sol (Rivard, 2005)

Type de sol	f_0 (mm/h)
1-Sol sec (peu ou pas de végétation)	Sol sablonneux : 125 Loam : 76 Sol argileux : 25
2- Sol sec (avec une végétation dense)	Multiplier les valeurs en 1) par 2
3-Sols humides	Sols drainés, mais pas sec : Diviser les valeurs en 1) au 2) par 3 Sols saturés : Prendre des valeurs proches de f_c Sols partiellement saturés : Diviser les valeurs en 1) ou 2) par 1.5 à 2.5

Par la suite, on identifie la liste des fonctions de service et des fonctions contraintes de notre réseau. A ce stade, on laisse l'utilisateur faire son propre choix des fonctions secondaires et principales de son système. Pour cela, il doit remplir le tableau proposé par l'application afin de le guider à définir ces besoins et de l'accompagner à tracer le diagramme de pieuvre.

FP : Fonction principale

FP (Fonction contrainte)

La liste des fonctions de service et des solutions techniques est présentée comme suit :

FP (Fonction principale) : Évacuer les eaux pluviales de la ville de Saint-Hyacinthe vers la rivière Yamaska

FC1 (Fonction contrainte) : Être capable d'absorber une perturbation et de revenir à son état initial

FC2 : Sécuriser le réseau d'eaux pluviales de la ville de Saint-Hyacinthe

FC3 : Préserver la santé et les biens de la population de la ville de Saint-Hyacinthe

FC4 : Être réparable par un technicien

FC5 : Contrôler les eaux de ruissellement provenant des bassins versants de la ville de Saint-Hyacinthe

FC6 : Respecter les normes de rejets les règles de bonnes pratiques

La figure 5.5 présente le diagramme de la bête à cornes appliqué à l'outil AFREP.

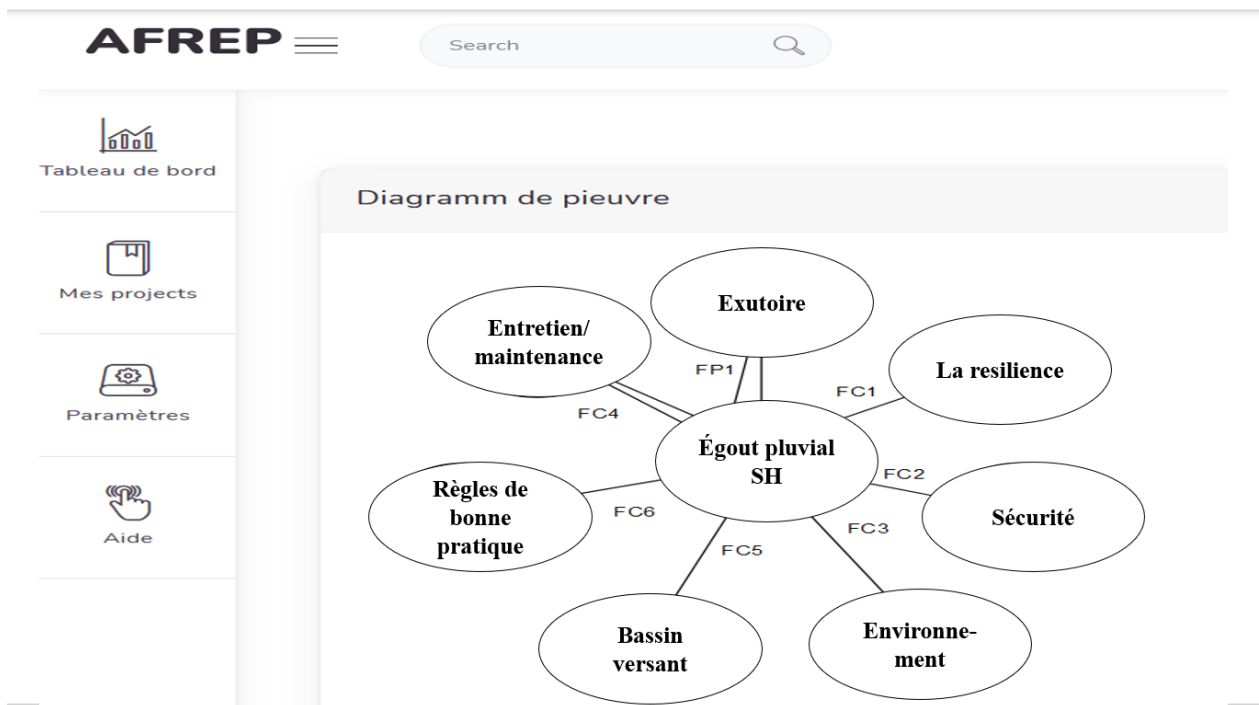


Figure 5-5 : Diagramme de pieuvre généré par l'outil AFREP

La figure 5.6 suivante indique le diagramme SADT appliquée au réseau d'eaux pluviales de la ville de Saint-Hyacinthe.

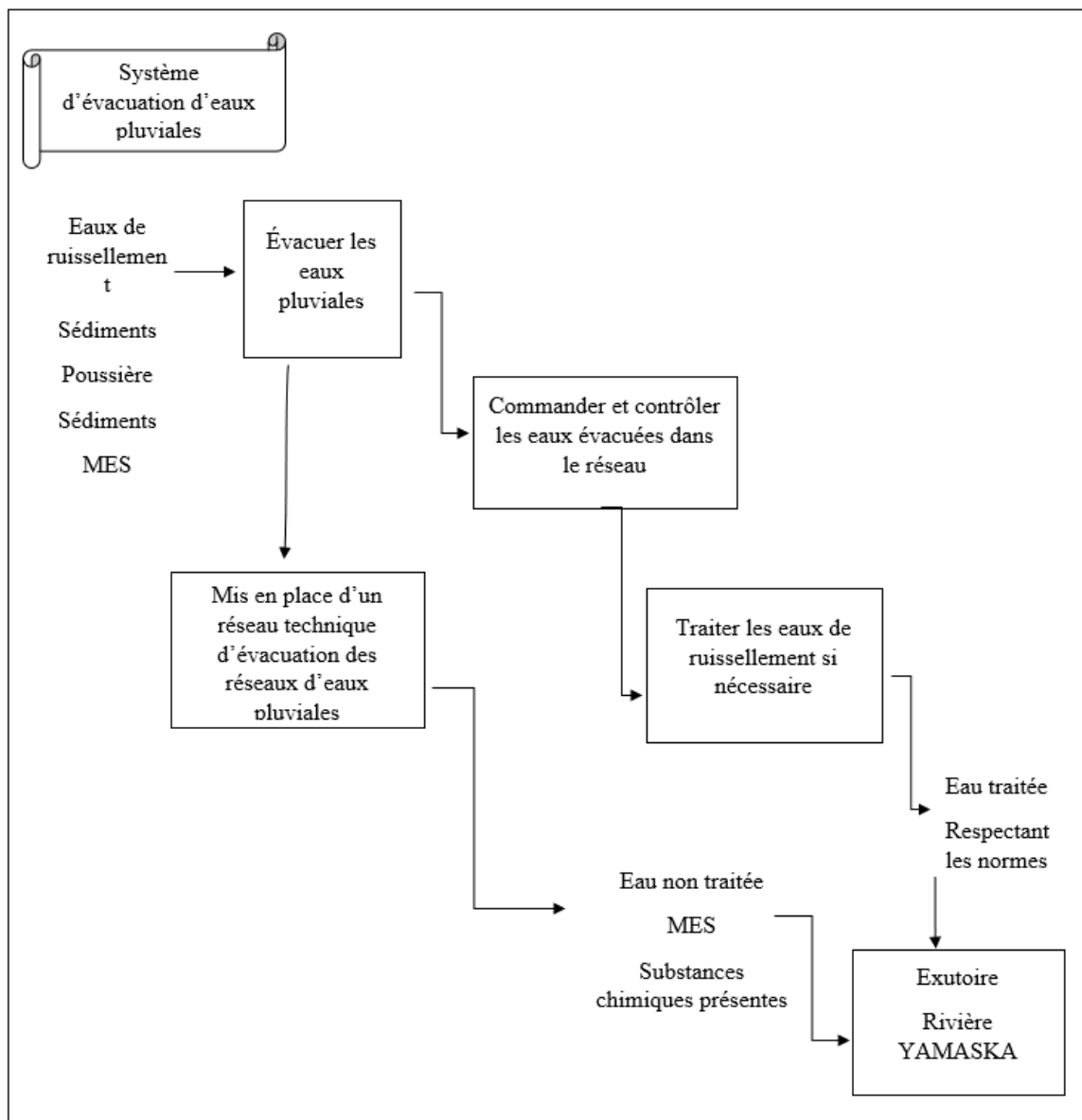


Figure 5-6 : Diagramme de la SADT appliquée au réseau d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe

Notons qu'il est important de faire la collecte des données pour pouvoir inspecter et évaluer les indicateurs de performances.

5.4. Analyse fonctionnelle du collecteur 15815 d'égout pluvial

Pour procéder à l'auscultation de son réseau, la ville s'est dotée d'une stratégie d'inspection du réseau d'égout pluvial qui a été actualisée, la dernière fois en 2016 par le bureau d'étude CIMA+. Cette stratégie d'inspection est une méthode basée sur l'utilisation de la caméra

tractée. Ce rapport énumère section par section, des anomalies structurales et fonctionnelles observées lors de l'inspection télévisée. Ces anomalies ont été notées selon le protocole PACP-CERIU/NASSCO, version 4.3.1.1 VF [35]. Dans ce qui suit, nous allons appliquer notre outil sur un collecteur d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe.

- Sens de l'écoulement : RP 0238 à RP 0284
- Sens de l'inspection : RP 0283 à RP 0284

La figure 5.7 montre la localisation du collecteur 15815. Ce dernier se trouve sur la route de Longueuil route secondaire.

La couleur jaune représente
la localisation du collecteur
15815



Figure 5-7 : Carte de localisation du collecteur 15815 (CIMA+)

L'analyse de l'information disponible fournie par la ville de Saint-Hyacinthe permet en premier lieu de créer la base de données à utiliser pour l'analyse fonctionnelle des systèmes de drainage des eaux pluviales. Cette étape comprend l'extraction de données du plan d'intervention pour l'égout pluvial qui serviront à construire les fichiers à utiliser lors de

la simulation numérique avec l'outil AFREP. Notre étude se penche sur un collecteur d'égout pluvial 15815, car l'application fait l'analyse fonctionnelle par tronçon.

5.4.1. Analyse de l'état des pathologies

Les conduites sont souvent inspectées pour planifier les défauts d'opération et d'entretien, rechercher les eaux d'infiltration et de captage, faire de la réhabilitation et assurer l'évolution de l'état de la conduite. Ces données d'inspection (voir annexe A) sont souvent utilisées pour formuler les recommandations. Les gestionnaires des municipalités utilisent certains paramètres qui sont les suivantes pour interpréter les résultats de l'inspection de façon efficace :

- CS = Cote structurale et peut varier de 1 à 5
- COE = Cote d'opération et d'entretien et peut varier de 1 à 5
- Mesures Dimension 1 et 2 = utilisé pour la dimension des raccordements et pour une intrusion
- Joint = utilisé pour indiquer que le défaut est localisé au joint ou près du joint (moins de 200mm)
- CPB= Cote potentielle de blocage.




Tous les champs et les cotes sont régis par la nomenclature du PACP du CERIU/NASSCO. Dans ces cas c'est la version 4.2 qui a été utilisée.

Ainsi, pour analyser l'état des pathologies, il faut relever les défauts structuraux, fonctionnels, entretien et opérations et hydrauliques observés sur le collecteur à l'aide d'une caméra conventionnelle.

Problèmes hydrauliques rencontrés au collecteur 15815

Le tableau 5.3 présente les défauts hydrauliques observés sur le collecteur 15815.

Tableau 5-3 : Analyse des défauts hydrauliques sur le collecteur 15815

Photos prises par CIMA+	Type de problèmes	Symptômes	Causes possibles	Conséquences	Mesures correctrices
	Rugosité accrue	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dégradation de la conduite ▪ Présence de gaz corrosifs (H2S) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Présence de sédiments ▪ Problème de pente de la conduite 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Défauts de surface ▪ Diminution de l'épaisseur de la paroi de la conduite ▪ Problème de l'intégrité structural. 	Réhabilitation
	Augmentation du niveau d'eau de 15%	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Présence de Bas fond ▪ Présence d'obstruction 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Joints ouverts ▪ Mauvais raccordement 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perturbation de l'écoulement ▪ Perte d'alignement et de niveau ▪ Diminution de la capacité hydraulique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réparation ponctuelle
	Augmentation du niveau d'eau de 10 %				

🚧 Problèmes structuraux rencontrés au collecteur 15815

Le tableau 5.4 présente les défauts structuraux observés sur le collecteur 15815.

Tableau 5-4 : Analyse des défauts structuraux observés sur le collecteur 15815


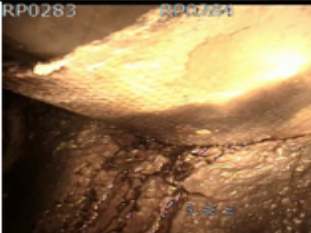


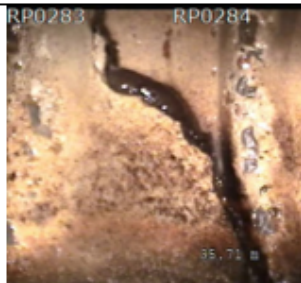

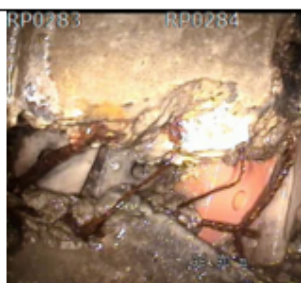

Photos prises par CIMA+	Type de problèmes	Symptômes	Causes possibles	Conséquences	Mesures correctrices
	Raccordement à la masse pénétrant	<ul style="list-style-type: none"> Fissures Fractures Trous présents au niveau des joints 	<ul style="list-style-type: none"> Manques d'étanchéité Création de tassement 	<ul style="list-style-type: none"> Dégradation de la conduite Effondrement Conduite en surcharge 	Alésage et colmatage par injection
	Raccordement à la masse défectueux Présence de vide et infiltration	<ul style="list-style-type: none"> Fissures Fractures trous 	<ul style="list-style-type: none"> Construction inadéquate Manque d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la capacité hydraulique Détérioration des équipements hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> Alésage ou colmatage par injection Réhabilitation /Renouvellement
	Fissures longitudinales	Fissures visibles dans la Paroi de la conduite	Perte d'étanchéité	<ul style="list-style-type: none"> Création des infiltrations 	<ul style="list-style-type: none"> Réhabilitation ponctuelle Colmatage par injection Chemisage
	Fissures multiples	<ul style="list-style-type: none"> Propagation des fissures sur toute la paroi de la conduite 	<ul style="list-style-type: none"> Charges ponctuelles Pénétration des racines Mauvais raccordement 	<ul style="list-style-type: none"> Bris Effondrement conduite Refoulement 	Chemisage ponctuelle

Tableau 5-4 : Analyse des défauts structuraux observés sur le collecteur 15815 (suite)

	Éclat de surface au joint	Trous	Armatures visibles	Infiltration / Exfiltration	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colmatage par injection ▪ Chemisage structural
	Raccordement à la masse défectueux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fissures ▪ Fractures ▪ trous 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construction inadéquate ▪ Manque d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution de la capacité hydraulique ▪ Détérioration des équipements hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alésage ou colmatage par injection ▪ Réhabilitation /Renouvellement
	Paroi manquante	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Armatures mis à nues 	Assiette d'armature rouillée et mis à nue	Infiltration	Cimentage et colmatage par injection
	Raccordement à la masse défectueux Présence de vide et infiltration	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fissures ▪ Fractures ▪ <u>trous</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Construction inadéquate ▪ Manque d'étanchéité 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution de la capacité hydraulique ▪ Détérioration des équipements hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alésage ou colmatage par injection ▪ Réhabilitation /Renouvellement

✚ Problèmes fonctionnels rencontrés au collecteur 15815

Le tableau 5.5 présente les défauts fonctionnels observés sur le collecteur 15815.

Tableau 5-5 : Analyse des défauts fonctionnels observés sur le collecteur 15815


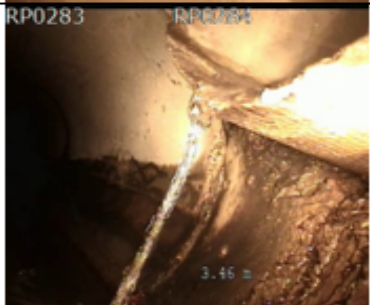
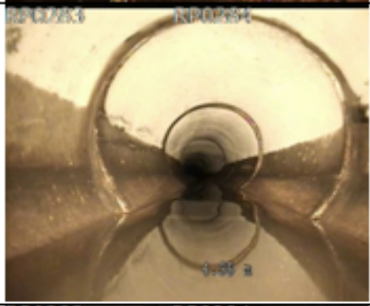
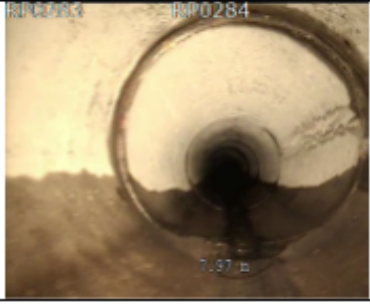

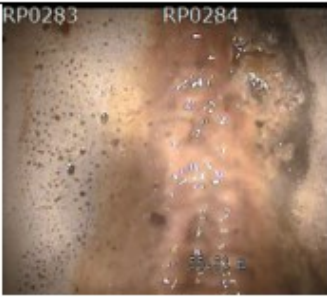
Photos prises par CIMA+	Type de problèmes	Symptômes	Causes possibles	Conséquences	Mesures correctrices
	Trace d'infiltration au joint	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pénétration de l'eau dans la conduite ▪ Bris au joint ▪ Bris sur la conduite 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuite de conduite ▪ Problème de raccordement ▪ Problème de nettoyage 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contamination de la nappe phréatique ▪ Risque de pollution de l'environnement ▪ Problème de santé 	Colmatage au joint
	Infiltration suintement				
	Dépôts attachés d'incrustation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation du niveau d'eau ▪ Plaintes d'odeurs ou de refoulements 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mauvais Entretien ▪ Mauvaises installations des équipements hydrauliques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Accumulation de sédiments ▪ Refoulement 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nettoyage périodique ▪ Alésage ▪ Excavation ponctuelle
	Dépôts attachés d'incrustation				

Tableau 5-5 : Analyse des défauts fonctionnels observés sur le collecteur 15815 (suite)

 <p>RP0283 RP0284 88.90</p>	Agrégats visibles / défauts serpentant	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Défauts de mise en place des garnitures lors de l'installation ▪ Problème d'adhérence du béton et l'armature 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Présence de vide ▪ Assiette d'armature mise à nue 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infiltration ▪ Exfiltration ▪ Fissures <p>Risque d'enracinement à l'intérieur de la conduite</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colmatage au joint ▪ Réparation ponctuelle
 <p>RP0283 RP0284</p>	Infiltration suintement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pénétration de l'eau dans la conduite ▪ Bris au joint ▪ Bris sur la conduite 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuite de conduite ▪ Problème de raccordement <p>Problème de nettoyage</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contamination de la nappe phréatique ▪ Risque de pollution de l'environnement 	Colmatage au joint

5.4.2. Présentation des données du collecteur 15815 entrées dans l'outil informatique AFREP

L'analyse fonctionnelle du collecteur se fait en entrant des informations suivantes :

- Numéro tronçon : 15815
- Localisation du début et de la fin du tronçon : Longueuil route secondaire
- Diamètre du tronçon ; 375 mm
- Année de construction : 1961
- Longueur du tronçon : 90.8 m
- Durée de vie du tronçon : 37 ans
- Année d'inspection 2016
- Type d'inspection : CCTV
- Hiérarchie : Moyen

5.4.3. Analyse de fonctionnelle externe et interne du collecteur 15815

Comme la plupart des villes en Amérique du Nord, le réseau d’approvisionnement de la ville de sainte hyacinthe est marqué par une gestion difficile du fait des nombreux défauts structuraux et fonctionnels observés dans le réseau dû à la vieillesse de certaines de ces conduites qui coulent à ciel ouvert, des conditions de gel et de gel et le passage des camions lourds. La corrosion des conduites peut être causée aussi par le sol du fait qu’on utilise du sel de déglçage sur les chaussées en hiver.

En se basant sur l’analyse de ces problèmes et pour le bon fonctionnement du réseau d’alimentation de la ville de Montréal, ces différents besoins sont identifiés

L’identification des besoins d’eaux pluviales de la ville de sainte hyacinthe se fait en se basant sur une analyse fonctionnelle externe. Le diagramme de Bête à cornes implique de répondre à trois questions.

- ✓ La première étant pour qui est la collectrice 15815? Dans ce cas si le collecteur est destiné aux usagers de la rue de Longueuil, route secondaire
- ✓ La seconde question est sur quoi agit le collecteur 15815? Dans ce cas-ci, le système agit sur les eaux pluviales provenant du sous-bassin versant de la rue Longueuil.

La dernière question est qu’elle est le but du collecteur 15815? Évacuer les eaux pluviales provenant du regard RP0283 au regard RP0284.

La figure 5.8 présente le diagramme de la bête à cornes appliqué au collecteur

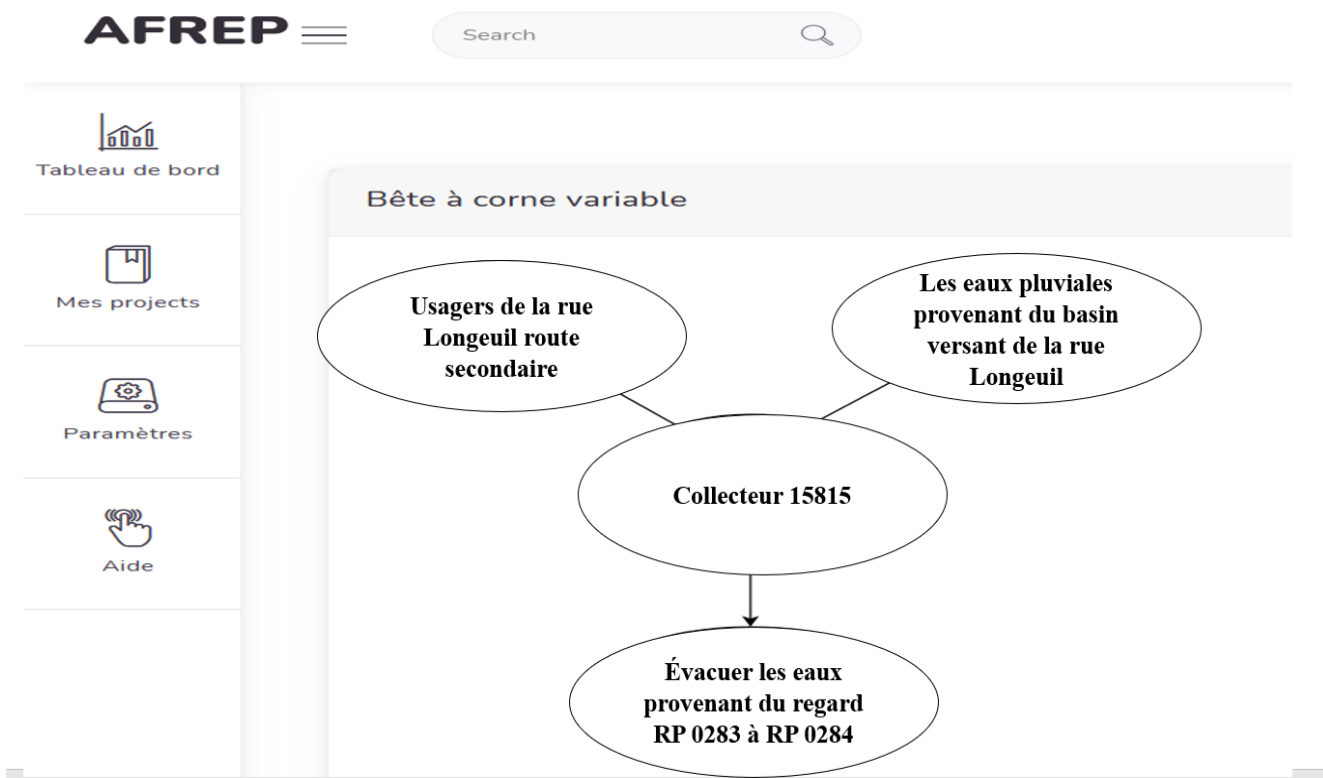


Figure 5-8 : Diagramme de la bête à cornes appliqué au collecteur d'égout pluvial

5.4.4. Identification des éléments du milieu extérieurs (EME) au collecteur 15815

Le diagramme de la pieuvre implique de faire l'inventaire des éléments du milieu environnant le système puis de dresser la liste des fonctions découlant des interactions entre le système et ces éléments. Les éléments du milieu environnant sont énumérés ci-dessous.

✓ Les bassins versants (EM1) :

Il est important de contrôler les débits entrants au collecteur 15815 car en cas de pluie diluvienne, les refoulements peuvent entraîner des surcharges. La ligne piézométrique indique la hauteur des eaux dans les regards et permet d'identifier zones défectueuses. Il est donc nécessaire de mesurer le débit pour bien décrire l'hydrogramme, surtout en ce qui concerne les pointes. Il existe plusieurs techniques et outils pour la mesure des débits [36]:

- **Le débitmètre électromagnétique** est recommandé pour le comptage, la régulation, la surveillance ou le dosage/remplissage de tout liquide conducteur.

- **Le débitmètre massique à principe Coriolis** est un appareil capable de mesurer simultanément le débit (massique et volumique), la densité, la température et la viscosité de tout liquide ou gaz.
- **Le débitmètre vortex** est la solution universelle pour le comptage de débit volumique et massique de tout liquide, gaz ou vapeur.
- **Le débitmètre massique thermique** est préconisé pour mesurer directement le débit massique et la température de tout gaz industriel (air, gaz naturel, azote, biogaz, dioxyde de carbone, etc.).
- **Le débitmètre à ultrasons** est préconisé pour mesurer directement le débit volumique de tout liquide. Cette technologie permet une mesure avec ou sans contact avec le fluide.

✓ Eau de ruissellement (EM2) :

Elle est essentielle puisque les précipitations représentent la variable d'entrée du système d'assainissement. La pluie est un phénomène variable dans le temps et l'espace et sa mesure est généralement faite point par point et exprimés en termes d'intensité en fonction du temps (ou hyétogramme). Les paramètres à mesurer dans cette catégorie sont :

- Intensité de la pluie
- Durée de la pluie
- Coefficient de ruissellement
- Qualité des eaux ruisselées

✓ La pollution

Elle doit se faire de façon simultanée, en temps sec ou en temps de pluie. Cette mesure se fait généralement en termes de concentration en fonction du temps (pollutogramme). Les paramètres à mesurer dans cette catégorie sont :

- MES, sur eau brute,
- DCO (demande chimique en oxygène),
- DBO5 (demande biologique en oxygène),
- N-NH₄, sur eau brute,

La détermination d'un pollutogramme nécessite la réalisation d'une procédure analytique qui comprend généralement :

- L'échantillonnage,
- Le transport des échantillons,
- La conservation des échantillons,
- L'analyse physico-chimique.

✓ La nappe d'eau (EM3)

Les défauts structuraux observés dans la conduite peuvent entraîner des infiltrations si la conduite est installée sous le niveau de la nappe phréatique. Il y aura la formation des vides à l'extérieur de la conduite.

✓ Type de sol (EM4)

Les données sur l'utilisation actuelle et avenir des sols est un paramètre essentiel pour l'évaluation de la performance hydraulique d'un réseau dans le sens où elles conditionnent la quantité et la qualité des eaux ruisselées.

✓ La fondation (EM5)

Lors de la conception du réseau d'égout pluvial, les charges externes liées au poids du sol peuvent nuire la stabilité de la conduite enterrée.

✓ Sédiments (EM6)

Les dépôts de sédiments peuvent perturber l'écoulement de l'eau à l'intérieur du collecteur et provoquer des blocages partiels, causant ainsi une réduction de la capacité hydraulique [29].

5.4.5. Liste des fonctions : FP (Fonction principale) et FC (Fonction contrainte)

La liste des fonctions principales (FP) et des fonctions contraintes (FC) :

- ✓ FP : Évacuer les eaux pluviales provenant du regard RP0283 au regard RP0284
- ✓ FC1 : Contrôler les eaux de ruissellement provenant du sous-bassin de la rue de Longueuil route secondaire
- ✓ FC2 : Définir les paramètres environnementaux et évaluer leurs impacts à l'échelle du sous-bassin
- ✓ FC3 : Contrôler le débit qui arrive à l'exutoire RP0284

- ✓ FC4 : Dois supporter le poids des terres et les charges dynamiques
- ✓ FC5 : Évaluer l'impact environnemental des bâtiments se situant au-dessus du collecteur 15815
- ✓ FC6 : Contrôler la nappe d'eau qui est proche du sous-bassin

La figure 5.9 présente le diagramme de la pieuvre générée par l'outil.

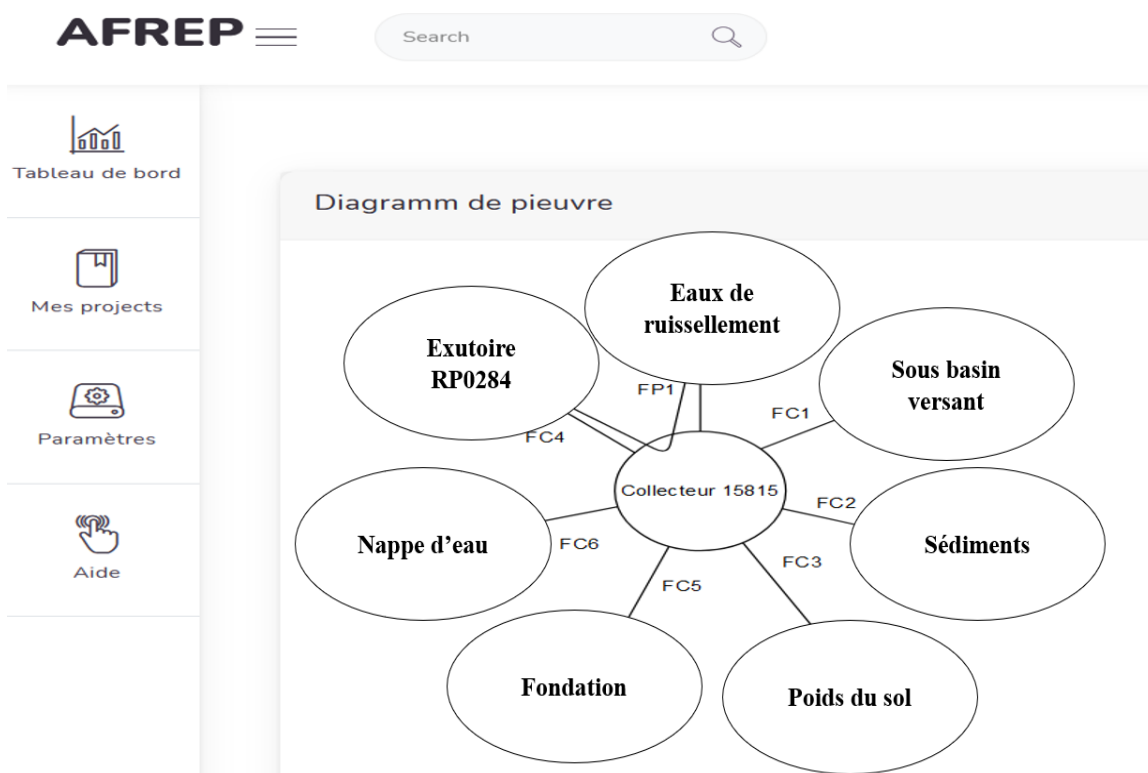


Figure 5-9 : Diagramme de la pieuvre générée par l'outil AFREP

Par la suite, nous allons continuer la simulation pour pouvoir générer le diagramme de la SADT. Cette dernière est composée des données d'entrée / Matières d'œuvre d'Entrées (MOE), les matières d'œuvre sortantes et le cahier des charges :

Données d'entrée / Matières d'œuvre d'Entrées (MOE) : Les données d'entrée sont les matières d'œuvre modifiées par la fonction du système. Dans le cas du collecteur 15815, ces données d'entrées peuvent être des polluants, des sédiments, des eaux de pluie, des nutriments, des matières en suspension, etc.

Les matières d'œuvre sortantes : Dans le cas du collecteur 15815, ces données sortantes peuvent être de l'eau de la pluie.

La figure 5.10 présente le diagramme de la SADT générée par l'outil

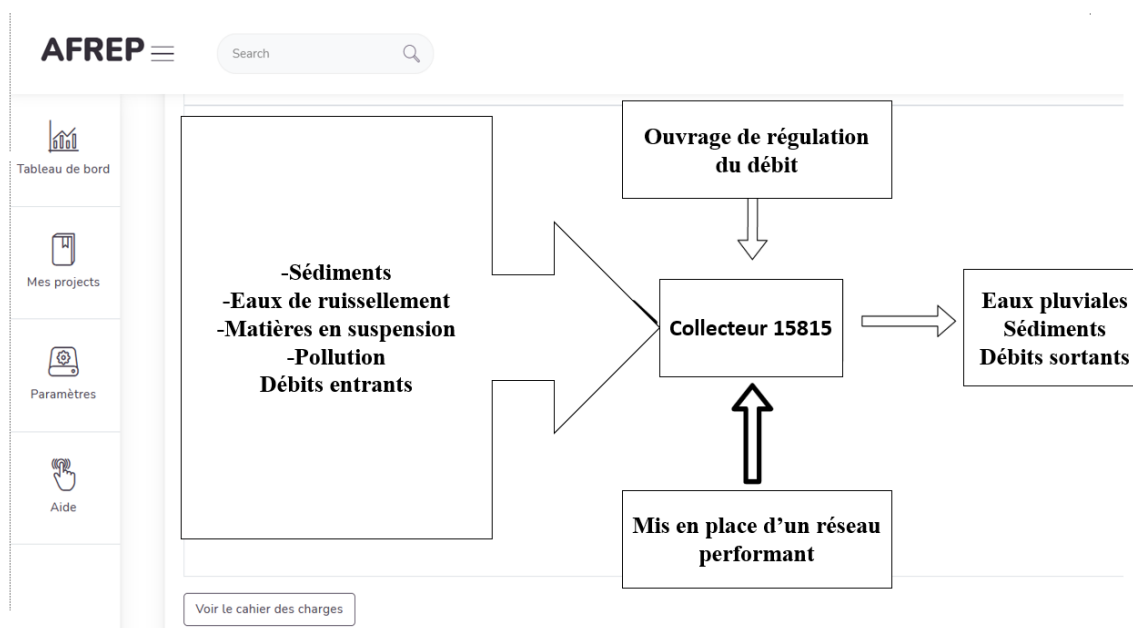


Figure 5-10 : Diagramme de la SADT générée par l'outil AFREP

A ce propos, nous allons continuer l'analyse fonctionnelle interne en générant le diagramme du FAST avec l'outil informatique AFREP. La méthode FAST permet la création d'un diagramme qui détaille la façon de réaliser la fonction de service en divisant celle-ci en fonction secondaire puis en attribuant des solutions techniques à ces fonctions. Ainsi, ce diagramme permet de comprendre la logique dans la réalisation d'une fonction, soit le comment (Rhouzlane, 2020). Donc pour chaque fonction technique, il faudra proposer une ou des solutions techniques.

La figure 5.11 présente le diagramme de Fast généré par l'outil AFREP

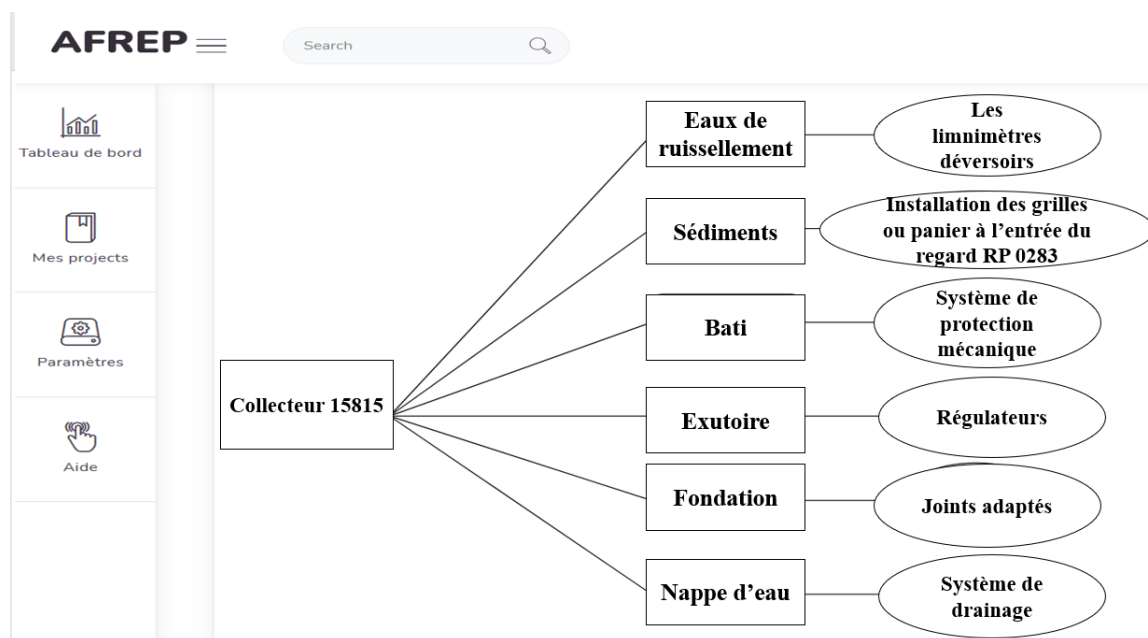


Figure 5-11 : Digramme de Fast généré par l'outil AFREP

Pour terminer, l'outil aide l'utilisateur à déterminer pour chaque fonction technique, ses critères d'appréciation, ses objectifs et ses niveaux de flexibilité.

La figure 5.12 montre le cahier des charges généré par l'outil AFREP

Fonction	Critère d'appréciation	Objectifs	Flexibilité
Les eaux de ruissellement	Pente, vitesse d'écoulement, hauteur piézométriques, débit entrant et sortant.	Évacuer rapidement des eaux pluviales	<p>Diamètre minimale =300mm, Diamètre aval \geq Diamètre amont au niveau d'un regard</p> <p>Profondeur couronne intérieur aval \geq Profondeur des couronnes intérieures amont au niveau d'un regard</p> <p>Recouvrement minimale=2m</p> <p>Ne pas utiliser le coefficient de rugosité de Manning $\leq 0,013$ pour la conduite</p> <p>$V_{max} = 3\text{m/s}$ et $V_{max} = 3\text{ m/s}$</p>
Bassin versant	<p>Temps de concentration</p> <p>Temps de base</p> <p>Débit de point</p> <p>Coefficient de ruissellement</p>	<p>Contrôler les eaux de ruissellement permet de faire des prévisions hydrologiques</p>	Aucune

Figure 5-12 : Cahier des charges généré par l'outil AFREP

Environnement	Eau (Température, climat, précipitation) Air (cours d'eau, affluents) Sol (type de sol, occupation, stade sismique)	Réduire la pollution, Protéger l'habitat faunique	Exemple de la ville de Saint-Hacinthe: Température 38 degré, climat continental humide, Rivière Yamaska
Poids des terres, charge dynamique, Charge statique	Cote potentiel de blocage (CBI) Force de traction	Permet de supporter les charges externes et internes	1 nettoyage par an 2 nettoyage par an 3 nettoyage par an

Figure 5-12 : Cahier des charges généré par l'outil AFREP (suite)

5.5. Évaluation des indicateurs de performances avec l'outil AFREP

La détermination des indicateurs est basée sur les défauts structuraux, fonctionnels et hydrauliques observés lors de l'inspection selon le protocole PACP. La cote de la pire anomalie structurale rencontrée est retenue pour attribuer la cote structurale du collecteur 15815 est la cote 5, elle dépend de la hiérarchie de la conduite.

Les figures 5.13 et 5.14 montrent les résultats de l'évaluation des indicateurs EPL avec l'outil AFREP.

AFREP

- Tableau de bord
- Mes projects
- Paramètres
- Aide

Déterminer l'indicateur EPL-1 (Etat structureL_inspection)

Statut Conduite
Mauvais

Hierarchie Conduite
Niveau (II)

Code Conduite
4-6

Niveau Maxima Pacp
Niveau Maxima Pacp

Déterminer l'indicateur EPL-2 (Problème Hudraulique_Registrer)

Nombre Refoulement
0

Frequence Nettoyage
1 nettoyage / an

Cote Indicateur Epl2
1

Figure 5-13 : Évaluation des indicateurs EPL -1 et EPL-2 avec l'outil AFREP

AFREP

- Tableau de bord
- Mes projects
- Paramètres
- Aide

Déterminer l'indicateur EPL-3 (Défauts fonctionnels)

Probleme Fonctionnel
Incrustation (DAE)

Cote Indicateur Epl3
4

Déterminer l'indicateur EPL-4 (Défauts fonctionnels)

Probleme Capacite Actuelle
MWL-Niveau d'eau de 5 %

Probleme Capacite Future
Pluie récurrente > 10 à 25 ans

Cote Indicateur Epl4
1

Figure 5-14 : Évaluation des indicateurs EPL -3 et EPL-4 avec l'outil AFREP

La figure 5.15 présente la répartition graphique des indicateurs EPL générée par l'outil AFREP

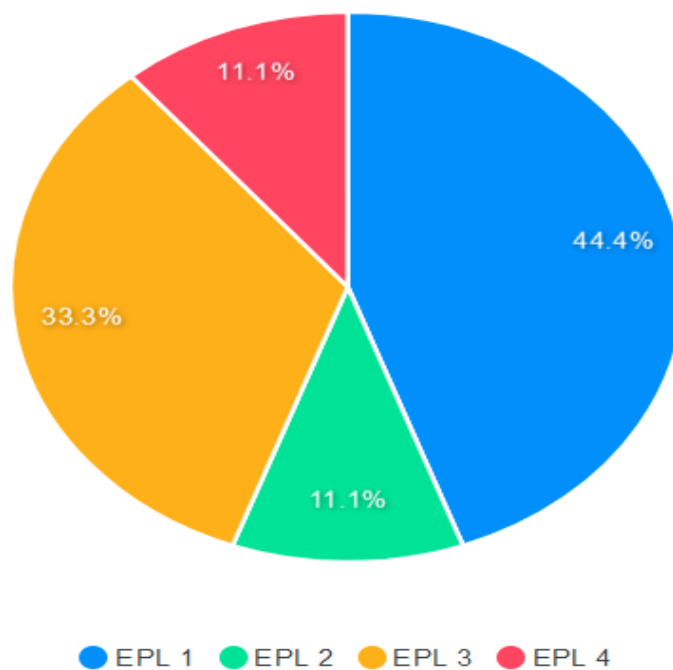


Figure 5-15 : Répartition graphique des indicateurs EPL Générée par l'outil AFREP

5.6. Évaluation du pointage rapide du PACP

Le tableau 5.6 présente la liste des défauts structuraux, leur nombre et leur cote d'opération.

Tableau 5-6 : Liste des défauts structuraux, leurs nombres et leurs cotes

Types de défauts	Nombre de défauts	Cote structurale (CS)	Cote d'opération et d'entretien (COE)
Raccordement à la masse pénétrant	1	-	5
2 Raccordements à la masse défectueux, présence de vide et infiltration	3	-	3
Fissures longitudinales	1	2	-
Fissures multiples	1	3	-
Éclat de surface au joint	2	2	-
Raccordement à la masse pénétrant	1	-	4
Paroi manquante	1	5	-
Agrégats manquants	2	4	-

Total de 12 défauts structuraux avec les niveaux associés

- 1 défaut de niveau 5
- 2 défauts de niveau 4
- 1 défaut de niveau 3
- 3 défauts de niveau 2

Total de 12 défauts d'opération et d'entretien avec les niveaux associés

- 1 défaut de niveau 5
- 1 défaut de niveau 4
- 3 défauts de niveau 3

Le tableau 5.7 indique les résultats de l'indice de l'état structural du collecteur 15815.

Tableau 5-7 : Résultats de calcul de l'indice de l'état structural du collecteur 15815

Niveau	Défauts		Pointage de la section	
	Structural	O & E	Structural	O & E
5	1	1	5	5
4	2	1	8	4
3	1	3	3	9
2	3	0	6	0
1	0	0	0	0
Pointage global de la conduite			22	18
Indice de l'état de la conduite			1.83	1.5

La moyenne des pointages d'évaluation d'état du collecteur 15815 pour les défauts structuraux est supérieure à la moyenne des pointages pour les défauts d'opération et d'entretien ($1.85 > 1.5$).

5.2.1. Calcul de l'indice d'état de la conduite pour les défauts fonctionnels

Le tableau 5.8 présente la liste des défauts fonctionnels, leurs nombres et leurs cotes d'opération.

Tableau 5-8 : la liste des défauts fonctionnels, leurs nombres et leurs cotes.

Types de défauts	Nombre de défauts	Cote potentielle de blocage (CPB)	Cote d'opération et d'entretien (COE)
Infiltration	7	2	2
Dépôts attachés d'incrustation	6	2	2
Dépôts attachés d'incrustation	1	4	4
Dépôts attachés d'incrustation Dépôts	2	3	3

Total de 16 défauts fonctionnels avec les niveaux associés

- 0 défaut de niveau 5
- 1 défaut de niveau 4
- 2 défauts de niveau 3

- 6 défauts de niveau 2

Total de 12 défauts d'opération et d'entretien avec les niveaux associés

- 0 défaut de niveau 5
- 1 défaut de niveau 4
- 2 défauts de niveau 3
- 7 défauts de niveau 2

Le tableau 5.9 présente les résultats de calcul de l'indice de l'état de la conduite 15815

Tableau 5-9 : Résultats de calcul de l'indice de l'état fonctionnel de la conduite 15815

Niveau	Défauts		Pointage de la section	
	Fonctionnel	O & E	Structural	O & E
5	0	0	0	0
4	1	1	4	4
3	2	2	6	6
2	6	7	12	14
1	0	0	0	0
Pointage global de la conduite			22	24
Indice de l'état de la conduite			2.4	2.4

5.7. Évaluation des défauts continus dans le collecteur

Le tableau 5.10 présente les calculs de pointage pour l'évaluation des défauts continus

Tableau 5-10 : Calcul des pointages pour l'évaluation des défauts continus dans le collecteur

		Niveau	Nombre de défauts		Pointage de section	
			Structuraux	O&E	Structural (C) x (D)	O&E (C) x (E)
Défauts ponctuels	5	1	1	5	5	
	4	1	3	4	12	
	3	1	3	3	9	
	2	3	0	6	0	
	1	0	0	0	0	
Défauts continus	Longueur (m)		(B) / 1,5	(B) / 1,5	(C) x (D)	(C) x (E)
SO4-F04	1,04	4	1	0	4	0
S01-F01	89,90	1	60	0	60	0
S02-F02	81,43	2	0	55	0	110
S03-F03	36,36	3	25	0	75	0
			Σ (D)	Σ (E)		
	Total des défauts :		92	7		
					Σ (F)	Σ (G)
				Pointage global :	82	26
					(F17) / (D15)	(G17) / (E15)
				Indice d'état :	0,9	3,7
	Pointage rapide :		5141	5143		

Le pointage 5141 signifie :

- Le premier est la cote (niveau de sévérité) maximale de la section du collecteur 15815. Dans le cas du collecteur cette valeur est égale à **5**.
- Le second est le nombre total d'occurrences (c'est-à-dire le nombre de défauts) de cette côte. On note **1** seul défaut de cote 5
- Le troisième caractère est la deuxième cote la plus élevée parmi les défauts apparaissant le long du collecteur 15815. Cette cote est égale à **4**

Le quatrième caractère est le nombre total d'occurrences de cette seconde cote la plus élevée. Cette valeur est égale à **1**.

5.8. Prise de décision

Pour améliorer la durée de vie utile du collecteur 15815, nous proposons à la municipalité de la ville de Saint-Hyacinthe les deux options suivantes afin de prolonger la durée de vie du collecteur 15815 :

- Intervention ponctuelle sur chaque défaut observé dans le collecteur 15815
- Réhabilitation du collecteur 15815 par chemisage structural sur toute sa longueur :

La réhabilitation est une réparation in situ qui permet de prolonger la durée de vie utile d'une conduite défectueuse, la technique de réhabilitation par chemisage consiste à installer une gaine à l'intérieur du collecteur [37]. Nous choisissons la deuxième option parce que cette solution est la plus économique.

Le coût d'un chemisage structural sur le collecteur 15815 de 90.7 m sur toute sa longueur est estimé comme suit :

- | | |
|--|------------------|
| • 90.7 mètres linéaires x 475\$/mètre = | 43082.5 \$ |
| • Colmatage par injection des raccordements = 5 unités x 460 \$= | <u>2300\$</u> |
| • Total = | 45382,5\$ |

Il est à noter que nous avons considéré les coûts unitaires donnés dans le manuel des réseaux d'égouts pathologies-diagnostics et interventions.

CHAPITRE 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce rapport il a été question de l'analyse fonctionnelle appliquée aux réseaux d'eau pluviale. Dans un premier temps, une présentation de l'analyse fonctionnelle a été effectuée. Puis, La démarche de l'analyse fonctionnelle a alors été appliquée pour un d'égout pluvial de la ville de Saint-Hyacinthe. L'analyse structurelle et fonctionnelle a été présentée dans ce travail. L'analyse structurelle permet de décomposer le réseau d'eau pluviale, ces infrastructures linéaires et ponctuelles, de façon hiérarchique et schématique tout en montrant les interactions entre les différents systèmes. L'analyse fonctionnelle permet de répondre au besoin du réseau d'égout pluvial et permet ainsi d'identifier des solutions techniques et des étapes pour répondre à ce besoin. En suite un algorithme permettant l'application systématique de l'analyse fonctionnelle à n'importe quel cas a été présenté. L'analyse fonctionnelle accompagne le gestionnaire à identifier facilement les besoins du système à travers le diagramme de la bête à cornes, ses interactions entre le système et les sous-systèmes, entre le système et le milieu environnant à travers le diagramme de la pieuvre, ses fonctions techniques et solutions techniques à travers le diagramme du système technique d'analyse des fonctions du diagramme technique d'analyse structurée.

La méthodologie suivie consiste à collecter des données provenant des plans d'intervention des inspections télévisées, par la suite un algorithme a été proposé pour montrer les différents jalons de notre recherche, la suite des opérations à réaliser. L'outil informatique a été développé en utilisant le langage de programmation orienté objet Php. Un thème Laravel a été utilisé pour avoir directement accès au code et faciliter la programmation. L'outil informatique développé est composé de différentes interfaces qui permettent d'organiser les données, d'accompagner l'utilisateur à définir ces besoins en répondant aux questionnaires. Ensuite, cet outil a permis d'analyser structurellement et fonctionnellement le collecteur 15815 et d'évaluer les indicateurs de performance.

Les résultats montrent que les défauts structuraux et fonctionnels observés dans le collecteur 15815 sont plus nombreux que les défauts hydrauliques et que pour pallier ces problèmes, Il a été proposé de faire une réhabilitation structurale par chemisage sur toute la longueur de la conduite.

L'outil développé pourrait être lié avec les outils d'analyses hiérarchiques multicritères ou analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC), Il pourrait être utilisé dans des études ultérieures en incluant des commandes pour l'évaluation fonctionnelle des indicateurs des réseaux d'eau potable, des réseaux d'eau usée, des stations d'épuration et une interface pour le choix des solutions techniques pour la réhabilitation des réseaux d'eaux urbains.

Bibliographie

- [1] S. Bennis, «Méthodologie de partage des responsabilités de refoulement entre les tronçons d'un réseau de drainage urbain,» *Vecteur Environnement*, pp. vol. 32, n° 3. p. 44-51., 1999.
- [2] G. Rivard, *Gestion des eaux pluviales en milieu urbain 2 ème édition*, Laval: Bibliothèque national du Quebec, 2005.
- [3] d. R. e. o. d. t. Ministère des affaires municipales, «Guide d'élaboration d'un plan d'intervention pour ler renouvellement des conduites d'eaux potables, d'égouts et des chaussées,» Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014.
- [4] Z. Bouchriha, «L'analyse fonctionnelle, de la méthode aux outils ... 1. Intérêt et but de l'analyse fonctionnelle,» Available: https://www.academia.edu/31708020/LANALYSE_FONCTIONNELLE_DE_LA_METHODE_AUX_OUTILS_1._INTERET_ET_BUT_DE_LAN, 2009. [En ligne].
- [5] C. Cremona, *Application des notions de fiabilité à la gestion des ouvrages existants*, PONTSCHAUS, 2003.
- [6] A. Villmeur, *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*, Paris: Eyrolles, EDF, 1997, p. 798 p.
- [7] G. Zwingelstein, «La maintenance basée sur la fiabilité,» *Paris : Hermès*, n° %1978-2866015459, p. 666 pages, 1996.
- [8] D. S. e. Al, «Évaluation des ouvrages hydrauliques de génie civil,» *Canadian Geotechnical Journal*, 18 Janvier 2008.
- [9] F. Huguette, «Méthodologie pour l'anlyse fonctionnelle des ouvrages hydrauliques à grand linéaire,» *Cemagref*, p. Thème 1, 2011.
- [10] S. Lhomme, «Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain - Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine.,» *Géographie. Université Paris-Diderot - Paris*, 2012.
- [11] Merzouk Charrared, «Durabilité des systèmes d'assainissement algériens. Etude de l'aspect fonctionnel du système de la ville de Jijel,» *NOVATECH*, 2010.

- [12] J. Bengassem, «Élaboration d'un système d'aide au diagnostic hydraulique et structural des réseaux d'assainissement urbains. Thèse de doctorat électronique,» *École de technologie supérieure.*, p. Chapitre 2, 2001.
- [13] F. Brière, *Distribution et collecte des eaux*, Montréal, Montréal: Presses internationales polytechnique, 2012.
- [14] i. e. A. Luc Bégin, «Guide d'inspection télévisée des réseaux d'égouts,» Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines, Montréal, 2018.
- [15] MDDEFP, «GUIDE DE GESTION DES EAUX PLUVIALES,» Gouvernement du Québec, 2017.
- [16] Infraguide, «Guide national pour des infrastructures municipales durables,» Fédération canadienne des municipalités, Québec, 2014.
- [17] D. P, «La méthode reliasep utilisée pour l'analyse fonctionnelle de grands systèmes,» DIRECTION DES ETUDES ET RECHERCHE SERVICE REFACTEURS NUCLEAIRES ET ECHANGEURS DEPARTEMENT ETUDES DE SURETE ET DE FIABILITE, France, 1997.
- [18] A. M. Crausaz, «GESREAU. Outil d'aide à la gestion des eaux, application au canton de Vaud,» Texas Instrument, l'Etat de Vaud- Suisse, 1996.
- [19] S. L'homme, «Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain- Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine,» *Géographie Université Paris-Diderot - Paris VII.*, p. 365, 2012.
- [20] A. M. Plante, «Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire. Application Territoires,» Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines, Montréal, 2015.
- [21] G. Domnadiou, «Gérard Domnadiou & Michel Karsky, La systémique,» penser et agir dans la complexité,» *Liaisons*, p. page 2, 2002.
- [22] Biotechnologie, «<https://www.alloprof.qc.ca>,» La loi de la conservation de l'énergie, 1 Avril 2021. [En ligne].
- [23] G. Québec, «<https://www.environnement.gouv.qc.ca>,» Aspect hydraulique pour l'analyse et la conception des réseaux de drainage, Mai 2016. [En ligne]. [Accès le 2021].
- [24] F. AUDRY, «Guide pour le professeur Analyse Fonctionnelle,» *P. TAILLARDIA-IPRSTI.*, p. Chapitre 3, 2010.

- [25] B. Yannou, " Chapitre 3 : Analyse de la Valeur ", in Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils,, Paris: Hermes, vol. ISBN 2-86601-694-7, 1998, p. 77-10, 1998.
- [26] G. Zwingelstein, «La maintenance basée sur la fiabilité,» *Paris, Hermès*, 1996.
- [27] Rhouzlane, *Chapitre 2 : Les outils d'analyse fonctionnelle*, Montréal, Québec: Moodle, Polytechnique Montréal, 2020.
- [28] CERIU-Nassco, *Programme de certification visant l'évaluation de l'état de la conduite*, Montréal, Québec: Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines, 2021.
- [29] CERIU-NASSCO, «Programme de certification Visant l'évaluation de l'etat des conduites,» Centre d'experise et de recherche en infrastructures urbaines, Montréal, 2009.
- [30] Insolus, «<https://webojob.ch/technologies/php/laravel>,» 5 Novembre 2020. [En ligne].
- [31] Laravel, «<https://laravel.com/>,» Laravel Partners, 2011. [En ligne].
- [32] M. Fuamba, «Modélisation hydraulique des réseaux unitaire et sanitaire,» École polytechnique de Montréal, Montréal, 2010.
- [33] G. quebec, « ville.st-hyacinthe.qc.ca,» 2008. [En ligne].
- [34] G. Quebec, «<https://www.ville.st-hyacinthe.qc>,» Avril 2021. [En ligne].
- [35] CIMA+, «Rapport d'analyse de l'inspection télévisée avec caméra conventionnelle du réseaux d'eaux urbains de la ville de Saint hyacinthe,» Saint-Hyacinthe, 8 Décembre 2016.
- [36] S. Rhouzlane, «Rapport interne, projet de gestion à temps réel des réseaux d'eux pluviales,» Maroc, 2010.
- [37] S. Rhouzlane, «Rapport de standarisation des techniques de réhabilitation,» EHTP-EMSI-Polytechnique Montéal, Maroc-Canada, 2010.
- [38] zeinab, «Zeineb, Bouchriha.L'analyse fonctionnelle, de la méthode aux outils ... 1. Intérêt et but de l'analyse fonctionnelle . [En ligne]. Available: https://www.academia.edu/31708020/LANALYSE_FONCTIONNELLE_DE_LA_METHODE_AUX_OUTILS_1._INTERET_ET_BUT_DE_LAN,» 2009.

ANNEXES A

Détail de l'inspection du collecteur 15815.

Notons que ces données ont été fournies par l'entreprise Aquadata.inc

Distance (m)	Code Groupe / Descripteur / Modificateur	Anomalie	Défaut continu	Mesure Dimension 1	Mesure Dimension 2	Mesure %	Joint	Référence horaire A/De	Référence horaire A	Remarques	CS	CPB	COE	Photos des anomalies
0	AMH	Caractéristiques de construction->Points d'accès->Regard								RPO283	N/D	N/D	N/D	Oui
0	MWL	Divers->Caractéristiques diverses->Niveau d'eau				15%					N/D	1	N/D	Oui
0	SRI	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Rugosité accrue	S01					7	5		1	N/D	N/D	Oui
1	IS	Opération->Infiltration->Trace	S02					7	5		N/D	N/D	N/D	Oui
2,79	TBI	Caractéristiques de construction->Branchement->À la masse - Pénétrant		200	175	50%		1	2	Actif	N/D	5	5	Oui
2,79	TBD	Caractéristiques de construction->Branchement->À la masse - Défectueux		200				1	2	Vide et infiltration autour vue de face	N/D	N/D	3	Oui
2,79	IW	Opération->Infiltration->Suintement							3	Au pourtour du raccordement, vue de face	N/D	N/D	2	Oui
4,35	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				10%	1	7	10		N/D	2	2	Oui
5,93	MWL	Divers->Caractéristiques diverses->Niveau d'eau				10%					N/D	1	N/D	Oui
7,97	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				10%	1	5	7		N/D	2	2	Oui
8,49	MWL	Divers->Caractéristiques diverses->Niveau d'eau				5%					N/D	1	N/D	Oui
9,04	CI	Condition structurale->Fissure->Longitudinale					1	12			2	N/D	N/D	Oui
17,39	MWL	Divers->Caractéristiques diverses->Niveau d'eau				10%					N/D	1	N/D	Oui
20,71	MWL	Divers->Caractéristiques diverses->Niveau d'eau				15%					N/D	1	N/D	Oui
30,01	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				15%		2	4		N/D	3	3	Oui
31,17	CM	Condition structurale->Fissure->Multiple					1	1	2	Vue de face	3	N/D	N/D	Oui
35,1	SSS	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Écaillage					1	9	12	Vue de face	2	N/D	N/D	Oui
36,05	TBD	Caractéristiques de construction->Branchement->À la masse - Défectueux		375				1	9	Actif, Vide autour	N/D	N/D	3	Oui
36,05	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				25%	1	6	7		N/D	4	4	Oui
36,05	MGO	Divers->Caractéristiques diverses->Observation générale								Vue interne du branchement dépôts	N/D	N/D	N/D	Oui
36,26	SMW	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Paroi manquante					1	11	12	Vue de face	5	N/D	N/D	Oui
37,45	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				10%	1	8	12		N/D	2	2	Oui
41,17	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				15%	1	7	8		N/D	3	3	Oui
53,54	SAV	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Agréats visibles	S03					5	7		3	N/D	N/D	Oui
54,58	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				10%	1	4	11		N/D	2	2	Oui
54,58	IW	Opération->Infiltration->Suintement					1	4	11	Vue de face	N/D	N/D	2	Oui
55,7	IW	Opération->Infiltration->Suintement					1	2	4		N/D	N/D	2	Oui
55,7	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				15%	1	6	8		N/D	3	3	Oui
58,48	TBI	Caractéristiques de construction->Branchement->À la masse - Pénétrant		100	100	30%	1	10		Actif	N/D	4	4	Oui
58,48	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				25%	1	7	8	Sous le raccordement	N/D	4	4	Oui
58,48	TBD	Caractéristiques de construction->Branchement->À la masse - Défectueux		100				10		Vide et infiltration autour vue de face	N/D	N/D	3	Oui
58,48	IW	Opération->Infiltration->Suintement						9	10	Au pourtour du raccordement, vue de face	N/D	N/D	2	Oui
59,54	SSS	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Écaillage					1	7	8		2	N/D	N/D	Oui
59,54	IW	Opération->Infiltration->Suintement					1	7	8	Vue de face	N/D	N/D	2	Oui
69,3	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				10%	1	7	8		N/D	2	2	Oui
75,27	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				10%	1	3	7		N/D	2	2	Oui
75,27	SAM	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Agréats manquants	S04					4	5	Vue de face	4	N/D	N/D	Oui
76,31	SAM	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Agréats manquants	F04					4	5		4	N/D	N/D	Oui
77,62	IW	Opération->Infiltration->Suintement					1	12	5		N/D	N/D	2	Oui
81,43	IS	Opération->Infiltration->Trace	F02				1	8	11	Défaut serpentant	N/D	N/D	N/D	Oui
82,53	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				15%	1	8	9		N/D	3	3	Oui
82,53	IW	Opération->Infiltration->Suintement					1	8	9	Vue de face	N/D	N/D	2	Oui
83,9	DAE	Opération->Dépôts->Attachés->Incrustation				15%	1	7	12		N/D	3	3	Oui
89,9	SRI	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Rugosité accrue	F01					10	2		1	N/D	N/D	Oui
89,9	SAV	Condition structurale->Domage à la surface (H2S)->Agréats visibles	F03					2	10	Défaut serpentant	3	N/D	N/D	Oui
90,78	AMH	Caractéristiques de construction->Points d'accès->Regard								RPO284	N/D	N/D	N/D	Oui