

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Evaluation des indicateurs de performance dans un réseau
d'assainissement urbain.**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0043-17

APA Citation (APA توثيق):

**Yahyaoui, Amina (2017). Evaluation des indicateurs de performance dans un réseau
d'assainissement urbain[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique

Option: ASSAINISSEMENT

THEME DU PROJET :

**Évaluation des indicateurs de performance dans un réseau
d'assainissement urbain**

PRESENTE PAR

Yahyaoui Amina

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms	Grade	Qualité
M.K MIHOUBI	Professeur	Président
A.ADDOU	M.A.A	Membre
S.TOUMI	M.C.B	Membre
A.RASSOUL	M.C.A	Promoteur

2016 - 2017



Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagés avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime mais surtout :

A mes parents qui ont toujours été les étoiles de mon ciel et ont illuminé mon chemin depuis ma naissance, je ne les remercierai jamais assez que Dieu me les garde



Je le dédie également à toute ma famille et mes amies

A toute ma promotion 2017 sans exception ;

A tout les enseignants de l'ENSH qui m'ont accompagné durant mes études ;

A toute personne utilisant ce document pour un bon usage.



Yahyaoui Amina





Remerciements



Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à mes parents pour avoir contribué à l'élaboration de cette présentation de thèse et à ma formation durant les années d'études.

Je remercie également tous mes enseignants et particulièrement, mon promoteur Ms Rasoul.



Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier notre travail.



Tous le corps de l'enseignant de l'ENSH qui ont contribué de loin ou de près à ma formation au sein de l'établissement.

Je remercie tous les membres de ma famille et de mes amis qui m'ont porté leur soutien et leurs précieux conseils.



Yahyaoui Amina

ملخص

التمتع البلديات في الجزائر السنفادة دائما من عمليات التفتيش التانزبونية المتعلقة بشبكات الصرف الصحي المتدمورة حتى يتم التدخل لمعرفة حالاتها.

و أأل ذلك فؤد نظرانا في هذه المذكورة إعداء نموذج احتمالي لتؤبم حالة الشبكة) التشغيل و الصيانة(حيت يعتمد هذا الأخير علي التراجع الوجودي من عدد الحدود كما انه يستطيع إظهار تدهور القناة خالل الزمن.

اسنادا علي النتائج المأحصل عليها خالل هذه الدراسة, فؤد نوع هذا النموذج بشكل صحيح نسبة نجاح 57% حالة (الؤناة) ئناة ني حالة جيدة, ئناة في حالة مؤبولة و الأخرة في حالة سؤئة (و يؤترح هذا النموذج من بين أدوات أخرى لمساعدة مديري نضام الصرف الصحي في نوع الفشل.

Résumé

La plupart des municipalités en Algérie font face à des problèmes liés à la détérioration des conduites d'assainissement urbain.

Étant donné les contraintes budgétaires, les municipalités ne sont pas toujours en mesure D'effectuer des inspections télévisées (CCTV) afin de prévoir le moment d'intervention dans leur réseau. De ce fait, il paraît tout indiqué dans ce travail d'élaborer un modèle probabiliste devant permettre de déterminer le niveau d'opération et entretien des conduites. Basé sur la régression logistique ordinaire, le modèle montre la détérioration des conduites des différents matériaux en fonction du temps.

Le modèle développé a permis de prédire correctement dans 57% de cas la probabilité de transition impliquant une conduite à l'état 2 (bon), état 3(acceptable)et l'état 4(mauvaise).

Ce modèle est suggéré parmi d'autres outils, pour aider les gestionnaires à anticiper le dysfonctionnement des réseaux.

Abstract

Sewer deterioration is a crucial problem in most municipalities in Algeria.

Under already challenging budget constraints those municipalities cannot always afford the use of CCTV inspections to prepare their intervention.

This paper describes a probabilistic model which is proposed to help assess the current conduit operational and maintenance condition. Based on the multinomial logistic regression, the model shows the temporal deterioration of conduits for different types of materials. This model was successfully applied to our case study.

On average, it predicted correctly 57% of outcomes for transition probabilities involving condition 2 (good) ,class 3 (fair) and class 4. It is suggested among other tools to assist sewer system managers in anticipating failures.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Gestion des réseaux d'assainissement urbains	4
Généralité sur le réseau d'assainissement	4
Origine et nature des eaux usées	4
Système d'évacuation du réseau d'assainissement.....	5
Généralités sur la gestion patrimoniale.....	6
Patrimoine de réseau d'assainissement urbain	6
Principes de gestion patrimoniale.....	6
Approches pour l'organisation de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement. 10 I.4	
Défaillances de réseau d'assainissement	11
Détérioration structurale.....	11
Détérioration hydraulique	12
Conclusion.....	13
Chapitre II : Modélisation de détérioration historique du système d'assainissement	15
Revue de la littérature concernant la détérioration hydraulique au cours des dernières décennies	15
Les modèles déterministes	15
Modèles basés sur l'intelligence artificielle	16
Modèles statistiques	17
Objectif et méthodologie	18
Modèle de détérioration hydraulique développée	19
Etape 1 : ITV (inspection télévisé)	19
Etape 2 : Protocole de CERIU/NASSCO	19
Etape 3 : La régression logistique	20
Etude bibliographique	20
Conclusion.....	23
Chapitre III : Définition de la régression logistique	25
Intérêts de la régression logistique	25
Différentes méthodes de régression logistique.....	26
Codage des variables qualitatifs	27

Formulation mathématique de régression logistique.....	27
Sélection des variables explicatives à inclure dans le modèle de régression logistique multiple 30	
Obtention du modèle final	31
Conditions d'application de la régression logistique.....	32
Test global de significativité	32
Calibration du modèle.....	33
Conclusion.....	33
Chapitre IV : Étude de cas : application de l'approche logistique	35
présentation de la zone d'étude	35
Bassin de collecte Port	36
Motivations et objectifs.....	38
Collecte des données	42
Application du modèle	42
Évaluation modèle : Interpréter les résultats d'un modèle logit ordinal	42
Conclusion et recommandation	47
Conclusion générale	48
Références bibliographiques	50
Annexe	55

List des tableaux

Tableau IV.1: Tableau récapitulatif des caractéristiques des collecteurs d'eau usée et pluviale « Port »	37
Tableau IV.2 les données impliquées dans le model développé... ..	42
Tableau IV.3 : Coefficients d'ajustement... ..	43
Tableau IV.4 : Test de l'hypothèse nulle $H_0 : Y=0$	44
Tableau IV.5 Analyse de Type II	44
Tableau IV.6 résultats de la régression logistique ordinale (paramètre du modèle)	45
Tableau IV.7 : Pourcentage correctement prévu (tableau de classification)	46

List des figures

Figure I. 1 : structuration d'une gestion stratégique du patrimoine (<i>Strategic Asset Management Framework Requirements</i>)(FHWA, 1999).....	7
Figure I.2 : le principe de base de la gestion patrimoniale	8
Figure I.3 : les différentes composantes d'une gestion patrimoniale ainsi que leurs relations (A Generic Asset Management System)(FHWA, 1999).....	9
Figure II.1 Étapes de la méthodologie.....	19
Figure IV.1 : Image satellitaire de la ville d'El-kala.....	35
Figure IV.2 : Vue amont de la conduite en Béton DN 800... ..	39
FigureIV.3 : Vue amont de la conduite en Béton DN 40... ..	39
Figure IV.4 : Vue amont de la conduite en PEHD ANNELE DN 400... ..	40
Figure IV.5 : Aval de la conduite en PEHD ANNELE DN 400... ..	40
Figure IV.6 : Vue amont de la conduite en Béton DN300... ..	41
FigureIV.7 : amont de la conduite en Béton DN 300.....	41

Introduction générale

Le système de réseau d'eaux usées est une partie clé de l'infrastructure urbaine, qui devrait marcher précisément, maintenir et entretenir d'une façon prudente, planifiée, durable et basée sur une base scientifique, **Baik et al, 2006**.

Cependant, beaucoup de villes souffrent à cause de la détérioration d'infrastructure d'égout qui laisse les communautés dans un procès psychologique difficile et perturber non seulement des services d'assainissement, mais d'autres événements qui sont liés au service des gens, **Ana et Bauwens, 2007**. Il y a des parties de réseaux d'égout ont déjà été remplacées récemment, mais dans quelques villes il y a toujours les parties de l'égout du l'époque coloniale dans l'utilisation. Beaucoup de parties des réseaux d'égout ont été détériorées donc ils devront être remplacés, réparés ou rénovés pour garantir leur performance nécessaire et éviter la possibilité d'échec.

Là où une inspection visuelle n'est pas possible, les municipalités recourent à des inspections par CCTV (closed circuit television). En dépit du fait d'être efficace, cette pratique est très onéreuse et ne rencontre pas toujours le budget des municipalités. Ainsi, trouver la solution optimale aux nombreux problèmes liés à la gestion des égouts représente un réel défi pour les gestionnaires et les décideurs des réseaux d'assainissement.

La détermination de l'état structural et fonctionnel de ces infrastructures de première importance en vue de leur réhabilitation ou remplacement passe par une meilleure compréhension du processus de détérioration qui s'installe au fil des années.

Ceci implique l'évaluation fréquente des conditions structurales et hydrauliques des conduites, une standardisation du système de pointage et le développement ou la mise à jour des modèles prévisionnels connus. Pour ce faire, il nous paraît essentiel d'élaborer un outil simple permettant de prévoir l'évolution de l'état de dégradation des conduites en fonction du temps. Cet outil devra permettre de prédire l'état hydraulique des conduites notamment en ce qui concerne leur habilité à drainer le débit de design.

Le modèle probabiliste développé à partir de la régression logistique multinomiale repose sur certaines caractéristiques intrinsèques de la conduite : l'âge, le type des matériaux, le type d'effluent et le diamètre.

Le produit final se présente comme une alternative à d'autres moyens d'évaluation existants, offrant de ce fait la possibilité de pouvoir anticiper le moment d'intervention dans le réseau et donc de réduire les effets néfastes liés aux bris intempestifs des conduites.

Donc on cherche à développer un modèle probabilistique tiré de la régression logistique permettant de prédire l'état de conduite en introduisant certaines données comme l'âge, le type de matériaux, le diamètre

Le mémoire est organisé comme suit :

Le chapitre 1 présente une étude sur les réseaux d'assainissement et leur gestion patrimoniale. Dans ce chapitre, on a présenté des éléments de principe sur la gestion patrimoniale et les dysfonctionnements de réseau d'assainissement.

Le chapitre 2 on a présenté le cadre théorique de la revue critique de littérature ainsi que des objectifs.

Le chapitre 3 comporte une formulation mathématique de la régression logistique ainsi que la validation de ce modèle selon les tests et critères d'adéquation.

Et pour le quatrième chapitre est axé essentiellement sur l'élaboration d'un modèle économétrique, le modèle logit ordonné. Les inspections télévisées reprises sur différents supports sont soigneusement étudiées afin de repérer les défauts susceptibles de provoquer un dysfonctionnement hydraulique pouvant se traduire ultimement en une perte de capacité si aucune mesure n'est prise. Le protocole du NASSCO/CERIU, est appliqué pour classer les conduites selon leur état observé et on a terminé par une discussion sur la significativité des paramètres obtenus ainsi que la pertinence des facteurs sélectionnés dans l'élaboration du modèle clos ce chapitre.

Chapitre I

Gestion des réseaux d'assainissement urbains

Chapitre I : Gestion des réseaux d'assainissement urbains

Introduction

Les infrastructures de génie civil, et particulièrement les réseaux d'assainissement, sont nécessaires pour assurer le niveau de qualité de vie des usagers. Ces réseaux d'assainissement urbains sont également en interactions avec le milieu naturel. Les tronçons des réseaux d'assainissement urbains souffrent du vieillissement et de dommages continus.

Cela explique les exigences des réhabilitations de réseaux d'assainissement qui sont proposées pour remédier aux dysfonctionnements observés ou réduire les risques de dysfonctionnements (Vasconcelos & Le Gauffre, 2003 ; Le Gauffre *et al*, 2004).

Généralité sur le réseau d'assainissement

Origine et nature des eaux usées

Les eaux usées proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des précipitations et des infiltrations ; ces catégories d'eaux usées sont communément appelées respectivement eaux domestiques, déchets industriels, eaux pluviales et eaux parasites.

a) Les eaux pluviales

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huile de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...) (Karkar.2010).

b) Les eaux domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, et en eau " vannes " ; il s'agit des rejets des WC, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux. (Karkar.2010).

c) Les eaux du service public

Les eaux de lavage (marché, rues) des espaces publics sont recueillies par les ouvrages de collecte des eaux pluviales, sauf dans le cas d'un système unitaire.

Les autres besoins publics seront pris en compte avec les besoins domestiques. (Karkar.2010).

d) Les eaux industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. (Karkar.2010).

e) Les eaux parasites

Les eaux parasites doivent être mesurées sur le réseau, mais en absence de valeurs mesurées la directive Allemande ATV préconise de prendre un débit d'eau parasite compris entre 0,05 et 0,15 l/s/ha. (Karkar.2010).

Système d'évacuation du réseau d'assainissement

L'établissement du réseau d'une agglomération doit répondre à deux catégories de préoccupation, à savoir :

- Assurer une évacuation correcte des eaux pluviales de manière à empêcher la submersion des zones urbanisées et d'éviter toute stagnation après les averses.
- Assurer l'évacuation des eaux usées ménagères, les eaux vannes, ainsi que les eaux résiduaires industrielles. Il est permis d'imaginer un ou plusieurs réseaux de canalisations où l'effluent s'écoule généralement gravitairement.

Trois systèmes d'évacuation susceptibles d'être mis en service sont :

- Système unitaire.
- Système séparatif.
- Système pseudo séparatif

A) Système unitaire : Le système unitaire est l'héritage du <<tout-à-l'égout>>, né vers 1830.

La notion de <<tout-à-l'égout>> est aujourd'hui à proscrire, car elle suggère que tout et n'importe quoi peut être rejeté dans le réseau d'assainissement. L'ensemble des eaux usées et pluviales est, en système unitaire, évacué par un réseau unique, généralement équipé de déversoirs d'orage, vannages. Permettant, en cas de pluies intenses, le rejet par surverse d'une partie des eaux, vers le milieu naturel soit directement soit après un traitement spécifique. (M. Satin et B. Selmi, (2000))

B) Système séparatif :

Système d'assainissement formé de deux réseaux distincts, l'un pour les eaux usées, l'autre pour les eaux pluviales. C'est un système usuel depuis les années 1970, le réseau d'eaux usées étant seul raccordé à la station d'épuration, le réseau d'eaux pluviales déversant les eaux généralement directement vers un cours d'eau. (Karkar.2010).

C) Système pseudo-séparatif

Dans ce système, une part des eaux pluviales provenant de la voirie est rejetée directement dans le milieu naturel au moyen de caniveaux et de fossés. L'autre part, provenant des toitures, des cours intérieures, est raccordée au réseau des eaux usées. («Ouvrage d'assainissement en béton», 2004, Paris.)

Généralités sur la gestion patrimoniale

Avant de présenter les différentes composantes d'une gestion patrimoniale des infrastructures, il semble indispensable et judicieux d'insister sur quelques définitions du patrimoine et sur quelques informations sur le patrimoine des réseaux d'assainissement urbains (R.A.U).

Patrimoine de réseau d'assainissement urbain

Dans la littérature et concernant la notion de patrimoine, plusieurs définitions, complémentaires ou convergentes, peuvent être relevées. Mais en résumé, un patrimoine : « qu'il soit naturel ou technique (une rivière, un réseau d'assainissement, etc.) peut être vu comme un système doté d'autonomie (réserves et capacités de régulation) destiné à, ou utilisé pour, fournir de l'autonomie à son ou ses titulaire(s) » (Le Gauffre *et al.*, 2001).

« Les réseaux techniques urbains, en particulier ceux de l'assainissement, constituent un patrimoine car ils fournissent un service et ils disposent de capacités à fournir ce service de façon pérenne. Ceci correspond à des capacités de régulation, d'adaptation, et surtout de maintenance, qui dépendent de l'infrastructure physique considérée mais aussi des pratiques de gestion » (Poinard, 2006).

Principes de gestion patrimoniale

La gestion patrimoniale, et particulièrement dans le domaine des réseaux urbains comme les voiries, les réseaux d'eau potable et d'assainissement, a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et développement ces dernières années. Des outils de gestion patrimoniale sont proposés par plusieurs organismes ou groupements. Avant de présenter les différentes approches existantes pour l'organisation de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement, nous rappelons brièvement quelques caractéristiques des problèmes de gestion patrimoniale.

La gestion de patrimoine « se caractérise par la recherche de la maîtrise des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance. Elle comprend deux aspects très liés : la

gestion technique et la gestion financière » (Lair, 2000). La gestion technique consiste à maintenir un niveau de performance requis pendant une durée de vie donnée. Par ailleurs la gestion financière concerne les coûts liés, à la construction, au fonctionnement, à la maintenance et à la réhabilitation (Serre, 2005 ; Vanier, 2001).

Des buts organisationnels, des politiques et des budgets établissent une philosophie évaluative cohérente. La gestion des biens combine la technologie, les analyses mathématiques, la procédure de gestion et la théorie économique (Voir figure 1).

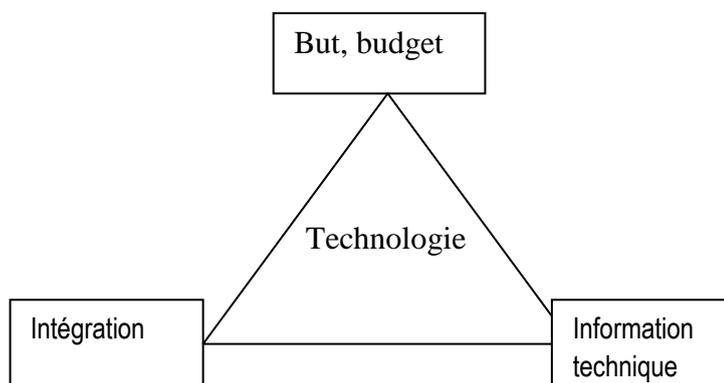


Figure I. 1 : structuration d'une gestion stratégique du patrimoine (*Strategic Asset Management Framework Requirements*)(FHWA, 1999)

La *Federal Highway Administration* (FHWA, 1999) définit la gestion des patrimoines comme étant « un processus systématique de maintien, de mise à niveau et d'exploitation rentable des biens physiques. Elle associe les principes d'ingénierie, les pratiques commerciales et la théorie économique, et fournit des outils qui favorisent une démarche plus organisée, logique à l'égard du processus de décision ». Le principe de gestion des patrimoines évoqué plus haut est très cité dans la bibliographie (Schulting, 2007). Il constitue la forme « classique » en matière de gestion patrimoniale.

La gestion des patrimoines détermine comment mieux déployer les ressources disponibles afin de réaliser des buts (attentes de l'utilisateur). Elle répond à des demandes croissantes d'un environnement de l'infrastructure, de vieillissement de système, et de ressources limitées. Elle fournit également la capacité de montrer comment, quand, et pourquoi des ressources ont été affectées (Alegre, 2007). En d'autres termes, il s'agit de réhabiliter le bon tronçon, au bon moment, en utilisant la bonne technique de réhabilitation, pour un coût total à minimiser, et ce avant que des problèmes sérieux n'adviennent (Saegrov, 2006) (Voir figure 2)

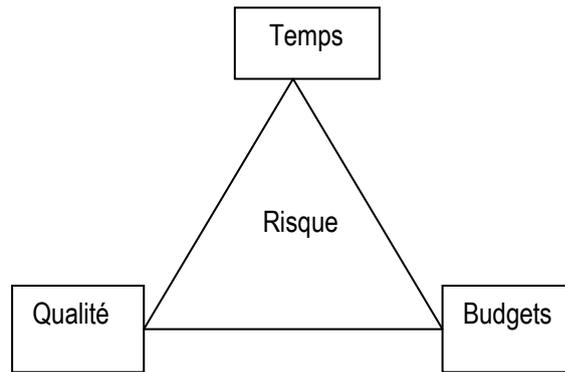


Figure I.2 : le principe de base de la gestion patrimoniale

La gestion d'un patrimoine consiste à connaître, évaluer, planifier et enregistrer toutes les informations (Delfosse, 2001). Pour connaître le patrimoine, il est important de définir ce que l'on souhaite gérer et de déterminer un vocabulaire commun aux acteurs de la gestion. Evaluer le patrimoine consiste à déterminer l'état et la performance des ouvrages à gérer. Planifier consiste à définir des priorités d'interventions sur les ouvrages selon les objectifs en intégrant les coûts de ces interventions (Serre, 2005 ; Alegre, 2007 ; Haskins, 2006).

La figure suivante présente les différentes composantes (hiérarchie entre les différents niveaux) d'une gestion patrimoniale des infrastructures ainsi que leurs relations. Ainsi, de nombreux travaux ont été entamés dans le domaine de la gestion patrimoniale des infrastructures (Goyon Leroux, 2006; Sklar&West ,2007 ; Quick, 2007 ; Brueck & Blankenship, 2007 ; Boudon *et al.*, 2007).

Ils donnent une base de départ intéressante à toute tentative de mise au point d'outils de gestion de patrimoine. La logique étant de commencer par connaître le patrimoine, sa valeur, son état, afin de mettre en place une priorisation des interventions de maintenance (Vanier & Rahman, 2004).

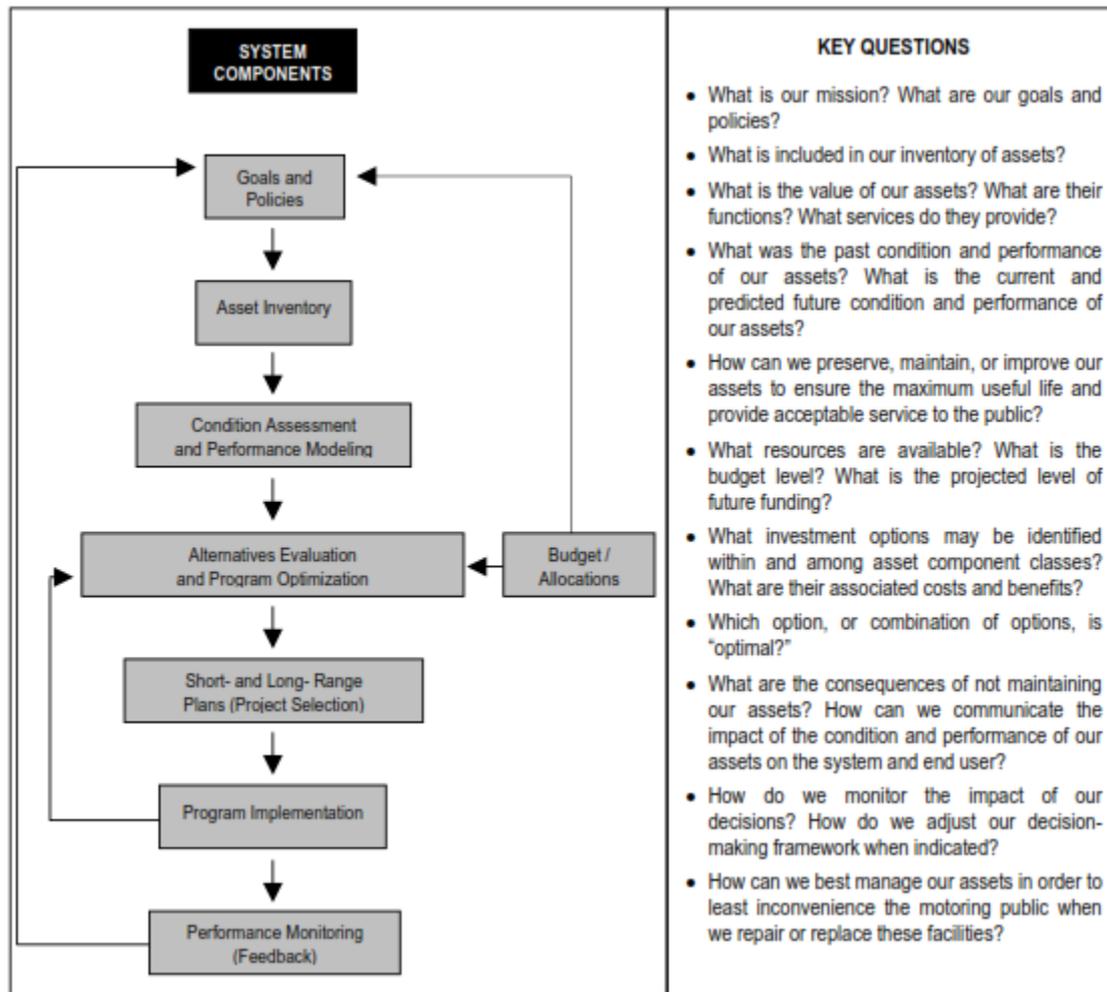


Figure I.3 : les différentes composantes d'une gestion patrimoniale ainsi que leurs relations (A Generic Asset Management System)(FHWA, 1999)

Ces différentes composantes sont définies par les volets suivants :

Objectifs («Goals») : la gestion de patrimoine est une gestion centrée sur les usagers et les besoins perçus du public. Elle exploite l'expression des attentes des usagers («**customer input**») pour la définition des niveaux de service correspondants. Ces niveaux de service sont traduits en buts et en indicateurs de performance.

Constitution du patrimoine («Asset inventory») : la gestion implique d'acquérir de l'information sur le patrimoine à gérer.

Modèle d'évaluation de la performance («Performance Modeling») : évaluer le patrimoine consiste à déterminer l'état et la performance des ouvrages à gérer. Cette performance doit refléter les objectifs et synthétiser l'état du patrimoine sous la forme d'indicateurs ou critères. Cela implique d'acquérir, de sauvegarder et d'analyser les informations relatives à l'état du patrimoine, à ses dysfonctionnements et aux impacts socio-économiques induits. Ces informations sont des connaissances de diagnostic établies par

comparaison entre la qualité de service observée et les objectifs et les attentes vis-à-vis de la performance. Les impacts sociaux sont les conséquences des dysfonctionnements compte tenu de la sensibilité de l'environnement et des usages.

Évaluation d'alternatives («Alternatives Evaluation») : afin de préserver, maintenir (entretenir) ou améliorer notre patrimoine pour fournir au public un service acceptable et le garantir au maximum dans l'avenir, il faut identifier les alternatives d'investissement, leurs dépenses associées, leurs bénéfices (Schulting, 2007 ; EPA, 2003).

Définir une politique d'entretien («Short- and Long- Range Plans») : c'est la définition des stratégies d'entretien qui vont ensuite être traduites en termes techniques. Le choix des stratégies d'entretien est une décision définie en cohérence avec les contraintes budgétaires et les attentes des usagers. Cette stratégie choisie sera traduite en un programme d'investissements optimisés.

Mise en œuvre du programme («Program Implémentation») : c'est l'application de la stratégie d'entretien retenue qui doit être suivie et calée en liaison avec les unités territoriales et par rapport aux contraintes budgétaires. C'est une démarche itérative.

Surveillance des performances (« Performance Monitoring ») : le suivi itératif de la stratégie d'entretien sert à détecter des zones de problèmes, permettant de les prendre en compte à la prochaine itération.

Approches pour l'organisation de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement

La gestion des urgences (événement majeur, interruption de service etc.), c'est-à-dire intervenir lorsque la défaillance a eu lieu, constitue la gestion traditionnelle.

Cependant, les autres méthodes de gestion des réseaux vont chercher à modéliser la vétusté du réseau. La question de la vétusté peut revêtir de nombreux aspects (techniques, économiques, technologiques, sociales ou réglementaires, contractuelles).

Ainsi, la décision de renouveler ou de réhabiliter un réseau intervient quand ce dernier a atteint une limite de vétusté. Cette limite de vétusté peut faire intervenir plusieurs causes (Berland, 2004 ; Dorchies, 2005) :

- techniques : le réseau ne répond plus aux critères de performance demandés ;
- économiques : quand le coût d'exploitation dû à la vétusté dépasse le coût du renouvellement ;
- technologiques : quand des progrès techniques permettent d'obtenir les mêmes performances à moindre coût ou de meilleures performances pour un coût similaire ;

- sociales ou réglementaires : dues par exemple à l'augmentation réglementaire des performances des stations d'épuration qui est empêchée par les eaux claires parasites pénétrant un réseau vétuste ;
- contractuelles : quand le prestataire gérant le réseau s'est engagé à renouveler certains équipements au delà d'un certain âge.

L'enjeu du développement d'outils méthodologiques pour la gestion des infrastructures de services publics réside dans la consolidation de pratiques de gestion patrimoniale : « constituer et maintenir un patrimoine de données et de connaissances, pour maintenir un patrimoine physique et anticiper les besoins futurs » (Le Gauffre *et al.*, 2004).

Observer et évaluer un réseau, prévoir son évolution, enrichir et fiabiliser les données et les modèles de ce réseau, définir les actions de réhabilitation à mener, constituent des volets indispensables et complémentaires d'une gestion patrimoniale.

Défaillances de réseau d'assainissement

Comme tout autre ouvrage de génie, elles sont l'objet de défaillances dont les causes pourraient être recherchées dans le type des matériaux qui les constituent, le type d'effluent qu'ils évacuent, l'environnement dans lequel ils reposent, etc.

Le Water Research Center - WRc (1986) affirme que la détérioration des conduites est un processus complexe et stochastique. En effet, bon nombre d'événements qui l'influencent sont de nature aléatoire notamment la pluie, les excavations survenues pendant la durée de vie de la conduite ou voir même les tremblements de terre. Le WRc, catégorise le type de détérioration en détérioration structurale et détérioration hydraulique. Cette classification, par ailleurs largement utilisée à travers le monde, a été adoptée dans l'ensemble avec quelques modifications par des organismes Nord – américains comme NASSCO ou CERIU.

Détérioration structurale

La défaillance structurale des égouts sanitaires est souvent occasionnée par des attaques du H₂S (liée à l'effluent), le vieillissement naturel (âge) et d'autres facteurs comme le défaut de design, une surcharge excessive, la nature du sol et les activités tectoniques ou sismiques

La dégradation structurale se manifeste par l'apparition des plusieurs défauts , ci-dessous, nous reprenons les 9 principaux défauts structuraux apparents tels que donnés par le CERIU (CERIU-version 4.3.1 VF, 2001)

- Cassure

- Fissures
- Déformation
- Effondrement
- Bris de conduite
- Déplacement des joints
- Ouverture des joints
- Dommages superficiels
- Affaissement

Détérioration hydraulique

La défaillance hydraulique se définit par l'incapacité de l'égout à transporter le débit de conception sans dommages à la propriété. Elle se manifeste par des inondations, des refoulements, des fuites excessives, des blocages, et des instabilités hydrauliques. Selon le WRc (1986), cette défaillance peut être traduite en termes simples par une diminution du rayon hydraulique et une augmentation du coefficient de rugosité. Dans le manuel de référence PACP/MACP du NASSCO, les descripteurs contribuant à la détérioration hydraulique sont rangés en facteurs de construction et facteurs d'opération et entretien.

Facteurs de construction

- **L'alignement des conduites** : le mauvais alignement des conduites ou le déplacement relatif des conduites adjacentes par rapport à la position prévue a une incidence sur l'aire de la section transversale de la conduite se trouvant en amont, ceci a pour conséquence de perturber l'écoulement dans le tronçon.
- **Raccordements pénétrants** : ce sont des branchements qui font saillie dans la conduite, obstruant ainsi partiellement la section transversale. Ils peuvent de ce fait entraver l'écoulement et causer des surcharges. Ce type de raccordements constitue une source de venue d'eau ou d'infiltration, ce qui donne lieu à un lessivage du sol conduisant parfois à une perte de support. Son niveau de gravité est évalué par une diminution du diamètre de la conduite.
- **Intrusion des produits d'étanchéité** : tout ou partie du matériau utilisé pour rendre étanche un assemblage entre deux conduites adjacentes fait saillie dans la canalisation.

Facteurs d'opération et d'entretien

- **Infiltration de l'eau de la nappe phréatique** : elle se produit à travers un joint défectueux lorsque le niveau de la nappe phréatique est plus élevé que celui du radier

de la conduite. Les infiltrations sont bien souvent à l'origine des dépôts des minéraux qui se forment sur la paroi des conduites.

- **Intrusion racinaire** : les racines finissent par envahir les canalisations en trouvant une brèche à travers les défauts structuraux comme les fissures, les cassures, les joints ouverts et les trous.

Leur développement conduit non seulement à l'apparition d'autres défauts structuraux mais aussi génère des blocages qui aboutissent à des surcharges, le diamètre de la conduite se retrouve réduit et l'écoulement perturbé.

- **Dépôt de sédiments** : les sédiments sont constitués des dépôts de silt, de graisse et d'autres substances susceptibles d'entraver l'écoulement. Ils ont un impact sur la rugosité du matériau, de ce fait augmente le coefficient de Manning de la canalisation.

Conclusion

La gestion patrimoniale d'un réseau d'assainissement vise à maintenir l'infrastructure dans un état satisfaisant vis-à-vis d'enjeux sanitaires, environnementaux, économiques, etc.

Elle comprend l'acquisition d'informations enregistrées dans des bases de données, l'évaluation des performances de l'infrastructure et la réhabilitation d'éléments ou de sous-systèmes considérés comme défectueux ou à risque

Chapitre II

Modélisation de détérioration historique du système d'assainissement

Chapitre II : Modélisation de détérioration historique du système d'assainissement

Introduction

La plupart des municipalités algériennes connaissent un vieillissement et détérioration rapide de réseau d'assainissement, pour cela la connaissance du réseau hydraulique est nécessaire avant toute planification de remplacement ou travaux de réhabilitation. Parmi ces indicateurs, on distingue les indicateurs issus d'inspections visuelles.

Les inspections télévisées (ITV ou bien CCTV) constituent une méthode d'investigation privilégiée en vue d'évaluer l'état de santé des réseaux d'assainissement. Elles rendent possible l'acquisition de données concernant l'état de ces réseaux, et ce dans des endroits précédemment inaccessibles. C'est le cas des conduites enterrées de faible diamètre où le passage humain n'est pas possible (Vasconcelos, 2004). Mais les gestionnaires peuvent pas utilisée toujours les inspections par CCTV (circuit fermé de télévision) a cause des restrictions budgétaires, Donc dans ce chapitre on va propose un modèle probabiliste base sur la régression logistique polynôme, pour aider à évaluer l'état actuel de la conduit opérationnel et son entretien.

Ce document est organisé comme suit : Une revue de littérature critique traitant la détérioration existante ou la modélisation est présentée dans la première section.

Elle est suivie de notre méthodologie qui comporte tous étapes nécessaire dans l'élaboration du modèle appliqué a l'ensemble de données disponible. Après, nous présentons une étude de cas d'une application du conçu méthodologie et on termine par les résultats et conclusion.

Revue de la littérature concernant la détérioration hydraulique au cours des dernières décennies

La dégradation des performances hydrauliques a reçu jusqu'à présent peut d'attention Les courbes de détérioration d'égout ont été développées surtout pour la détérioration de la structure. Ils sont conçues en fonction des différentes techniques (statistiques, déterministe, l'intelligence artificielle modèles orientés, etc.).

Les modèles déterministes

Les modèles déterministes sont des modèles mathématiques qui sont entièrement déterminés par les relations connues entre les États et des événements, sans aucune marge de variation. Mais la question difficile du déterminisme pourrait être mentionné comme tel : est ce que le

condition d'état au temps t déterminer son état au temps $t + 1$ (Musy, 1998). Ces modèles peuvent être regroupés en 2 sous-groupes, comme illustré par les exemples.

- **La régression linéaire** : est une modélisation linéaire qui permet d'établir des estimations dans le futur à partir d'informations provenant du passé. Dans ce modèle de régression linéaire, on a plusieurs variables dont une qui est une variable explicative et les autres qui sont des variables expliquées. Cet outil est utilisé pour les analyses techniques boursières mais aussi pour la gestion de budgets. Le modèle apparaît préjudiciable parce que le processus de détérioration est exprimé par une équation linéaire alors que la détérioration est essentiellement probabiliste et non linéaire (Morcous et al.2002b) .Elle est souvent calculée avec la méthode des moindres carrés qui permet de réduire les erreurs en ajoutant de l'information.
- **La régression exponentielle** : ce type de modèle est généralement calibré par la méthode des moindres carrés, ses résultats sont fournis sous la forme d'une courbe exponentielle. L'utilisation de ce modèle est illustré dans une étude de simulation montrant l'échec d'égouts prévus au cours des 20 prochaines années en fonction de l'âge du tuyau (Mailhot et al., 2000). Le modèle est restrictif puisqu'il est construit uniquement sur le paramètre de l'âge sans tenir compte de plusieurs autres facteurs.

Modèles basés sur l'intelligence artificielle

Généralement définie comme la science des ordinateurs faisant faire des choses qu'ils requièrent d'intelligence une fois faites par des humains, (Turing, 2010), l'intelligence artificielle a été utilisé pour modéliser le conduit à la détérioration. Cette approche est principalement appliquée de trois façons différentes : Raisonnement à base de cas (CBR), réseaux de neurones, algorithmes génétiques et théorie des ensembles flous.

- **Théorie des ensembles brouillée** : la théorie brouillée a été conçue pour surmonter les inconvénients de théorie l'ensemble classique, particulièrement en faisant face à la langue humaine imprécise telle qu'excellent, bon, mauvais, etc. Il explique de divers degrés d'adhésion sur le vrai intervalle continu tandis que dans

La théorie classique des ensembles, un élément appartient a un ensemble spécifique ou pas (logique binaire)

- **Les réseaux de neurones (NN)** : ce modèle informatique souple est approprié quand la prévision devrait être faite pour un processus qui fait participer beaucoup de facteurs prédictif.

Le NNs apprend les modèles du processus sous-jacent des données généralisée

"Connaissance acquise" (ou des relations mathématiques entre les données d'entrée et de sortie) pour prévoir ou classifier un résultat donné un nouvel ensemble de variables d'entrée du domaine de problème (Hassoun, 1995). Même cette technique de modélisation a l'avantage de manipuler l'échelle et les types de données ordinaux ; ils ont toujours les inconvénients suivants : ils ont besoin de beaucoup de données d'entrée ; ils sont pénibles et longs (Leung et al, 2003)

Modèles statistiques

Modèles statistiques sont décrits partiellement ou entièrement par des équations de probabilité. Ils sont capables de simuler des processus aléatoires. Le modèle de Markov est

L'un des plus utilisés dans cette catégorie. Leur succès dépend fortement sur les techniques de calcul de la matrice de probabilités de transition.

Jusqu'à le début de l'année 2000's, les probabilités de transition pour les systèmes d'assainissement ont été calculées par la méthode de la valeur attendue, la méthode de fréquence et la méthode de Poisson. Les deux dernières méthodes sont légère modifiées de la première. Exemples d'application sont illustrés par Wirahindikusumah et al. (2001), Micevski et al. (2002) et de Kleiner et al. (2001).

Les avantages observés dans l'application de ces techniques ne sont que : ils peuvent être appliqués pour les deux types de données de la force régulière ou instantané et ils évitent des résultats erronés en suivant la ligne de régression comme c'est le cas de la méthode de la valeur attendue. Ibrahim Wan (1994) a noté quelques inconvénients lors de l'application du modèle de Markov. Premièrement, le changement des conditions entre deux inspections n'est pas explicitement modélisé. Deuxièmement, le modèle est incapable de saisir la nature non stationnaire des résultats de matrice de transition d'infrastructure dans la petite taille de l'échantillon au sein de chaque segment de l'infrastructure. Cela limite le nombre de paramètres à estimer et donc certaines probabilités, dans la matrice de transition sont arbitrairement fixée à zéro. L'hypothèse de Markov d'indépendance de l'état n'est pas réaliste et l'utilisation de la régression linéaire comme méthode de modélisation la détérioration n'est pas

appropriée parce que la variable dépendante est discrète et ordinales dans la nature plutôt que continu. Wirahindikusumah et al. (2001) ont suggéré l'utilisation de méthodes économétriques telles que le modèle probit ordonné et le modèle logit ordonné d'éliminer les inconvénients de l'utilisation de l'analyse de régression pour estimer les probabilités de transition. Ces modèles sont capables de capturer la nature ordinaire de l'état des structures et de lier les variables explicatives à la détérioration mais la détérioration de la conduite semble être un phénomène latent non observables tels que la quantité pour laquelle, la méthode économétrique largement utilisé dans les domaines des sciences sociales et la biométrie car les quantités sont convenables. En outre, la détérioration de la modélisation à l'aide de méthodes économétriques est capable d'intégrer l'hétérogénéité des données, en raison par exemple de la subjectivité de technique de collecte de donnée.

Le modèle logit ordonné a été choisi et appliqué dans le présent document pour estimer l'état conduit à l'aide de l'inspection CCTV et certaines informations données du tuyau. Les hypothèses et la théorie entourant cette technique sont introduites dans le chapitre suivant.

Objectif et méthodologie

L'objectif principal de ce document est de générer des modèles d'évaluation de l'état et d'entretien pour les systèmes d'égouts.

Des modèles adaptés aux matériaux spécifiques de conduit peuvent être employés en prévoyant l'état de conduit basé sur l'information de tuyau telle que l'âge, le diamètre, matériel et le type d'effluent.

Dans la poursuite de cet objectif, le CERIU/NASSCO protocole sera appliqué aux données recueillies et une matrice de transition sera mise en place pour tous les membres d'état.

La figure 1 résume toutes les étapes de la méthodologie développée.

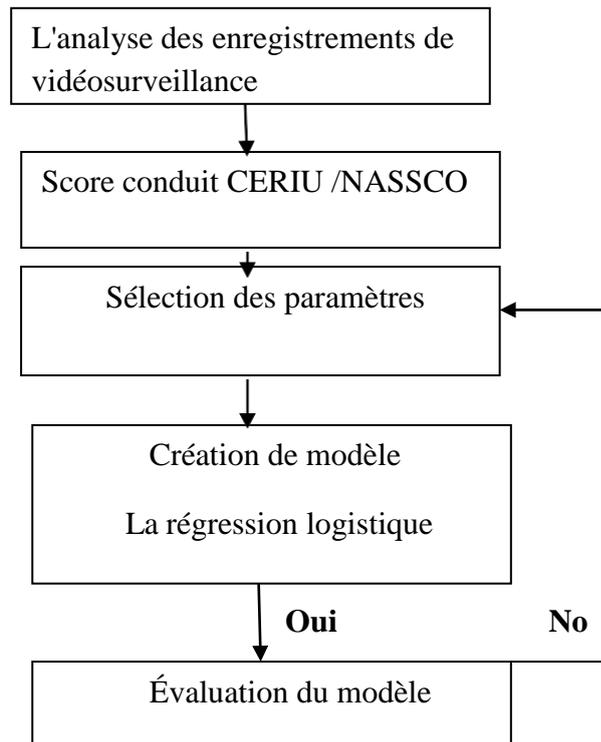


Figure II.1 Étapes de la méthodologie

Modèle de détérioration hydraulique développée

Dans notre modèle on va suivre la méthodologie étape par étape

Étape 1 : ITV (inspection télévisé)

Cette technique consiste à enregistrer l'image de l'intérieur de l'égout par une caméra montée sur un tracteur avec marche avant, marche arrière, rotation et zoom. Les disques exposent les défauts structurels et opérationnels qui sont examinés par des opérateurs qualifiés, selon un système de codage. Les données obtenues à partir de l'inspection CCTV sont : sédiments, de débris, de racines, fléchissements de tuyau, déformations des joints, fissures, fuites de tuyaux....etc.

Étape 2 : Protocole de CERIU/NASSCO

Le PACP de NASSCO est un système qui fournit la standardisation et la cohérence dans les conduits d'égout de manière évaluée codées et contrôlées sont reconnue comme standard de l'industrie en Amérique du Nord depuis 2001. Le programme de certification d'évaluation de canalisation(PACP) crée un réservoir complet et fiable des données pour décrire la conduite d'égout qui peut être utilisée dans le classement par ordre de priorité ,la planification ,et la rénovation du système de collection d'eaux usées .

Pour éviter les anomalies dans le réseau d'assainissement on a adopté le protocole de NASSCO pour les canalisations, ce protocole se compose du codage opérationnel (l'entretien déserte sur un côté et les défauts structurels sur l'autre). L'attribution générale de l'estimation de l'état de conduit (catégorie) est définie comme suit :

Grade1 Excellent (conduite fonctionne avec des défauts mineurs) Grade2-Bien (défauts qui n'ont pas commencé à détériorer) Grade3 acceptable (défauts modérés qui continueront à détériorer) Grade4 Grave (défauts graves qui deviendront la catégorie5), catégorie5 (une attention immédiate).

Etape 3 : La régression logistique

La régression logistique a été largement utilisée dans l'essai biologique, en particulier en traitant avec des tests de réponse de dose. Dans ces cas, la variable dépendante est dichotomique, ce qui signifie qu'il peut prendre seulement deux classes, et les variables indépendantes sont de tout type. Cette approche vise à prévoir l'issue d'un événement en donnant la probabilité de réussite et d'échec. Une application de la régression logistique binaire pour détérioration d'égout la peut être trouvée dans (Koo et al. L'année 2006).

Etude bibliographique

L'élaboration d'un modèle mathématique permettant de prédire l'état de conduite et de décrire la détérioration des systèmes d'assainissement était objet de nombreux travaux à travers le monde, parmi ces recherches on note :

Ibrahim A. Mohammed et al.2016 Modèle de Détérioration pour Gestion d'actifs de Réseau d'Égout dans Ville de Bagdad (étude de cas ligne de Zeppelin) par, ou L'objectif principal de leurs recherches est de développer une performance programme de gestion d'actifs pour fournir un outil d'évaluation pour déterminer la sûreté de fonctionnement du système d'infrastructure d'égout dans la ville de Bagdad afin de construire des modèles de détérioration. Ces modèles sont développés utilisant distinguent l'analyse et le réseau neural artificiel. La performance prophétique de ces modèles est évaluée par l'adaptation de tests statistiques et la matrice de confusion

Mehdi AHMADI.2014 (Gestion patrimoine des réseaux d'assainissement : impact de la qualité des données et du paramétrage du modèle utiliser sur l'évaluation de l'état des tronçons et des patrimoines) a utilisé la régression logistique binaire pour développer un modèle permet de prévoir la condition structurelle d'égouts pour améliorer l'efficacité de programmes d'inspection.

Sophie et al, 2013 ont créé un modèle censuré (la survie) a été progressé pour prédire la condition structurelle totale d'un égout en utilisant l'appareil photo (la caméra) examinant des productions. Le modèle de détérioration a été avancé pour obtenir l'âge de survie. e^x et des équations Weibull ont été utilisées pour défendre (signifier) la division d'âges dans chaque condition de détérioration.

Thiti Angkasuwansiri, 2013 a présenté un développement d'un index (indice) de performance pour les conduites d'eaux usées basé sur des données artificielle et des données de terrain pour assurer que l'index pourrait être mise en œuvre a scénario réels.

Hessam Mohseni, 2012 (L'Australie) il a utilisés matrice de transition pour définir la Chaîne de Markov afin de construire le processus de détérioration. La dérivation des matrices a été trouvée défiante avec un certain nombre de méthodes standard indiquant une pauvre convergence. Une nouvelle méthode pour le calibrage de matrices de transition " Valeur Absolue Directe" a été développée et montrée pour améliorer l'exactitude de la prédiction par presque 25 % en validé utilisant un ensemble indépendant de données.

Baris salman, 2010 (la Gestion d'Infrastructure et l'Évaluation de Risque de Détérioration de Systèmes de Collection d'Eaux usées) , il a créé un modèle probabilistique basé sur régression logistique binaire pour prévoir la probabilité d'échec du système d'assainissement)

Ana, 2009 a étudié la contribution de deux concepts importants dans la gestion d'actifs de réseau d'égout. La recherche a rapporté un niveau significatif dans la progression et l'utilisation de modèles de détérioration de construction d'égout trouvés sur la régression Markov de semi, l'analyse logistique et la prise de décisions de critères multi dans la priorisation aux projets de réadaptation d'égout.

Chungtai et al 2008 ont mis en place des équations de régression multiple permettant d'évaluer l'état des conduites en fonction de facteurs influençant leur dégradation à savoir des facteurs physiques, opérationnels et environnementaux.

Tran, 2007 a développé les modèles de détérioration hydrauliques et structurels qui peuvent prévoir le statut de conservation du système d'égouts en ce qui concerne l'espérance de population.

Rajani et al. 2006 ont établi un système de cotation de l'état structural des conduites à partir des inspections télévisées. Ils ont traduit l'ampleur de défauts observés en ensemble flous. La

note globale ainsi accordée à une conduite eu égard aux défauts rencontrés lors des inspections est obtenue au moyen d'un système de pondération.

Dulcy et al. 2002 a présenté une description de méthodologie améliorée pour l'analyse prudente et l'interprétation de données dans des systèmes d'égout. La méthodologie proposée permet l'évaluation rapide et précise, qui est importante dans la construction de la base de données de gestion d'actifs d'égout

Davies et al. 2001a ont fournissent une revue complète sur les facteurs qui influencent la détérioration structurelle de conduite rigide.

Davies et al. 2001b a utilisé la régression logistique (méthode de sélection point par point) pour identifier les paramètres importants qui ont affecté la détérioration de conduites rigides.

Mailhot et al. 2000 ont élaboré un modèle simple permettre de simuler l'évolution pour les vingt prochaines années de la longueur de conduites en mauvais état. Pour ce faire, les auteurs ont associé à la fonction de risque la distribution de Weibull. Le seul paramètre qu'ils ont pris en compte est l'âge de la conduite, ce qui rend le modèle assez limitatif dans l'interprétation des résultats étant donné le rôle important que joue les autres facteurs dans le processus de détérioration.

En 1983, le Centre de recherche d'eau (WRc) a publié une étude de recherche vaste sur le Système d'égouts. Le manuel de Réadaptation, qui a été rapporté comme la première étude cohérente avec un objectif de déterminer des procédures appropriées pour l'évaluation d'égouts basés sur l'importance et la classification de condition (Davies et d'autres. 2001a).

Pour notre projet on a choisit l'utilisation de la régression logistique ordinaire parce quelle présente les avantages suivantes :

- P La régression logistique est relativement facile à utiliser.
- P La présence d'informations sur la classification peut être un avantage de l'analyse (par rapport à la régression linéaire) dans certains cas.
- Le deuxième avantage sur la régression linéaire est la possibilité d'entrer des variables de plusieurs types comme VI (variable indépendante) et de modéliser facilement les interactions.

Abbreviation

NASSCO: National Association of Sewer Service Companies

CERIU: Centre for Expertise and Research on Infrastructures in Urban Areas (*Canada*)

WRC: Water Research Center

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents technique utiliser pour étudier la détériorait des réseaux d'assainissement, dans notre étude nous avons choisit le modèle logistique multinomial ordinal pour réponses approche pour estimer les probabilités de transition du système d'égout. Le modèle développé a l'intention d'établir la relation entre une variable de réponse (condition grade) et d'un ensemble de variables variable explicative (âge, diamètre, longueur, pente et matérieux).

Chapitre III

Définition de la régression logistique

Chapitre III : Définition de la régression logistique

Introduction

La régression est une technique très couramment utilisée pour décrire la relation existant entre une variable à expliquer et une ou plusieurs variables explicatives. Elle est très utilisée dans le domaine médical (guérison ou non d'un patient), en sociologie, en épidémiologie, en marketing quantitatif (achat ou non de produits ou services suite à une action) et en finance pour modélisation de risques.

Lorsque la variable à expliquer est une variable qualitative, la régression linéaire classique au sens des moindres carrés doit être abandonnée au profit de la régression logistique.

Si la variable à expliquer ne présente que deux modalités, on utilise la régression logistique binaire. Si elle présente plus de deux modalités et si celles-ci ne sont pas ordonnées, on doit employer la régression logistique polynomiale. Enfin, si la variable à expliquer présente plus de deux modalités et que celles-ci sont ordonnées, la méthode à exploiter est la régression ordinale. (Adeline GILLET et al, 2010)

Intérêts de la régression logistique

Le but de la régression logistique est de caractériser les relations entre une variable dépendante (ou variable à expliquer) et une seule (régression logistique simple) ou plusieurs variables prises en compte simultanément (régression logistique multiple). Il s'agit donc d'un modèle permettant de relier la variable dépendante (Y) à des variables explicatives (X_1 , X_2 , X_3 , ... X_n).

À la différence de la régression linéaire (où la variable à expliquer est une variable quantitative) la régression logistique s'applique lorsque la variable à expliquer (Y) est qualitative. Dans la recherche (dans différents domaines) il est très fréquent de rencontrer de telles variables, le plus souvent de type binaire comme par exemple la présence (ou l'absence) d'un dysfonctionnement dans la conduite. Les variables explicatives (X_i) peuvent être, quant à elles, qualitatives ou quantitatives. Ces variables indépendantes sont susceptibles d'influencer la survenue ou non sur l'état de réseau d'assainissement.

Dans le cas d'une variable explicative qualitative, une propriété très intéressante de la régression logistique est qu'elle permet d'estimer un odds ratio (OR) qui fournit une information sur la force et le sens de l'association entre la variable explicative (X_i) et la

variable à expliquer (Y). L'OR (ou rapport des cotes), est une mesure de dépendance entre deux variables, il est toujours positif et compris entre 0 et $+\infty$. Lorsqu'il vaut 1, les deux variables sont indépendantes. Au contraire, plus l'OR est proche de 0 ou de $+\infty$, plus les variables sont liées entre elles. Si l'OR n'est pas un résultat aussi intuitif que le risque relatif, il présente l'avantage d'être utilisable quel que soit le design expérimental (cohorte ou cas témoin). En pratique, si l'OR est supérieur à 1, on parle de facteur de risque, et si l'OR est inférieur à 1, on parle de facteur protecteur.

Dans le cas où nous souhaitons étudier plusieurs variables explicatives X_i et connaître le « poids » respectif de chacune de ces variables, un ajustement est alors nécessaire. La régression logistique est une méthode permettant de réaliser un tel ajustement. Cet ajustement consiste à individualiser « l'effet propre » de la variable explicative X_i des « effets parasites » induits par d'autres variables influençant aussi la variable à expliquer (Y) (appelées « covariables »). Cela permet ainsi de contrôler l'effet de possibles facteurs de confusion. De plus, l'ajustement permet de diminuer le bruit de fond induit par ces covariables et d'améliorer la précision de l'estimation.

Ainsi, la régression logistique tient compte de l'effet des autres variables X_i intégrées dans le modèle et permet de réaliser un ajustement de l'OR sur des covariables (on parle d'OR ajusté). La régression logistique constitue alors une méthode de choix pour rechercher et déterminer les facteurs de risque ou les facteurs protecteurs, tout en tenant compte des facteurs de confusion. Il faut cependant garder à l'esprit que l'identification d'une liaison entre une variable expliquée (Y) et une ou des variables explicatives (X_i) ne témoigne pas forcément d'un lien de causalité et il convient de garder une certaine prudence dans l'interprétation des résultats. (M. El Sanharawi et al, 2013)

Différentes méthodes de régression logistique

On va décrire les trois méthodes de régression logistique qui sont :

- a) **Régression logistique binaire** (*binary logistic regression*) : ce type correspond au cas où la variable Y comporte uniquement deux classes, les individus étant décrits par la présence ou l'absence d'un caractère donné. Par exemple, des individus (parcelles, plantes, animaux, etc.) peuvent être atteints ou non par un parasite, être fertiles ou non, être porteurs ou non d'une tare, etc. (Adeline GILLET et al, 2010).

- b) **Régression logistique poly-chotomique nominale** (*polytomous nominal logistic regression*) : ce type permet de traiter les cas où la variable à expliquer possède plus de deux classes si celles-ci ne peuvent pas être ordonnées ou si on ne souhaite pas tenir compte de l'ordre dans le cas où elles seraient ordonnées. Une telle situation se présente par exemple si des individus sont caractérisés par l'appartenance à une espèce donnée, par une couleur ou par le choix d'une réponse à une question posée parmi trois propositions telles que « oui », « non », « ne sait pas ». (Adeline GILLET et al, 2010).
- c) **Régression polychotomique ordinale** (*polytomous ordinal regression*) : ce dernier concerne les situations où la variable Y présente plus de deux modalités qui peuvent être ordonnées et dont on souhaite tenir compte de l'ordre. Un exemple typique est la description de l'intensité de l'attaque d'individus par un parasite, cette description étant réalisée par exemple sur la base d'une échelle à quatre niveaux notés A, B, C et D, le niveau A représentant l'absence d'attaque, le niveau B une attaque faible, le niveau C une attaque modérée et le niveau D une attaque forte. (Adeline GILLET et al, 2010)

Codage des variables qualitatifs

Dans la pratique, il arrive fréquemment que l'appartenance aux classes soit décrite par des codes numériques. Ainsi, au lieu de noter les degrés d'attaque par A, B, C ou D, on peut les identifier par les codes 0, 1, 2 ou 3. Ce codage est purement arbitraire et les méthodes logistiques ne considèrent jamais les valeurs numériques en tant que telles, mais simplement comme des noms de modalités

Pour les trois méthodes citées ci-dessus, le but est de modéliser une ou plusieurs probabilités liées à l'appartenance aux classes, en fonction d'un ou de plusieurs prédicteurs, qui peuvent eux-mêmes être des variables quantitatives ou des variables qualitatives, supposées parfaitement connues. (Adeline GILLET et al, 2010)

Formulation mathématique de régression logistique

La régression logistique et la régression linéaire appartiennent à la même famille des modèles GLM (Generalized Linear Models) : dans les deux cas on relie un événement à une combinaison linéaire de variables explicatives. Pour la régression linéaire, la variable dépendante suit pas une loi normale $N(\mu, s)$ où μ est une fonction linéaire des variables explicatives. Pour la régression logistique, la variable dépendante, aussi appelée variable

réponse, suit une loi de Bernoulli de paramètre p (p la probabilité moyenne pour que l'événement se produise), lorsque l'expérience est répétée une fois, ou une loi Binomiale (n, p) si l'expérience est répétée n fois (par exemple la même dose est essayée sur n insectes). Le paramètre de probabilité p est ici une fonction d'une combinaison linéaire des variables explicatives. (M. El Sanharawi et al., 2013).

Les fonctions les plus couramment utilisées pour relier la probabilité p aux variables explicatives sont la fonction logistique (on parle alors de modèle Logit) et la fonction de répartition de la loi normale standard (on parle alors de modèle Probit). Ces deux fonctions sont parfaitement symétriques et sigmoïdes. L'expression analytique des modèles est donnée ci-dessous :

$$\log \frac{p(x)}{1-p(x)} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p = x' \beta \quad (1)$$

Ou encore $\text{logit } p(x) = x' \beta$,

logit désignant la fonction bijective et dérivable de $]0, 1[$ dans $\mathbb{R} : p \rightarrow \log(p/(1 - p))$, Elle est appelée fonction de lien.

L'équation (1) peut également s'écrire

$$p_B(x) = P_B(Y = 1 | X = x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}}$$

Remarquons également que ce qui implique que la variance n'est pas constante et varie selon x .

Les probabilités cumulatives sont définies comme suit (Agresti, 2002)

$$P(Y \leq j/x) = \pi_1(x) + \dots + \pi_j(x), \quad j=1, \dots, J \quad (2)$$

Alors

$$\text{Log}[P(Y \leq j/x)] = \ln \frac{P(Y \leq j/x)}{1 - P(Y \leq j/x)} = \ln \frac{\pi_1(x) + \dots + \pi_j(x)}{\pi_{j+1}(x) + \dots + \pi_J(x)}, \quad j=1, \dots, J-1 \quad (3)$$

Considérez une variable de réponse multinomial Y avec des résultats catégoriques, dénotés par $1, 2, \dots, J$ et laissent X_i dénoter un vecteur p -dimensionnel de variables explicatives ou covariantes. La dépendance des probabilités cumulatives d' Y sur X ? S pour le modèle de chances (cote) proportionnel est souvent de la forme exprimée dans l'équation suivante :

$$\text{Logit}(Y \leq j | x) = \alpha_j + x' \beta, \quad j = 1 \dots J-1. \quad (4)$$

Il peut être exprimé en forme (formulaire)

$$\ln \frac{P(Y \leq j | x)}{1 - P(Y \leq j | x)} = \alpha_j + x' \beta \quad j = 1 \dots J-1 \quad (5)$$

Chaque logit cumulatif a son propre interceptent. $\{\alpha_j\}$ augmentent dans j , depuis $P(Y = j | x)$ les augmentations de j pour x fixe et le logit c'est une fonction croissante de cette probabilité et chaque logit cumulatif prend tout les catégories de réponse J D'où, pour $J=4$, le modèle [4] consistant en trois fonctions de lien simultanément cumulatives pour résoudre les paramètres modèles dans les équations suivant (LUBINI TSHUMUKA Alain.2010)

Donc

$$\ln \frac{\pi_1(x) + \dots + \pi_j(x)}{\pi_j(x) + \dots + \pi_{j+1}(x)} = \alpha_j + x' \beta \quad j = 1 \dots J-1 \quad (6)$$

$$\ln \frac{\pi_1(x)}{\pi_2(x) + \pi_3(x) + \pi_4} = \alpha_j + x' \beta \quad \text{pour } J=1 \quad (7)$$

$$\ln \frac{\pi_1(x) + \pi_2(x)}{\pi_3(x) + \pi_4} = \alpha_j + x' \beta \quad \text{pour } J=2 \quad (8)$$

$$\ln \frac{\pi_1(x) + \pi_2(x) + \pi_3(x)}{\pi_4} = \alpha_j + x' \beta \quad \text{pour } J=3 \quad (9)$$

On obtient la formule finale qui est

$$\mathbf{Y^* = \alpha + \beta_1 \text{ âge} + \beta_2 \text{ diamètre} + \beta_3 \text{ longueur} + \beta_4 \text{ pente} + \beta_5 \text{ matériel} + \xi} \quad (10)$$

Dans le cadre du modèle multinomial, une modalité de référence doit être sélectionnée, les coefficients estimés seront interprétés en fonction de cette modalité de référence. La probabilité de choisir la modalité j en considérant que la modalité de référence est la modalité 1 est donc :

$$p(y=j | x_i) = \exp(\alpha_j + \beta_j X_i) / [1 + \sum_{k=2}^J \exp(\alpha_k + \beta_k X_i)]. \quad (11)$$

Pour la modalité 1, on a :

$$p(y=1 | x_i) = 1 / [1 + \sum_{k=2}^J \exp(\alpha_k + \beta_k X_{ik})] \quad (12)$$

On peut ainsi obtenir la log-vraisemblance de l'échantillon :

$$l(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^J y_{ij} \log(p(y=j|x_i)) \quad (13)$$

Pour estimer les paramètres b du modèle (les coefficients de la fonction linéaire), on cherche à maximiser la fonction de vraisemblance. Contrairement à la régression linéaire, une solution analytique exacte n'existe pas. Il est donc nécessaire d'utiliser un algorithme itératif.

Sélection des variables explicatives à inclure dans le modèle de régression logistique multiple

Le choix des variables explicatives (X_i) n'est pas le fruit du hasard ni le résultat d'un screening fait à l'aveugle de plusieurs variables. Il est basé sur la connaissance du système d'assainissement et les possibles facteurs influençant cette dernière. Ainsi, toutes les variables explicatives étudiées ne seront pas toutes nécessairement incluses dans l'analyse multi variée. Ne seront introduites dans la régression logistique que les variables qui pourraient avoir un lien avec l'état de la conduite. (M. El Sanharawi et al., 2013)

Pour ce faire, une revue approfondie des données de la littérature est, au préalable, indispensable.

Le choix des variables est donc fondé sur leur pertinence locale sur le réseau et basé sur la connaissance de facteurs de confusion avérés ou supposés. Cette première étape permettra de choisir les variables explicatives (X_i) les plus pertinentes à étudier.

La deuxième étape consiste à décrire de manière précise ces variables explicatives, on doit vérifier leurs exhaustivité (absence de données manquantes) et la qualité (absence de biais de classification). Il est souvent difficile de se faire une idée sur cette étape fondamentale à la vue d'une publication.

Ensuite on réalise une analyse uni variée : cette étape consiste donc à estimer l'association entre la variable réponse (Y) et chaque variable X_i en réalisant une régression logistique simple pour chaque variable X_i . (M. El Sanharawi et al., 2013)

Obtention du modèle final

Lorsqu'il s'agit d'ajuster une comparaison sur différentes variables prédéfinies, les variables explicatives X_i sont choisis a priori et aucune procédure de choix n'est nécessaire. En revanche, lorsque le but est le développement d'un modèle explicatif, certaines procédures peuvent être mises en œuvre pour sélectionner les variables à garder dans le modèle final.

Ces procédures ont pour but de vérifier le principe de parcimonie, qui en science et en philosophie, consiste à n'utiliser que le minimum de causes élémentaires pour expliquer un phénomène.

En d'autres termes, l'objectif est de sélectionner le modèle apportant le maximum d'information sur la variable à expliquer (Y) à partir du plus petit nombre de variables explicatives possible (X_i). Au-delà de l'intérêt épistémologique, cela facilite grandement les estimations du modèle et cela limite les problèmes liés aux données manquantes. (M. El Sanharawi et al., 2013)

Sur un plan pratique, il n'y a pas de règle unanime concernant la méthode à utiliser. Parmi les méthodes possibles, il est souvent proposé des procédures pas à pas, plus ou moins automatiques. Avec ces méthodes, le choix du modèle final se fait de manière progressive. La procédure en pas à pas ascendante (*forward selection*) consiste à inclure progressivement les variables explicatives (X_i) à un modèle minimaliste en laissant de côté celles qui n'apportent pas suffisamment d'information au modèle.

La procédure en pas à pas descendante (*backward elimination*) est la plus couramment utilisée. Elle consiste à inclure toutes les variables sélectionnées au préalable et à retirer progressivement celles qui n'apportent pas suffisamment d'information au modèle. Avec ces méthodes, on sélectionne le modèle en laissant de côté les variables qui ne sont pas significatives (là aussi le niveau de significativité n'est pas forcément fixé à 0,05 et peut être fixé à 0,10, 0,15, ou 0,20 par exemple) ou bien en utilisant un indice de parcimonie comme le critère d'Akaike (Akaike Information Criteria).

Une fois le modèle final obtenu, on vérifie s'il existe des interactions entre les variables explicatives (X_i) du modèle. L'existence d'une interaction entre deux variables signifie que l'effet d'une variable est différent en fonction de l'autre variable. (M. El Sanharawi et al, Comprendre la régression logistique, octobre 2013) et (Ricco Rakotomalala, Pratique de la Régression Logistique. 2015)

Conditions d'application de la régression logistique

Comme pour les tests très basiques (par exemple le test t de Student), certaines conditions d'application doivent être vérifiées lorsque l'on réalise une régression logistique. Outre la question de la colinéarité entre les variables explicatives, il convient de vérifier la robustesse du modèle en recherchant les observations « sensibles » à l'origine d'importantes variations dans l'estimation des coefficients. Cela peut être réalisé à partir de méthodes graphiques. Si de telles observations sont retrouvées, on considère que les résultats sont peu robustes et la plus grande précaution doit être prise dans l'interprétation des résultats.

Lorsque le but est de construire un modèle explicatif, et pas seulement de réaliser un simple ajustement, la vérification de l'adéquation du modèle est une étape importante. Elle consiste à comparer les données que le modèle prédit aux données réelles. En effet, bien que les variables explicatives (X_i) soient significativement associées à la variable dépendante (Y), il se peut que dans une grande majorité des cas, le modèle ne prédise pas suffisamment bien cette variable. (M. El Sanharawi et al., 2013)

On peut vérifier cette adéquation à l'aide de tests d'adéquation (comme le test de Wald, Score et test de log vraisemblance) ou d'un calcul du R^2 , qui représente le pourcentage expliqué de variation de la variable dépendante (Y) par les variables explicatives (X_i) incluses dans le modèle.

Test global de significativité

a) Test de Rapport de Vraisemblance (TRV)

- H_0 : Pas de liaison entre Y et les $X_j \Leftrightarrow \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$
- H_1 : Le modèle a du sens \Leftrightarrow Au moins 1 $\beta_j \neq 0$

Le Principe du TRV c'est de Comparer la vraisemblance L_X (avec variable explicative (H_1)) avec la vraisemblance L_0 sans variable explicative (H_0).

Si $L_X > L_0$ alors la variable X apporte à l'estimation de $P(Y)$

➤ Construction de la statistique de test

L_X vraisemblance avec $X \rightarrow$ déjà calculée

L_0 vraisemblance sans X (sous H_0)

Sur l'échantillon de taille N on observe : $\{y = 1\} = n_1$

$$\{y = 0\} = N - n_1$$

Avec $\hat{\pi} = P(Y = 1) = (n_1 / N)$ et $1 - \hat{\pi} = P(Y = 0) = 1 - (n_1 / N)$

$$L_0 = (n_1 / N)^{n_1} (1 - (n_1 / N))^{(N - n_1)}$$

➤ **Statistique de test du TRV**

On montre que sous H_0 :

$$D = -2 \ln (L_0 / L_X) \sim \chi^2_{p \text{ d.l.l.}}$$

➤ **Interprétation**

Non rejet de H_0 : le modèle n'a pas de sens, X n'apporte rien à l'estimation de $P(Y)$

Rejet de H_0 : le modèle a du sens, X apporte à l'estimation de $P(Y)$

b) Statistique de test (Test de Wald)

On peut montrer que si H_0 est vraie alors :

$$K = \beta_j^2 / s_{\beta_j}^2 \sim \chi^2_{1 \text{ ddl}}$$

Calibration du modèle

Comparaison des probabilités prédites par le modèle $\pi_i(X_j)$ à celles observées dans l'échantillon. \Rightarrow Mesurer l'adéquation

Conclusion

La régression logistique est une méthode d'analyse multi variée puissante permettant d'obtenir une quantification de l'association entre un phénomène étudiée et chacun des facteurs l'influençant, tout en tenant compte de l'effet simultané des autres facteurs. Elle permet ainsi de contrôler de possibles biais de confusion. Son emploi est rendu aisé par l'utilisation de logiciels statistiques.

Chapitre IV

Étude de cas : application de l'approche logistique

Chapitre IV : Étude de cas : application de l'approche logistique

Introduction

L'assainissement d'une agglomération est un problème trop complexe pour se prêter une solution uniforme suivant des règles rigides donc avant tout projet d'assainissement l'étude du site est nécessaire afin de déterminer les caractéristiques physiques du lieu ainsi que les facteurs influençables sur la conception de notre modèle. Pour cela on commence par présentation de notre zone d'étude.

présentation de la zone d'étude

El Kala est une ville algérienne, située dans le daïra d'El Kala la wilaya d'El Tarf.

Elle est située géographiquement au Nord-est du pays et au Nord-Est de la wilaya d'El Tarf.

Elle est limitée :

- au Nord par la mer méditerranée,
- à l'Est par la commune de Souarekh .
- au Sud par la commune de Ain El Assel,
- à l'Ouest et au Sud-Ouest par la commune de Berrihane



Figure IV.1 : Image satellitaire de la ville d'El-kala

➤ **Topographie**

Le relief des environs de l'agglomération d'El Kala présente des surfaces planes (inférieures à 2%), à l'entrée Ouest, et au niveau du CW109.elle commence à s'augmenter en allant vers le nord (le vieux centre).

Dans notre cas d'étude on se base sur le bassin Port.

Bassin de collecte Port

Le bassin de collecte Port couvre une superficie d'environ 140.02 ha. Il collecte les eaux usées des localités suivantes : vieux centre, lotissement front de mer, lotissement cité hôpital, lotissement extension belle vue, lotissement rue de Tunis.

• **Nature des collecteurs**

Le réseau de collecte des eaux du bassin de collecte Port est de type séparatif, c'est-à-dire qu'il comprend d'une part un réseau de collecte d'eau usée et d'autre part celui d'eau pluviale.

- **Pour ce qui est des eaux usées**, le réseau est constitué d'un réseau primaire, d'un réseau secondaire et d'un réseau tertiaire.

Le réseau primaire est constitué par des collecteurs principaux CP-P01, CP-P02,CP-P03 et CP-P04 de matière béton et PE annelé et de diamètres respectivement (DN500, DN400, DN400 et DN 600) reçoivent les eaux des réseaux secondaires et traversent plusieurs quartiers avant de les déverser de façon gravitaire dans le regard R-167 vers la SR port.

Quant au réseau secondaire, il est composé des canalisations nommés CS-P. Ce sont des conduites en béton, de diamètre compris entre 200 mm et 500 mm Celles-ci drainent les eaux de chaque quartier vers les collecteurs primaires.

Les ouvrages d'assainissement recensés au bassin de collecte Port se composent essentiellement de conduites enterrées et de regards et sont disposés sur une distance totale de **12,40 km**.

- **Quant au réseau des eaux pluviales**, Il collecte uniquement les eaux de ruissellement et celles de toitures.

Celui de la zone Port est constitué de canalisations enterrées en béton, PE annelé et PRV de diamètre varie entre 200 et 1200 mm (avaloirs, etc.), une galerie en pierres date de l'époque coloniale. Sur une distance totale de **2,74** km parcourue, les ouvrages recensés se composent essentiellement d'avaloirs, galerie et caniveaux ont été recensés. Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des collecteurs d'eau usée et pluviale « Port »

Tableau IV.1: Tableau récapitulatif des caractéristiques des collecteurs d'eau usée et pluviale « Port »

Type de réseaux	Matériaux	Section	Diamètre (mm)	Linéaire (m)
Eaux usées	BETON	Circulaire	DN 200	2 209
			DN 300	8 213
			DN 400	1 388
			DN 500	61
			DN 600	319
			DN400	207
Eaux pluviales	BETON	Circulaire	DN 300	401
			DN 400	454
			DN 600	1 067
			PE-ANNELE	52
			PE-ANNELE	172
			BETON	74

Les eaux usées de ce bassin se dirigent par gravité vers la station de **relevage Port** qui refoule ensuite ces eaux usées vers la station d'épuration.

Les diagnostics d'assainissement sont des études préalables ou complémentaires d'aide à la décision qui ont pour but de dresser un bilan actuel de fonctionnement des systèmes d'assainissement collectif, d'éliminer le maximum d'eaux parasites, de mettre en place les améliorations nécessaires au bon fonctionnement des systèmes d'assainissement et d'établir un programme des travaux à mettre en place.

Le diagnostic est donc un indicateur de l'efficacité et de la pérennité du système de collecte (détectant les défauts et dysfonctionnements, et estimant parfois leurs éventuels impacts).

Cette évaluation nécessite d'être actualiser suivant les interventions réalisées sur le réseau.

Motivations et objectifs

La motivation majeure d'une étude de diagnostic des réseaux d'assainissement est de mener une réflexion approfondie sur les points suivants :

- La sensibilité des milieux récepteurs et l'incidence des pollutions urbaines (non raccordés, exfiltrations, rejets directs) et des déversements intempestifs, de façon à diminuer la fréquence de ces déversements, voire à supprimer tout risque sur les zones sensibles ;
- L'état et le fonctionnement des réseaux et des ouvrages qui leur sont associés, de manière à mettre en évidence leurs dysfonctionnements, donc on doit chercher à utiliser au mieux les capacités résiduelles des ouvrages et leurs potentialités, pour opérer au besoin des transis déferés et concevoir des solutions d'amélioration.

Ce travail de collecte et d'analyse de l'état de la conduite s'effectue en appliquant des méthodes de plus en plus élaborées comme la visite des regards et des collecteurs des réseaux par inspections visuelles (si ils sont visitables) ou par de caméra (inspection télévisé)

✓ Inspection télévisée.

On définit par « inspection visuelle » l'ensemble des inspections réalisées soit directement depuis la surface pour les regards de visite, boîtes d'inspection et boîtes de branchement soit par un système de caméra vidéo circulant dans la canalisation ou descendant dans les regards et boîtes.

On va montrer maintenant quelque photo (CCTV) des collecteurs d'assainissement

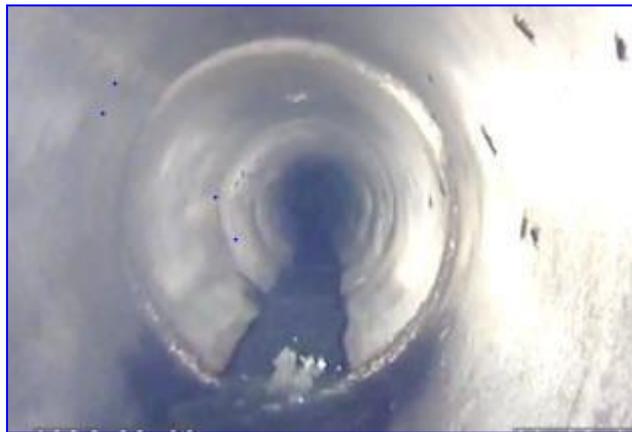


Fig IV.2 : Vue amont de la conduite en Béton DN 800

Observation

- Emboitement insuffisant
- Etanchéités de collecteur est faible
- Risque MTH



FigIV.3 : Vue amont de la conduite en Béton DN 400

Observation

- Emboitement insuffisant
- Etanchéités de collecteur est faible



Fig IV.4 : Vue amont de la conduite en PEHD ANNELE DN 400

Observation

- Déformation de la forme de la conduite



Fig IV.5 : Aval de la conduite en PEHD ANNELE DN 400

Observation

- Raccordement direct entre PEHD-Béton
- L'étanchéité de raccordement est faible
- Risque MTH



Fig IV.6 : Vue amont de la conduite en Béton DN300

Observation

- Emboitement insuffisant
- Etanchéités de collecteur est faible
- Risque MTH
- Présence d'une contre pente



FigIV.7 : amont de la conduite en Béton DN 300

Observation

- Emboitement insuffisant
- Déboitement axial
- Déviation angulaire
- Etanchéités de collecteur est faible
- Risque MTH

Collecte des données

Les données disponibles pour cette étude sont les disques de télévision en circuit fermé pendant notre inspection sur le terrain (bassin port) notre échantillon comporte des conduites faites de matériels tels que béton et PE annelé

Application du modèle

Les données rassemblées de bassin port ont été employées pour l'application de l'approche logistique (régression logistique).

Les facteurs impliqués dans le modèle développé de détérioration sont donnés dans le tableau IV.1

Tableau IV.2 les données impliquées dans le modèle développé

Variable	Description
Age	L'âge de conduit est obtenu en soustrayant l'année d'installation ou de réadaptation de l'année d'inspection. Variable continue
Diamètre	Valeur nominale de diamètre de conduit
Longueur	La longueur d'un segment de tuyau
Pente	pente du segment de tuyau
Matériau	Béton, béton armé, brique, ciment, grès, et PVC. Variable factice

Le modèle suivant d'évaluation a été établi pour chaque étape de matériel et de détérioration :

$$Y^* = \alpha + \beta_1 \text{ âge} + \beta_2 \text{ diamètre} + \beta_3 \text{ longueur} + \beta_4 \text{ pente} + \beta_5 \text{ matériel} + \epsilon$$

Où Y^* est l'état inobservable de conduit

α est le seuil et β_1, \dots, β_5 coefficient de régression

Évaluation modèle : Interpréter les résultats d'un modèle logit ordinal

Dans notre cas on a utilisé le logiciel XLstat qui est la suite logicielle d'analyse de données pour Excel la plus utilisée dans le monde. Il est devenu au fil des années un logiciel de référence dans le domaine des statistiques et de l'analyse de données.

Le tableau suivant donne plusieurs indicateurs de la qualité du modèle (ou qualité de l'ajustement). Ces résultats sont équivalents au R² et au tableau d'analyse de la variance de la régression linéaire et de l'Anova. La valeur la plus importante est le Chi² associé au Log ratio (L.R.). C'est l'équivalent du test F de Fisher du modèle linéaire : on essaie d'évaluer si les variables apportent une quantité d'information significative pour expliquer la variabilité de la variable cible. Dans notre cas, comme la probabilité est inférieure à 0.0001, on peut conclure que les variables apportent une quantité significative d'information.

Tableau IV.3 : Coefficients d'ajustement

Statistique	Indépendant	Complet
Observations	194	194
Somme des poids	498,028	498,028
DDL	496,027561	492,027561
-2 Log(Vraisemblance)	1069,529	996,910
R²(McFadden)	0,000	0,23
R²(Cox and Snell)	0,000	0,21
R²(Nagelkerke)	0,000	0,22
AIC	1073,529	1008,910
SBC	1080,064	1019,982
Itérations	0	6

➤ **Interprétation des résultats obtenus**

- -2 Log(Vrais.) : le logarithme de la fonction de vraisemblance associée au modèle;
- R² (McFadden) : coefficient compris comme le R² entre 0 et 1 qui mesure le bon ajustement du modèle. Ce coefficient est égal à 1 moins le rapport de la vraisemblance du modèle ajusté sur la vraisemblance du modèle indépendant.
- R²(Cox et Snell) : coefficient compris comme le R² entre 0 et 1 qui mesure le bon ajustement du modèle. Ce coefficient est égal à 1 moins le rapport de la vraisemblance du modèle ajusté sur la vraisemblance du modèle indépendant, le rapport étant porté à l'exposant 2/Sw, où Sw est la somme des poids ;
- R²(Nagelkerke) : coefficient compris comme le R² entre 0 et 1 qui mesure le bon ajustement du modèle. Ce coefficient est égal au rapport du R² de Cox et Snell divisé par 1 moins la vraisemblance du modèle indépendant portée à l'exposant 2/Sw ;

- AIC : le critère d'information d'Akaike (Akaike's Information Criterion) ;
- SBC : le critère bayésien de Schwarz (Schwarz's Bayesian Criterion)

Tableau IV.4 : Test de l'hypothèse nulle $H_0 : Y=0$

Statistique	DDL	Khi ²	Pr > Khi ²
-2 Log(Vraisemblance)	4	72,6182072	< 0,0001
Score	4	71,9195657	< 0,0001
Wald	4	66,9752065	< 0,0001

- **Test de l'hypothèse nulle $H_0 : Y=p_0$** : l'hypothèse H_0 correspond au modèle indépendant qui donne la probabilité p_0 quelques soient les valeurs des variables explicatives ; on cherche à vérifier si le modèle ajusté est significativement plus performant que ce modèle. Trois tests sont proposés : le test du rapport des vraisemblance (-2 Log(Vrais.)), le test du Score, et le test de Wald. Les trois statistiques suivent une loi du Khi² dont les degrés de liberté sont indiqués.

On peut ensuite tester l'impact de chaque variable en utilisant des tests de type II comme en analyse de la variance.

Tableau IV.5 Analyse de Type II

Source	DDL	Khi ² (Wald)	Pr > Wald
Age	1	24,376909	< 0,0001
Diamètre	1	16,647849	< 0,0001
Longueur	1	13,2745968	0,0003
Pente %	1	4,04888287	0,044

- **Analyse de Type II** : ce tableau n'a d'intérêt que s'il y a plus d'une variable explicative. On test ici le modèle ajusté contre un test dont on aurait retiré la variable de la ligne du tableau en question. Si la probabilité Pr > LR(Wald) est inférieure à un seuil de signification que l'on se fixe (typiquement 0.05), alors la contribution de la variable à l'ajustement du modèle est significative. Sinon, elle peut être retirée du modèle.

- On voit que l'âge, diamètre ont un effet significatif sur l'état de la conduite. Par contre la longueur de tronçon et la pente n'ont pas une grande influence.

Le tableau suivant donne les premiers détails sur le modèle et est utile pour évaluer la contribution des variables à la qualité du modèle. Il est légèrement différent du cas de la régression logistique. En effet, on a des constantes pour chaque modalité de la variable de réponse. Par contre, il n'y a qu'une seule série de coefficients car on suppose qu'il y a égalité des pentes d'une modalité à une autre.

Tableau IV.6 résultats de la régression logistique ordinale (paramètre du modèle)

Source	Valeur	Erreur standard	Khi ² de Wald	Pr > Khi ²	Wald Borne inf. (95%)	Wald Borne sup. (95%)
Constante4	-4,230	0,483	76,549	< 0,0001	-5,177	-3,282
Constante3	-2,116	0,450	22,111	< 0,0001	-2,998	-1,234
Age	0,031	0,006	24,377	< 0,0001	0,019	0,043
Diamètre	4,240	0,439	16,648	< 0,0001	2,203	6,276
Longueur	0,013	0,004	13,275	0,000	0,006	0,020
Pente	0,077	0,038	4,049	0,044	0,002	0,152
matériau 2	0,000	0,000	/	/	/	/
matériau 3	0,000	0,000	/	/	/	/

L'interprétation des coefficients n'est pas immédiate. En reprenant l'équation du modèle nous avons :

$$Y^* = \alpha + \beta_1 \text{âge} + \beta_2 \text{diamètre} + \beta_3 \text{longueur} + \beta_4 \text{pente} + \beta_5 \text{matériau}$$

$$Y^* = \alpha + 0,031 * \text{âge} + 4,24 * \text{diamètre} + 0,013 * \text{longueur} + 0,077 * \text{pente}$$

D'après les résultats obtenus nous pouvons donc dire que l'âge .diamètre et pente influencent beaucoup sur l'état de la conduite par rapport la longueur, donc notre cas (exemple) le type de matériel n'est pas d'impact sur la réponse Y (variable a expliqué ou a prédire)

les paramètres importants

L'essai sur maquette global comme l'essai de Wald l'importance de paramètres a montré quelques paramètres étaient plus sensibles que d'autres suivant indications du tableau III.5

Les paramètres tels que l'âge, le diamètre et le matériel sont significatifs à différents niveaux de confiance. Pour la classe 1 (optimisation obtenue avec 194 conduits), l'âge et le diamètre sont avérés significatifs avec un niveau de confiance de 95% tandis que le matériel est significatif avec 90%. La pente et la longueur ne sont pas significatives en ce qui concerne le moins ensemble de niveau d'importance.

D'une part le diamètre et le matériel sont significatifs 90% pour la classe 2 et sont significatifs plus pour la classe 3.

Par conséquent les modèles ont été seulement établis avec des paramètres significatifs.

Donc notre formule est :

$$Y^* = \alpha + 0,031 * \text{âge} + 4,24 * \text{diamètre} + 0,013 * \text{longueur} + 0,077 * \text{pente}$$

Pour le matériau, lorsque on étudie l'influence du type de matériaux utilisée dans le système d'assainissement sur la repense Y (état de la conduite) on a obtenu les coefficients de régression (Beta) suivants :

$\beta_5 = 0$ pour le béton

= 0.504 pour le PE Annelé

Le pourcentage de résultats correctement prévus peut être utilisé comme une statistique supplémentaire pour démontrer l'efficacité du modèle conçu.

Tableau IV.7 : Pourcentage correctement prévu (tableau de classification)

de \ Vers	2	3	4	Total	% correct
2 (bien)	35,9401332	92,4174855	2,56715237	130,924771	57,45%
3 (acceptable)	46,2087427	130,924771	41,074438	218,207952	60,00%
4 (grave)	0	102,686095	46,2087427	148,894838	54,03%
Total	89,148876	326,028352	89,8503331	498,027561	57,16%

XLSTAT donne la possibilité d'afficher le tableau de classification (aussi appelé matrice de confusion) qui permet de calculer un pourcentage d'observations bien classées, pour un point de séparation donné.

D'après ce tableau on remarque que le model mathématique obtenu de la régression logistique a prévu correctement 57% des conduites en bonne état (2) ,60% en état acceptables et 54% des conduites en état graves .en total ce model permet de détecté correctement 57% de l'état de conduites.

Conclusion et recommandation

Un model probalistique a été produit basé sur le modèle logistique ordonnée. Cette approche semble réaliste que d'autre méthodes déterminées existant dans la nature latente de processus de détérioration.les résultats obtenus peuvent être utilisés parmi d'autre outils dans la gestion de système d'égout sanitaire.

Les études précédentes ont suggéré que plus observation soit nécessaire pour construire des modèles plus efficaces. Cependant, cette précaution ne résoudrait certainement pas le problème tant que le processus de détérioration est un phénomène inopportun et aléatoire.de plus les conduite sont conçus pour être auto cureuse, qui signifie que les défauts observés au temps t ne pourrait pas être observes au temps $t+1$,après une lourde pluie torrentielle.

Des paramètres supplémentaires comme la fréquence d'interventions sont exigées comme des variables explicatives pour améliorer ce modèle. Paramètre de qualité de l'eau comme l'acidité, minéralisation, concentration en matière organique et les métaux, devraient être inclus aussi dans l'analyse. Un plus grand échantillon de données est aussi nécessaire pour affiner le modèle développé.

Conclusion générale

L'inspection continue de n'importe quel réseau d'égout incluant des conduites et des stations de pompage est nécessaire de fournir la maintenance exigée dès que possible. La formation du personnel technique aidera dans l'amélioration de la capacité des travailleurs pour la bonne gestion de problèmes techniques.

Les modèles de détérioration aideront à prévoir la condition d'actif de système d'assainissement. Dans notre projet un modèle de détérioration a été développé pour le bassin Port dans la ville d'Elkala. La régression logistique a été utilisés pour le développement de ces modèles ou les résultats obtenus sont satisfaisants sur le plan statistique, soit plus de 50% en moyenne des transitions correctement prédites pour toutes les classes nonobstant leur taille. (le modèle a prédit correctement 57% de l'état des conduites en classe bonne, 60% pour la classe moyenne et 57% pour la mauvaise classe).

Ce pourcentage serait sûrement plus élevé si la classe 1 était plus large. En réalité, sur le terrain, les conduites renouvelées placées sont moins nombreuses et les inspections plutôt rares.

Les travaux précédents [Baik et al. 2006] ont fait état de l'utilisation de plus d'une observation pour parvenir à un modèle efficient. Cependant, force est de constater que cette précaution ne réglerait pas définitivement le problème compte tenu du caractère intempestif et aléatoire des phénomènes conduisant à la détérioration des conduites. De plus, les conduites étant autonettoyantes, les défauts observés à un moment t ne pourraient pas nécessairement être observés au moment $t+1$ si dans l'entretemps des précipitations d'une récurrence élevée étaient prises en charge par le réseau.

C'est pourquoi nous estimons qu'il serait judicieux d'introduire d'autres paramètres dans le modèle afin de l'améliorer comme la forme de la conduite, profondeur, influence de l'environnement, présence des racines, présence de dépôt de sédiment et son type et les facteurs d'opération comme le fonctionnement du Systems et son maintenance), nous pensons notamment aux opérations d'entretien et maintenance.

La fréquence de ces travaux devrait être un facteur dont il faille prendre compte dans la modélisation afin de pouvoir la rendre plus proches des conditions réelles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Adeline GILLET, Yves BROSTAUX & Rodolphe PALM, «Principaux modèles utilisés en régression logistique», *BASE* [En ligne], numéro 3, Volume 15 (2011), 425-433 URL : <http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=7734>. Consulté le 07/04/2017.

Alain Lubini Tshumuka, 2010, établissement des courbes de dégradation des conduites des réseaux sanitaires : méthodologie et étude de cas à Verdun et Ste-hyacinthe au Québec, Canada, 78p, https://publications.polymtl.ca/477/1/2010_AlainLubiniTshumuka.pdf . Consulté le 01/01/2017.

Alegre H. 2007. Strategic infrastructure asset management: concepts, 'schools' and research needs, LESAM, IWA and LNEC, Lisbon, 17-19 October.

Boudon J., Martin M., Vanden Bossche B., Luço J., Darrées A.P. & Brodard E. (2007). IS4AM: an information system framework for asset management, LESAM, IWA and LNEC, Lisbon, 17-19 October.

Berland J.M. 2004. Réhabilitation des réseaux d'assainissement en zone rurale, Document technique FNDAE n°32, 115 p.

Brueck T. & Blankenship L. 2007. Benchmarking enables utilities to identify asset management best practices in North America, LESAM, IWA and LNEC, Lisbon, 17-19 October.

CERIU/NASSCO .2001. : Programme du PACP certification visant l'évaluation de l'état des conduites. CERIU-Version 4.3.1 VF

Delfosse G. 2001. La politique technique de restauration du réseau routier national. In : Journées scientifiques et techniques du CETMEF, 2, 3 et 4 octobre.

Dorchies D. 2005. « Etude de l'applicabilité de l'outil d'aide à la décision RERAU pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement sur l'inventaire du département du Bas-Rhin. » Mémoire de fin d'études : ENGEES Strasbourg, UMR Gestion des Services Publics, 62 p. + annexes.

Références bibliographiques

El Sanharawi.M,comprendre le regression logistique,journal Français d’Ophtalmologie, volume36,n°8,pages710-715(octobre2013),Doi : 10.1016/j.jfo.2013.05.008,
[http:// Comprendre%20la%20régression%20logistique%20-%20EM_consulte.html](http://Comprendre%20la%20régression%20logistique%20-%20EM_consulte.html).
Consulté le 04/02/2017.

EPA .2003. Asset management: a handbook for sma ll water systems, Environmental Protection Agency,August 2005, USA.

FHWA .1999. Asset Management Primer [en ligne]. U.S. Department of Transportation- Federal Highway Administration Office of Asset Management, Disponible sur :
<http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/amprimer.pdf>.

Goyon Leroux V. 2006. Élaboration d’une politique d’entretien routier [en ligne], Journée technique :Systèmes d’Informations Routiers. Aix-en-Provence, Jeudi 8 juin Disponible sur :
http://ceteaix.fr/div/CD_ROM_SIR/index.htm.

Haskins S. 2006. Case study - Seattle (US). IWA World Water Congress, Session Workshop on Strategic Asset Management, Benchmarking and Performance Indicators, September 11, Beijing, China.

Hassoun, M.H. 1995 Fundamentals of Artificial Neural Networks. The MIT press, pp. 511. Cambridge, Massachusetts

Karkar.L.2010.Dimensionnement et protection du réseau d’assainissement de la ville d’El-Affroun (Blida),139p.

Kleiner, Y. 2001: Scheduling inspection and renewal of large infrastructure assets. J Infrastructure systems, 12, 136-143.

Koo, D.H and Ariaratnam, S.T .2006. Innovative method for assessment of underground sewer pipe condition. Elsevier. Automation in construction 15, 479-488

Lair J. 2000. Evaluation de la durabilité des systèmes constructifs du bâtiment. Thèse de doctorat,université Blaise Pascal- Clermont II, 212 p.

Références bibliographiques

Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J. 2004. RERAU : Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique. Paris : Lavoisier Tec&Doc, 416 p., ISBN 2-7430-0748-6.

Le Gauffre P., Ruffier J., Tanguy C., Laffrèchine K., Miramond M., Perraudin L., Richard F. 2001. Projet CAPTUR : Consolidation d'un cadre d'Analyse des Patrimoines Techniques Urbains de type réseau. Cas des réseaux d'eau et d'assainissement, Ministère de l'éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie, INSA LYON / Unité de Recherche Génie Civil – Hydrologie Urbaine, Décision d'aide n° 99 V 0492.

Leung, F. H. F., Lam, H. K., Ling, S. H. & Tam, K. S. 2003. Tuning of the Structure and parameters of a Neural Network Using an Improved Genetic Algorithm. IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 14, No. 1, pp. 79-88.

Mailhot, A., Duchesne, S., Musso, E. & Villeneuve, J.P. 2000. Modélisation de l'évolution de l'état structural des réseaux d'égout : application à une municipalité du Québec. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.27, 65-72.

Micevski, T., Kuczera, G. & Coombes, P. 2002. Markov model for storm water pipe Deterioration. Journal of Infrastructure Systems, Vol.8, No.2, pp. 49-56.

Morcous, G., Rivard, H. & Hanna, M. A. 2002b. Case-Based Reasoning System for modeling infrastructure Deterioration. Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 16, No. 2, pp. 104-114.

Musy, A. 1998. Principes de modélisation. In H*G*A (éd), Hydrologie Appliquée (pp207-242). Bucarest.

Poinard .2006. Modèles pour la conception de stratégies et de programmes de réhabilitation des réseaux urbains d'eau potable. Thèse de doctorat : INSA de Lyon, 225 p.

Quick C. 2007. Institutional, organisational and research aspects: asset management system, the corner stone of managing an asset rich industry, LESAM, IWA and LNEC, Lisbon, 17-19 October.

Rahman S. & Vanier D.J. 2004. Municipal Infrastructure Investment Planning Report: An Evaluation of Condition Assessment Protocols for Sewer Management, Ottawa (Canada) NRC – CNRC, Report No: B-5123.6, Contract No: B-5123, Program: Urban Infrastructure Program, 20 p.

Sægrov S. (Ed.) 2006. CARE-S - Computer Aided Rehabilitation for Sewer and Storm water Networks, IWA Publishing, ISBN: 1843391155, 140 p.

Schulting F. L .2007. Global developments of strategic asset management, LESAM, IWA and LNEC, Lisbon, 17-19 October.

Serre D. 2005. Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations. Thèse de doctorat : Université de Marne-la-Vallée, 363 p.

Sklar D. & West R. 2007. Implementing an asset management approach to capital investment planning, LESAM, IWA and LNEC, Lisbon, 17-19 October.

Turing, A. 2010 .what is artificial intelligence?

http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/Reference%20Articles/What%20is%20AI.htm

]. Access on 09/12/2016

Vanier D. J. & Rahman S.2004. MIIP Report: A primer on municipal infrastructure asset management, National Research Council Canada, 71 pp., Disponible sur :<http://irc.nrcnrc.gc.ca/pubs/fulltext/b5123.3/b5123.3.pdf>, ref. July.

WRC: Le Centre de recherche sur l'eau (WRC) est un centre universitaire leader international de premier plan qui fournit une recherche pluridisciplinaire dans le domaine des ressources en eau, de l'ingénierie, de la gestion et du développement d'outils pour la gestion de l'environnement et la durabilité pour améliorer les milieux aquatiques et atmosphériques. Avec ses deux sites de recherche; WRC au campus de Kensington et au Laboratoire de recherche sur l'eau (WRL), situé à Manly Vale, est un centre de recherche de l'Université de New South Wales (UNSW).

Références bibliographiques

Wan Ibrahim, W.H. 1994 : Econometric methods for estimating infrastructure deterioration models with discrete condition data and for computing transition probabilities. PhD. Dissertation, Department of Civil Engineering, Purdue University

Wirahadikusumah, R., Abraham, D. & Iseley, T. 2001. Challenging issues in modeling deterioration of combined sewers. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.7, No.2, pp. 77-84

Annexe

Annexe1 : Tableau des données utilisé

Etat de la conduite	Age(ans)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Pente%	Matériaux
2(bonne)	46	0,3	61	5,9	2(béton)
2	46	0,3	29	4,1	2
2	46	0,3	16	5,6	2
2	46	0,3	33	1,2	2
3(acceptable)	46	0,3	12	3,3	2
3	46	0,3	18	2,8	2
3	46	0,3	43	5,1	2
3	46	0,3	106	3,8	3(PE annelé)
3	46	0,3	31	4,6	3
3	46	0,3	37	3,7	3
3	46	0,4	48	3,4	3
2	46	0,4	70	3,4	3
2	45	0,4	65	1,4	3
2	45	0,4	45	2,3	3
3	45	0,4	35	3,1	3
4(grave)	46	0,4	16	0,9	3
4	46	0,3	8	5,6	2
4	46	0,3	25	3,6	2
3	46	0,5	31	2,9	2
3	45	0,5	15	3,9	2
3	45	0,5	55	0,2	2
4	45	0,5	52	1	2
4	45	0,5	6	0,3	2
4	45	0,5	19	2,3	2
3	45	0,5	44	0,8	2
3	45	0,5	14	5	2
4	45	0,2	43	3,4	2
4	46	0,2	16	3,4	2
4	46	0,2	10	13,7	2
2	46	0,2	14	3,7	2
2	46	0,2	14	5,5	2
2	46	0,2	35	4,1	2
2	46	0,2	72	5,2	2
2	46	0,2	20	5	2
2	46	0,2	29	5,7	2
2	46	0,2	49	2,4	2
3	46	0,2	23	5,7	2
3	46	0,2	27	4,2	2
3	46	0,3	26	0,6	2

Annexe

Suite du tableau					
Etat de la conduite	Age(ans)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Pente%	Matériaux
3(acceptable)	46	0,4	75	0,9	2(béton)
3	46	0,3	74	3,8	2
3	46	0,2	116	6,3	2
4(grave)	46	0,2	30	5,7	2
4	45	0,3	71	1,5	2
3	45	0,2	13	13,1	2
3	45	0,2	29	9,7	2
4	45	0,2	169	3,7	2
4	46	0,2	58	3,2	2
4	46	0,4	34	4,3	2
3	46	0,4	29	2,9	2
3	46	0,4	17	1,4	2
3	46	0,2	23	5,4	2
4	46	0,2	25	3,5	2
4	46	0,2	10	4,1	2
4	46	0,6	76	4,2	2
3	46	0,6	46	2,5	2
3	10	0,3	25	11,6	2
3	10	0,3	23	0,8	2
3	10	0,3	60	0,8	2
3	10	0,3	32	2,2	2
2(bonne)	10	0,3	32	0,4	2
2	10	0,3	57	0,8	2
2	10	0,3	21	3,5	2
2	10	0,3	28	5,7	2
3	10	0,3	35	2,6	2
3	10	0,3	19	2,5	2
2	10	0,3	56	1,3	2
3	10	0,3	38	2,1	2
3	10	0,3	26	3,4	2
3	10	0,3	39	4,3	2
2	10	0,3	23	2,1	2
3	10	0,3	20	2,1	2
3	10	0,3	15	2,3	2
3	10	0,3	15	2,4	2
3	10	0,3	30	2,5	2
3	10	0,3	25	3,3	2
2	46	0,3	61	5,9	2
2	46	0,3	29	4,1	2
2	46	0,3	16	5,6	2
2	46	0,3	33	1,2	2
3	45	0,3	12	3,3	2

Annexe

Suite du tableau					
Etat de la conduite	Age(ans)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Pente%	Matériaux
3	45	0,3	18	2,8	2
3	45	0,3	43	5,1	2
3	45	0,3	106	3,8	3
3	46	0,3	31	4,6	3
3	46	0,3	37	3,7	3
3	46	0,4	48	3,4	3
4	46	0,4	70	3,4	3
4	46	0,4	65	1,4	3
3	46	0,4	45	2,3	3
3	46	0,4	35	3,1	3
4	46	0,4	16	0,9	3
4	46	0,4	8	5,6	2
4	46	0,3	25	3,6	2
3	45	0,5	31	2,9	2
3	45	0,5	15	3,9	2
4	45	0,5	55	0,2	2
4	45	0,5	52	1	2
4	45	0,5	6	0,3	2
4	45	0,5	19	2,3	2
3	45	0,5	44	0,8	2
3	45	0,5	14	5	2
4	35	0,2	43	3,4	2
4	35	0,2	16	3,4	2
4	35	0,2	10	13,7	2
2	35	0,2	14	3,7	2
2	35	0,2	14	5,5	2
2	35	0,2	35	4,1	2
2	35	0,2	72	5,2	2
2	35	0,2	20	5	2
2	36	0,2	29	5,7	2
2	36	0,2	49	2,4	2
3	36	0,2	23	5,7	2
3	36	0,2	27	4,2	2
3	36	0,3	26	0,6	2
3	36	0,4	75	0,9	2
3	36	0,3	74	3,8	2
4	46	0,2	116	6,3	2
4	46	0,2	30	5,7	2
4	46	0,3	71	1,5	2
3	46	0,2	13	13,1	2
3	46	0,2	29	9,7	2
4	46	0,2	169	3,7	2

Annexe

Suite du tableau					
Etat de la conduite	Age(ans)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Pente%	Matériaux
4	46	0,2	58	3,2	2
4	46	0,4	34	4,3	2
3	46	0,4	29	2,9	2
3	46	0,4	17	1,4	2
3	46	0,2	23	5,4	2
4	36	0,2	25	3,5	2
4	36	0,2	10	4,1	2
4	36	0,6	76	4,2	2
3	36	0,6	46	2,5	2
3	10	0,3	25	11,6	2
3	10	0,3	23	0,8	2
3	10	0,3	60	0,8	2
3	10	0,3	32	2,2	2
2	10	0,3	32	0,4	2
2	10	0,3	57	0,8	2
2	10	0,3	21	3,5	2
2	10	0,3	28	5,7	2
2	10	0,3	35	2,6	2
2	10	0,3	19	2,5	2
2	10	0,3	56	1,3	2
3	10	0,3	38	2,1	2
3	10	0,3	26	3,4	2
3	10	0,3	39	4,3	2
2	10	0,3	23	2,1	2
3	10	0,3	20	2,1	2
3	10	0,3	15	2,3	2
3	10	0,3	15	2,4	2
3	10	0,3	30	2,5	2
3	10	0,3	25	3,3	2
2	35	0,3	60	0,2	2
2	35	0,3	54	1,4	2
2	35	0,3	64	5,8	2
2	35	0,3	40	5,1	2
2	35	0,3	50	3,2	2
2	35	0,3	52	4,6	2
3	30	0,3	60	5,3	2
3	35	0,3	62	5	2
3	35	0,3	65	4,6	2
4	35	0,3	20	4	2
4	35	0,3	41	3,8	2
4	35	0,3	55	3,7	2
4	35	0,3	20	4,7	2

Annexe

Suite du tableau					
Etat de la conduite	Age(ans)	Diamètre (m)	Longueur (m)	Pente%	Matériaux
3	35	0,3	23	4,3	2
3	35	0,3	72	5,7	2
3	36	0,4	50	5,7	2
4	36	0,4	70	5,7	2
4	36	0,4	80	5,9	2
4	36	0,4	33	4,9	2
4	36	0,4	65	4,7	2
4	35	0,4	50	5,8	2
2	35	0,4	20	5,5	2
2	35	0,4	40	4,2	2
2	35	0,3	15	4,7	2
3	35	0,3	30	5,7	2
3	35	0,3	35	5,7	2
3	35	0,3	45	5,7	2
2	40	0,4	50	5,7	2
3	40	0,3	10	5,7	2
4	40	0,3	24	5,7	2
4	40	0,3	100	5,7	2
2	40	0,3	35	5,2	2
2	40	0,3	18	5,3	2
2	40	0,3	21	5,4	2
2	40	0,3	63	4,2	2
3	40	0,3	40	5,7	2
3	40	0,3	68	5	2
3	40	0,4	33	3,4	2
3	40	0,4	33	5,7	2
3	40	0,4	33	5,2	2
4	30	0,3	70	6	2
4	35	0,3	50	5,7	2
4	35	0,3	66	5,7	2

Annexe 2 : Tableau de prédiction de probabilité (prédiction de l'état de la conduite)

Observation	Préd(2)	Préd(3)	Préd(4)
PredObs1	0,140	0,860	0,426
PredObs2	0,220	0,780	0,300
PredObs3	0,229	0,771	0,289
PredObs4	0,251	0,749	0,265
PredObs5	0,272	0,728	0,245
PredObs6	0,264	0,736	0,252
PredObs7	0,179	0,821	0,356
PredObs8	0,097	0,903	0,529
PredObs9	0,209	0,791	0,314
PredObs10	0,208	0,792	0,315
PredObs11	0,132	0,868	0,442
PredObs12	0,103	0,897	0,512
PredObs13	0,125	0,875	0,457
PredObs14	0,147	0,853	0,412
PredObs15	0,156	0,844	0,396
PredObs16	0,218	0,782	0,302
PredObs17	0,177	0,823	0,360
PredObs18	0,236	0,764	0,281
PredObs19	0,114	0,886	0,483
PredObs20	0,131	0,869	0,444
PredObs21	0,108	0,892	0,500
PredObs22	0,105	0,895	0,506
PredObs23	0,183	0,817	0,350
PredObs24	0,140	0,860	0,426
PredObs25	0,117	0,883	0,477
PredObs26	0,123	0,877	0,462
PredObs27	0,282	0,718	0,236
PredObs28	0,349	0,651	0,184
PredObs29	0,208	0,792	0,315
PredObs30	0,350	0,650	0,183
PredObs31	0,319	0,681	0,205
PredObs32	0,285	0,715	0,232
PredObs33	0,186	0,814	0,346
PredObs34	0,311	0,689	0,211
PredObs35	0,276	0,724	0,241
PredObs36	0,275	0,725	0,241
PredObs37	0,291	0,709	0,227
PredObs38	0,305	0,695	0,216
PredObs39	0,277	0,723	0,239
PredObs40	0,116	0,884	0,480
PredObs41	0,140	0,860	0,427
PredObs42	0,107	0,893	0,503

Suite du tableau			
Observation	Préd(2)	Préd(3)	Préd(4)
PredObs43	0,273	0,727	0,243
PredObs44	0,168	0,832	0,375
PredObs45	0,209	0,791	0,314
PredObs46	0,219	0,781	0,302
PredObs47	0,069	0,931	0,620
PredObs48	0,242	0,758	0,275
PredObs49	0,146	0,854	0,415
PredObs50	0,168	0,832	0,374
PredObs51	0,209	0,791	0,313
PredObs52	0,296	0,704	0,223
PredObs53	0,322	0,678	0,203
PredObs54	0,355	0,645	0,180
PredObs55	0,041	0,959	0,738
PredObs56	0,067	0,933	0,627
PredObs57	0,336	0,664	0,192
PredObs58	0,545	0,455	0,092
PredObs59	0,427	0,573	0,140
PredObs60	0,489	0,511	0,112
PredObs61	0,524	0,476	0,099
PredObs62	0,436	0,564	0,135
PredObs63	0,499	0,501	0,108
PredObs64	0,435	0,565	0,136
PredObs65	0,472	0,528	0,119
PredObs66	0,525	0,475	0,099
PredObs67	0,430	0,570	0,138
PredObs68	0,472	0,528	0,119
PredObs69	0,485	0,515	0,114
PredObs70	0,426	0,574	0,140
PredObs71	0,520	0,480	0,100
PredObs72	0,529	0,471	0,097
PredObs73	0,541	0,459	0,093
PredObs74	0,539	0,461	0,094
PredObs75	0,489	0,511	0,112
PredObs76	0,490	0,510	0,112
PredObs77	0,140	0,860	0,426
PredObs78	0,220	0,780	0,300
PredObs79	0,229	0,771	0,289
PredObs80	0,251	0,749	0,265
PredObs81	0,272	0,728	0,245
PredObs82	0,264	0,736	0,252
PredObs83	0,179	0,821	0,356
PredObs84	0,097	0,903	0,529
PredObs85	0,209	0,791	0,314

Suite du tableau			
Observation	Préd(2)	Préd(3)	Préd(4)
PredObs86	0,208	0,792	0,315
PredObs87	0,132	0,868	0,442
PredObs88	0,103	0,897	0,512
PredObs89	0,125	0,875	0,457
PredObs90	0,147	0,853	0,412
PredObs91	0,156	0,844	0,396
PredObs92	0,218	0,782	0,302
PredObs93	0,177	0,823	0,360
PredObs94	0,236	0,764	0,281
PredObs95	0,114	0,886	0,483
PredObs96	0,131	0,869	0,444
PredObs97	0,108	0,892	0,500
PredObs98	0,105	0,895	0,506
PredObs99	0,183	0,817	0,350
PredObs100	0,140	0,860	0,426
PredObs101	0,117	0,883	0,477
PredObs102	0,123	0,877	0,462
PredObs103	0,282	0,718	0,236
PredObs104	0,349	0,651	0,184
PredObs105	0,208	0,792	0,315
PredObs106	0,350	0,650	0,183
PredObs107	0,319	0,681	0,205
PredObs108	0,285	0,715	0,232
PredObs109	0,186	0,814	0,346
PredObs110	0,311	0,689	0,211
PredObs111	0,276	0,724	0,241
PredObs112	0,275	0,725	0,241
PredObs113	0,291	0,709	0,227
PredObs114	0,305	0,695	0,216
PredObs115	0,277	0,723	0,239
PredObs116	0,116	0,884	0,480
PredObs117	0,140	0,860	0,427
PredObs118	0,107	0,893	0,503
PredObs119	0,273	0,727	0,243
PredObs120	0,168	0,832	0,375
PredObs121	0,209	0,791	0,314
PredObs122	0,219	0,781	0,302
PredObs123	0,069	0,931	0,620
PredObs124	0,242	0,758	0,275
PredObs125	0,146	0,854	0,415
PredObs126	0,168	0,832	0,374
PredObs127	0,209	0,791	0,313
PredObs128	0,296	0,704	0,223

Suite du tableau			
Observation	Préd(2)	Préd(3)	Préd(4)
PredObs129	0,322	0,678	0,203
PredObs130	0,355	0,645	0,180
PredObs131	0,041	0,959	0,738
PredObs132	0,067	0,933	0,627
PredObs133	0,336	0,664	0,192
PredObs134	0,545	0,455	0,092
PredObs135	0,427	0,573	0,140
PredObs136	0,489	0,511	0,112
PredObs137	0,524	0,476	0,099
PredObs138	0,436	0,564	0,135
PredObs139	0,499	0,501	0,108
PredObs140	0,435	0,565	0,136
PredObs141	0,472	0,528	0,119
PredObs142	0,525	0,475	0,099
PredObs143	0,430	0,570	0,138
PredObs144	0,472	0,528	0,119
PredObs145	0,485	0,515	0,114
PredObs146	0,426	0,574	0,140
PredObs147	0,520	0,480	0,100
PredObs148	0,529	0,471	0,097
PredObs149	0,541	0,459	0,093
PredObs150	0,539	0,461	0,094
PredObs151	0,489	0,511	0,112
PredObs152	0,490	0,510	0,112
PredObs153	0,265	0,735	0,251
PredObs154	0,262	0,738	0,254
PredObs155	0,182	0,818	0,352
PredObs156	0,242	0,758	0,275
PredObs157	0,245	0,755	0,271
PredObs158	0,221	0,779	0,298
PredObs159	0,221	0,779	0,299
PredObs160	0,195	0,805	0,333
PredObs161	0,194	0,806	0,334
PredObs162	0,309	0,691	0,212
PredObs163	0,258	0,742	0,258
PredObs164	0,227	0,773	0,292
PredObs165	0,298	0,702	0,221
PredObs166	0,296	0,704	0,223
PredObs167	0,168	0,832	0,374
PredObs168	0,149	0,851	0,408
PredObs169	0,119	0,881	0,471
PredObs170	0,105	0,895	0,507
PredObs171	0,188	0,812	0,343

Suite du tableau			
Observation	Préd(2)	Préd(3)	Préd(4)
PredObs172	0,135	0,865	0,436
PredObs173	0,148	0,852	0,410
PredObs174	0,207	0,793	0,316
PredObs175	0,183	0,817	0,351
PredObs176	0,312	0,688	0,211
PredObs177	0,257	0,743	0,259
PredObs178	0,245	0,755	0,271
PredObs179	0,222	0,778	0,297
PredObs180	0,130	0,870	0,446
PredObs181	0,277	0,723	0,240
PredObs182	0,242	0,758	0,274
PredObs183	0,108	0,892	0,500
PredObs184	0,224	0,776	0,295
PredObs185	0,263	0,737	0,253
PredObs186	0,254	0,746	0,262
PredObs187	0,179	0,821	0,357
PredObs188	0,207	0,793	0,317
PredObs189	0,161	0,839	0,386
PredObs190	0,182	0,818	0,352
PredObs191	0,157	0,843	0,393
PredObs192	0,162	0,838	0,384
PredObs193	0,191	0,809	0,338
PredObs194	0,211	0,789	0,311
PredObs195	0,179	0,821	0,356

- pour l'état des conduites la numérotation signifier (2 : bonne, 3 : acceptable, 4 : grave)
- Pour le type de matériaux 2 signifier le Béton, 3 :c'est le PE annelé

