



**HAL**  
open science

# Proposition et mise en œuvre d'une méthode de gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement et d'eau potable, et analyse des points communs en vue d'une mutualisation des données

Abdessalam Ait Said

## ► To cite this version:

Abdessalam Ait Said. Proposition et mise en œuvre d'une méthode de gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement et d'eau potable, et analyse des points communs en vue d'une mutualisation des données. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-03542032

**HAL Id: dumas-03542032**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03542032v1>**

Submitted on 25 Jan 2022

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

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

## **Proposition et mise en œuvre d'une méthode de gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement et d'eau potable, et analyse des points communs en vue d'une mutualisation des données**

« Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES »

« Formation par apprentissage »

**Soutenu le 11 Octobre 2018**



**Abdessalam AIT SAID**

Structure d'accueil :

Maître d'apprentissage :

Tuteur académique :

**Promotion Freiburg 2015/2018**

Communauté d'agglomération  
Béziers Méditerranée

M. Philippe MARTIN  
Chef du service « Gestion  
patrimoniale des réseaux »

Mme Caty WEREY  
UMR Irstea/Enges GESTE



## Remerciements

Je tiens à remercier M. Philippe BARBET pour m'avoir permis de réaliser mon apprentissage au sein de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement et pour ses différentes remarques lors de mes présentations.

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Philippe MARTIN mon maître d'apprentissage pour m'avoir accueilli dans son service et avoir permis que ce travail se déroule dans les meilleures conditions. Je le remercie pour les valeurs et les connaissances qu'il a su me transmettre au cours de ces trois années. Je le remercie pour sa disponibilité quotidienne et pour la confiance qu'il m'a accordée au cours des différents projets menés. Je le remercie pour sa patience, sa pédagogie et sa capacité à tout simplifier avec des schémas. Je veux le remercier également de m'avoir laissé la liberté d'assister aux différentes réunions de service, d'accompagner les techniciens sur le terrain et d'assister aux différentes formations proposées par la collectivité.

Je souhaite remercier également Mme Caty WEREY pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, ses réponses souvent rapides à toutes mes questions, ses critiques constructives et surtout pour son suivi très sérieux et son investissement dans mon travail le long de mes trois années d'apprentissage.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à Mme Céline BOUDES du service SIG qui était toujours disponible pour répondre à mes questions et pour me fournir les données nécessaires à mon étude. Je la remercie pour son investissement continu le long de ce travail et pour les différentes réflexions que nous avons menées ensemble.

Je remercie François Llopis avec qui j'ai partagé mon bureau. Je le remercie pour sa gentillesse, sa bonne humeur, ses conseils ainsi que sa disponibilité quotidienne pour répondre à mes questions ; nos échanges vont sûrement me manquer. Je remercie également tous les membres du service SIG, du service « GPR » ainsi que l'ensemble de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement avec qui il est toujours facile d'échanger ; je les remercie d'avoir su faire de chaque journée à la collectivité un moment agréable.

Je souhaite remercier également M. Yves LEGAT de l'IRSTEA d'avoir accepté de répondre à mes différentes questions concernant l'utilisation de l'outil « Gompitz » et de m'avoir assisté gratuitement dans cette démarche à travers des journées de formation. Je le remercie pour sa gentillesse ainsi que pour son aide précieuse et inconditionnelle.

Je souhaite remercier également M. Olivier MENARD du groupe Altereo pour la formation aux outils « Indigau » et « Siroco », je le remercie d'avoir répondu à toutes mes questions, et de m'avoir aidé à arriver jusqu'au bout de mon travail malgré les retards dus aux dysfonctionnements des outils. Il a toujours su me convaincre avec ses réponses et ses analyses toujours pertinentes.

Enfin, je remercie toutes les autres personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin. Ce travail n'aurait jamais pu aboutir sans leur aide précieuse et leur gentillesse.



## Résumé

### **Proposition et mise en œuvre d'une méthode de gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement et d'eau potable, et analyse des points communs en vue d'une mutualisation des données**

L'objectif de ce travail est de proposer des méthodes de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable et d'assainissement en se basant sur des modélisations statistiques et des analyses multicritères à l'aide des outils « Siroco » et « Indigau » disponibles à l'Agglo Béziers Méditerranée. L'étude est réalisée sur une petite commune test « Bassan » pour deux raisons : la qualité et la quantité des données disponibles mais également pour pouvoir aller jusqu'au bout de la démarche afin d'évaluer la pertinence des résultats obtenus avant de décider de la généraliser ou pas sur l'ensemble du territoire.

Deux approches ont été appliquées sur les réseaux d'assainissement afin de proposer une hiérarchisation des tronçons à inspecter par ordre de gravité (approche statistique de type scoring et approche RERAU). Les résultats de l'approche RERAU étaient plus pertinents, nous l'avons donc adoptée pour la suite de l'étude. Nous avons utilisé ensuite l'outil « Indigau » avec différents paramétrages, ce qui nous a permis de comparer plusieurs scénarios de programmes de renouvellement et en choisir le plus pertinent d'un point de vue technique et économique.

En ce qui concerne les réseaux d'eau potable, nous avons commencé par réaliser une modélisation statistique à l'aide de l'outil « Casses » pour prévoir le taux de casse des canalisations dans le futur. Ensuite, nous avons réalisé une analyse multicritère à l'aide de l'outil Siroco qui nous a permis de comparer l'efficacité de plusieurs scénarios de renouvellement par rapport à quatre critères définis (criticité hydraulique, perturbation du trafic routier, coût annuel de réparation, pertes en eau évitées) avant de choisir le scénario le plus pertinent et évaluer les bénéfices réalisés sur chaque critère.

Finalement, nous avons réalisé trois cartes des travaux prévus sur la période (2019-2021) « travaux eau potable, travaux assainissement et travaux voirie » afin que les techniciens puissent coordonner entre les différents services et bien analyser chaque scénario avant de décider quels travaux engager.

## **Abstract**

### **Proposal and implementation of a patrimonial management method for sanitation and drinking water networks, and analysis of the common points in order to instaure a pooling data.**

This work's objective is to propose methods of patrimonial management of drinking water and sanitation networks based on statistical modeling and multicriteria analyzes using the "Siroco" and "Indigau" tools available at the Agglo Beziers Mediterranean. The study is conducted on a small town test "Bassan" for two reasons: the quality and quantity of data available but also to be able to assess the relevance of the results obtained before deciding to generalize it or not on the whole territory.

Two approaches have been applied to the sewerage networks in order to propose the sections' hierarchy to be inspected based on their states (statistical approach of the scoring type and the RERAU approach). The results of the RERAU approach were more relevant and that explains why we adopted it for the rest of the study. We then used the "Indigau" tool with different settings, which allowed us to compare several scenarios of renewal programs and choose the most relevant program from a technical and economic point of view.

Concerning the drinking water systems, we started by establishing a statistical modeling using the "Casses" tool to predict the pipe breakage rate in the future. Then we realised a multi-criteria analysis using the Siroco tool, which allowed us to compare the efficiency of several renewal scenarios based on four defined criteria (hydraulic criticality, road traffic disruption, annual repair cost, avoided water losses) before choosing the most relevant scenario and evaluating the benefits achieved on each criterion.

Finally, we made three maps of the work planned for the following period (2019-2021) "works drinking water, sanitation works and road works" so that technicians can coordinate between the different departments and analyze each scenario before deciding which jobs to engage.

# Table des matières

Remerciements.....	3
Résumé.....	5
Abstract.....	6
Liste des sigles et abréviations.....	11
Introduction.....	13
PARTIE N°1 : État de l’art.....	14
1. Présentation du patrimoine en matière de réseaux.....	14
1.1. Diamètres.....	14
1.1.1. Réseaux d’assainissement.....	14
1.1.2. Réseaux d’eau potable.....	14
1.2. Matériaux.....	15
1.2.1. Réseaux d’assainissement.....	15
1.1.2. Réseaux d’eau potable.....	16
1.3. Années de pose.....	17
1.3.1. Réseaux d’assainissement.....	17
1.3.2. Réseaux d’eau potable.....	18
2. Gestion actuelle du réseau.....	18
2.1. Moyens et investissements.....	19
2.1.1. Moyens humains.....	20
2.1.2. Moyens financiers.....	20
2.2. Les sources de données.....	21
2.3. Le renouvellement dit d’opportunité.....	21
2.4. Taux de réalisation.....	21
2.5. Bilan sur la gestion actuelle.....	22
3. Une gestion patrimoniale envisagée.....	22
PARTIE N°2 : La gestion patrimoniale des réseaux.....	23
1. Réglementation en vigueur.....	23
2. Enjeux.....	23
3. Aide à la décision et gestion du patrimoine : exemple de quelques méthodes et outils existants.....	24
3.1. Prérequis.....	24
3.2. Méthodes.....	24
3.2.1. Réseaux d’assainissement.....	24
a. Projet CareS.....	24
b. RERAU 5/6.....	25
3.2.2. Réseaux d’eau potable.....	25
a. Les modèles de prévision de défaillances.....	25
b. Modèle choisi.....	26
3.3. Outils.....	26
3.3.1. Réseaux d’assainissement.....	26
a. L’outil DiagRap du groupe SUEZ.....	26
b. Guide ASTEE.....	27
3.3.2. Réseaux d’eau potable.....	27
a. Les modèles d’aide à la décision.....	27
b. Modèle choisi.....	29
4. Contexte du projet GPR.....	29
5. Problématique.....	29
5.1. Les réseaux d’assainissement.....	29
5.2. Les réseaux d’eau potable.....	30
6. Besoins du projet.....	30
PARTIE N°3 : La gestion patrimoniale des réseaux d’assainissement (Méthodes et résultats).....	32
1. Approches suivies pour la hiérarchisation des canalisations à inspecter.....	32
1.1. Première approche : Adaptation de l’étude du Bas Rhin au contexte de l’agglomération Béziers Méditerranée.....	32



1.1.1	Sectorisation.....	32
a.	Sectorisation des réseaux en degré de risque de défaillance.....	32
b.	Sous-sectorisation des réseaux en fonction des risques d'impact.....	34
c.	Hierarchisation des sous-secteurs en fonction des points noirs répertoriés par l'exploitant.....	35
1.1.2.	Diagnostic et sectorisation par tronçon.....	35
a.	Infiltration d'eaux claires parasites.....	35
b.	Inspections vidéo périscopiques.....	36
1.1.3.	« Scoring » et régression logistique.....	37
a.	Définition.....	37
b.	La régression logistique.....	37
	Plusieurs méthodes de calcul d'un score existent, le choix a été fait sur la régression logistique. Comme pour tous les modèles de régression binomiale, il s'agit de modéliser au mieux un modèle mathématique simple à des observations réelles nombreuses.....	
		37
1.1.4.	Scoring avec Tanagra.....	38
1.1.5.	Construction du score.....	38
a.	Grille de score à partir d'une régression logistique.....	38
b.	Manipulation sous TANAGRA.....	38
c.	Construction des scores à partir des coefficients de la régression logistique.....	39
d.	Scoring et construction de la courbe lift.....	43
e.	Conclusion « scoring ».....	45
1.2	Approche projet national RERAU.....	45
1.2.1.	Choix des indicateurs RERAU pertinents.....	45
1.2.2.	Indicateurs simples.....	46
1.2.3.	Indicateurs composites.....	49
1.2.4.	Critères d'investigation.....	50
1.2.5.	Critères de réhabilitation.....	52
2.	Comparaison des deux approches.....	54
3.	INDIGAU.....	57
	PARTIE N°4 : La gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable (Méthode et résultats).....	69
1.	Collecte des données.....	69
2.	Analyse descriptive.....	70
3.	Modélisation statistique.....	71
3.1.	Le principe.....	71
3.2.	Construction du modèle de prévision de défaillances.....	71
3.3.	Test de Chi-2.....	71
3.4.	Modèle utilisé :.....	72
4.	Analyse multicritère.....	72
4.1.	Calcul des critères de renouvellement.....	72
4.1.1.	Les critères.....	72
4.1.2.	La constitution du corps d'hypothèses.....	73
4.2.	Des critères au score.....	74
4.2.1.	Normalisation.....	74
4.2.2.	Pondération.....	74
4.2.3.	Agrégation.....	75
4.3.	L'aide à la pondération des critères.....	75
4.3.1.	Indicateurs d'évaluation d'une variante de renouvellement.....	75
4.3.2.	Définition de plusieurs variantes de pondération.....	76
4.3.3.	Comparaison du profil de chaque variante de pondération.....	76
4.4.	Le classement multicritère.....	77
5.	Préparation des chantiers.....	78
	PARTIE N°5: Coordination des travaux entre les différents services.....	79
	PARTIE N°6: Réflexion sur la mutualisation des données.....	79
	Conclusion.....	80
	Références bibliographiques.....	82
	Liste des annexes.....	84

## Liste des figures

Figure 1: Répartition des diamètres en fonction de la longueur.....	8
Figure 2: Répartition des diamètres en fonction de la longueur.....	9
Figure 3: Répartition des matériaux en fonction de la longueur.....	10
Figure 4: Répartition des matériaux en fonction de la longueur.....	11
Figure 5: Répartition des dates de pose en fonction de la longueur.....	11
Figure 6: Répartition des dates de pose en fonction de la longueur.....	12
Figure 7: Services supports au service GPR.....	13
Figure 8: la gestion patrimoniale dans le temps [19].....	16
Figure 9: Démarche de gestion patrimoniale en 3 niveaux [18].....	18
Figure 10: Principe de la méthodologie RERAU.....	19
Figure 11: Exemple de cartographie des risques « DiagRap » Tableau 4: Niveaux de risque d'un tronçon...	21
Figure 12: Organisation (2009-2016).....	24
Figure 13: Organisation à partir de 2017.....	25
Figure 14: Carte des tronçons de la commune de Bassan classés par ordre de gravité.....	31
Figure 15: Insertion du composant « scoring ».....	37
Figure 16: Activation du menu VIEW.....	38
Figure 17: Construction de la courbe de Lift 1.....	38
Figure 18: Construction de la courbe de Lift 2.....	38
Figure 19: Courbe de Lift.....	39
Figure 20: Construction de l'indicateur EFF4.....	43
Figure 21: Construction des critères I/POL9/DEB/BOU, I/PON4/DEB/BOU et I/NUH2/DEB/BOU.....	46
Figure 22: Construction des critères I/NUH4/DEB/BOU et R/NUH4/DEB/BOU.....	47
Figure 23: Étapes suivies sous INDIGAU.....	51
Figure 24: Construction du critère R/TRA3/BOU.....	52
Figure 25: Méthode de transformation des scores sans valeurs en notes d'état.....	53
Figure 26: Création des critères de dysfonctionnement.....	54
Figure 27: Chargement des ITV sous Indigau.....	54
Figure 28: Création des indicateurs et/ou critères.....	55
Figure 29: Choix des critères de réhabilitation à prendre en compte dans le calcul.....	56
Figure 30: Chargement des valeurs des indicateurs de base hors ITV (fichier csv).....	57
Figure 31: Extrait des résultats du calcul des critères de réhabilitation.....	57
Figure 32: Poids des critères.....	58
Figure 33: Exemple de résultats de l'analyse multicritère (méthode des seuils).....	59
Figure 34: Valeurs prises en compte pour $\alpha$ et $\beta$ .....	60
Figure 35: Valeurs de $\alpha$ et $\beta$ et % du linéaire à renouveler «scénario 1».....	60
Figure 36: Valeurs de $\alpha$ et $\beta$ et % du linéaire à renouveler «scénario 2».....	62
Figure 37: Étapes suivies dans Siroco.....	63
Figure 38: % du linéaire en fonction de la période de pose.....	64
Figure 39: % du linéaire en fonction du diamètre.....	64
Figure 40: % du linéaire en fonction du matériau.....	64
Figure 41: % du linéaire en fonction du matériau.....	66
Figure 42: Module Siroco de saisie du corps d'hypothèses.....	68
Figure 43: Module Siroco de pondération des critères.....	69
Figure 44: comparaison des variantes de pondération.....	71
Figure 45: Bénéfices escomptés sur les 3 tranches de renouvellement.....	72

## Liste des tableaux

Tableau 1: Type de gestions par commune.....	12
Tableau 2: Taux de réalisation des travaux entre 2014 et 2017.....	16
Tableau 3: Les modèles de prévision de défaillances et leurs limites [9].....	20
Tableau 5: Les modèles d'aide à la décision avantages et limites [9].....	23
Tableau 6: Notation des critères pour la définition du risque de défaillance.....	27

Tableau 7: Classification en risque de défaillance.....	28
Tableau 8: Modalités de notation des « risques d'impact ».....	28
Tableau 9: Incidence notation du risque d'impact sur le risque de défaillance.....	29
Tableau 10: Classement en fonction du risque de défaillance et d'impact.....	29
Tableau 11: Notation des ECPP.....	29
Tableau 12: Notation des IVP.....	30
Tableau 13: Extrait du tableau de données utilisées pour le « scoring ».....	32
Tableau 14: Coefficients de la régression logistique.....	34
Tableau 15: Hiérarchisation des tronçons à inspecter par ordre de gravité.....	37
Tableau 16: Indicateurs simple.....	42
Tableau 17: Indicateurs composites.....	44
Tableau 18: Critères d'investigation.....	45
Tableau 19: Critères de réhabilitation.....	48
Tableau 20: Comparaison des deux approches (RERAU et scoring).....	50
Tableau 21: Scoring en densité pour l'indicateur ITV (infiltration).....	52
Tableau 22: Principe de création d'un profil de synthèse.....	59
Tableau 23: Conduites candidates au renouvellement sur la période (2019-2021) «scénario 1».....	61
Tableau 24: Conduites candidates au renouvellement sur la période (2019-2021) «scénario 2».....	62
Tableau 25: Données nécessaires au fonctionnement de l'outil Siroco.....	63
Tableau 26: Données nécessaires au fonctionnement de l'outil Siroco.....	66
Tableau 27: Variantes de pondération évaluées.....	70
Tableau 28: Planification des travaux aep (2019-2021).....	73

## Liste des sigles et abréviations

**AEP** : Alimentation en Eau Potable  
**ANR** : L'Agence Nationale de la Recherche  
**ARS** : Agence Régionale de Santé  
**ASTEE** : Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement  
**BCEOM** : Bureau Central d'Études pour les équipements d'Outre-Mer (actuellement Egis Eau)  
**BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
**CABM** : Communauté d'Agglomération Béziers Méditerranée  
**CARES** : Computer Aided REhabilitation of Sewer networks  
**CEMAGREF** : Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (actuellement IRSTEA)  
**DGFIP** : Direction Générale des FINances Publiques  
**DIAG** : Diagnostic  
**DT-DICT** : Déclaration de projet de Travaux-Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux  
**EN** : European Norm  
**ENGEES** : École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg  
**EPP** : Eaux Parasites Permanentes  
**EU** : Eaux usées  
**FME** : Feature Manipulation Engine  
**GESTEE** : GESTion Territoriale de l'Eau et de l'environnement  
**GPR** : Gestion Patrimoniale des Réseaux  
**INDIGAU** : INDicateurs de performance pour la Gestion patrimoniale des réseaux d'Assainissement Urbains  
**INSA** : Institut National des Sciences Appliquées  
**INSAVALOR S.A** : filiale de Recherche & Développement, Valorisation et Formation Continue de l'INSA Lyon  
**IRSTEA** : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture  
**ILP** : Indice Linéaire de Perte  
**ITV** : Inspection Télévisée  
**IVP** : Inspection Vidéo-Périscopique  
**LCPC** : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
**LEYP** : Linear Extended Yule Process  
**LGUEH-IFG** : Laboratoire Génie Urbain, Environnement  
**PFAC** : Participation pour le Financement de l'Assainissement Collectif  
**PPNH** : Processus de Poisson Non Homogène  
**RAD** : Rapport D'activité  
**RERAU** : REhabilitation des Réseaux d'Assainissement Urbains  
**SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux  
**SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours  
**SIG** : Système d'Information Géographique

**SIGAL** : Société d'Informatique de Gestion d'Assistance et de Logiciel

**SMETA** : Syndicat Mixte d'Etudes et de Travaux de l'Astien

**SPANC** : Service Public d'Assainissement Non Collectif

**UIE** : Union Nationale des Industries et des Entreprises de l'eau et de l'environnement

## Introduction

L'agglo Béziers Méditerranée, est une collectivité territoriale regroupant 17 communes. Dès sa création en 2002 elle a travaillé sur la création et l'organisation des services, la Direction de l'Eau et de l'Assainissement quant à elle a créé progressivement ses services. Parmi eux, le service « GPR » " Gestion Patrimoniale des Réseaux " qui a mobilisé depuis sa création des ressources humaines et matérielles afin de mettre en place un plan d'actions. Ses premières décisions furent de procéder à un état des lieux en 2007. Le constat qui a été fait est que la majorité des préconisations proposées par le bureau d'étude BCEOM après l'état des lieux n'ont jamais été réalisées. En plus, les historiques des curages, des ITV, et des fuites sont difficiles à récupérer car ne sont ni archivés ni intégrés dans le SIG.

En outre, le service SIG avait décidé d'utiliser le logiciel « Géoconcept », qui a été vite critiqué à cause de son incapacité à créer des liens entre les données. Il ne gérait pas les informations sur les tronçons, et ne pouvait donc pas associer les différentes interventions aux tronçons concernés. En plus, il ne s'agissait pas d'un outil web mais plutôt d'un logiciel qu'il a fallu installer sur chaque poste pour y bénéficier. Cela entraînait de vraies difficultés de mise à jour des données et de maintenance de l'outil.

Après l'état des lieux, la collectivité a décidé de se doter d'outils nécessaires à la gestion patrimoniale avec la mise en place d'un nouveau SIG plus performant et qui permet le déploiement des applicatifs métiers « eau et assainissement ». Il était donc nécessaire de développer des démarches fondées sur une meilleure connaissance du patrimoine et sur des évaluations multicritères.

Cette connaissance est assurée en plus de l'exploitant par trois sources de données :

- ✓ Les diagnostics réseaux (DIAG)
- ✓ Les travaux de recherches ou curages du réseau
- ✓ Le système d'information géographique (SIG)

Dans ce cadre-là, la collectivité a souhaité développer un projet sur 3 ans en s'appuyant sur un contrat d'apprentissage ENGEES afin de poser les bases de la gestion patrimoniale de ses réseaux sous la forme d'un mode projet. Au cours de ces trois ans, différentes méthodologies ont été mises en œuvre afin d'améliorer la connaissance du patrimoine et de réaliser un diagnostic de réseau mieux ciblé et plus efficace.

Cette démarche de gestion optimisée vise à préserver la continuité du service et à protéger l'environnement mais aussi à prolonger la durée de vie des réseaux.

L'objectif de ce mémoire est de présenter le travail réalisé sur la période (février – septembre 2018). Ce dernier s'inscrit dans la continuité du projet réalisé depuis le début de mon apprentissage et a permis d'arriver jusqu'au bout de la démarche en proposant des programmes de renouvellement des réseaux d'eau potable et d'assainissement sur une commune test « Bassan » en fonction du contexte et des enjeux de la collectivité, et en considérant d'autres contraintes (programmes voirie, zonage PLU, travaux « fibre optique » ...)

L'étude se déroulera selon les phases suivantes :

- Caractérisation des réseaux et cadre général de la gestion patrimoniale
- Proposition de différentes méthodes de programmation des travaux de renouvellement des réseaux
- Résultats sur la commune de Bassan

# PARTIE N°1 : État de l'art

## 1. Présentation du patrimoine en matière de réseaux

### 1.1. Diamètres

Pour faire de la gestion patrimoniale, il est très important de connaître le diamètre des conduites car la gestion des gros diamètres est différente de celle des petits diamètres. L'impact d'un dysfonctionnement donné ne sera pas le même aux différents niveaux (social, technique, économique ...). En plus le diamètre est considéré parmi les critères les plus importants qui sont pris en compte dans les modélisations statistiques permettant de prédire les casses et la durée de vie des conduites.

#### 1.1.1. Réseaux d'assainissement

Le réseau d'assainissement est constitué d'environ 663 km de canalisations. Le diamètre des conduites est compris entre 40 mm et 1850 mm avec 95 % de conduites ayant un diamètre supérieur ou égal à 100 mm. La figure suivante montre la répartition des diamètres sur l'ensemble du réseau.

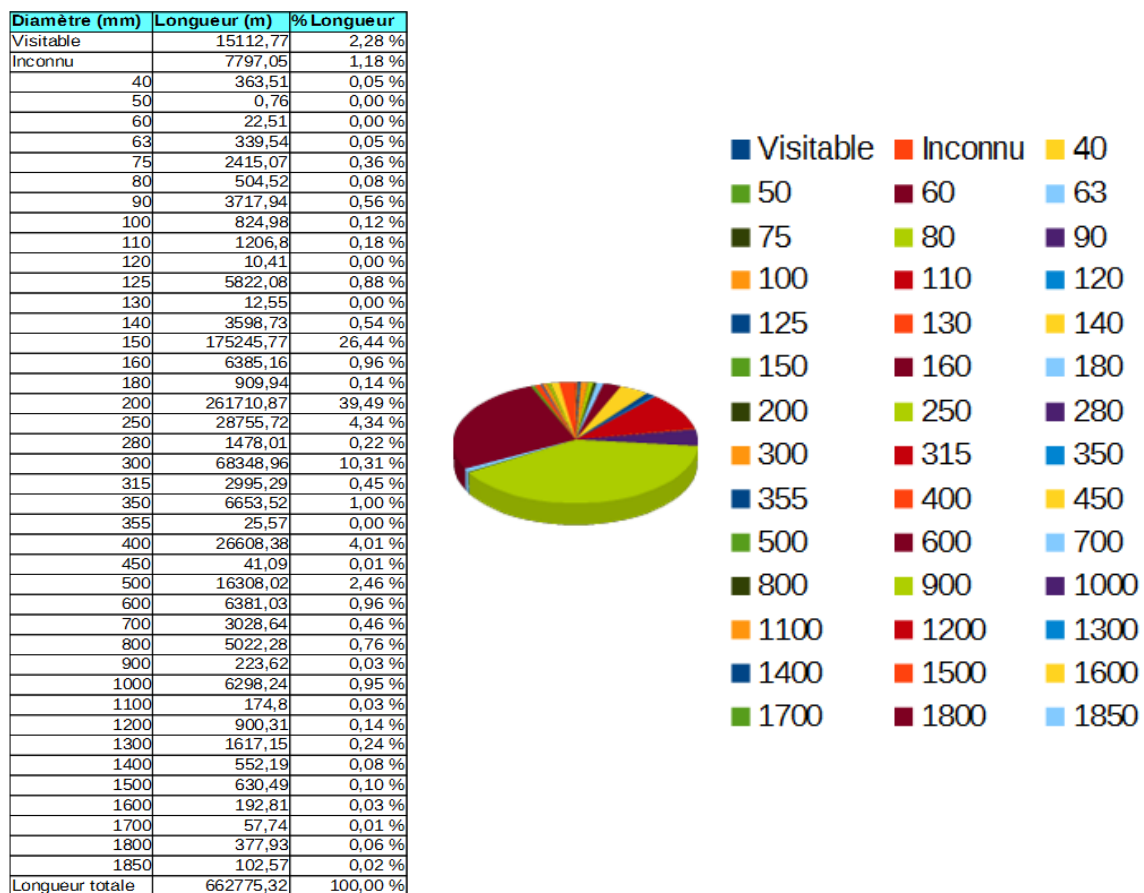


Figure 1: Répartition des diamètres en fonction de la longueur

#### 1.1.2. Réseaux d'eau potable

Le réseau d'eau potable est constitué d'environ 811 km de canalisations. Le diamètre des conduites est compris entre 25 mm et 800 mm avec 58 % de conduites ayant un diamètre compris entre 100 et 200 mm et plus d'un quart du réseau ayant un diamètre inférieur à 100 mm. La figure 2 montre la répartition des diamètres sur l'ensemble du réseau.

Diamètre (mm)	Longueur (m)	% Longueur totale	Diamètre (mm)	Longueur (m)	% Longueur totale
Inconnu	5812,27	0,72	125	78520,48	9,67
25	124,74	0,02	140	2256,82	0,28
32	324,4	0,04	150	129020,52	15,90
33	5,16	0	160	20005,93	2,47
40	2726,45	0,34	175	211,27	0,03
50	9959,81	1,23	180	707,31	0,09
60	53367,01	6,58	200	55237,46	6,81
63	29205,75	3,60	225	595,69	0,07
65	3,41	0	250	19915,80	2,45
70	4671,42	0,58	300	34991,44	4,31
75	10936,24	1,35	350	16178,26	1,99
80	89654,25	11,05	400	16672,05	2,05
90	16222,78	2,00	450	156,36	0,02
100	151953,81	18,72	500	7171,74	0,88
108	359,04	0,04	600	20309,37	2,50
110	32550,59	4,01	700	1218,83	0,15
120	411,50	0,05	800	133,25	0,02

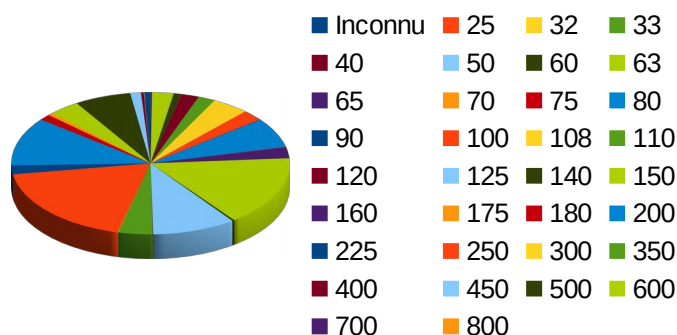


Figure 2: Répartition des diamètres en fonction de la longueur

## 1.2. Matériaux

### 1.2.1. Réseaux d'assainissement

Les matériaux en place sont hétérogènes, avec une dominance d'amiante ciment, du PVC et du béton. Les matériaux ne sont pas renseignés à 100 %, un linéaire de 1,43 % est inconnu. Il faut signaler que les matériaux renseignés ne sont pas exacts à 100 %, une analyse comparatiste entre les périodes de pose et les années de fabrication des matériaux montre quelques incohérences.

Le diagramme suivant présente la répartition des matériaux des réseaux d'assainissement sur l'ensemble du réseau.



Matériau	Longueur (m)	%Longueur
Indéterminé	9451,92	1,43 %
Béton	137387,7	20,73 %
Fonte	12185,87	1,84 %
Polyéthylène	1533,41	0,23 %
Grès	31852,91	4,81 %
PRV	8377,13	1,26 %
Polyéthylène HD	6091,01	0,92 %
PVC Inconnu	498,12	0,08 %
PVC Pression	891,71	0,13 %
Polypropylène	383,72	0,06 %
PVC	155282,97	23,43 %
Béton Armé	668,66	0,10 %
Amiante-Ciment	288886,83	43,59 %
Maçonnerie	9283,36	1,40 %

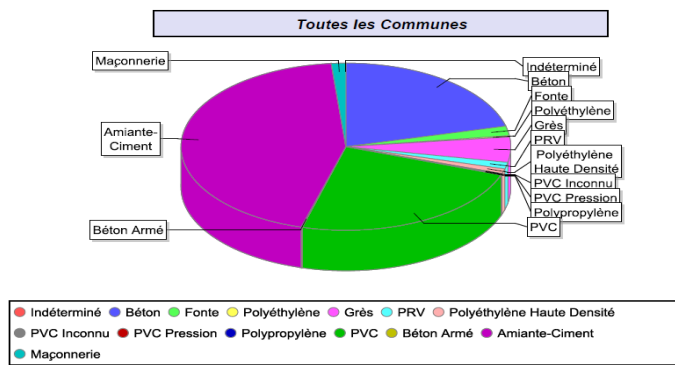


Figure 3: Répartition des matériaux en fonction de la longueur

### 1.1.2. Réseaux d'eau potable

Le matériau prépondérant sur le réseau d'eau potable est la fonte. Elle représente plus de 80 % du linéaire total soit 650 km avec environ un quart du réseau en fonte grise - ce matériau est sensible aux mouvements du terrain, coups de bélier et surcharges dues au trafic routier - il n'est plus fabriqué aujourd'hui et est remplacé par la fonte ductile.

En outre, nous ignorons le matériau d'un linéaire non négligeable du réseau malgré l'importance de ce critère qui est également pris en compte dans les modélisations statistiques permettant de générer des probabilités de casses sur les conduites.

La figure 4 présente une répartition détaillée des matériaux sur l'ensemble du réseau.

Matériau	Longueur (m)	% Longueur totale
PEHD	46742,37	5,76
Fonte ductile	439206,85	54,12
Plomb	31,72	0,00
PVC	80002,64	9,86
PVC Bi-orienté	808,77	0,10
Inconnu	9937,30	1,22
Acier	547,13	0,07
Amiante-Ciment	3416,04	0,42
Fonte grise	187162,88	23,06
Autre	0,60	0,00
Fonte indéterminée	32408,74	3,99
PE indéterminé	3724,41	0,46
PEBD	4768,89	0,59
Indéterminé	2832,87	0,35

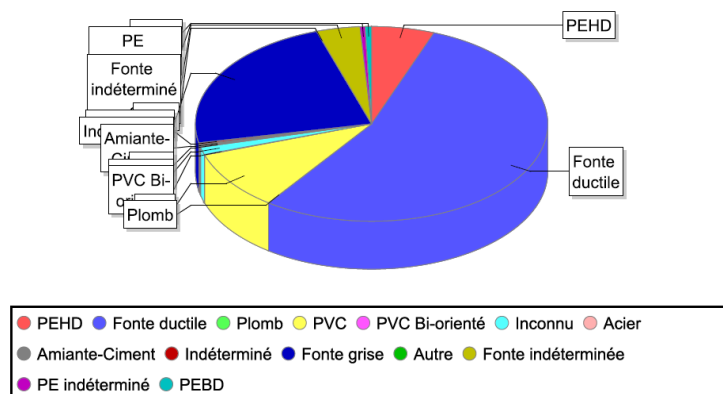


Figure 4: Répartition des matériaux en fonction de la longueur

### 1.3. Années de pose

L'âge des réseaux est en revanche peu connu surtout pour les canalisations posées avant la deuxième guerre mondiale. De plus, les dates renseignées ne sont pas toujours fiables.

Pour compléter les années de pose manquantes sur la commune de Bassan, nous nous sommes servis des périodes d'urbanisation des quartiers ainsi que des années de construction des bâtiments. Cette méthode nous a permis d'avoir une estimation des années de pose et non une date exacte. Ces valeurs ont été ensuite actualisées en les comparant aux périodes de fabrication des matériaux.

Nous pourrions classer les réseaux selon leur année de pose comme suit :

- Réseau construit ou entièrement réhabilité après 1985

Ces réseaux sont récents et ont fait l'objet de contrôles lors de la réception des travaux.

- Réseau construit avant 1950

Ces réseaux sont certes anciens mais présentent peu de risques de dégradations structurelles.

- Réseau construit ou réhabilité entre 1950 et 1985

Ces réseaux sont vieillissants et peuvent présenter des risques de désordres importants. En effet, la période allant de 1950 à 1985 correspond à une phase d'urbanisation importante (constructions rapides après la guerre mondiale) pendant laquelle les normes de pose n'étaient pas toujours respectées et les contrôles de réception peu effectués.

- Un réseau entièrement réhabilité étant considéré comme remis à neuf, ces conduites sont également prises en compte.

#### 1.3.1. Réseaux d'assainissement

Le diagramme suivant présente la répartition des années de pose des réseaux d'assainissement (2017) :

Date de pose	Linéaire (m)	Linéaire (%)
Avant 1945	203555,73	35,33 %
1945-1960	10634,39	1,85 %
1960-1975	80077,25	13,90 %
1975-1990	72997,65	12,67 %
1990-2005	74538,82	12,94 %
Après 2005	134360,71	23,32 %
<b>Somme</b>	<b>576164,56</b>	<b>100,00 %</b>

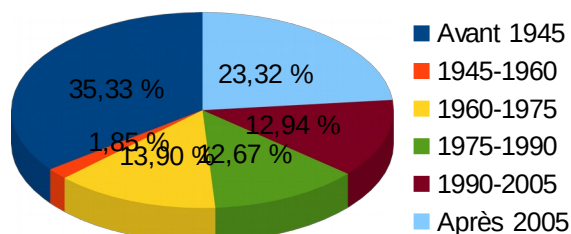


Figure 5: Répartition des dates de pose en fonction de la longueur

Le réseau de l'agglomération Béziers Méditerranée est considéré comme un réseau ancien avec plus de 35 % de linéaire posé avant les années 1945 mais qui est toujours en service. Ces canalisations vont bientôt atteindre leur fin de vie théorique et doivent être renouvelées dans les prochaines années. 30% du linéaire a été posé dans la période du 1950 au 1985, période dans laquelle les normes de

pose n'étaient pas toujours respectées, ces canalisations peuvent poser des problèmes structurels ; et enfin 35 % du linéaire posé après 1985.

### 1.3.2. Réseaux d'eau potable

Le diagramme suivant présente la répartition des années de pose des réseaux d'eau potable (2017) :

Date de pose	Linéaire (m)	Linéaire (%)
Avant 1945	47468,68	6,00 %
1945 – 1960	2376838,17	300,23 %
1960 – 1975	213943,92	27,02 %
1975 – 1990	150239,86	18,98 %
1990 – 2005	140763,32	17,78 %
Après 2005	194322,12	24,55 %
<b>Somme</b>	<b>791660,07</b>	<b>100,00 %</b>

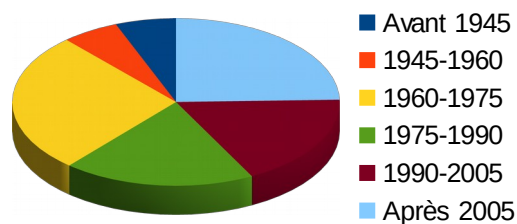


Figure 6: Répartition des dates de pose en fonction de la longueur

Nous remarquons qu'au contraire des réseaux d'assainissement, le réseau d'eau potable n'est pas très ancien (6 % du linéaire est posé avant les années 1945) ce qui est illogique. En vérifiant, nous nous sommes rendu compte que la plupart des réseaux d'assainissement dont les années de pose sont inconnues ont une année de pose par défaut égale à 1900. Dans le cadre de ce travail, toute l'étude est réalisée sur la commune de Bassan, nous n'avons donc corrigé que les années de pose des réseaux de cette commune.

## 2. Gestion actuelle du réseau

Avant le premier janvier 2017, l'agglomération Béziers Méditerranée comptait 13 communes avec différents types de gestion : affermage, concession et régie. Le tableau ci-dessous résume l'ancien mode de gestion pour chaque commune.

Communes	Mode de gestion
Béziers	Concession / Affermage
Bassan	Affermage
Boujan-sur-Libron	Affermage
Cers	Affermage
Corneilhan	Affermage
Espondeilhan	Affermage
Lieuran lès Béziers	Régie
Lignan sur Orb	Affermage
Sauvian	Affermage
Sérignan	Affermage
Servian	Affermage
Valras plage	Affermage
Villeneuve lès Béziers	Régie

Tableau 1: Type de gestions par commune

Depuis janvier 2017, la collectivité compte désormais 17 communes après la récupération de quatre nouvelles communes (Alignan du Vent – Coulobres – Valros – Montblanc).

Elle a vu également son mode de gestion changer en janvier 2017 après la conclusion du nouveau contrat de délégation de service public avec le groupe SUEZ.

En réalité, par une délibération en date du 21 mai 2015, la collectivité a décidé de déléguer par affermage le service de prélèvement, de distribution, de collecte, de transport et de traitement des eaux usées et des résidus d'épuration de toutes ses communes. Ce qui avait pour conséquence la fin des fonctions de la régie sur les deux communes « Villeneuve-Les-Béziers » et « Lieuran-Les-Béziers » en fin décembre 2016 ainsi que la fin de la concession sur la ville de Béziers.

A part la suppression de la régie, l'organisation initiale de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement est restée en grande partie la même et a été amenée à évoluer progressivement dans le cadre de ce processus d'intégration. Elle a donc commencé à travailler en collaboration avec les services de l'eau des nouvelles communes avant de les intégrer complètement dans le nouveau contrat de délégation.

Ce nouveau contrat d'affermage se compose de trois lots : un premier lot assainissement pour les communes raccordées à la station d'épuration de Béziers (Béziers, Cers, Corneilhan, Lignan-sur-Orb, Sauvian et Villeneuve-lès-Béziers), un deuxième lot pour les autres communes ayant leurs propres stations d'épuration et un troisième lot d'eau potable pour l'ensemble du territoire.

## 2.1. Moyens et investissements

La suite du rapport concernera uniquement le service GPR (Gestion Patrimoniale des Réseaux). Ce service est en charge de l'organisation, le suivi, et la réalisation des programmes de restructuration des réseaux définis dans les schémas directeurs d'assainissement et d'alimentation en eau potable ainsi que la réalisation des travaux de renouvellement et de renforcement des réseaux.

Il travaille en collaboration avec plusieurs services supports en interne et en externe comme le montre la figure suivante :

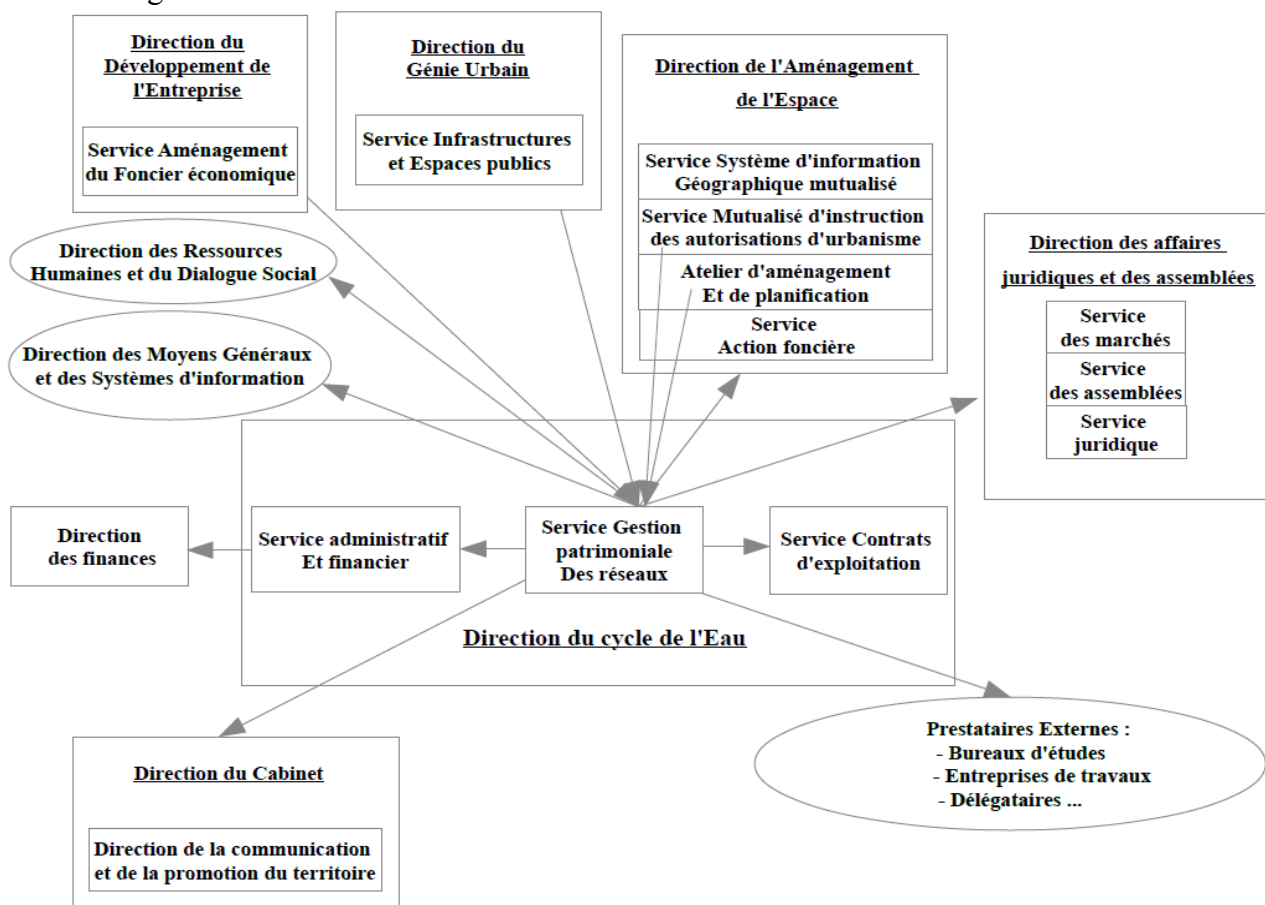


Figure 7: Services supports au service GPR

### 2.1.1. Moyens humains

Actuellement, le service « GPR » est composé de 9 personnes :

- Le chef de service : qui coordonne les 6 membres de son équipe (2 techniciens SIG appartiennent à deux services « GPR + SIG »).

- 4 techniciens réseaux (gestion patrimoniale et conduite d'opération) qui se partagent les mêmes missions dans les 17 communes membres de la collectivité :

- ✓ Organisation et suivi des enquêtes patrimoniales, exploitation des résultats, réalisation d'état des lieux
- ✓ Préparation des programmes annuels de renouvellement en coordination avec les communes et les exploitants
- ✓ Organisation et suivi des opérations de renouvellement, de renforcement et d'extension des réseaux
- ✓ Consultation, analyse des offres des entreprises et prestataires de services
- ✓ Suivi et contrôle des prestations d'études et maîtrises d'œuvre externes
- ✓ Pour l'ensemble des activités, exécution des consignes du chef de service et suivi des procédures réglementaires tant sur les aspects techniques qu'administratifs et financiers

- 1 technicien qui s'occupe du suivi des aménageurs privés (contrôles de conformité) et du suivi de la PFAC (Participation pour le Financement de l'Assainissement Collectif).

- 1 apprenti ingénieur ENGEES qui travaille sur le développement de méthodes de travail pour une gestion patrimoniale des réseaux optimisée.

- 2 techniciens SIG : qui s'occupent de l'acquisition des données dans le système d'information géographique, ils ont pour missions :

- ✓ La mise en œuvre, le fonctionnement et le développement du SIG
- ✓ La mise en place et l'amélioration d'outils pour la planification des travaux de renouvellement des réseaux (analyse, traitement de données...)
- ✓ La participation à l'élaboration des bases de données métiers nécessaires au travail des services
- ✓ Le suivi des applicatifs métiers eau / assainissement (INDIGAU, SIROCO...)

Ce sont donc les 4 techniciens réseaux qui se partagent le renouvellement des réseaux sur les 17 communes de la collectivité. La carte en « Annexe 1 » illustre leur répartition géographique.

### 2.1.2. Moyens financiers

La loi précise que les services publics d'eau et d'assainissement sont financièrement gérés comme des services à caractère industriel et commercial (article L. 2224-11 du Code général des collectivités territoriales). Cette qualification emporte des conséquences financières telles que le financement à partir d'une redevance pour service rendu, l'établissement d'un budget annexe, ainsi qu'une limitation stricte des possibilités de subventionnement.

L'eau est une compétence optionnelle d'une communauté d'agglomération (elle sera normalement une compétence obligatoire à partir de janvier 2020 [la loi NOTRe du 7 août 2015]). En effet, « l'eau doit payer l'eau » c'est-à-dire que le service doit être financé par les redevances payées par les usagers. Ce service possède un budget annexe séparé du budget général et il est ainsi interdit de prélever dans le budget général de la communauté d'agglomération pour n'importe quelles dépenses au sein du service de l'eau, et inversement. Il possède donc une autonomie financière.

Le budget de la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de l'agglomération Béziers Méditerranée est divisé en deux parties : un budget eau et un budget assainissement. Pour chaque partie le budget est divisé en deux sections, une section « Fonctionnement » ou exploitation et une section « Investissement ». La section de fonctionnement regroupe l'ensemble des dépenses et des recettes

nécessaires au fonctionnement courant et récurrent de la direction (salaire du personnel, achat de fournitures ...), et la section d'investissement regroupe l'ensemble des dépenses et des recettes nécessaires à varier durablement la valeur du patrimoine (ouvrages + réseaux) à travers les travaux. Le dernier projet de budget d'assainissement voté dans le conseil communautaire lors de la séance du 15 mars 2018 peut être résumé ainsi :

- Section d'exploitation : 6 256 312 €
- Section d'investissement : 20 219 424 €

Et celui du budget d'eau potable peut être résumé ainsi :

- Section d'exploitation : 4 128 800 €
- Section d'investissement : 9 623 662 €

Les dépenses et les recettes doivent obligatoirement s'équilibrer pour chaque section.

## 2.2. Les sources de données

Actuellement, la collectivité possède 4 sources de données internes :

- **Les études diagnostiques des réseaux (DIAG)** : ces études définissent les causes des dysfonctionnements des réseaux. Ils permettent de « caler » une modélisation hydraulique des réseaux en se basant sur plusieurs mesures et recherches, tels que : les mesures de débits, les analyses d'échantillons, les contrôles de conformité des branchements, les dysfonctionnements hydrauliques, etc. Ces données font partie des éléments fondamentaux à intégrer dans le SIG afin qu'elles soient exploitables par les agents du service.

- **Les travaux de recherches ou curages du réseau** : donnant des informations sur l'état des réseaux.

- **Le système d'information géographique (SIG) « Cart@jour »** : il regroupe des informations concernant les canalisations (matériau, diamètre, date de pose ...), l'occupation du sol, le trafic routier, l'environnement urbain et toutes les informations pouvant être utilisées dans la gestion patrimoniale des réseaux. Ces données sont collectées auprès de différents établissements (ARS, BRGM, SDIS34, SIGAL, SMETA, DGFIP, SAGE Hérault, Scot Biterrois ...).

- **L'exploitant** : ce dernier nous fournit en fin d'année des rapports annuels d'activité (RAD) présentant globalement les renouvellements effectués sur les réseaux et les prévisions pour l'année suivante ainsi que les différentes opérations réalisées. Parmi ces opérations : interventions, contrôles préventifs, autosurveillances, nettoyages, créations de nouveaux branchements ...

## 2.3. Le renouvellement dit d'opportunité

Actuellement, aucune stratégie de gestion patrimoniale des réseaux n'est mise en place. Le renouvellement des réseaux est dit « d'opportunité » se basant ainsi sur les programmes de voiries communales, les sondages, les ITV, les fuites ... La décision de renouveler un réseau est prise d'une manière subjective par l'un des quatre techniciens du service « GPR ». Chaque technicien a ses propres arguments mais aucune méthode commune et basée sur une analyse multicritère n'est mise en place. Le service « GPR » est conscient que cette méthode n'est pas pertinente et pourrait avoir des conséquences non négligeables sur la performance du patrimoine dans les prochaines années.

## 2.4. Taux de réalisation

Ce fonctionnement d'opportunité entraîne des taux de réalisation bas comme le montre le tableau suivant sur les 4 dernières années. L'objectif de la collectivité est d'atteindre un taux de réalisation de 80 %. Toutefois, des taux de 70 % sont considérés comme satisfaisant.

Année	Taux de réalisation délégation	Taux de réalisation régie
-------	--------------------------------	---------------------------

	AEP	ASS	AEP	ASS
2014	67,71 %	77,93 %	108,08 %	98,73 %
2015	38,91 %	75,00 %	90,07 %	64,01 %
2016	71,30 %	68,33 %	67,61 %	60,14 %
2017	40,30 %	69,23 %	/	/

*Tableau 2: Taux de réalisation des travaux entre 2014 et 2017*

## 2.5. Bilan sur la gestion actuelle

La gestion actuelle des réseaux d'eau potable et d'assainissement présente beaucoup de faiblesses :

- Des problèmes liés à l'acquisition et à la qualité des données,
- Des taux de renouvellement des réseaux bas,
- Des taux de réalisation d'investissements bas,
- Une subjectivité dans les choix de renouvellement,
- Des outils insuffisants.

La stratégie de renouvellement actuellement suivie ne permet pas de renouveler efficacement les réseaux. Le remplacement de certaines canalisations, n'ayant pas atteintes leur fin de vie, est effectué (la durée de vie seule n'est évidemment pas un critère de décision) alors que le renouvellement d'autres canalisations, plus touchées, serait nécessaire. De plus, les prescriptions des études diagnostiques et des schémas directeurs ne sont pas toujours suivies.

## 3. Une gestion patrimoniale envisagée

Pour toutes les raisons citées plus haut, l'agglomération Béziers Méditerranée souhaite optimiser la gestion de ses réseaux. Elle envisage de passer d'un renouvellement dit « d'opportunité » à un renouvellement programmé qui fait appel à une analyse multicritère réalisée à partir d'un état des lieux, d'un historique d'exploitation, d'applicatifs métiers et d'une base de données robuste.

La gestion du patrimoine doit s'intégrer dans un processus à long terme des infrastructures des différentes collectivités afin de garantir la pérennité des services au coût le plus juste possible. Cette approche correspond à la définition donnée par l'ASTEE pour qui il s'agit d'une « approche à long terme qui tient compte de l'état du patrimoine tout au long de son cycle de vie dans le but d'assurer le niveau de performance requis avec un facteur de risque donné, le tout dans un contexte économique restreint » [15]. Il est donc possible de distinguer trois phases d'actions dans la gestion patrimoniale : court, moyen et long terme comme le présente la figure 8.



*Figure 8: la gestion patrimoniale dans le temps [19]*

Aujourd'hui, le service « GPR » a mis en œuvre tous les moyens nécessaires pour intégrer cette démarche en passant de la gestion actuelle à court terme à une gestion à moyen terme dans les prochains mois puis à une gestion à long terme dans les prochaines années.

## **PARTIE N°2 : La gestion patrimoniale des réseaux**

### **1. Réglementation en vigueur**

Le contexte réglementaire a contraint les collectivités à se lancer dans l'élaboration d'une politique de gestion patrimoniale ou, à défaut, dans la réalisation d'un inventaire de leurs réseaux d'assainissement. Ce travail a été mené depuis 2002 par 8 départements [7].

#### ➤ Inventaire des réseaux

Pour les réseaux d'eau potable et d'assainissement, le décret 2012-97 du 27 janvier 2012 impose la réalisation d'un descriptif détaillé des ouvrages mentionnant la localisation des dispositifs généraux de mesures, les linéaires de canalisations, la mention de l'année ou, à défaut de la période de pose, la catégorie de l'ouvrage, les matériaux utilisés et les diamètres des canalisations. Cet inventaire doit être mis à jour et complété chaque année en mentionnant les travaux réalisés sur les réseaux ainsi que les données acquises pendant l'année, et engager un plan d'action et de travaux lorsque les pertes d'eau dans les réseaux de distribution dépassent les seuils fixés par le présent décret.

Il s'agit ainsi du minimum d'informations nécessaires à la mise en place d'un inventaire [16]. Celui-ci devra être largement étoffé pour répondre aux attentes de l'arrêté du 2 décembre 2013 et pour une gestion efficace du patrimoine.

Enfin, la réforme DT-DICT du 15 février 2012 prévoit l'amélioration continue des données cartographiques des gestionnaires de réseau.

#### ➤ Connaissance du patrimoine

Afin d'évaluer l'avancée de chaque collectivité en termes de gestion patrimoniale, les articles 1 et 2 de l'arrêté du 2 décembre 2013 relatif aux rapports annuels sur le prix et la qualité des services publics d'eau potable et d'assainissement fixent les nouvelles directives de calcul de l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux.

Le mode de calcul proposé par cet arrêté pourrait cependant être discuté à cause de son caractère assez restrictif et parfois peu représentatif de l'avancée d'un service d'eau et d'assainissement. En effet, une collectivité comme l'agglomération Béziers Méditerranée ne connaissant pas précisément les dates de pose de son réseau mais ayant à sa disposition un descriptif détaillé des réseaux (matériau, diamètre, longueur, localisation des ouvrages annexes, inventaire des équipements électromécaniques ....) sera associée à un « mauvais » indice de connaissance alors qu'elle peut avoir à sa disposition un nombre de données bien supérieur à celui d'une autre collectivité mieux lotie en ce qui concerne l'estimation de l'âge des canalisations.

### **2. Enjeux**

Les réseaux d'eau potable et d'assainissement constituent des investissements importants qu'il convient de préserver. En 2008, en France, les réseaux d'eau potable s'estimaient à un linéaire de 924 000 km pour une valeur entre 138 et 150 milliards d'euros et les réseaux d'assainissement s'estimaient à un linéaire de 392 000 km (eaux usées et pluviales) pour une valeur entre 142 et 192 milliards d'euros (source UIE).

En outre, le taux de renouvellement moyen des réseaux est estimé à 0,7 % pour les services d'assainissement et 0,6 % pour les services d'eau potable. Si ces taux sont maintenus dans les années suivantes, il faudra plus d'un siècle pour renouveler l'intégralité du réseau. Les enjeux financiers et techniques de la gestion de ce patrimoine vieillissant sont donc multiples et non négligeables :

- Réduction des risques,
- Maintien de l'état du patrimoine,
- Planification des investissements,



- Pérennité de service,
- Lutte contre la pollution.
- Lutte contre les pertes

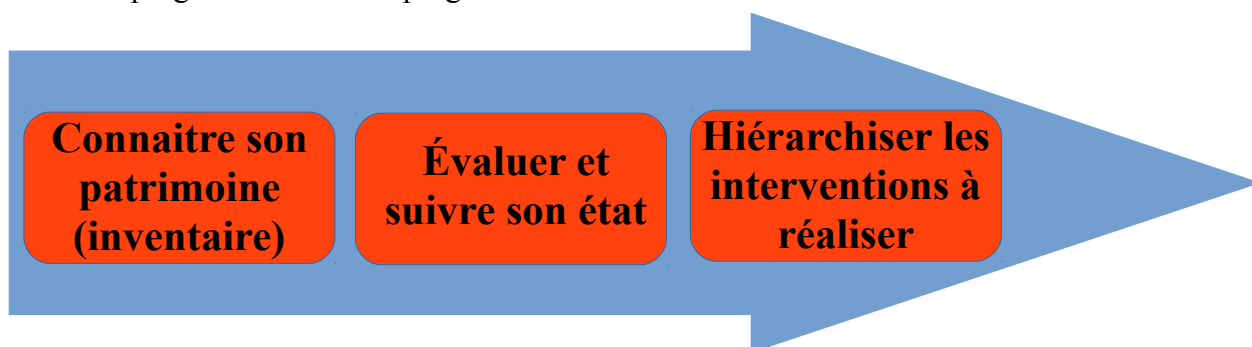
### 3. Aide à la décision et gestion du patrimoine : exemple de quelques méthodes et outils existants

Si les notions de pérennité de service ou de maintien de l'état du patrimoine sont relativement faciles à appréhender en eau potable, elles paraissent en revanche plus vagues dans le domaine de l'assainissement. En effet, des indicateurs de performance tels que le rendement de réseau ou l'indice linéaire de casse ne sont pas applicables en tant que tel pour l'assainissement (l'impact d'une casse sur un réseau de collecte des eaux usées est nettement moins direct pour les usagers et plus difficile à détecter). Ces problématiques expliquent sans doute l'intérêt plus tardif des services d'assainissement pour la gestion patrimoniale de leurs réseaux. C'est parmi les raisons pour laquelle nous nous sommes concentrés plus sur les réseaux d'assainissement que sur les réseaux d'eau potable dans ce travail.

#### 3.1. Prérequis

La démarche de gestion du patrimoine doit répondre à 3 problématiques comme le présente la Figure 9:

- La connaissance du réseau et de son environnement
- L'évaluation de son état
- La programmation d'un programme de renouvellement



*Figure 9: Démarche de gestion patrimoniale en 3 niveaux [18]*

Les outils développés devront permettre, sur la base d'un inventaire déjà réalisé, d'évaluer les facteurs de dégradation des canalisations puis d'établir les priorités dans les limites budgétaires [18].

#### 3.2. Méthodes

##### 3.2.1. Réseaux d'assainissement

###### a. Projet CareS

Lancé sur une durée de 3 ans par la Commission européenne, le projet CareS « Computer Aided REhabilitation of Sewer networks » avait pour objectif la mise à disposition des services d'assainissement d'une suite d'outils informatisés conçus pour l'aide à la décision de maintenance et de réhabilitation. Cette étude est basée sur la prise en compte de l'environnement de chaque tronçon, l'impact du service et des travaux sur les usagers ainsi que l'évolution de l'état actuel du collecteur. Elle a permis de développer des indices de performance du réseau ainsi que de rationaliser la gestion des données telles que les ITV sous forme d'un SIG couplé à une série de

modules d'analyse [6]. Cependant, elle est difficile à appliquer et doit être adaptée aux spécificités de chaque réseau. [18]

## b. RERAU 5/6

Tout comme CareS, le projet RERAU (Réhabilitation des Réseaux d'Assainissement Urbains) [12] a pour objectif de rationaliser la gestion patrimoniale, il se compose de 5 volets :

- RERAU 1 : auscultation et diagnostic des réseaux visitables
- RERAU 2 : étude des techniques de réhabilitation utilisables pour les ouvrages visitables
- RERAU 4 : idem que RERAU 2
- RERAU 5/6 : auscultation et diagnostic des réseaux non visitables et élaboration d'une politique de gestion patrimoniale
- RERAU 7 : étude et caractérisation des branchements

Le but de la méthodologie RERAU est de répondre à 3 objectifs :

- Développer une politique globale de maintenance préventive, permettant la programmation rationnelle des inspections et des travaux de réhabilitation des canalisations non visitables.
- Aider à l'organisation des inspections et des réhabilitations nécessaires au maintien ou au rétablissement d'un niveau de service satisfaisant.
- Aider à la programmation des investigations, des actions de réhabilitation et à la construction de modèle de vieillissement.

Basé sur les résultats d'inspections télévisées et de la norme européenne EN 13508 relative à la codification des interventions, ainsi que sur d'autres types de données, le module 5/6 permet de définir l'état d'un tronçon à travers 64 indicateurs de 12 familles de dysfonctionnements. Cette évaluation de l'état est ensuite couplée à 12 indicateurs de vulnérabilité (qualité des sols et des nappes, agrément du milieu urbain...) du réseau permettant de fixer les priorités de renouvellement envisagées [8]. Le principe de fonctionnement de cette méthodologie est illustré sur la figure 10 [18] :

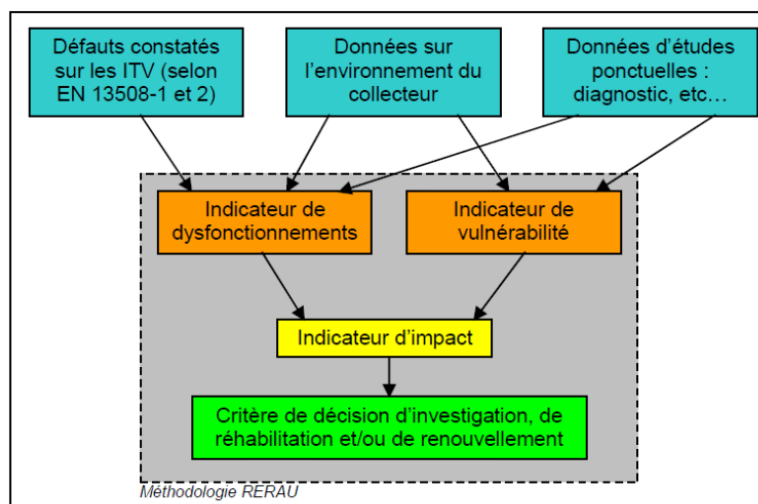


Figure 10: Principe de la méthodologie RERAU

## 3.2.2. Réseaux d'eau potable

### a. Les modèles de prévision de défaillances

Plusieurs modèles de prévision de défaillances ont été développés, nous citons le modèle de référence, le modèle des risques proportionnels, les modèles basés sur les chaînes de Markov, les modèles basés sur un processus de Poisson non Homogène (PPNH), le modèle des cohortes et le

modèle de LEYP. L'objectif de tout ces modèles est de proposer des prévisions de défaillances pour chaque conduite. Le tableau suivant résume les points forts ainsi que les limites de chaque modèle :

Modèles	Points forts	Limites
<b>Modèle de référence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimation du taux de casses pour toutes les conduites</li> <li>- Méthode simple et rapide</li> <li>- Utilisable en cas d'absence de données liées à l'environnement de la conduite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résultats simplistes</li> <li>- L'âge est le seul facteur de vieillissement pris en compte</li> </ul>
<b>Modèle PHM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimation du taux de casses pour toutes les conduites</li> <li>- Prise en compte de données censurées à gauche</li> <li>- Modèle statistique prenant en compte les données environnementales</li> <li>- Détermination des variables explicatives les plus significatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulation lourde d'un point de vue informatique</li> <li>- Repris de façon améliorée dans le modèle de LEYP utilisé dans le logiciel « Casses »</li> </ul>
<b>Modèle basé sur les chaînes de Markov</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prise en compte de données censurées à gauche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimation du taux de casses pour des groupes de conduites homogènes et non pour chaque conduite</li> </ul>
<b>Modèle PPNH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimation du taux de casses pour toutes les conduites</li> <li>- Modèle statistique prenant en compte les données environnementales</li> <li>- Prise en compte de données censurées à gauche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repris de façon améliorée dans le modèle de LEYP utilisé dans le logiciel « Casses »</li> <li>- Le logiciel comprend un nombre restreint de paramètres (impossibilité d'en rajouter)</li> </ul>
<b>Modèle des cohortes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modèle intéressant lorsque les données sont absentes ou peu fiables</li> <li>- Prise en compte de données censurées à gauche</li> <li>- Modèle prenant en compte les données environnementales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimation du taux de casses pour des groupes de conduites homogènes et non pour chaque conduite</li> </ul>

*Tableau 3: Les modèles de prévision de défaillances et leurs limites [9]*

## b. Modèle choisi

L'agglomération Béziers Méditerranée possède depuis 2014 l'outil Siroco (commercialisé par le groupe Altereo). Cet outil utilise les résultats de prévisions de casses obtenus à partir du logiciel « Casses » qui se base sur le modèle de LEYP. « Ce modèle permet de donner une représentation paramétrique du processus de défaillance répété affectant une conduite de distribution d'eau sous pression. Le modèle LEYP permet de calculer un nombre de défaillances susceptibles d'affecter une conduite de caractéristiques connues dans tous intervalles de temps, même future, les conduites peuvent être classées selon leur risque de défaillance. ».

## 3.3. Outils

### 3.3.1. Réseaux d'assainissement

#### a. L'outil DiagRap du groupe SUEZ

Le DiagRap est une étude de diagnostic structurel des réseaux d'assainissement destinée à orienter durablement la stratégie de gestion patrimoniale des réseaux. Elle permet d'établir une cartographie

des collecteurs jugés à risque (Figure 11), c'est-à-dire des collecteurs qui sont susceptibles de présenter des dégradations importantes et d'entraîner des désagréments préjudiciables. Cette étude de diagnostic, basée tout comme RERAU sur l'exploitation des inspections télévisées et sur une analyse multicritère (envisagée sous la forme d'une moyenne pondérée) permet d'avoir une vision globale des risques environnants et d'établir un programme pluriannuel de renouvellement [17].



Figure 11: Exemple de cartographie des risques « DiagRap »

Légende	Niveau de risque
0	Très faible
1	Faible
2	Modéré
3	Fort
4	Très fort

Tableau 4: Niveaux de risque d'un tronçon

## b. Guide ASTEE

Afin de répondre aux exigences réglementaires, les collectivités sont obligées d'envisager leur propre politique de gestion patrimoniale. Cependant il est encore difficile pour certaines structures de s'aligner sur des méthodologies telles que CareS ou RERAU en raison du grand nombre de données nécessaires au fonctionnement des modèles (ITV transcrites dans la norme européenne, inventaire des collecteurs, précisions sur l'environnement de la canalisation...).

De plus, l'avancée dans l'inventaire des données, la connaissance des réseaux et la mise en place de programmation de travaux ou d'inspections télévisées est très diverse en fonction des services d'assainissement.

Afin de répondre aux interrogations d'un plus grand nombre de structures, l'ASTEE a mis en place plusieurs groupes de travail sur la gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Les résultats de ces travaux étaient la publication de guides présentant les bonnes pratiques d'une gestion patrimoniale d'un point de vue technique et financier.

Ces différents guides précisent les informations nécessaires à la mise en œuvre d'une gestion patrimoniale et les modes d'acquisition des données manquantes. Ils présentent également les retours d'expérience ainsi que les difficultés rencontrées par les collectivités déjà engagées dans cette démarche. Le retour d'expérience de l'agglomération Béziers Méditerranée existe d'ailleurs dans le dernier guide (Septembre 2017) [3][17].

### 3.3.2. Réseaux d'eau potable

#### a. Les modèles d'aide à la décision

Plusieurs modèles d'aide à la décision existent, nous citons le modèle Ganet, le modèle PARMS, le modèle SIROCO, le modèle PHARE, le modèle KANEW, le modèle WILCO et le modèle CARE-W. L'objectif de tous ces modèles est de proposer à travers des analyses multicritères des programmes de renouvellement des réseaux.

Le tableau suivant résume les points forts ainsi que les limites de chaque modèle :

Modèle	Points forts	Limites
<b>GANet</b>	- Utilisation d'un algorithme génétique pour programmer le	- Destiné à des spécialistes pour le développement d'algorithmes

	renouvellement des réseaux - Minimisation d'une fonction économique pour l'évaluation des scénarios de renouvellement	- Présence d'un modèle hydraulique - Utilisation d'un SIG spécifique - Pas de modèle de prévision de défaillances - Programmation uniquement à long terme (15 / 20 ans)
<b>PARMS</b>	- Minimisation d'une fonction économique pour l'évaluation des scénarios de renouvellement - Pas de modèle hydraulique	- Modèle basé essentiellement sur une optimisation des coûts (pas d'analyse multicritère, non prise en compte de la qualité du service) - Génération de scénarios de renouvellement non automatique - Utilisation d'un SIG spécifique - Pas de planification des travaux
<b>SIROCO</b>	- Utilisation du modèle LEYP - Agrégation de critères ; définition d'un score global pour chaque conduite - Possibilité de mutualiser les données de plusieurs collectivités - Programmes de renouvellement bornés par un budget ou un linéaire à renouveler par an	- Présence d'un modèle hydraulique - Nécessite un nombre important de données à collecter et mettre à jour périodiquement - Compatible avec le SIG ( <a href="#">Cart@jour</a> ) existant à l'Agglo Béziers Méditerranée mais l'outil a évolué et il est préférable d'acquérir la nouvelle version (SIG « KIS » + Siroco)
<b>PHARE</b>	- Agrégation de critères ; définition d'un score global pour chaque conduite	- Présence d'un modèle hydraulique - Utilisation d'un SIG spécifique - Pas de modèle de prévision de défaillances
<b>KANEW</b>	- Pas de modèle hydraulique	- Utilisation du modèle des cohortes pour la prédiction de défaillances - Raisonnement à l'échelle de cohortes de conduites (ne considère que des groupes de conduites et non des conduites individuelles)
<b>WILCO</b>	- Utilisation d'un algorithme génétique pour programmer le renouvellement des réseaux - Minimisation d'une fonction économique pour l'évaluation des scénarios de renouvellement	- Présence d'un modèle hydraulique - Utilisation d'un SIG spécifique - Modèle exponentiel pour la prévision de défaillances
<b>CARE-W</b>	- Utilisation d'Electre-tri pour l'analyse multicritère [14] - Minimisation d'une fonction économique et utilisation de la performance du réseau pour l'évaluation des scénarios de renouvellement	- Présence d'un modèle hydraulique - Nécessite un nombre important de données à collecter et mettre à jour périodiquement
<b>UtilNets</b>	- Minimisation d'une fonction économique et utilisation de la performance du réseau pour l'évaluation des scénarios de	- Présence d'un modèle hydraulique - Utilisation d'un SIG spécifique - Pas de modèle de prévision de défaillances

	renouvellement	
--	----------------	--

*Tableau 5: Les modèles d'aide à la décision avantages et limites [9]*

## **b. Modèle choisi**

Comme déjà évoqué, l'Agglo Béziers Méditerranée possède l'outil Siroco depuis 2014. Après avoir fourni l'ensemble de données nécessaires à son utilisation, nous l'avons paramétré puis essayé pour la première fois sur la commune de Bassan. Cela nous a permis de proposer différents scénarios de renouvellement des réseaux d'eau potable. Nous exposerons plus loin dans le mémoire les détails de ce travail.

## **4. Contexte du projet GPR**

En tant que maître d'ouvrage, l'agglo Béziers Méditerranée assure les compétences eau potable et assainissement transférées par les 17 communes suivantes :

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| - Alignan-du-Vent     | - Lignan sur Orb         |
| - Bassan              | - Montblanc              |
| - Béziers             | - Sauvian                |
| - Boujan-sur-Libron   | - Sérignan               |
| - Cers                | - Servian                |
| - Corneilhan          | - Valras plage           |
| - Coulobres           | - Valros                 |
| - Espondeilhan        | - Villeneuve lès Béziers |
| - Lieuran lès Béziers |                          |

Tant pour le maintien en bon état des réseaux que pour le respect de la législation, il est essentiel pour la collectivité de construire une stratégie de gestion patrimoniale efficace.

En 2015, elle s'est basée sur un contrat d'apprentissage ENGEES pour mettre en place les bases de sa stratégie. L'objectif étant alors de répondre à 3 problématiques :

- Améliorer la connaissance du patrimoine « Réseaux »
- Définir des méthodes de travail permettant d'évaluer l'état du patrimoine et les risques associés
- Élaborer des programmes d'inspections (ITV) pour les réseaux d'assainissement puis des programmes travaux (eau + assainissement) en exploitant les outils existants (INDIGAU et SIROCO) avec différents paramétrages.

Les trois années d'apprentissage ont permis, sous la forme d'un mode projet, de tester et d'appliquer différentes approches qui seront exposées plus loin dans le mémoire.

## **5. Problématique**

Quel linéaire de canalisations faut-il renouveler en priorité sachant que le budget d'investissement n'est pas suffisant pour renouveler toutes les canalisations posant problème ?

### **5.1. Les réseaux d'assainissement**

#### Combien ?

D'une part, le taux de renouvellement actuel des réseaux d'assainissement de la collectivité est de 0,5% par an. À ce rythme, il faudrait environ 200 ans pour renouveler l'ensemble du réseau. Or, en estimant que la durée de vie des canalisations est 100 ans, nous devrions renouveler 1% par an.

D'autre part, en estimant que 50% des canalisations inspectées sont en bon état, nous devrions plutôt inspecter 2% des canalisations. En rajoutant d'autres contraintes (programme voirie par

exemple) nous serons obligés d'inspecter environ 4% du réseau afin d'assurer un renouvellement annuel de 1% (environ 700km \* 0,04 = 28 km / an).

Où ?

Afin de déterminer les tronçons à inspecter et/ou renouveler il faut proposer et valider une méthode basée sur une analyse multicritère qui prend en compte les caractéristiques des canalisations et d'autres critères sociaux, environnementaux .... Cette méthode permettra la hiérarchisation des tronçons à inspecter, puis à renouveler en utilisant l'outil Indigau avec différents paramétrages.

## 5.2. Les réseaux d'eau potable

Combien ?

L'objectif de la collectivité est d'assurer un taux de renouvellement annuel de 1 %.

Où ?

Afin de déterminer les canalisations à renouveler, il faut récupérer et traiter toutes les données nécessaires à la prévision des casses à l'aide du logiciel « Casses » (historique des fuites, caractéristiques des canalisations ...), puis traiter et analyser les données nécessaires au fonctionnement de l'outil Siroco (matériau, diamètre, ILP, importance de la canalisation, coût de casse, temps de réparation ...), et ensuite tester différents paramétrages de l'outil avant de choisir le scénario de renouvellement des réseaux le plus pertinent d'un point de vue technique et financier.

## 6. Besoins du projet

Aujourd'hui, la collectivité dispose d'une base de données suffisamment enrichie pour permettre le développement d'une méthode de travail, ainsi que des applicatifs métiers (Indigau et Siroco).

Le service "SIG" rencontrait d'énormes difficultés de transfert, d'acquisition et de collecte de données, ce qui ralentissait l'avancée du projet.

Jusqu'à décembre 2016, la méthode adoptée était la suivante :

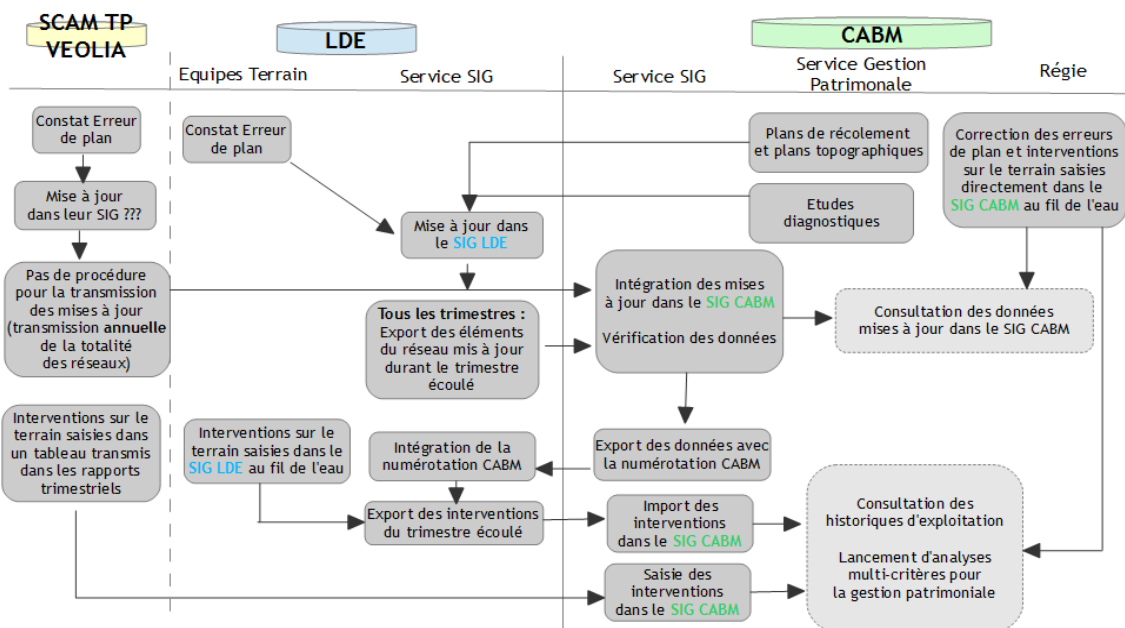


Figure 12: Organisation (2009-2016)

Les équipes terrain de l'exploitant constatent les erreurs de plans puis les font remonter à leur service SIG. Le service SIG de la collectivité leur transmet également les plans de récolement ainsi que les levés topographiques. L'exploitant met à jour son SIG, renseigne le numéro du trimestre, puis extrait les plans dans un format SIG et les envoie au service SIG de la collectivité. Une fois la mise à jour effectuée, le service SIG de la collectivité attribue un numéro CABM (Communauté

d'agglomération Béziers Méditerranée) aux nouveaux tronçons et les envoie à l'exploitant afin d'actualiser sa base de données. Ensuite, le service SIG de l'exploitant exporte les interventions faites sur le réseau (fuites, curages, débouchages...) au service SIG de la collectivité. Cette ancienne organisation présentait beaucoup d'inconvénients car consommatrice de temps et source d'erreurs.

Une nouvelle organisation a été adoptée depuis janvier 2017 :

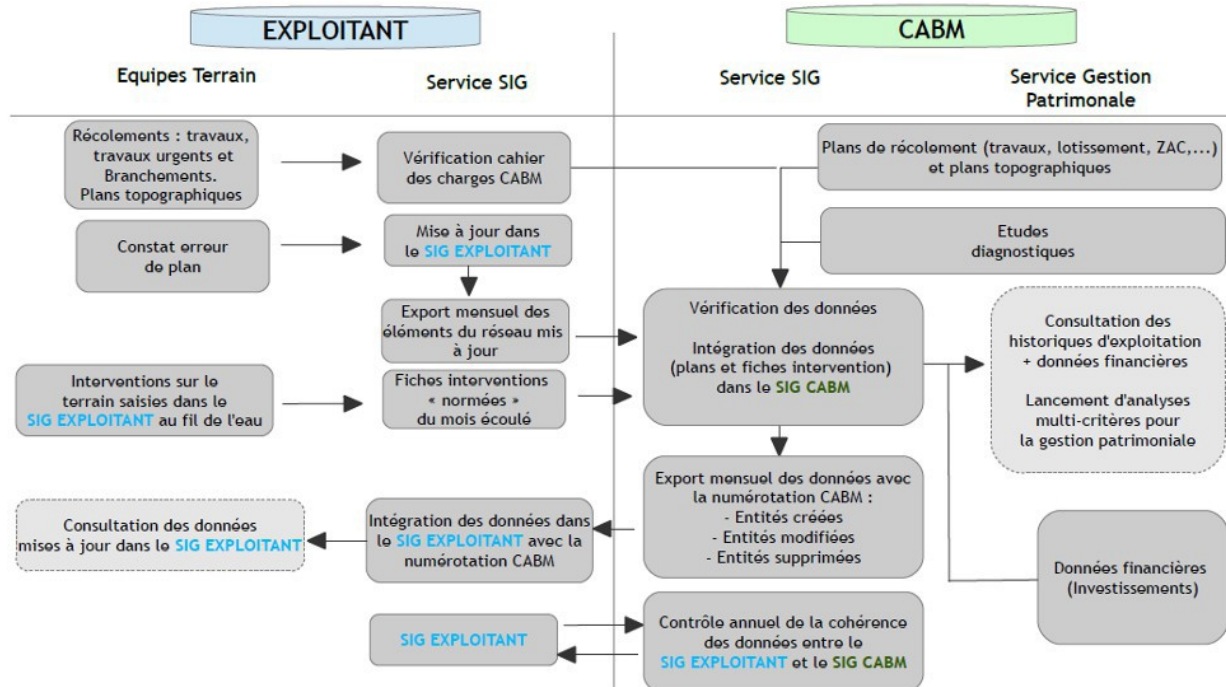


Figure 13: Organisation à partir de 2017

Elle consiste à ce que tous les plans de récolement de la collectivité, les études topographiques et diagnostiques ainsi que les plans de récolement de l'exploitant (soumis au cahier des charges de la collectivité) soient directement intégrés dans le SIG de la collectivité en plus des différentes interventions terrain que l'exploitant transmet sous forme de fiches types (IVP, contrôles de conformités, fuites ...). Ensuite, le service SIG de la collectivité envoie la mise à jour à l'exploitant qui l'intègre dans son propre SIG.

Enfin, les deux services SIG, mettent en parallèle leurs SIG une fois par an afin de vérifier leur cohérence sur la totalité du réseau. Cette nouvelle organisation permet d'avancer plus vite sur le projet puisque la collectivité contrôle désormais les différentes données et a une vision plus claire de son patrimoine.



## **PARTIE N°3 : La gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement (Méthodes et résultats)**

### **1. Approches suivies pour la hiérarchisation des canalisations à inspecter**

Différentes méthodes d'analyse multicritère ont été testées afin de comparer leurs résultats et choisir l'approche la plus pertinente qui sera appliquée ensuite sur l'ensemble du territoire.

La première approche s'appuie sur les résultats d'une étude réalisée sur les réseaux du département du Bas-Rhin (CEMAGREF – BETA et Conseil Départemental du Bas-Rhin – 2005). Il s'agit d'une analyse statistique réalisée sur les résultats d'inspections vidéo de 11 280 tronçons, qui a permis d'affecter un score pour chaque critère parmi les critères choisis. M. Jean-Paul VILLETTE (Maître de Conférences en Sciences de Gestion à l'université de Strasbourg) nous a expliqué qu'il est très compliqué de reprendre toute l'étude statistique qu'il avait menée et l'appliquer à notre contexte. Nous étions donc obligés dans un premier temps d'appliquer la méthode telle quelle afin d'évaluer la pertinence des résultats obtenus, puis nous avons décidé dans un second temps de réaliser une autre analyse statistique de type scoring « régression logistique » afin d'affecter aux critères choisis de nouveaux scores propres à notre contexte. Nous avons hiérarchisé ensuite les tronçons à inspecter par ordre de gravité en sommant les scores des critères pour chaque tronçon et en les classant du plus grand au plus petit.

La deuxième approche est celle du projet national RERAU. Elle consiste à calculer des indicateurs simples et composites qui tiennent compte des aspects structurels, fonctionnels et environnementaux à l'échelle d'un tronçon du réseau ou d'un bassin versant, puis de construire des critères d'investigation et/ou de réhabilitation qui permettent de choisir les tronçons les plus dégradés à inspecter et/ou à réhabiliter en utilisant l'outil Indigau.

#### **1.1. Première approche : Adaptation de l'étude du Bas Rhin au contexte de l'agglomération Béziers Méditerranée**

##### **1.1.1 Sectorisation**

Cette étape comporte trois sous-étapes :

- ✓ Sectorisation du réseau à partir des caractéristiques des collecteurs
- ✓ Sectorisation du réseau à partir des incidences sur l'environnement du collecteur
- ✓ Sectorisation du réseau à partir des données de l'exploitant

##### **a. Sectorisation des réseaux en degré de risque de défaillance**

Cette étape consiste à évaluer le degré de « risque de défaillance » des réseaux en se basant sur la pondération des critères qui caractérisent le collecteur et son environnement. Le détail des scores est présenté dans le tableau suivant :

Étude CEMAGREF / BETA / CD 67		
Variable	Modalité	Valeur risque défaillance
Occupation du sol	Trottoir	248
	Jardins et cours	94
	Chaussée	81
	Aérien	78
	Terrain naturel	73
	Accotement	53

	Cours d'eau	44
	Chemin rural	5
	Chemin de fer	0
Terrain en place	Rocheux	220
	Marneux	209
	Sableux	204
	Limoneux	200
	Argileux	197
	Loess	184
	Alluvionnaire sec	176
	Caillouteux	157
	Alluvionnaire mouillé	149
	Nature terrain inconnue	132
Fonction du réseau	Indéfini	171
	Unitaire	113
	Séparatif	14
Matériau	Amiante ciment	108
	Grès	94
	Béton	82
	Acier	45
	PVC	25
	PRV, Polypropylène, ...	10
	Fonte	0
Période de pose	Avant 1930	108
	1930 - 1940	62
	1940 - 1950	57
	1950 - 1960	62
	1960 - 1970	55
	1970 - 1980	41
	1980 - 1990	27
	Après 1990	0
Notation maximum		855

*Tableau 6: Notation des critères pour la définition du risque de défaillance*

Le risque de défaillance est calculé en faisant la somme des notes attribuées pour chaque critère. Une classification en fonction de trois seuils est retenue (peu de risque – risque moyen – risque important) :

Zone	Zone verte (peu de risque)	Zone orange (risque moyen)	Zone rouge (risque important)
Seuils de classement	0 à 594	595 à 657	658 à 1000

*Tableau 7: Classification en risque de défaillance*

### b. Sous-sectorisation des réseaux en fonction des risques d'impact

Cette deuxième sectorisation ne concerne que les réseaux classés en « risque de défaillance » moyen ou important, elle consiste à évaluer le degré du « risque d'impact » en se basant sur la pondération d'autres données. Le détail des scores est présenté dans le tableau suivant :

Sensibilité	Risque d'impact d'un dysfonctionnement			
	Faible	Moyenne	Grande	Très grande
Note associée	1	2	3	4
Milieu naturel	Aucun usage	Proximité ou rejet direct dans un cours d'eau	Présence nappe avec forages particuliers	Périmètre protection captage AEP
Fonctionnement de la collecte	Réseau séparatif secondaire	Réseau unitaire secondaire	Collecte bassin versant en amont	Ossature principale, réseau de transfert
Trafic routier	- Pas de ligne de bus, - Poids lourds rares, - Desserte locale	- Pas de ligne de bus, - Poids lourds rares, - Parking	- Lignes de bus, - Route de transit, - Poids lourds, - Parking	- Lignes de bus très fréquentées, - Route à fort trafic, - Poids lourds fréquents, - Parking souterrain
Bâti	Pas de cave ni de sous-sol	- Lotissement, - Caves ou sous-sol, - RDC en contrebas	- Zone commerciale, - Zone industrielle, - Habitat urbain, - Caves ou sous-sol, - RDC en contrebas	- Rue commerçante - Centre ville, - Caves ou sous-sol, - RDC en contrebas
Incidences sociales	- Aménagements de surface pour stockage ou évacuation EU, - Pas de cave ni de sous-sol	- Aménagements de surface pour stockage ou évacuation EU, - Présence de cave ou de sous-sol	- Zone pavillonnaire sans aménagements de surface pour stockage ou évacuation EU	- Zone urbaine, - Présence d'effluent industriel (odeurs)

*Tableau 8: Modalités de notation des « risques d'impact »*

Le risque d'impact est calculé en faisant la somme des notes attribuées à chaque critère. Une classification en fonction de trois seuils est retenue (risque faible – risque moyen - risque fort) :

Somme des notes	4 à 7	7 à 13	14 à 20
Risque d'impact global	Faible	Moyen	Fort
Incidence sur la classification « risque de défaillance »	Retrait d'une classe	Maintien classe	Hausse d'une classe

Tableau 9: Incidence notation du risque d'impact sur le risque de défaillance

Le croisement des deux classements induit un classement final en fonction du risque de défaillance et du risque d'impact selon quatre seuils (secteur à risque faible, secteur à risque moyen, secteur à risque élevé, secteur prioritaire) :

Risque de défaillance	Zone verte (risque faible)	Zone orange (risque moyen)	Zone rouge (risque important)	
Risque d'impact	/	Faible	Moyen	Fort
Classement final	Secteur à risque faible	Secteur à risque moyen	Secteur à risque élevé	Secteur prioritaire

Tableau 10: Classement en fonction du risque de défaillance et d'impact

### c. Hiérarchisation des sous-secteurs en fonction des points noirs répertoriés par l'exploitant

Vu le budget annuel de la collectivité, nous ne pourrions pas renouveler tous les tronçons classés en risque élevé et prioritaire. Nous poussons l'étude un peu plus loin en rajoutant les points noirs fournis par l'exploitant (curages répétés, points de surverse du réseau, réparations ponctuelles ...), ce qui nous permettra de hiérarchiser les secteurs prioritaires.

#### 1.1.2. Diagnostic et sectorisation par tronçon

L'objectif de cette étape est de s'assurer des tronçons posant vraiment problème (secteur prioritaire et/ou points noirs) en se basant sur des campagnes de mesure de débit en continu à l'aval, des recherches d'eaux claires parasites et des inspections vidéo périscopiques (IVP).

##### a. Infiltration d'eaux claires parasites

En se basant sur le débit d'infiltration par mètre linéaire de réseaux, une classification est faite selon quatre seuils. Dans l'étude initiale le tableau suivant a été envisagé :

Eaux claires parasites permanentes (ECP) de nappe haute	
Niveau de gravité	Descriptif
1 Pas significatif	< 25 % du volume total ou < 2 l/s/km
2 Moyen	25 à 32 % du volume total ou 2 à 5 l/s/km
3 Important	33 à 40 % du volume total ou 5 à 10 l/s/km
4 Très important	> 40 % du volume total ou > 10 l/s/km

Tableau 11: Notation des ECP

## b. Inspections vidéo périscopiques

Dans l'étude initiale le tableau suivant a été envisagé pour la pondération des éventuels défauts soulevés par l'IVP :

Inspections vidéo périscopiques	
Niveau de gravité	Descriptif
1 État « neuf »	Risque faible Regard et réseau récent et en bon état Bon écoulement pas de traces de mise en charge
2 État « mauvais »	Risque moyen Présence de décalage des canalisations, coudes, petites racines ponctuelles par les joints
3 État « médiocre »	Risque important Fissures verticales, perforations de canalisations Nombreuses entrées de racines par les joints, suintements d'eaux parasites Corrosion ponctuelle ou superficielle des canalisations
4 État « catastrophique »	Risque immédiat Fissures longitudinales, casse de canalisation Décalage important de canalisation avec substrat visible (affouillement ou risque d'affouillement autour du réseau) Corrosion importante des canalisations avec risque de rupture Présence de grosses racines avec risque de casse des canalisations ou d'obstruction complète du collecteurs Grosses entrées d'eaux parasites de nappe généralisées ou avec entraînement de fines

*Tableau 12: Notation des IVP*

La notation finale du dysfonctionnement correspond au maximum des deux notes, ensuite les tronçons classés en état médiocre et catastrophique feront l'objet d'une inspection télévisuelle.

Il faut signaler que les rapports d'IVP fournis par l'exploitant ne répondent pas aux attentes de la collectivité car ils comprennent des fiches mal renseignées voire non renseignées avec une notation non argumentée. Nous les avons donc remplacés par une fiche type, validée par le service « GPR » et l'exploitant. Cette nouvelle fiche contient les différents défauts validés en interne ainsi qu'un système de notation automatisé qui permet d'affecter une note au tronçon en se basant sur l'ensemble des informations fournies (annexe 2). Ce nouveau système de notation a été adopté par la suite.

Finalement, nous avons produit la carte suivante qui représente le classement des tronçons à inspecter par ordre de gravité sur la commune de Bassan :

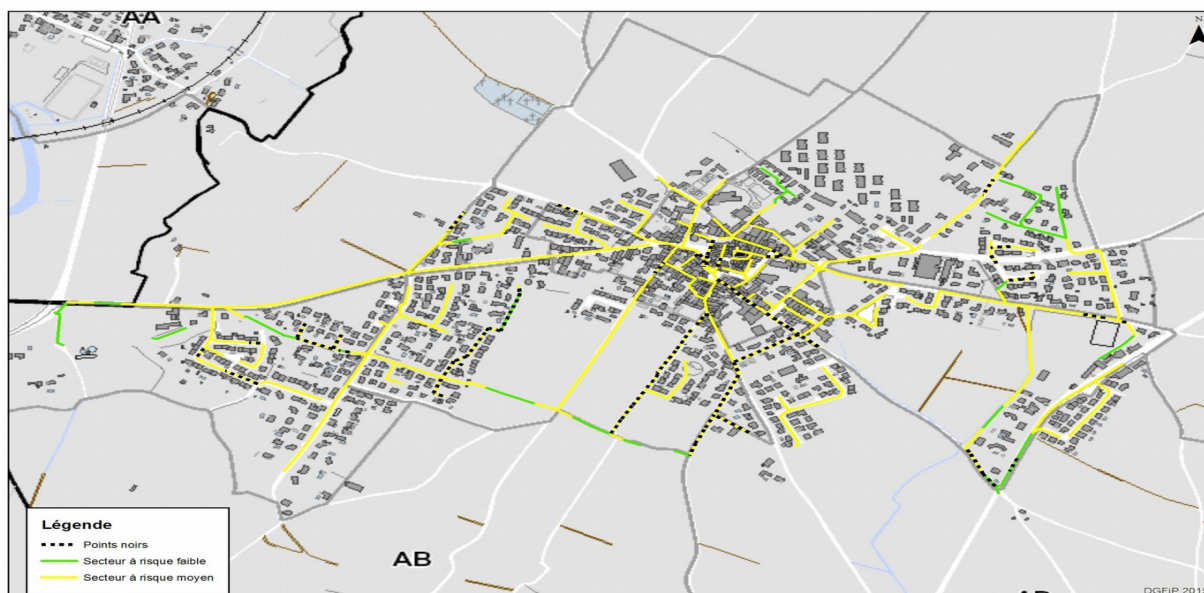


Figure 14: Carte des tronçons de la commune de Bassan classés par ordre de gravité

### 1.1.3. « Scoring » et régression logistique

La méthode précédente est pertinente mais ne peut pas être transposée en l'état au contexte de l'agglomération Béziers Méditerranée pour plusieurs raisons :

- Nous n'avons pas pu comprendre comment les scores ont été construits pour chaque critère.
- Nous ne pouvons pas reprendre exactement les mêmes critères choisis par le département du Bas-Rhin parce que les bases de données des deux collectivités sont différentes.
- Les contextes des deux territoires sont différents.

Le but alors de cette méthode est de proposer une nouvelle liste de critères disponibles sur notre base de données, et de réaliser une étude statistique de type « scoring » afin de proposer de nouveaux scores pour chacun de ces critères.

#### a. Définition

Selon le domaine, le terme « scoring » peut avoir des significations différentes : « classement », « résultat », « marque » ... En statistique, le scoring est plutôt synonyme du terme « classement ». Il désigne un ensemble de méthodes statistiques permettant de classer des individus en se basant sur un critère ou des critères prédéfinis.

Dans notre cas, les individus sont les canalisations d'assainissement que nous cherchons à classer par rapport à leur état.

#### b. La régression logistique

Plusieurs méthodes de calcul d'un score existent, le choix a été fait sur la régression logistique. Comme pour tous les modèles de régression binomiale, il s'agit de modéliser au mieux un modèle mathématique simple à des observations réelles nombreuses.

C'est une méthode très populaire auprès des statisticiens pour différentes raisons : Ses fondements théoriques sont directement adaptés au traitement des variables explicatives constituées d'un mélange de variables continues et de variables binaires (quantitatives et qualitatives). Nous l'utilisons pour affecter des notes aux différents critères (variables) associés à chaque tronçon (individu). Nous ne rentrons pas dans les détails mathématiques du calcul, nous utilisons plutôt le logiciel TANAGRA qui permet d'appliquer la méthode sur un échantillon de données et donne les résultats sous forme d'un tableau avec un coefficient pour chaque variable.

### 1.1.4. Scoring avec Tanagra

Tanagra est un logiciel gratuit de DATA MINING (Exploration de données) issu du monde universitaire et de recherche. Il implémente une série de méthodes de fouille de données issues du domaine de la statistique exploratoire, de l'analyse de données, de l'apprentissage automatique et des bases de données. C'est un logiciel gratuit et ouvert où tout chercheur peut accéder au code, d'ajouter ses propres algorithmes et de diffuser gratuitement la version modifiée. Il se distingue des autres logiciels par ses méthodes statistiques clairement identifiées et une documentation complète en français et en anglais.

Dans cette étude nous avons décidé de résoudre notre problème de scoring à l'aide de la méthode de régression logistique binaire en transformant toutes nos variables en variables binaires (1 ou 0). Des didacticiels expliquant comment mettre en œuvre cette méthode sont disponibles sur internet, mais ils sont toujours articulés autour d'une étude de cas « scoring Marketing » qui est complètement différent du nôtre.

### 1.1.5. Construction du score

#### a. Grille de score à partir d'une régression logistique

Une grille de score dans notre cas est une grille permettant de donner des notes pour chaque variable afin de classer les canalisations par ordre de gravité. La grille de notation doit être calibrée, par exemple de 0 à 100.

L'échantillon de notre étude se compose de 2214 tronçons d'assainissement qui ont été déjà inspectés. Les variables qualitatives ont été changées en variables quantitatives. Les variables prises en compte dans la modélisation sont : longueur, diamètre, matériau, âge, type du réseau et occupation du sol. Toutes les modalités des variables ont été prises en considération dans le modèle. Le tableau suivant représente un extrait des données :

CODE_EXTERNE	Longueur	Diamètre	Matériau	Âge	Type du réseau	Occupation du sol
6189425	14,5	300	Grès	108	Unitaire	Tissu urbain continu
4791483	4,5	200	Béton	93	Unitaire	Bâti individuel dense
4792827	9,33	200	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
4793245	33,84	200	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
4790793	35,2	200	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
4791227	3,6	300	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
4791227	4,9	300	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
4791427	8,5	300	Béton armé	93	Unitaire	Bâti individuel lâche
4793343	12,6	300	Béton armé	93	Unitaire	Réseaux routiers
4790944	14,1	300	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
6134087	14,12	300	Béton	93	Séparatif	Bâti individuel dense
4790843	16,03	300	Béton	93	Unitaire	Tissu urbain continu
4790944	24	300	Béton armé	93	Unitaire	Réseaux routiers
4792664	26,15	300	Béton	93	Unitaire	Réseaux routiers
6181526	29	300	Béton armé	93	Unitaire	Bâti individuel dense

*Tableau 13: Extrait du tableau de données utilisées pour le « scoring »*

#### b. Manipulation sous TANAGRA

Pour mettre en œuvre cet exercice, nous avons installé la dernière version de Tanagra. Ensuite, nous avons créé la macro complémentaire TANAGRA XLA qui permet de lancer le logiciel directement à partir du tableur. Toute la méthode est détaillée en (annexe 3).

### c. Construction des scores à partir des coefficients de la régression logistique

Point de départ : résultats de la régression logistique [Équation LOGIT]

Attribute	Coef
Constant	-12,2799
Longueur	0,0027
Amiante-Ciment	-1,1756
Béton	-0,6454
Fonte	-2,2612
Grès	-1,7118
Maçonnerie	31,6695
Polychlorure de vinyle	-1,9052
Réseau séparatif	0,0527
Réseau unitaire	0,1792
Diamètre < 400	0,1473
Diamètre > 400	-0,1473
Age < 40	-0,2264
Age > 40	0,2264
Bâti collectif	12,1915
Tissu urbain continu	11,2679
Bâti individuel dense	11,9121
Bâti individuel lâche	12,0461
Bâti isolé	0
Zones d'équipements collectifs	11,4761
Parkings	12,577
Zones d'activités économiques (industrielles ou commerciales)	11,6869
Réseaux routiers	11,5251
Chantiers	12,3103
Terrains vagues et friches urbaines	12,4346
Espaces ouverts de sports et de loisirs	-7,511
Vignes	11,6225
Maraîchage, serres, autres cultures annuelles, intercultures et jachères	10,7725
Plages et étendues de sable	32,0105
Canal	10,8528
Centre d'enfouissement, déchetterie, station d'épuration	13,8522
Espaces associés aux réseaux	11,0908



Espaces bâtis de sports et de loisirs	13,0078
Friches	12,2424
Parcs aménagés	12,7092
Places	11,589
Plans d'eau artificiels, industriels ou pluviaux	11,7528
Réseaux ferroviaires	14,3795
Ripisylves	-7,5567

*Tableau 14: Coefficients de la régression logistique*

**1ère étape :** Faire apparaître la ou les modalités de référence

La modalité de référence est « Bâti isolé » avec un coefficient égal à 0.

**2ème étape :** Détection des valeurs minimales des coefficients par variable (la constante est mise de côté)

**3ème étape :** Correction par variable pour rendre positifs tous les coefficients

**4ème étape :** Identification du maximum des points

Les deux tableaux suivants résument ces trois étapes.

Attribute	Coef
Constant	-12,2799
Longueur	0,0027
Amiante-Ciment	-1,1756
Béton	-0,6454
Fonte	-2,2612
Grès	-1,7118
Maçonnerie	31,6695
Polychlorure de vinyle	-1,9052
Réseau séparatif	0,0527
Réseau unitaire	0,1792
Diamètre < 400	0,1473
Diamètre > 400	-0,1473
Âge < 40	-0,2264
Âge > 40	0,2264
Bâti collectif	12,1915
Tissu urbain continu	11,2679
Bâti individuel dense	11,9121
Bâti individuel lâche	12,0461
Bâti isolé	0
Zones d'équipements collectifs	11,4761
Parkings	12,577
Zones d'activités économiques (industrielles ou commerciales)	11,6869
Réseaux routiers	11,5251
Chantiers	12,3103
Terrains vagues et friches urbaines	12,4346
Espaces ouverts de sports et de loisirs	-7,511
Vignes	11,6225
Maraîchage, serres, autres cultures annuelles, intercultures et jachères	10,7725
Plages et étendues de sable	32,0105
Canal	10,8528
Centre d'enfouissement, déchetterie, station d'épuration	13,8522
Espaces associés aux réseaux	11,0908
Espaces bâtis de sports et de loisirs	13,0078
Friches	12,2424
Parcs aménagés	12,7092
Places	11,589
Plans d'eau artificiels, industriels ou pluviaux	11,7528
Réseaux ferroviaires	14,3795
Ripisylves	-7,5567
<b>Min</b>	<b>-12,2799</b>

→ Coef + |Min| →

Attribute	Coef
Longueur	12,2826
Amiante-Ciment	11,1043
Béton	11,6345
Fonte	10,0187
Grès	10,5681
Maçonnerie	43,9494
Polychlorure de vinyle	10,3747
Réseau séparatif	12,3326
Réseau unitaire	12,4591
Diamètre < 400	12,4272
Diamètre > 400	12,1326
Âge < 40	12,0535
Âge > 40	12,5063
Bâti collectif	24,4714
Tissu urbain continu	23,5478
Bâti individuel dense	24,192
Bâti individuel lâche	24,326
Bâti isolé	12,2799
Zones d'équipements collectifs	23,756
Parkings	24,8569
Zones d'activités économiques (industrielles ou commerciales)	23,9668
Réseaux routiers	23,805
Chantiers	24,5902
Terrains vagues et friches urbaines	24,7145
Espaces ouverts de sports et de loisirs	4,7689
Vignes	23,9024
Maraîchage, serres, autres cultures annuelles, intercultures et jachères	23,0524
Plages et étendues de sable	44,2904
Canal	23,1327
Centre d'enfouissement, déchetterie, station d'épuration	26,1321
Espaces associés aux réseaux	23,3707
Espaces bâtis de sports et de loisirs	25,2877
Friches	24,5223
Parcs aménagés	24,9891
Places	23,8689
Plans d'eau artificiels, industriels ou pluviaux	24,0327
Réseaux ferroviaires	26,6594
Ripisylves	4,7232
<b>Max</b>	<b>44,2904</b>

5ème étape : Calcul du facteur de correction  $\eta \implies \eta = 100 / \text{MAX} = 100 / 44,2904 = 2,25783$

6ème étape : Multiplication des points modalités par le facteur de correction  $\eta$  :

Les deux tableaux suivants résument ces deux étapes.

Attribute	Coef
Longueur	12,2826
Amiante-Ciment	11,1043
Béton	11,6345
Fonte	10,0187
Grès	10,5681
Maçonnerie	43,9494
Polychlorure de vinyle	10,3747
Réseau séparatif	12,3326
Réseau unitaire	12,4591
Diamètre < 400	12,4272
Diamètre > 400	12,1326
Âge < 40	12,0535
Âge > 40	12,5063
Bâti collectif	24,4714
Tissu urbain continu	23,5478
Bâti individuel dense	24,192
Bâti individuel lâche	24,326
Bâti isolé	12,2799
Zones d'équipements collectifs	23,756
Parkings	24,8569
Zones d'activités économiques (industrielles ou commerciales)	23,9668
Réseaux routiers	23,805
Chantiers	24,5902
Terrains vagues et friches urbaines	24,7145
Espaces ouverts de sports et de loisirs	4,7689
Vignes	23,9024
Maraîchage, serres, autres cultures annuelles, intercultures et jachères	23,0524
Plages et étendues de sable	44,2904
Canal	23,1327
Centre d'enfouissement, déchetterie, station d'épuration	26,1321
Espaces associés aux réseaux	23,3707
Espaces bâtis de sports et de loisirs	25,2877
Friches	24,5223
Parcs aménagés	24,9891
Places	23,8689
Plans d'eau artificiels, industriels ou pluviaux	24,0327
Réseaux ferroviaires	26,6594
Ripisylves	4,7232
<b>Max</b>	<b>44,2904</b>

$$\eta = 2,25783$$

$$\eta * \text{Coef}$$

Attribute	Score	Score arrondi
Longueur	27,731969005	28
Amiante-Ciment	25,071573072	25
Béton	26,268672218	26
Fonte	22,620477575	23
Grès	23,860926973	24
Maçonnerie	99,230081462	99
Polychlorure de vinyle	23,424263497	23
Réseau séparatif	27,844860286	28
Réseau unitaire	28,130475227	28
Diamètre < 400	28,05845059	28
Diamètre > 400	27,393295161	27
Âge < 40	27,214701154	27
Âge > 40	28,237044597	28
Bâti collectif	55,252153966	55
Tissu urbain continu	53,16682622	53
Bâti individuel dense	54,621317486	55
Bâti individuel lâche	54,92386612	55
Bâti isolé	27,725872875	28
Zones d'équipements collectifs	53,636905515	54
Parkings	56,122545744	56
Zones d'activités économiques (industrielles ou commerciales)	54,112855156	54
Réseaux routiers	53,74753897	54
Chantiers	55,52038365	56
Terrains vagues et friches urbaines	55,801031375	56
Espaces ouverts de sports et de loisirs	10,767344616	11
Vignes	53,967451186	54
Maraîchage, serres, autres cultures annuelles, intercultures et jachères	52,048299406	52
Plages et étendues de sable	100	100
Canal	52,229602803	52
Centre d'enfouissement, déchetterie, station d'épuration	59,001724979	59
Espaces associés aux réseaux	52,766965302	53
Espaces bâtis de sports et de loisirs	57,095217022	57
Friches	55,36707729	55
Parcs aménagés	56,421030291	56
Places	53,891814027	54
Plans d'eau artificiels, industriels ou pluviaux	54,261645865	54
Réseaux ferroviaires	60,19227643	60
Ripisylves	10,664161985	11

Après avoir obtenu les scores de chaque variable nous calculons le score final de chaque canalisation en sommant les scores de ses critères. Nous obtenons donc une hiérarchisation des tronçons à inspecter par ordre de gravité.

Le tableau suivant présente un extrait du résultat final (classement décroissant selon le score) :

Code_externe	Score_Longueur	Score_Matériau	Score_Diamètre	Score_Type_réseau	Score_Age	Score_oc_sol	Score_régression_logistique
6141801	28	25	28	55	28	56	220
6141705	28	25	28	55	28	56	220
6141546	28	25	28	55	28	56	220
6147672	28	25	28	55	28	55	219
6146780	28	25	28	55	28	55	219
6146779	28	25	28	55	28	55	219
6141826	28	25	28	55	28	55	219
6141819	28	25	28	55	28	55	219
6141814	28	25	28	55	28	55	219
6141784	28	25	28	55	28	55	219
6141754	28	25	28	55	28	55	219
6141751	28	25	28	55	28	55	219
6141749	28	25	28	55	28	55	219
6141744	28	25	28	55	28	55	219
6141737	28	25	28	55	28	55	219
6141686	28	25	28	55	28	55	219
6141620	28	25	28	55	28	55	219
6141597	28	25	28	55	28	55	219
6141588	28	25	28	55	28	55	219
6141587	28	25	28	55	28	55	219
6141568	28	25	28	55	28	55	219
6141567	28	25	28	55	28	55	219
6141531	28	25	28	55	28	55	219
6141517	28	25	28	55	28	55	219
6141516	28	25	28	55	28	55	219
6141497	28	25	28	55	28	55	219
6141478	28	25	28	55	28	55	219
6141463	28	25	28	55	28	55	219
6141462	28	25	28	55	28	55	219
6141458	28	25	28	55	28	55	219
6141455	28	25	28	55	28	55	219
6147732	28	25	28	55	28	54	218
6147712	28	25	28	55	28	54	218
6147697	28	25	28	55	28	54	218
6147696	28	25	28	55	28	54	218

Tableau 15: Hiérarchisation des tronçons à inspecter par ordre de gravité

#### d. Scoring et construction de la courbe lift

La courbe de Lift est une courbe qui fournit une synthèse visuelle de l'information apportée par un modèle statistique dans la prévision d'une variable. Plus précisément, la courbe synthétise l'état du tronçon auquel nous pouvons s'attendre en utilisant le modèle prédictif utilisé.

Il nous faut d'abord attribuer à chaque tronçon sa probabilité d'être positif (en bon état). Pour ce faire, nous insérons le composant SCORING (onglet SCORING) dans le diagramme. Nous le paramétrons de manière à calculer la probabilité de la modalité positive (classe = vert).

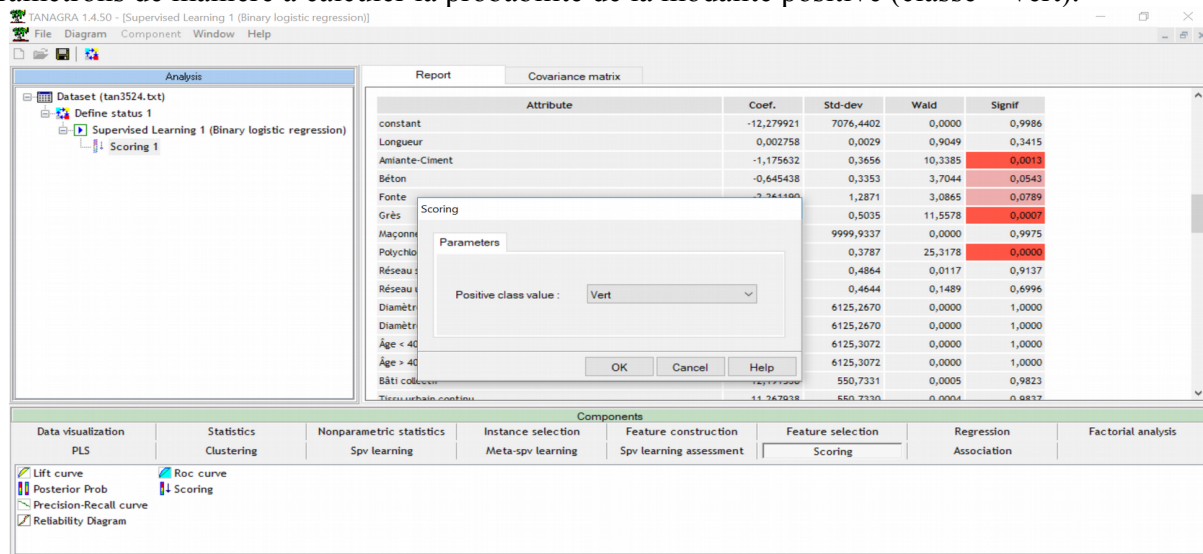


Figure 15: Insertion du composant « scoring »

En activant le menu VIEW TANAGRA indique qu'une nouvelle variable SCORE\_1 a été créée.

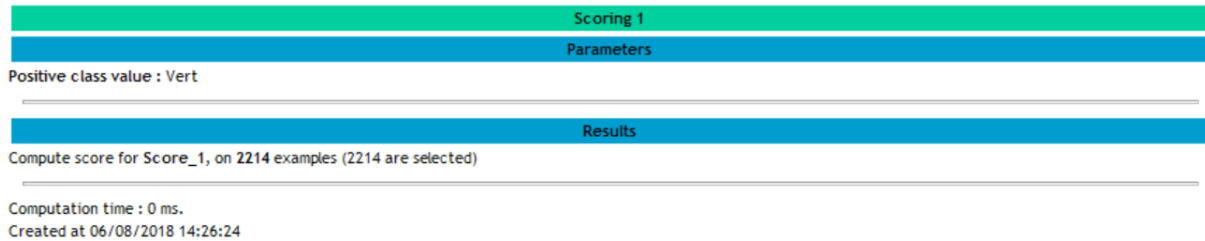


Figure 16: Activation du menu VIEW

Pour construire la courbe de lift, nous devons indiquer à TANAGRA la variable cible de référence et la variable qui sert à ordonner les observations. Nous introduisons de nouveau le composant DEFINE STATUS, toujours en utilisant le raccourci dans la barre d'outils. Nous plaçons en TARGET la variable CLASSE et en INPUT la variable SCORE\_1 construite précédemment.

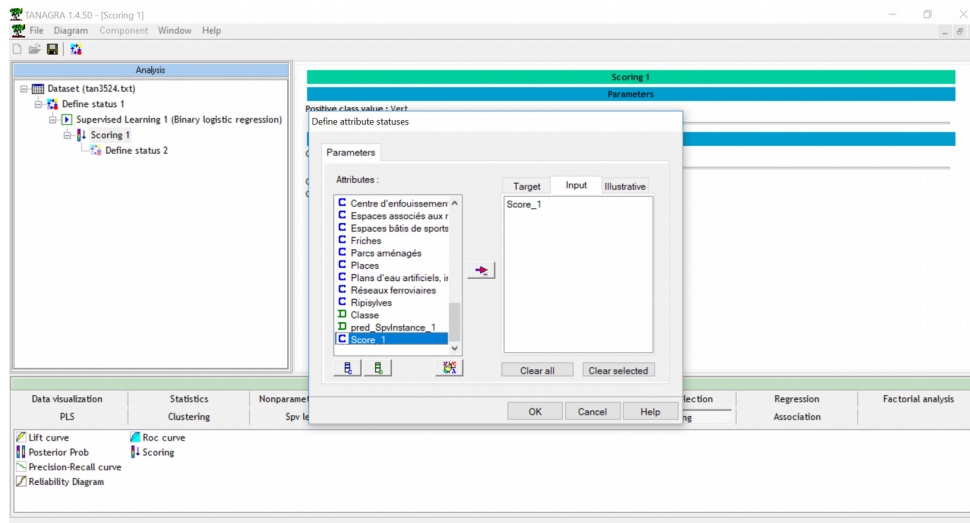


Figure 17: Construction de la courbe de Lift 1

Il ne reste plus qu'insérer le composant LIFT CURVE (onglet SCORING) dans le diagramme. Nous actionnons le menu PARAMETERS afin de spécifier : la modalité positive de la variable cible (classe = vert).

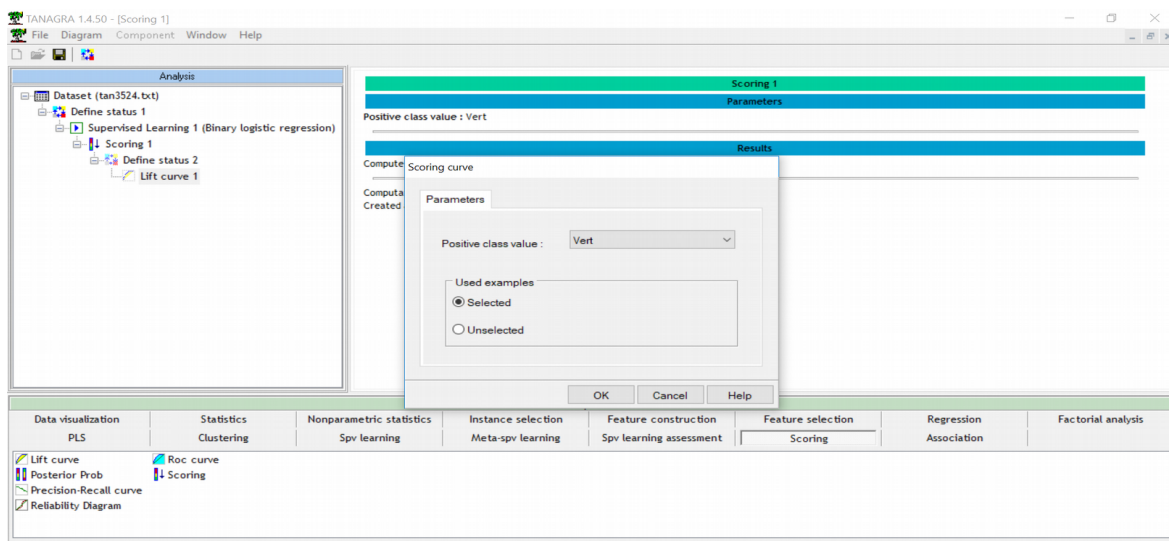


Figure 18: Construction de la courbe de Lift 2

Nous activons le menu VIEW pour accéder aux résultats et la courbe LIFT s'affiche directement.

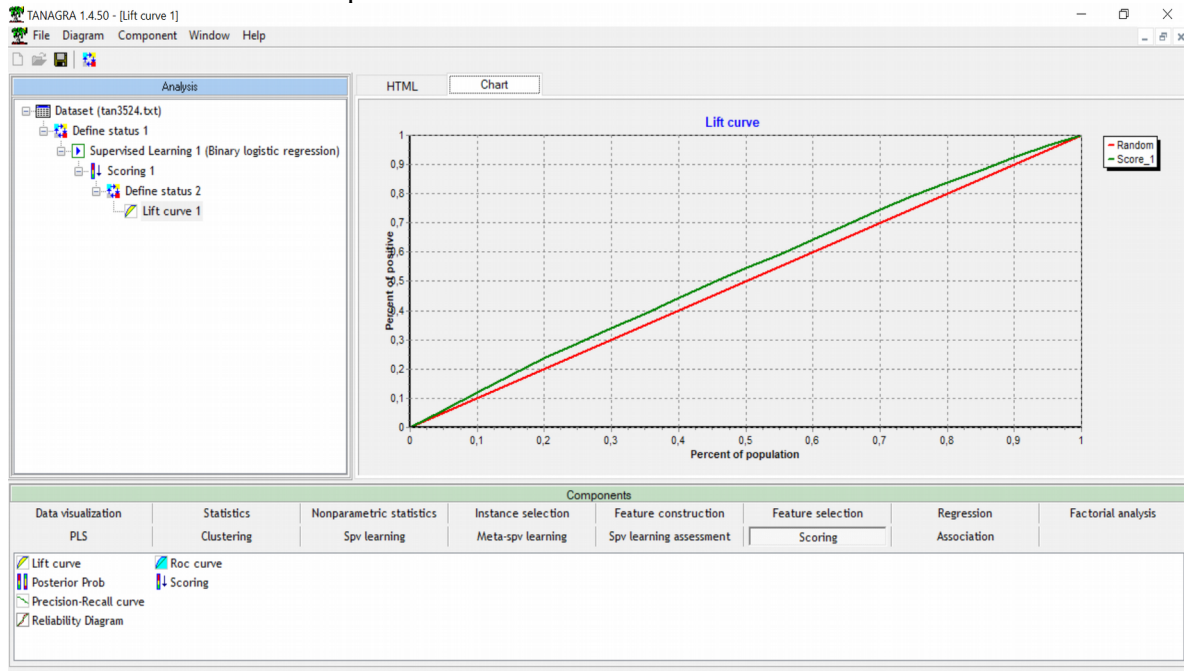


Figure 19: Courbe de Lift

La courbe verte est en dessus de la première bissectrice ce qui veut dire que notre prédiction est bonne.

### e. Conclusion « scoring »

Le but initial de cette étude statistique était de proposer de nouveaux scores à chaque critère afin de pouvoir appliquer l'approche du département du Bas-Rhin sur notre contexte. Il s'est avéré ensuite que les critères que nous avons choisis diffèrent de ceux choisis par le département du Bas-Rhin.

Nous avons décidé d'abandonner l'approche du département du Bas-Rhin et d'aller jusqu'au bout de l'étude statistique en sommant les scores des critères pour chaque canalisation afin d'avoir un score final qui permettra de les classer par ordre de gravité.

En revanche, il faut savoir que l'étude réalisée est purement statistique, elle ne se base sur aucune analyse supplémentaire, les résultats obtenus sont tout à fait discutables et pourraient être ajustés davantage.

## 1.2 Approche projet national RERAU

Comme dit précédemment, l'approche RERAU est une méthodologie d'aide à la décision qui permet aux gestionnaires des réseaux de définir les priorités d'inspection et de réhabilitation des collecteurs. Le guide suivant a été élaboré pour répondre à cet objectif : RERAU 5/6 « Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains – guide méthodologique » (Le Gauffre et al., 2004)

### 1.2.1. Choix des indicateurs RERAU pertinents

Le guide RERAU 5/6 définit un ensemble de fiches d'indicateurs et de critères que les gestionnaires des réseaux pourraient calculer pour définir les collecteurs posant problème. Néanmoins, la mise en œuvre des propositions du guide nécessite la construction d'une base de données robuste et riche en termes de données impactant les tronçons. Un diagnostic des données disponibles dans la base de données de la collectivité a été fait afin de pouvoir dresser une liste d'indicateurs simples que nous pourrions calculer.

Le guide propose un ensemble d'indicateurs de base appelés « indicateurs simples » pouvant être calculés directement à partir des données existantes. Un deuxième type d'indicateurs appelés « indicateurs composites » calculés à partir du croisement des indicateurs simples. Et enfin les critères qui sont les indicateurs composites du bout de la chaîne. Ils sont calculés en croisant des indicateurs simples et composites et représentent un dysfonctionnement donné.

Le guide propose 30 critères d'investigation et 31 critères de réhabilitation. Les critères d'investigation sont des critères qui nous aident à hiérarchiser les tronçons à inspecter par ordre de gravité. Nous n'utilisons donc pas de résultats d'anciennes ITV pour le calcul de ces critères. Par contre, les critères de réhabilitation sont des critères calculés uniquement pour les tronçons inspectés. Ils se basent sur des indicateurs ITV et hors ITV et permettent de définir les tronçons à réhabiliter / renouveler.

Nous avons calculé les critères d'investigation choisis à l'aide d'un tableur et nous avons ensuite automatisé ces calculs en reliant le tableur à la base de données SIG par le biais de l'outil FME. Cet outil informatique permet d'actualiser automatiquement tous les résultats une fois que la base de données est actualisée. Ensuite, nous avons calculé les critères de réhabilitation à l'aide de l'outil Indigau.

Il faut savoir qu'il est impossible à l'état actuel de calculer l'ensemble de ces critères vu la qualité et la quantité de données dont nous disposons. En revanche, nous avons valorisé plusieurs données disponibles afin de calculer le plus de critères possibles.

### 1.2.2. Indicateurs simples

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des indicateurs simples calculés ainsi que les données nécessaires pour leur calcul.

<b>Indicateur RERAU simple</b>	<b>Signification</b>	<b>Données nécessaires au calcul</b>
EDS-E-T	État de santé de la canalisation	-ITV de toutes les canalisations inspectées (existantes + déposées) -Dates de pose – matériau – diamètre - longueur
INF1x-O-BV	Taux d'eaux parasites à l'exutoire d'un bassin versant	-Délimitation des bassins versants -EPA = débit journalier moyen d'EP/débit journalier EU stricte
INF2-E/R-T	Facteurs de risque d'infiltration	-Niveau de la Nappe -Côte radier des tronçons
INF3-O-T	Niveau d'infiltration constaté	-Débit à l'échelle du tronçon
EXF1-O-BV	Taux d'exfiltration à l'exutoire d'un bassin versant	-Délimitation des bassins versants -Quantité d'eau d'exfiltration moyenne sur l'année -Quantité d'eau usée moyenne sur l'année
EXF2-E/R-T	Facteurs de risque d'exfiltration	-Niveau de la Nappe -Côte radier des tronçons
EXF3-O-T	Taux d'exfiltration constaté	-Débit à l'échelle du tronçon
V-SN-PON	Sensibilité des sols et des nappes à la pollution	-Présence de nappe
V-URB-DOB-EXF	Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis des dommages aux bâtiments par exfiltration	-Présence sous-sol dans bâtiments, caves, côtes par rapport au réseau ...)

HYD1-O-BV	Zone d'occurrence de mises en charge	-IVP
HYD2-O-BV	Zone d'influence de mises en charge	-IVP
V-URB-NUH	Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis des débordements	-Configuration des espaces publics et privés (voirie, parking, espaces verts, bâtiments...)
ENS1-O-T	Fréquence de curage pratiquée	- Historique des curages - IVP
ENS3-O-T	Niveau maximum d'ensablement	- Relevés d'ensablement aux regards - IVP
BOU3-O-T	Fréquence de bouchage	-Historique des débouchages
DSC1	Facteurs de risque externes, pour une dégradation du complexe sol-conduite	-Sol susceptible d'entraînement -Mouvement d'eau -Nappe -Pompage influent -Pente
V-CDV	Indicateur de vulnérabilité V-CDV : Facteurs de coûts en cas de remplacement de la conduite	-Profondeur -Dimensions -Environnement urbain
ATC1-E/R-T	Matériau sensible à une attaque chimique	-Matériau
ATC2-E/R-T	Tronçon recevant des rejets pouvant être à l'origine d'une attaque chimique	-Les tronçons sont à identifier à partir de la connaissance des activités des abonnés raccordés
ATC3-C-T	Présence ou risque de présence d'H2S	-Temps de séjour pour les tronçons à l'aval des PR
ATC4-E/O-T	Tronçon à l'amont (immédiat) d'un tronçon dégradé ne recevant pas d'effluents agressifs	/
ATC5-E/O-T	Tronçon à l'aval (immédiat) d'un tronçon dégradé par attaque chimique	/
ABR1-E/R-T	Matériau sensible à une abrasion/érosion	-Matériaux
ABR2-E/R-T	Effluent et conditions d'écoulement favorables à l'abrasion	-Vitesse d'écoulement + % de charge en matières solides
EFF1-E/R-T	Facteurs de risque d'effondrement	-Age -Matériau -Hauteur de couverture -Position sous chaussée et le trafic -Mouvement de terrain



		-Nombre branchements
EFF2-E/R-T	Niveau d'endommagement estimé, à vérifier par investigation	EDS-E-T (Etat structurel du tronçon calculé à partir des fonctions de survie) + ITV si disponible
V-URB-DOB-EFF	Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis de dommages aux bâtiments par effondrement du collecteur	-Usage des bâtiments -Proximité du réseau -Taille et profondeur des ouvrages -Nature du sol
V-URB-TRA	Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis de perturbations diverses	-Voirie, trafic routier ... -Parking -Espaces verts ...
V-ES-POL	Sensibilité des eaux de surface à la pollution	-Milieu récepteur + données sur sa qualité et sa sensibilité à la pollution
DEV4-TS-O-BV	Fréquence de déversement en temps sec	-Jours de débordements en l'absence de pluie significative pendant les 5 dernières années
DEV5-TP-O-BV	Fréquence de déversement en temps de pluie	-Jours avec déversement avec pluie significatives pendant 5 ans
POL2b-INF-STEP-O-BV	Taux de dépassement d'une autorisation de rejet de STEP	-Jours de dépassement de l'autorisation de rejet attribuable aux EPI pendant 5 ans
V-STEP-INF	Sensibilité de la station d'épuration vis-à-vis des apports d'eaux parasites d'infiltration	-Qualité ou efficacité des traitements
DOB1-O-T	Infiltrations dans un bâtiment	-Proximité des bâtiments au réseau
POL2a-DEV-O-BV	Taux de dépassement d'une autorisation de rejet pour un déversoir d'orage	-Jours avec déversement avec pluie non exceptionnelle pendant 5 ans
DEB4-TS-O-BV	Fréquence de débordement en temps sec	-Jours avec débordement en l'absence de pluie significative pendant 5 ans
DEB5-TP-O-BV	Fréquence de débordement en temps de pluie	-Jours avec débordement avec pluie significative pendant 5 ans

*Tableau 16: Indicateurs simple*

L'agglomération Béziers Méditerranée est la seule collectivité parmi les « clients Indigau » à aller aussi loin dans le calcul des indicateurs RERAU. Le grand nombre de données à mobiliser ainsi que la difficulté des calculs rendent ce travail compliqué et difficile à réaliser par les gestionnaires des réseaux ce qui les mène à l'abandonner. Ils se focalisent plutôt sur la réalisation d'un grand nombre d'ITV sans études préliminaires (La métropole de Lyon par exemple possède un grand nombre d'ITV dans sa base de données mais n'a jamais mené ce travail de réquisition de données et d'application de la méthode RERAU pour les indicateurs hors ITV sous le logiciel Indigau même si elle a été partenaire des projets RERAU et Indigau).

Les méthodes suivies pour le calcul de chacun de ces indicateurs sont détaillées (annexe 4).

### 1.2.3. Indicateurs composites

Les indicateurs composites sont des indicateurs calculés à partir du croisement d'autres indicateurs simples et/ou composites. Le schéma suivant montre la difficulté du calcul de ces indicateurs ; nous avons pris comme exemple l'indicateur composite EFF4-C-T :

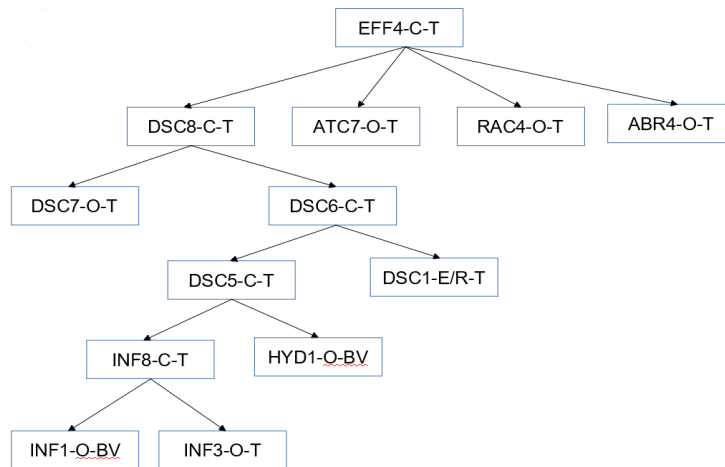


Figure 20: Construction de l'indicateur EFF4

La grande difficulté consiste en l'obligation de calculer tous les indicateurs de base composant la chaîne de calcul de l'indicateur composite. Si nous n'arrivons pas à calculer un seul indicateur de base par manque de données par exemple, nous ne pourrions pas non plus calculer l'indicateur composite, ce qui est vraiment dommage.

Néanmoins, malgré la difficulté de l'exercice nous avons réussi à en calculer 24.

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des indicateurs composites calculés :

Indicateur composite	Signification
INF5-E/R-T	Risque d'infiltration à vérifier par inspection TV
INF7-C-T	Indicateur global d'infiltration, pour décision d'inspection
EXF5-E/R-T	Risque d'exfiltration à vérifier par inspection TV
EXF7-C-T	Indicateur global d'exfiltration, pour décision d'inspection
HYD5-C-T	Réduction de la capacité hydraulique, à vérifier par investigation
ENS5-C-T	Ensablement potentiellement d'origine structurelle et préjudiciable à la capacité hydraulique
BOU5-C-T	Indicateur global de bouchage préjudiciable à la capacité hydraulique, pour décision d'investigation
DSC2	Facteurs de risque internes, pour une dégradation du complexe sol-conduite
DSC3-C-T	Facteurs de risque, pour une dégradation du complexe sol-conduite, estimés avant investigation

DSC4	Risque de réduction de la durée de vie par dégradation du complexe sol conduite, à vérifier par inspection
ATC6-C-T	Risque de dégradation par attaque chimique, à vérifier par investigation
ABR3-E/R-T	Risque de dégradation par abrasion, à vérifier par investigation
POL3b-DEV-TS-E/O-BV	Pollution des eaux de surface par des déversements de temps sec dus aux infiltrations
POL1-INF-STEP-E/O-BV	Pollution des eaux de surface due à une dégradation des performances de la STEP
POL4-DEV-TP-E/O-BV	Pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie
POL5a-DEV-TP-E/O-BV	Indicateur global de pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie, dus à des problèmes aval
POL7-DEB-TP-E/O-BV	Pollution des eaux de surface par des débordements de temps de pluie
PON1-DEB-TP-E/O-BV	Pollution des eaux souterraines par des débordements de temps de pluie
NUH1-DEB-TP-E/O-BV	Nuisances des débordements de temps de pluie
NUH2-DEB-TS-E/O-BV	Nuisances des débordements de temps sec
NUH3-DEB-TSTP-E/O-BV	Nuisances des débordements de temps sec ou de temps de pluie
POL6-DEV-TSTP-E/O-BV	Indicateur global de pollution des eaux de surface par des surverses de temps sec ou de temps de pluie
PON2-DEB-TSTP-E/O-BV	Pollution des eaux souterraines par des débordements de temps sec ou de temps de pluie
POL8-DEB-TSTP-E/O-BV	Pollution des eaux de surface par des débordements de temps sec ou de temps de pluie

*Tableau 17: Indicateurs composites*

Les méthodes suivies pour le calcul de chacun des indicateurs à partir du croisement des indicateurs de base sont détaillées en (annexe 6).

#### **1.2.4. Critères d'investigation**

À partir du croisement des indicateurs simples et composites calculés, nous avons pu calculer 19 critères d'investigation parmi 30 proposés par le guide RERAU, nous les avons ensuite classés par famille, puis nous avons proposé un poids pour chaque critère en prenant en compte les problèmes majeures que posent les réseaux du territoire (principalement des problèmes d'effondrement et de débordement) :

<b>Critère d'investigation</b>	<b>Signification</b>	<b>Classement par familles</b>	<b>Pondération</b>
--------------------------------	----------------------	--------------------------------	--------------------

I/DOB1/EFF	Risque de dommages au bâti dus à un effondrement	1	8
I/TRA1/EFF	Risque de perturbations (trafic, ...) dues à un effondrement	2	7
I/PON4/DEB/BOU	Causes de bouchage contribuant à des débordements polluant les eaux souterraines	3	6
I/PON2/DEB-TP/HYD	Limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie, polluant les eaux souterraines	3	6
I/POL5/DEV/ENS	Pollution des eaux de surface par des déversements dus à un ensablement aval	4	5
I/POL4/DEV/BOU	Causes de bouchage contribuant à des déversements polluant les eaux de surface	4	5
I/POL9/DEB/BOU	Causes de bouchage contribuant à des débordements polluant les eaux de surface	4	5
I/NUH2/DEB/BOU	Causes de bouchage contribuant à des débordements préjudiciables	5	4
I/NUH4/DEB/BOU	Causes de bouchage contribuant à un risque de débordements préjudiciables	5	4
I/POL3/DEV-TP/HYD	Limitations hydrauliques contribuant à des déversements de temps de pluie polluant les eaux de surface	5	4
I/POL7/DEB-TP/HYD	Limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie, polluant les eaux de surface	5	4
I/NUH1/DEB-TP/HYD	Limitation hydraulique contribuant à des débordements de temps de pluie préjudiciables	5	4
I/POL1/STEP/INF	Contribution des infiltrations probables à des rejets de STEP préjudiciables au milieu	6	3
I/POL2/DEV-TS/INF	Contribution des infiltrations probables à des rejets préjudiciables au milieu	6	3
I/PON1/EXF	Exfiltrations probables provoquant une pollution du sol et des eaux souterraines	7	2
I/DOB2/EXF	Exfiltrations probables provoquant des dommages au bâti	7	2
I/CDV2/ATC	Surcoût d'une réduction de la durée de vie de la conduite par attaque chimique	8	1
I/CDV1/DSC	Surcoût d'une réduction de la durée de vie par dégradation du complexe sol-conduite	8	1
I/CDV4/ABR	Surcoût d'une réduction de la durée de vie de la conduite par abrasion	8	1

*Tableau 18: Critères d'investigation*

Les différents croisements d'indicateurs simples et/ou composites pour le calcul de ces critères sont détaillés en (annexe 7).

Le schéma suivant par exemple résume le calcul des critères I/POL9/DEB/BOU, I/PON4/DEB/BOU et I/NUH2/DEB/BOU en croisant des indicateurs simples et d'autres composites, il évalue l'impact des débordements provoqués par un bouchage aval :

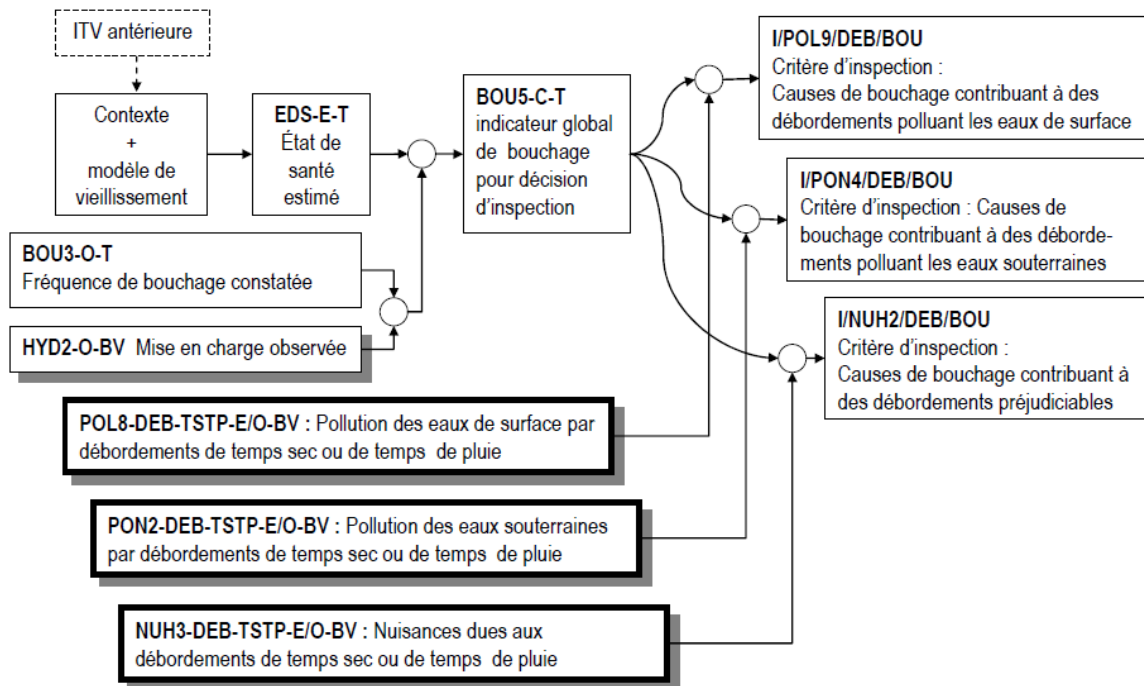


Figure 21: Construction des critères I/POL9/DEB/BOU, I/PON4/DEB/BOU et I/NUH2/DEB/BOU

Selon les objectifs (politiques, financiers ...) de la collectivité, ainsi que les problèmes constatés régulièrement dans les réseaux et signalés par l'exploitant et/ou les abonnés, nous choisissons de hiérarchiser les tronçons à inspecter par ordre de gravité en se basant sur un seul critère (celui qui représente le mieux les dysfonctionnements observés), ou sur un croisement de plusieurs critères en appliquant les pondérations proposées.

Remarque : Le croisement de plusieurs critères (plus de 4 par exemple) pourrait être un inconvénient. L'effet de chaque critère sur le classement final risque de ne pas apparaître sauf si nous lui affectons un poids important. Nous ne pourrions donc pas expliquer pourquoi un tel tronçon devrait être inspecté et pas un autre vu la grande variété des critères utilisés pour le classement.

Le travail réalisé pour le calcul de ces critères est très important, par contre il faut savoir les utiliser avec intelligence.

### 1.2.5. Critères de réhabilitation

Au contraire des critères d'investigation qui permettent de définir les tronçons à inspecter, les critères de réhabilitation permettent de définir les tronçons à réhabiliter/renouveler. Ils sont calculés uniquement pour les tronçons inspectés. Le guide RERAU propose une certaine équivalence entre les critères d'investigation et les critères de réhabilitation. Il existe 19 critères de réhabilitation équivalents aux 19 critères d'investigation que nous avons calculés. Ils se calculent de la même manière en remplaçant les indicateurs estimés par les indicateurs observés à l'aide de l'ITV comme le montre l'exemple suivant qui illustre le calcul des critères (I/NUH4/DEB/BOU et R/NUH4/DEB/BOU) :

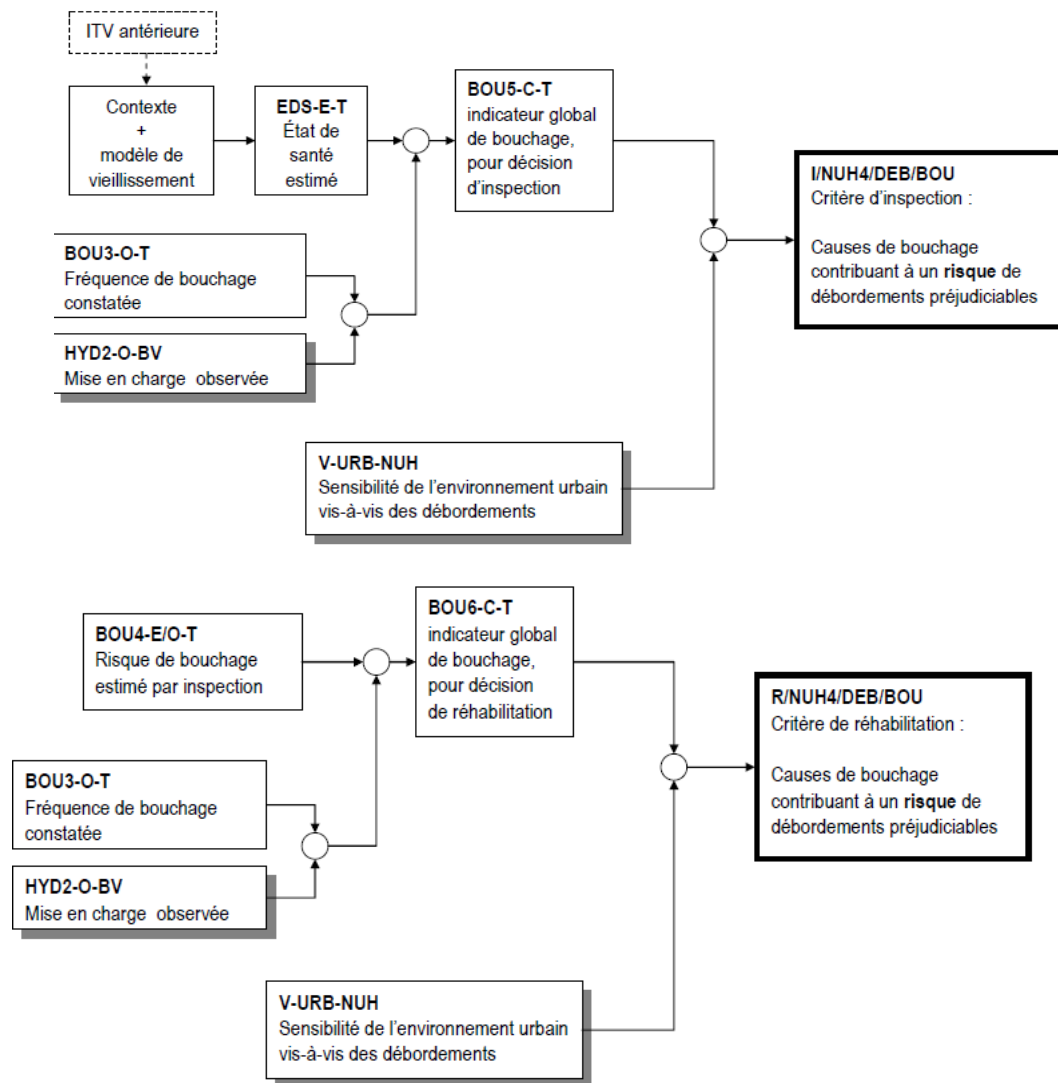


Figure 22: Construction des critères I/NUH4/DEB/BOU et R/NUH4/DEB/BOU

Dans cet exemple les indicateurs (EDS-E-T et BOU5-C-T) estimés pour le calcul du critère d'investigation I/NUH4/DEB/BOU sont remplacés par les indicateurs (BOU4-E/O-T et BOU6-C-T) observés par ITV pour le calcul du critère de réhabilitation R/NUH4/DEB/BOU.

Ce calcul se fait automatiquement à l'aide de l'outil Indigau, nous expliquerons plus loin la démarche suivie.

Le tableau suivant regroupe tous les critères de réhabilitation que nous avons calculés :

Critère de réhabilitation	Signification
R/DOB1/EFF	réhabilitation pour risque de dommages par effondrement
R/TRA1/EFF	Réhabilitation pour risque de perturbations importantes dues à un effondrement
R/PON4/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des débordements amont polluant les eaux souterraines
R/PON2/DEB-TP/HYD	Réhabilitation des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie polluant les eaux souterraines

R/POL5/DEV/ENS	Réhabilitation des causes d'ensablement contribuant à des déversements amont polluant les eaux de surface
R/POL4/DEV/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des surverses polluantes
R/POL9/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des débordements à l'amont polluant les eaux de surface
R/NUH2/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des débordements préjudiciables
R/NUH4/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchages susceptibles de provoquer des débordements préjudiciables
R/POL3/DEV-TP/HYD	Réhabilitation des limitations hydrauliques contribuant à des déversements de temps de pluie polluant les eaux de surface
R/POL7/DEB-TP/HYD	Réhabilitation des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie polluant les eaux de surface
R/NUH1/DEB-TP/HYD	Réhabilitation des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie préjudiciables
R/POL1/STEP/INF	Réhabilitation pour infiltrations contribuant à une réduction d'efficacité de la STEP préjudiciable au milieu récepteur
R/POL2/DEV-TS/INF	Réhabilitation pour infiltrations contribuant à des déversements de temps sec polluant les eaux de surface
R/PON1/EXF	Réhabilitation pour exfiltrations préjudiciables à la qualité des eaux souterraines et des sols
R/DOB2/EXF	Réhabilitation pour exfiltrations provoquant des dommages au bâti
R/CDV2/ATC	Réhabilitation pour surcoût par réduction de la durée de vie par attaque chimique
R/CDV1/DSC	Réhabilitation pour surcoût par réduction de la durée de vie par dégradation du complexe sol-conduite
R/CDV4/ABR	Réhabilitation pour surcoût par réduction de la durée de vie par abrasion

*Tableau 19: Critères de réhabilitation*

## 2. Comparaison des deux approches

Après l'application des deux approches sur la commune de Bassan, nous avons classé les tronçons à inspecter par ordre de gravité selon les deux méthodes. Ensuite nous avons évalué la pertinence de chaque méthode en se basant sur les résultats des ITV existants.

Le but est de faire une comparaison entre les classes d'état des tronçons déjà inspectés et leur classe d'état selon les deux méthodes. La méthode la plus pertinente est celle qui donnera des résultats proches aux résultats des ITV réalisées.

Le tableau suivant résume ce travail de comparaison :

<b>Code externe canalisation</b>	<b>Identifiant inspection canalisation</b>	<b>Classement méthode RERAU</b>	<b>Classement méthode scoring</b>	<b>Classement ITV réalisée</b>
6149355	4506922	Mauvais	Moyen	Mauvais
6149351	4506812	Bon	Moyen	Moyen
6146800	4226311	Bon	Mauvais	Bon
6146798	4225984	Bon	Mauvais	Bon
6146796	4225842	Mauvais	Moyen	Mauvais
6146794	4225375	Bon	Moyen	Bon
6146792	4225407	Bon	Moyen	Mauvais
6141825	4225500	Bon	Moyen	Bon
6141824	4226189	Bon	Mauvais	Bon
6141822	4506597	Bon	Mauvais	Bon
6141821	4275226	Bon	Moyen	Bon
6141812	4506527	Bon	Moyen	Moyen
6141806	4275271	Bon	Moyen	Bon
6141805	4225308	Mauvais	Bon	Mauvais
6141802	4226916	Bon	Bon	Bon
6141795	4275310	Bon	Moyen	Bon
6141794	4506744	Bon	Moyen	Bon
6141793	4272509	Bon	Moyen	Bon
6141789	4506966	Bon	Moyen	Bon
6141786	4225629	Mauvais	Moyen	Moyen
6141780	4226880	Bon	Bon	Bon
6141778	4225469	Mauvais	Moyen	Mauvais
6141774	4226986	Bon	Bon	Bon
6141744	4226618	Mauvais	Mauvais	Mauvais
6141743	4226277	Mauvais	Mauvais	Moyen
6141742	4226582	Bon	Mauvais	Mauvais
6141720	4225956	Mauvais	Mauvais	Moyen
6141717	4506361	Bon	Moyen	Moyen
6141709	4275345	Bon	Bon	Bon
6141706	4226705	Moyen	Moyen	Bon
6141704	4506847	Bon	Moyen	Moyen
6141699	4226541	Moyen	Moyen	Bon
6141693	4226845	Moyen	Bon	Bon



6141692	4226951	Moyen	Bon	Bon
6141673	4226215	Moyen	Mauvais	Bon
6141671	4225537	Mauvais	Moyen	Mauvais
6141647	4275197	Bon	Bon	Bon
6141637	4225799	Mauvais	Moyen	Mauvais
6141636	4225711	Moyen	Mauvais	Bon
6141635	4226115	Mauvais	Mauvais	Bon
6141634	4226669	Mauvais	Bon	Bon
6141630	4226337	Moyen	Moyen	Bon
6141615	4225670	Mauvais	Mauvais	Mauvais
6141609	4225167	Moyen	Mauvais	Moyen
6141608	4226163	Moyen	Mauvais	Bon
6141603	4226243	Mauvais	Mauvais	Bon
6141600	4226036	Moyen	Mauvais	Bon
6141599	4225920	Moyen	Mauvais	Moyen
6141574	4225342	Moyen	Moyen	Moyen
6141571	4225438	Mauvais	Moyen	Mauvais
6141559	4506881	Mauvais	Moyen	Mauvais
6141558	4506440	Moyen	Moyen	Moyen
6141557	4506672	Moyen	Moyen	Moyen
6141556	4225195	Mauvais	Moyen	Mauvais
6141555	4225138	Moyen	Moyen	Moyen
6141554	4225587	Moyen	Moyen	Bon
6141519	4506492	Mauvais	Moyen	Bon
6141513	4226008	Moyen	Moyen	Bon
6141512	4226066	Mauvais	Moyen	Bon
6141473	4506562	Moyen	Moyen	Bon
6141472	4506705	Moyen	Moyen	Moyen

*Tableau 20: Comparaison des deux approches (RERAU et scoring)*

D'après les résultats du tableau précédent, il est clair que la méthode la plus pertinente et qui propose des résultats proches de la réalité est la méthode RERAU. Ce constat était attendu car cette méthode est construite par des experts et chercheurs de différentes structures au niveau national. Elle est lourde à mettre en place et mobilise un grand nombre de données dont la récupération est parfois très compliquée.

Cette méthode sera généralisée et appliquée dans le futur sur l'ensemble du territoire de l'agglomération. Pour ce faire, il faut essayer d'automatiser tout le travail de récupération des données et de calcul des critères. L'outil FME de gestion de données permettra de faire le lien entre la base de données et les tableaux de calcul. Cela permettra d'actualiser les résultats d'une manière automatique à chaque fois que la base de données soit actualisée.

### 3. INDIGAU

L'objectif du projet Indigau était de mettre au point des modèles d'évaluation et des méthodes pour l'aide à la décision, en matière de réhabilitation des conduites d'assainissement. Il a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et piloté par INSAVALOR S.A.. Il a rassemblé, d'avril 2007 à avril 2010, onze partenaires publics et privés de trois secteurs d'activités (Recherche, Bureau d'études technique et Collectivités) [2]:

- Partenaires publics : INSA de Lyon, UMR Irstea/ENGEES GESTE, LCPC, LGUEH-IFG
- Partenaire privé : Altereo
- Collectivités associées à la définition et à la réalisation du projet (données, expertises, expérimentations, etc.) : la Communauté urbaine Caen la Mer, Brest Métropole, l'Eurométropole de Strasbourg, le Conseil Départemental du Bas-Rhin, Métropole européenne de Lille, La Métropole de Lyon et Nantes métropole

Le principe des partenaires scientifiques du projet était de rendre accessible aux gestionnaires de réseaux d'assainissement les méthodologies et technologies mises au point et utilisées dans le secteur de la recherche afin de profiter des sources d'informations multiples dont ils disposent pour faire des choix de réhabilitation pertinents. Pour transférer ces méthodologies, il a été décidé de développer des outils internet comme Indigau qui jouent le rôle d'interface entre l'utilisateur et les méthodes scientifiques utilisées.

Avant de commencer à utiliser Indigau, il est très important de bien comprendre toute sa partie théorique, pourquoi l'avoir choisi et comment il fonctionne ?

L'origine d'Indigau est le projet national RERAU ; il est donc important de comprendre la méthode RERAU et la manière dont les indicateurs et les critères sont construits avant de l'utiliser.

En effet, suite au guide RERAU la norme « 13508-2 » a été créée pour imposer un codage unique des ITV dans un format bien précis. Son objectif est de compléter les rapports pdf accompagnés de vidéos et de photos par un fichier texte sous forme de code respectant la norme. Les systèmes informatiques notamment Indigau traitent automatiquement ce fichier et détectent les défauts observés le long du tronçon.

Indigau permet également d'évaluer tous les critères de réhabilitation proposés par le guide RERAU et propose une méthode d'analyse multicritère pour classer les tronçons à réhabiliter/renouveler par ordre de gravité. Le schéma suivant résume les différentes étapes de son utilisation :

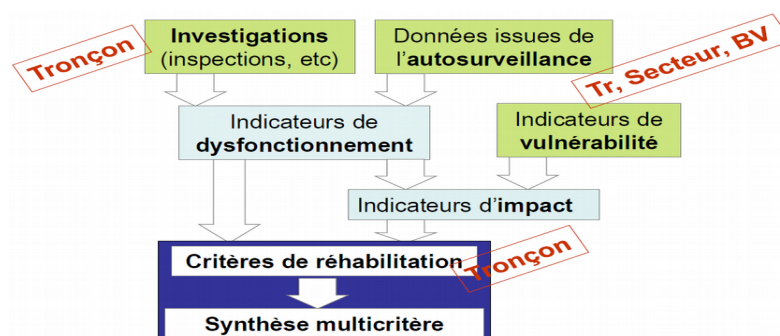


Figure 23: Étapes suivies sous INDIGAU

Nous devons toujours avoir les trois données d'entrée suivantes :

- Investigations ou ITV qui sont la base visuelle d'un défaut observée
- Données de l'autosurveillance (débits, débordements, déversements ...)
- Indicateurs de vulnérabilité (nappe phréatique, environnement urbain, trafic routier ...)

L'objectif est de construire des indicateurs de base à partir de ces données, ensuite construire des indicateurs composites et enfin les critères de réhabilitation.

Le schéma suivant est un exemple de ces chaînes de calcul. Le critère « R/TRA3/BOU » est calculé à partir du croisement des deux indicateurs simples hors ITV (« BOU3-O-T » et « V-URB-TRA ») qui donnent naissance à l'indicateur composite « TRA2-BOU-E/O-T » lui-même croisé avec l'indicateur de base ITV « BOU4-E/O-T ».

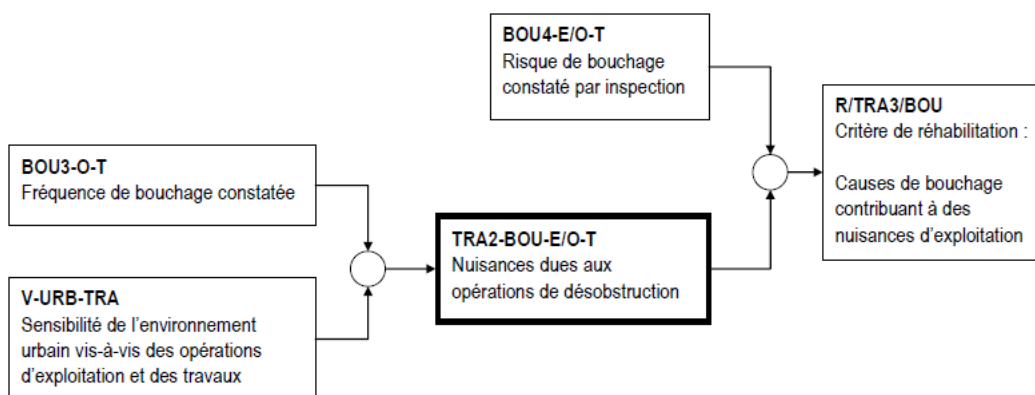


Figure 24: Construction du critère R/TRA3/BOU

En se référant à l'outil, la première étape est le chargement des ITV. Nous avons chargé l'ensemble des ITV de la commune de Bassan.

Après les avoir traitées, Indigau affecte des scores pour chacun des dix indicateurs ITV. Ces indicateurs sont bien définis dans le guide RERAU et représentent 10 types de dysfonctionnements différents : (infiltration, exfiltration, effondrement, bouchage, ensablement, réduction de la capacité hydraulique, dissolution du complexe sol/conduite, racine, abrasion et attaque chimique).

Les scores calculés pour chaque indicateur ITV sont ensuite convertis en niveau de gravité (G1, G2, G3, G4) sachant que G1 équivaut à un bon état du tronçon et G4 à un très mauvais état.

Le calcul des scores se fait selon deux méthodes :

- Score en « règle » : c'est à dire que l'observation d'un défaut important (effondrement par exemple) classe directement l'ensemble du tronçon en état très mauvais G4.
- Score en « densité » : c'est une accumulation de petits défauts sur toute la longueur du tronçon inspecté ; plus il y a de défauts plus le score augmente. Le guide RERAU propose une méthode pour calculer ces scores en fonction des défauts observés et codés selon la norme. Pour l'indicateur ITV « infiltration » par exemple, 15 défauts sont pris en compte. Le tableau suivant représente la méthode suivie pour le calcul des scores de chaque défaut :

		1	$\alpha$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	Gravité
Déformation	BAA		BAA			Étendue x P
Fissure	BAB	B		C		x L_obs
Rupture/effondrement	BAC			A	B/C	x P
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD		A	B/C	D	x P
Mortier manquant	BAE		BAE			x P
Dégradation de surface	BAF	A/C/D/E/F/G/H		B	I/Z	x L_obs
Raccordement défectueux	BAH			B/C/D		x P
Joint d'étanchéité apparent	BAI	Z		A ; #		x P
Déplacement d'assemblage	BAJ			BAJ		x P
Conduite poreuse	BAN	BAN				x L_obs
Sol visible par le défaut	BAO				BAO	x P
Vide visible par le défaut	BAP				BAP	x P
Racines	BBA			BBA		x P
Dépôts adhérents	BBB			BBB A		x P
Infiltration	BBF			BBF A/B	BBF C/D	x P

Tableau 21: Scoring en densité pour l'indicateur ITV (infiltration)

Les scores de chaque défaut sont calculés de la manière suivante :

- le score du défaut « déformation » =  $\alpha \times P$
- le score du défaut « fissure » =  $(1+\alpha^2) \times P$
- le score du défaut « raccordement défectueux » =  $\alpha^2 \times P$
- le score du défaut « vide visible par le défaut » =  $\alpha^3 \times P$

La note finale associée à l'indicateur est égale à la somme des scores associés à chaque défaut divisée par la longueur du tronçon.

Remarque : Les coefficients  $\alpha$  et  $P$  sont des constantes calées par les experts, il est fortement déconseillé de les changer.

Les notes calculées pour chaque indicateur sont des notes sans aucune valeur. L'objectif de la grande partie du travail réalisé par l'équipe de recherche du projet Indigau était de transformer ces notes sans valeur en note de gravité (G1, G2, G3, G4). Ils ont récupéré une énorme base de données ITV auprès des différentes collectivités partenaires du projet (la Communauté urbaine Caen la Mer, Brest Métropole, l'Eurométropole de Strasbourg, le Conseil Départemental du Bas-Rhin, Métropole européenne de Lille, La Métropole de Lyon et Nantes métropole). Ensuite, ils ont récupéré les niveaux de gravité proposés par les différents experts des collectivités pour chaque défaut ITV, et ils ont calés les seuils de passage d'un niveau de gravité à un autre en essayant de respecter le mieux les avis des experts [10].

La grande difficulté de ce travail fût que les experts étaient plus ou moins sévères dans la notation avec des avis parfois complètement différents vu la grande diversité géographique des données collectées. Par conséquent, il y avait souvent la présence de faux négatifs et de faux positifs qui font qu'une canalisation peut être classée en G3 par quelques experts et en G1 par d'autres. L'objectif était de minimiser ces faux positifs et faux négatifs en proposant les seuils les plus parfaits possibles et qui respectent au mieux les avis des experts. Les deux schémas suivants résument ce travail :

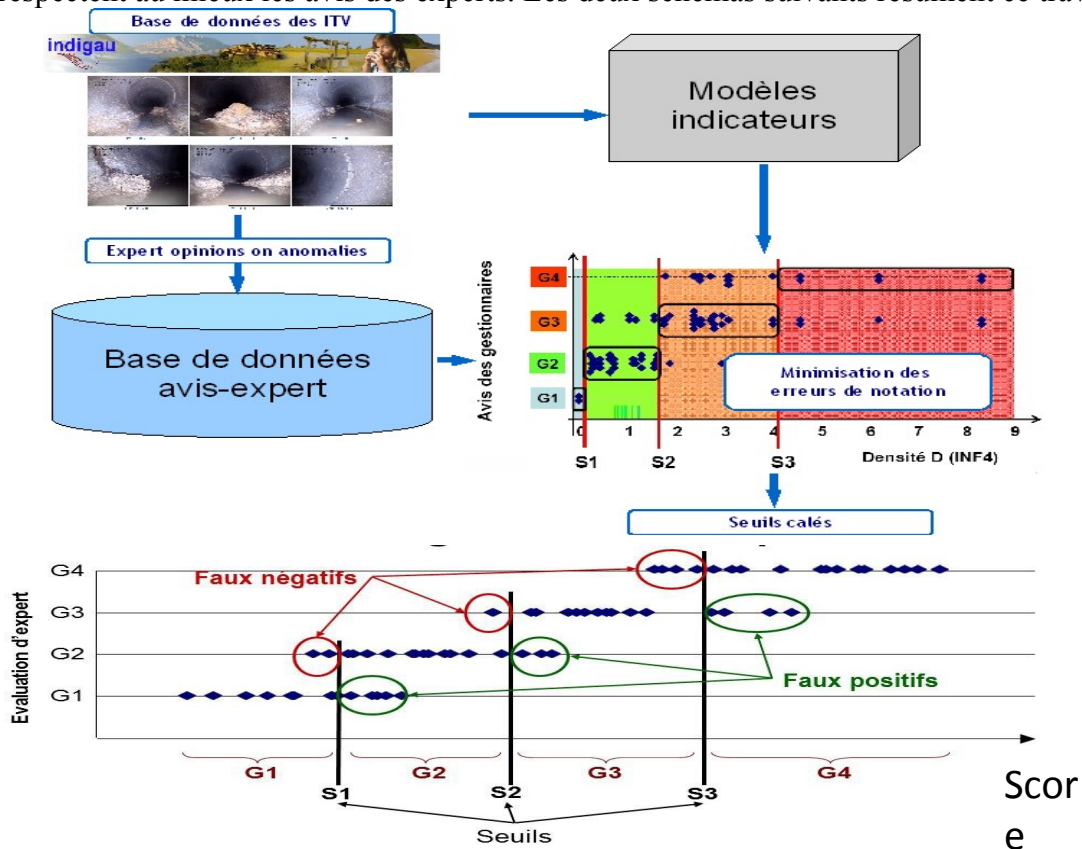


Figure 25: Méthode de transformation des scores sans valeurs en notes d'état

Ce travail réalisé sur les dix indicateurs ITV, a permis à Indigau de transformer son score densité en note de gravité afin de pouvoir croiser ces indicateurs avec d'autres indicateurs hors ITV. La création des critères de dysfonctionnement ITV se fait en croisant la méthode « règle » et la méthode « densité » comme le montre le schéma suivant :

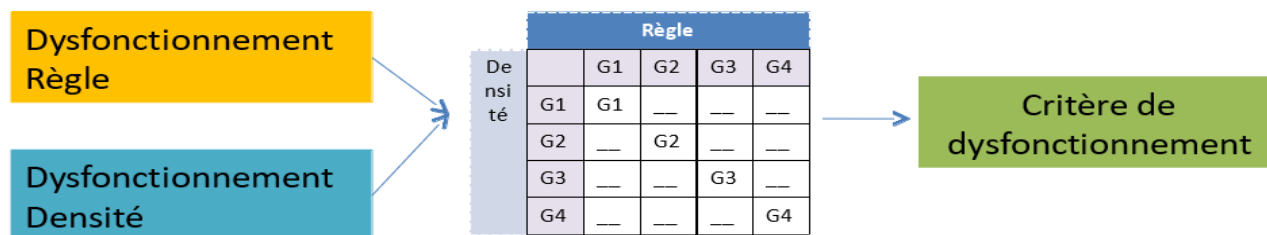


Figure 26: Création des critères de dysfonctionnement

Indigau propose plusieurs types de matrices de croisement :

- Matrice maximum : la plus mauvaise note des deux indicateurs est conservée – vision pessimiste
- Matrice minimum : la bonne note des deux indicateurs est conservée – vision optimiste
- Matrice moyenne basse : les deux indicateurs doivent être mauvais pour que le critère le soit
- ...
- Matrice créée manuellement : Afin de permettre à l'utilisateur de créer sa propre matrice

Après avoir chargé les ITV de la commune de Bassan à partir du menu « données en entrée » comme le montre la figure 27 nous n'avons pas changé le système de calage puisqu'il est validé au niveau national par les experts. Nous avons créé ensuite nos critères de dysfonctionnement en croisant les deux méthodes « règle » et « densité » et en choisissant la matrice maximum.

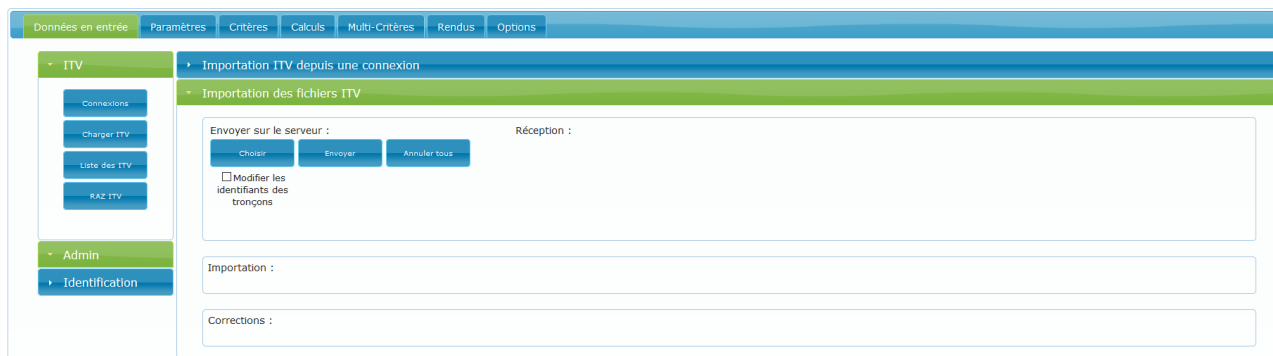


Figure 27: Chargement des ITV sous Indigau

Puis nous avons créé tous les indicateurs de base, les indicateurs composites ainsi que les critères de réhabilitation que nous avons présenté plus haut dans le rapport à partir du menu « critère ».

ENS3-O-T		Niveau maximum d'ensablement	
ENS4-E/O-T - Densité	🔍	Risque d'ensablement estimé par inspection	🔍 🗑️ ⚙️
ENS4-E/O-T - Règle	🔍	Risque d'ensablement estimé par inspection	🔍 🗑️ ⚙️
EXF1-O-BV		Taux d'exfiltration à l'exutoire d'un bassin versant	🔍 🗑️ ⚙️
EXF2-E/R-T		Facteurs de risque d'exfiltration	🔍 🗑️ ⚙️
EXF3-O-T		Taux d'exfiltration constaté	🔍 🗑️ ⚙️
EXF4-E/O-T - Densité	🔍	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'exfiltration)	🔍 🗑️ ⚙️
EXF4-E/O-T - Règle	🔍	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'exfiltration)	🔍 🗑️ ⚙️
HYD1-O-BV		Zone d'occurrence de mises en charge	🔍 🗑️ ⚙️
HYD2-O-BV		Mise en charge observée	🔍 🗑️ ⚙️
HYD3-E/O-T - Densité	🔍	Réduction de la capacité hydraulique, estimée/inspection	🔍 🗑️ ⚙️
HYD3-E/O-T - Règle	🔍	Réduction de la capacité hydraulique, estimée/inspection	🔍 🗑️ ⚙️
INF1x-O-BV		Taux d'eaux parasites à l'exutoire d'un bassin versant	🔍 🗑️ ⚙️
INF2-E/R-T		Facteurs de risque d'infiltration	🔍 🗑️ ⚙️
INF3-O-T		Niveau d'infiltration	🔍 🗑️ ⚙️
INF4-E/O-T - Densité	🔍	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)	🔍 🗑️ ⚙️
INF4-E/O-T - Règle	🔍	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)	🔍 🗑️ ⚙️
POL2a-DEV-O-BV		Taux de pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie	🔍 🗑️ ⚙️
POL2b-INF-STEP-O-BV		Taux de pollution des eaux de surface par des débordements de temps de pluie	🔍 🗑️ ⚙️
RAC4-O-T - Densité	🔍	Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation	🔍 🗑️ ⚙️
RAC4-O-T - Règle	🔍	Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation	🔍 🗑️ ⚙️
V - Bati	🔍	Sensibilité du bâti vis-à-vis des effondrements	🔍 🗑️ ⚙️
V - Eaux	🔍	Sensibilité des eaux souterraines à la pollution	🔍 🗑️ ⚙️
V - Travaux	🔍	Sensibilité de l'environnement urbain (trafic routier) vis-à-vis des travaux	🔍 🗑️ ⚙️
V-CDV		Indicateur de vulnérabilité V-CDV : Facteurs de coûts en cas de remplacement de la conduite	🔍 🗑️ ⚙️
V-ES-POL		Vulnérabilité des eaux de surface	🔍 🗑️ ⚙️
V-SI-PON		Vulnérabilité du sol et des eaux souterraines	🔍 🗑️ ⚙️
V-STEP-INF		Sensibilité de la station d'épuration vis-à-vis des apports d'eaux parasites d'infiltration	🔍 🗑️ ⚙️
V-URB-DOB-EFF		Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis de dommages aux bâtiments par effondrement du collecteur	🔍 🗑️ ⚙️
V-URB-DOB-EXF		Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis de dommages aux bâtiments par exfiltration	🔍 🗑️ ⚙️
V-URB-NUH		Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis des débordements	🔍 🗑️ ⚙️
V-URB-TRA		Sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis de perturbations diverses	🔍 🗑️ ⚙️

🔍 Liste des tables de règles

Nom

Description

Enregistrer Fermer

Ajouter un indicateur de base

INF4		Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)	INF4-E/O-T - Densité	INF4-E/O-T - Règle	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
INF5-E/R-T		Risque d'infiltration à vérifier par inspection TV	INF2-E/R-T	ED5-E-T	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
INF6-E/O-T		Risque d'infiltration estimé après inspection TV	INF2-E/R-T	INF4	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
INF7-C-T		Indicateur global d'infiltration, pour décision d'inspection	INF3-O-T	INF3-O-T	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
INF8-C-T		Indicateur global d'infiltration, pour décision de réhabilitation	INF3-O-T	INF3-O-T	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
ITV - bouchage		Risque de bouchage estimé par ITV	BOU4-E/O-T - Densité	BOU4-E/O-T - Règle	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
ITV - effondrement		Niveau d'endommagement constaté par investigation	EFF3-O-T - Densité	EFF3-O-T - Règle	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
ITV - exfiltration		Défaut d'étanchéité pour exfiltration, estimé par ITV	EXF4-E/O-T - Densité	EXF4-E/O-T - Règle	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX (ATC2, ATC3)			ATC2-E/R-T	ATC3-C-T	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX (ATC2, ATC3, ATC4, ATC5)			MAX (ATC2, ATC3)	MAX (ATC4, ATC5)	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX (ATC4, ATC5)			ATC4-E/O-T	ATC5-E/O-T	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX (BOU3-O-T, HYD2-O-BV)			BOU3-O-T	HYD2-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX (ENS3-O-T, HYD2-O-BV)			ENS3-O-T	HYD2-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX (POL3b, POL4)			POL3b-DEV-TS-E/O-BV	POL4-DEV-TP-E/O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MAX(EXF1-O-BV,EXF3-O-T)			EXF1-O-BV	EXF3-O-T	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MIN (INF8-C-T, INF1-O-BV)			INF8-C-T	INF1x-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
MIN [ATC1, MAX( ATC2, ATC3, ATC4, ATC5)]			ATC1-E/R-T	MAX (ATC2, ATC3, ATC4, ATC5)	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
NUH1-DEB-TP-E/O-BV		Nuisances des eaux de surface par des débordements de temps de pluie	V-URB-NUH	DEB5-TP-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
NUH2-DEB-TS-E/O-BV		Nuisances des eaux de surface par des débordements de temps de pluie	V-URB-NUH	DEB4-TS-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
NUH3-DEB-TSTP-E/O-BV		Nuisances des eaux de surface par des débordements de temps de pluie	NUH1-DEB-TP-E/O-BV	NUH2-DEB-TS-E/O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL1-INF-STEP-E/O-BV		Pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie	POL2b-INF-STEP-O-BV	[INF1a - O-BV @ V-STEP-INF] @ V-ES-POL	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL3b-DEV-TS-E/O-BV		Pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie	V-ES-POL	DEV4-TS-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL4-DEV-TP-E/O-BV		Pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie	V-ES-POL	DEV5-TP-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL5a-DEV-TP-E/O-BV		Indicateur global de pollution des eaux de surface par des déversements de temps de pluie, dus à des problèmes aval	POL2a-DEV-O-BV	POL4-DEV-TP-E/O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL6-DEV-TSTP-E/O-BV		Indicateur global de pollution des eaux de surface par des surverses de temps sec ou de temps de pluie	POL2a-DEV-O-BV	MAX (POL3b, POL4)	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL7-DEB-TP-E/O-BV		Pollution des eaux de surface par des débordements de temps de pluie	V-ES-POL	DEB5-TP-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
POL8-DEB-TSTP-E/O-BV		Pollution des eaux de surface par des débordements de temps sec ou de temps de pluie	V-ES-POL	DEB4-TS-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
PON1-DEBTP-E/O-BV		Pollution des eaux souterraines par des débordements de temps de pluie	V-SI-PON	DEB5-TP-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
PON2-DEB-TSTP-E/O-BV		Pollution des eaux souterraines par des débordements de temps sec ou de temps de pluie	V-SI-PON	DEB4-TS-O-BV	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
RAC4		Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation	RAC4-O-T - Densité	RAC4-O-T - Règle	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐
RAC4 @ ABR4			RAC4	ABR4	🔍 🗑️ ⚙️ ⭐

🔍 Détail de l'indicateur de base

Description

Nom

Détail

Composante 1

Sélectionnez dans la liste

Composante 2

Sélectionnez dans la liste

Enregistrer Fermer

Ajouter un indicateur de composite

Figure 28: Création des indicateurs et/ou critères

Après avoir créé l'ensemble des critères de réhabilitation, nous préparons les données d'entrée pour lancer le calcul.

Données en entrée Paramètres Critères **Calculs** Multi-Critères Rendus Options

Préparation Gestion des fichiers ITV

Choix des critères  
Liaison Externe  
Chargement CSV  
Bilan des données

Calcul  
Résultats  
Identification

Nom du critère	Description	Retenu pour le calcul	
R - curage	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des nuisances d'exploitation	Oui	Non
R - effondrement bâti	Réhabilitation pour risque de dommage au bâti par effondrement	Oui	Non
R - effondrement cana	Réhabilitation suite à effondrement de canalisation	Oui	Non
R - infiltration	Réhab des causes d'infiltration	Oui	Non
R - pollution	Réhabilitation pour exfiltrations préjudiciables à la qualité des eaux	Oui	Non
R/CDV2/ATC	Réhabilitation pour surcoût par réduction de la durée de vie par attaque chimique	Oui	Non
R/CDV4/ABR	Réhabilitation pour surcoût par réduction de la durée de vie par abrasion	Oui	Non
R/DOB1/EFF	Réhabilitation pour risque de dommages par effondrement	Oui	Non
R/DOB2/EXF	Réhabilitation pour exfiltrations provoquant des dommages au bâti	Oui	Non
R/NUH1/DEB-TP/HYD	Réhabilitation des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie préjudiciables	Oui	Non
R/NUH2/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des débordements préjudiciables	Oui	Non
R/NUH4/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchages susceptibles de provoquer des débordements préjudiciables	Oui	Non
R/POL1/STEP/INF	Réhabilitation pour infiltrations contribuant à une réduction d'efficacité de la STEP préjudiciable au milieu récepteur	Oui	Non
R/POL2/DEV-TS/INF	Réhabilitation pour infiltrations contribuant à des déversements de temps sec polluant les eaux de surface	Oui	Non
R/POL3/DEV-TP/HYD	Réhabilitation des limitations hydrauliques contribuant à des déversements de temps de pluie polluant les eaux de surface	Oui	Non
R/POL4/DEV/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des surverses polluantes	Oui	Non
R/POL5/DEV/ENS	Réhabilitation des causes d'ensablement contribuant à des déversements amont polluant les eaux de surface	Oui	Non
R/POL7/DEB-TP/HYD	Limitation hydraulique contribuant à des débordements TP polluant les eaux de surface	Oui	Non
R/POL9/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des débordements à l'amont polluant les eaux de surface	Oui	Non
R/PON1/EXF	Réhabilitation pour exfiltrations préjudiciables à la qualité des eaux souterraines et des sols	Oui	Non
R/PON2/DEB-TP/HYD	Limitation hydraulique débordements TP polluant eaux souterraines	Oui	Non
R/PON4/DEB/BOU	Réhabilitation des causes de bouchage contribuant à des débordements amont polluant les eaux souterraines	Oui	Non
R/TRA1/EFF	Réhabilitation pour risque de perturbations importantes dues à un effondrement	Oui	Non
TEST-ABR	Abrasion	Oui	Non
TEST-ATC	Attaque chimique	Oui	Non

Figure 29: Choix des critères de réhabilitation à prendre en compte dans le calcul

Comme le montre la figure 29, nous devons choisir les critères à prendre en compte dans le calcul. Le choix des critères à prendre en compte actuellement et les critères à prendre en compte dans le futur se fait en interne en considérant les grands problèmes posés par le réseau ainsi que les réels objectifs techniques et financiers de la collectivité. Nous pourrions également choisir des critères différents pour chaque commune ou prendre les mêmes critères sur l'ensemble du territoire. Si par exemple dans notre territoire nous avons de gros problèmes d'eau potable et de ressources, nous choisirons de travailler plus sur des critères liés à la pollution des nappes et à l'exfiltration. Si notre problématique est financière avec des budgets très limités vu la décision des élus de baisser le prix de l'eau, nous choisirons plutôt des critères financiers que des critères environnementaux. En ce qui nous concerne, nous avons des problématiques liées à l'effondrement et au vieillissement des canalisations, nous avons donc choisi de travailler uniquement sur ces critères (R/TRA1/EFF ; R/DAB1/EFF) avec des poids importants et d'autres critères environnementaux (R/PON2/DEB-TP/HYD ; R/PON4/DEB/BOU) avec des poids moins importants (nous choisissons de calculer tous les critères de réhabilitation et affecter ensuite des poids de 0 aux critères que nous ne souhaitons pas prendre en compte dans l'analyse multicritère).

Après avoir choisi les critères à prendre en compte dans le calcul, nous renseignons les valeurs de chaque indicateur hors ITV nécessaire au calcul des critères. Cela se fait directement à partir du SIG si l'outil est connecté à la base de données (menu liaisons externes), ou à partir d'un fichier csv à charger (menu chargement csv).

Données en entrée Paramètres Critères Calculs Multi-Critères Rendus Options

Préparation Gestion des données hors-ITV

Choix des critères  
Liaison Externe  
Chargement CSV  
Bilan des données

Calcul  
Résultats  
Identification

pas de critères sélectionnés

Envoyer un fichier

Choisir

le fichier doit :  
- être nommé troncon.csv  
- être de la forme proposée par le modèle  
- contenir des valeurs G1/G2/G3/G4/?

Troncon	ITV	EDS	INF1-O-BV	INF2-E-R-T	INF3-O-T	EXF1-O-BV	EXF2-E/R-T	EXF3-O-T	V-SN-PON	V-URB-DOB-EXF	HYD1-O-BV	HYD2-O-BV	V-URB-NUH	ENS1-O-T	ENS3-O-T
4225195	4225195	G3	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G3	G1	G1
4226669	4226669	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4226705	4226705	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4272509	4272509	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4275197	4275197	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G1	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4275226	4275226	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4275271	4275271	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4275310	4275310	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1
4275345	4275345	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1
4291739	4291739	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4291938	4291938	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4292445	4292445	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1
4292497	4292497	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4292544	4292544	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4292690	4292690	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506361	4506361	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506440	4506440	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506492	4506492	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506527	4506527	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506562	4506562	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506597	4506597	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1
4506636	4506636	G1	G3	G1	G4	G4	G3	G4	G1	G1	G1	G1	G2	G1	G1

Figure 30: Chargement des valeurs des indicateurs de base hors ITV (fichier csv)

Nous lançons ensuite le calcul et nous obtenons les résultats sous la forme suivante

tronçon	observations						
	Nb/Calc	G1	G2	G3	G4	?	G
R/CDV2/ATC(critere)	100 (100)	58	20	10	12	0	0
V-CDV(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
ATC7(composite)	100 (100)	58	17	11	14	0	0
ATC7-O-T - Densité(base)	100 (100)	58	16	25	1	0	0
ATC7-O-T - Règle(base)	100 (100)	73	5	0	22	0	0
R/CDV4/ABR(critere)	100 (100)	58	32	10	0	0	0
V-CDV(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
ABR4(composite)	100 (100)	58	42	0	0	0	0
ABR4-O-T - Densité(base)	100 (100)	58	42	0	0	0	0
ABR4-O-T - Règle(base)	Tous les niveaux sont en 'G1' 100(100)						
R/DOB1/EFF(critere)	100 (100)	88	10	1	1	0	0
V-URB-DOB-EFF(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
EFF5-C-T(composite)	100 (100)	67	25	7	1	0	0
EFF3(composite)	100 (100)	72	27	1	0	0	0
EFF3-O-T - Densité(base)	100 (100)	93	6	1	0	0	0
EFF3-O-T - Règle(base)	100 (100)	78	0	22	0	0	0
EFF4 @ EFF1(composite)	100 (100)	75	0	15	10	0	0
EFF1-E-R-T(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
EFF4-C-T(composite)	100 (100)	75	0	1	24	0	0
ATC7(composite)	100 (100)	58	17	11	14	0	0
ATC7-O-T - Densité(base)	100 (100)	58	16	25	1	0	0
ATC7-O-T - Règle(base)	100 (100)	73	5	0	22	0	0
RAC4 @ ABR4(composite)	100 (100)	50	49	1	0	0	0
RAC4(composite)	100 (100)	87	11	2	0	0	0
RAC4-O-T - Densité(base)	100 (100)	90	8	2	0	0	0
RAC4-O-T - Règle(base)	100 (100)	95	0	5	0	0	0
ABR4(composite)	100 (100)	58	42	0	0	0	0
ABR4-O-T - Densité(base)	100 (100)	58	42	0	0	0	0
ABR4-O-T - Règle(base)	Tous les niveaux sont en 'G1' 100(100)						
R/DOB2/EXF(critere)	Tous les niveaux sont en 'G1' 100(100)						
DOB1-O-BV(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
EXF6-E/O-T(composite)	100 (100)	67	0	29	4	0	0
EXF2-E/R-T(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
EXF4(composite)	100 (100)	67	29	4	0	0	0
EXF4-E/O-T - Densité(base)	100 (100)	73	21	5	1	0	0
EXF4-E/O-T - Règle(base)	100 (100)	91	0	9	0	0	0
R/NUH1/DEB-TP/HYD(critere)	100 (100)	37	26	30	7	0	0
HYD4-E/O-T(composite)	100 (100)	37	26	30	7	0	0
HYD2-O-BV(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
HYD3-E/O-T(composite)	100 (100)	37	34	27	2	0	0
HYD3-E/O-T - Règle(base)	Tous les niveaux sont en 'G1' 100(100)						
HYD3-E/O-T - Densité(base)	100 (100)	37	34	27	2	0	0
NUH1-DEB-TP-E/O-BV(composite)	100 (100)	0	0	12	88	0	0
V-URB-NUH(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
DEB5-TP-O-BV(base)	100 (0)	0	0	0	0	0	0
R/NUH2/DEB/BOU(critere)	100 (100)	85	8	6	1	0	0

Figure 31: Extrait des résultats du calcul des critères de réhabilitation



Nous pouvons également télécharger les résultats sous forme d'un tableau qui résume pour chaque tronçon les notes de chaque indicateur et/ou critère.

Le but final étant de classer les tronçons à réhabiliter/renouveler par ordre de gravité afin de pouvoir établir un programme de renouvellement. Il est donc nécessaire d'appliquer une méthode multicritère qui permettra de hiérarchiser les tronçons et de choisir le scénario de renouvellement le plus pertinent.

Nous commençons par définir des poids pour chaque critère (ces poids sont à définir en interne en considérant les avis des agents du service). Nous proposons un poids de 0,4 pour les critères R/DOB1/EFF et R/TRA1/EFF et un poids de 0,1 pour les critères R/PON2/DEB-TP/HYD et R/PON4/DEB/BOU.

Critères	Poids	Poids normalisés
R/CDV2/ATC	0.00	0
R/CDV4/ABR	0.00	0
R/DOB1/EFF	4	0.4
R/DOB2/EXF	0.00	0
R/NUH1/DEB-TP/HYD	0.00	0
R/NUH2/DEB/BOU	0.00	0
R/NUH4/DEB/BOU	0.00	0
R/POL1/STEP/INF	0.00	0
R/POL2/DEV-TS/INF	0.00	0
R/POL3/DEV-TP/HYD	0.00	0
R/POL4/DEV/BOU	0.00	0
R/POL5/DEV/ENS	0.00	0
R/POL7/DEB-TP/HYD	0.00	0
R/POL9/DEB/BOU	0.00	0
R/PON1/EXF	0.00	0
R/PON2/DEB-TP/HYD	1	0.1
R/PON4/DEB/BOU	1	0.1
R/TRA1/EFF	4	0.4

Figure 32: Poids des critères

Nous appliquons ensuite la méthode des seuils proposée par Indigau. L'objectif est de comparer les tronçons entre eux sachant que chaque tronçon a autant de notes (G1, G2, G3, G4) que de critères évalués. De plus, l'évaluation d'un tronçon ne dépend pas uniquement du nombre de bonne ou mauvaise note de celui-ci mais aussi de l'importance de chaque note (poids). Le raisonnement peut s'apparenter à la réalisation d'une moyenne pondérée des notes en fonction du poids de chaque critère. Une fois cette moyenne effectuée, les tronçons doivent être répartis dans différents « groupes » de priorité d'intervention. La méthode des seuils permet de définir 3 groupes de priorité à l'aide de deux paramètres qui permettent de fixer les frontières (seuils) entre chaque groupe.

Nous ne pouvons pas faire une moyenne pondérée dans l'analyse Indigau puisque les notes sont des valeurs discrètes (G1, G2, G3, G4). Afin de contourner ce problème Indigau établit un profil de synthèse qui traduit l'importance relative des notes (G1, G2, G3, G4).

L'exemple suivant illustre le principe de la méthode sur un tronçon donné :

Critère	Poids	Note obtenue par le tronçon	Résultat
C1	0,1	G1	0,1 x G1
C2	0,25	G2	0,25 x G2
C3	0,25	G1	0,25 x G1

C4	0,3	G4	0,3 x G4
C5	0,1	G3	0,1 x G3

Tableau 22: Principe de création d'un profil de synthèse

Le profil associé à ce tronçon est :

G1 0,35	G2 0,25	G3 0,1	G4 0,3
------------	------------	-----------	-----------

Ensuite, la méthode des seuils permet de classer les tronçons selon trois classes de priorité (rouge : intervention prioritaire, orange : intervention à planifier et bleu : pas de nécessité d'intervention à court ou moyen terme) en fixant deux paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  (chaque valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  définissent un scénario différent).

- $\alpha$  : détermine l'effectif des tronçons « bleus » qui n'ont pas besoin d'être renouvelés/réhabilités selon les critères pris en compte.
- $\beta$  : détermine les proportions relatives entre les catégories « orange » et « rouge ». Plus  $\beta$  est grand, moins l'effectif de tronçons « rouges » est important.

Les règles de décision sont les suivantes :

- Si  $G4 \geq \alpha$  ou  $(G3+G4) \geq \beta$  le tronçon est rouge
- Sinon, et  $(G3+G4) \geq \alpha$ , le tronçon est orange
- Sinon le tronçon est vert

$\alpha$  et  $\beta$  permettent de fixer des seuils entre les groupes de tronçons avec  $\alpha < \beta$ .

Il n'y a pas de règle pour le choix de ces paramètres ni de bonnes ou mauvaises valeurs, l'utilisateur peut tester plusieurs valeurs et comparer les différents scénarios obtenus afin de choisir le scénario de renouvellement le plus pertinent.

Ce travail se fait rapidement sous Indigau. L'outil propose des plages pour les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  avec plusieurs pas. Les différents scénarios sont générés automatiquement dès que l'utilisateur définit des plages de valeurs pour les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$ . Nous avons testé plusieurs valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  comme le montre la figure suivante :

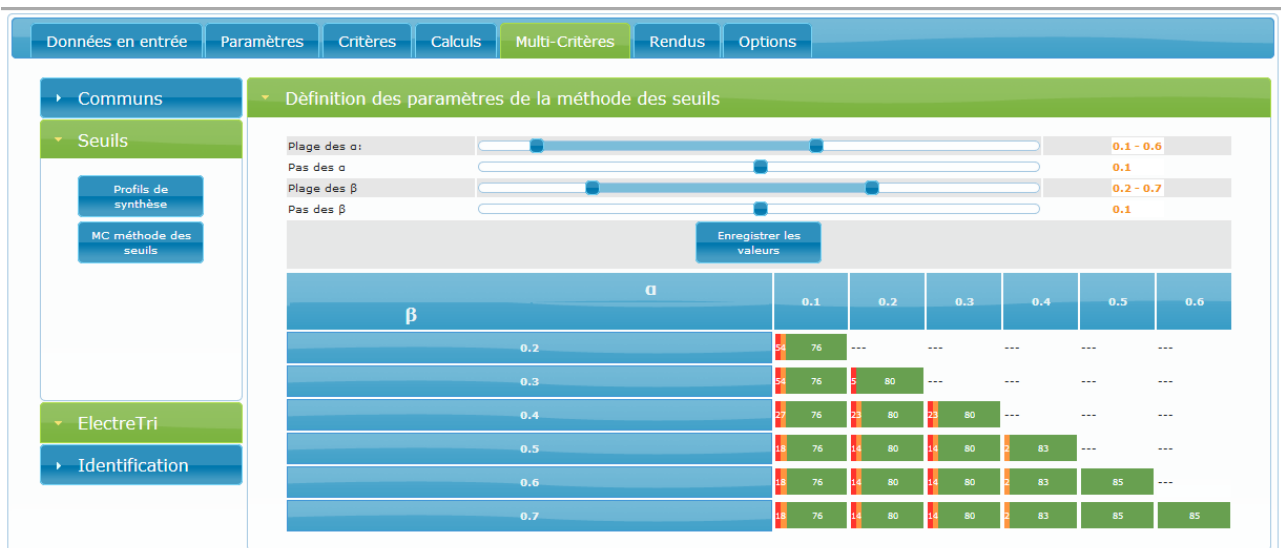


Figure 33: Exemple de résultats de l'analyse multicritère (méthode des seuils)

Ce classement des tronçons d'une même population les uns par rapport aux autres et non par rapport à des références de bon ou mauvais état « absolu » permet de se focaliser sur un patrimoine en particulier. Il est donc possible de choisir la répartition des tronçons la plus appropriée en fonction

par exemple du budget disponible. Moins celui-ci est important, plus nous choisirons une répartition pour laquelle les effectifs de la classe « rouge » sont faibles.

En se basant sur les perspectives budgétaires de la direction de l'eau et de l'assainissement pour les années à venir. Nous prévoyons de consacrer un budget de 10,5 M€ de renouvellement des réseaux d'assainissement sur l'ensemble du territoire pendant la période (2019-2021). En se basant sur le budget global de renouvellement, nous estimons pouvoir consacrer un budget de 245 000€ sur la commune de Bassan sur la période (2019-2021), ce qui revient à renouveler un linéaire d'environ 408m sur 3 ans (nous avons considéré une durée de 3 ans car il est très difficile d'avoir des programmes de voirie de plus de trois ans).

La longueur des tronçons inspectés et pris en compte dans la modélisation d'Indigau est de 3031m, nous avons donc caler les valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  de façon à désigner les 408m (13,46%) les plus dégradés.

Les deux figures suivantes montrent les valeurs prises pour  $\alpha$  et  $\beta$ .

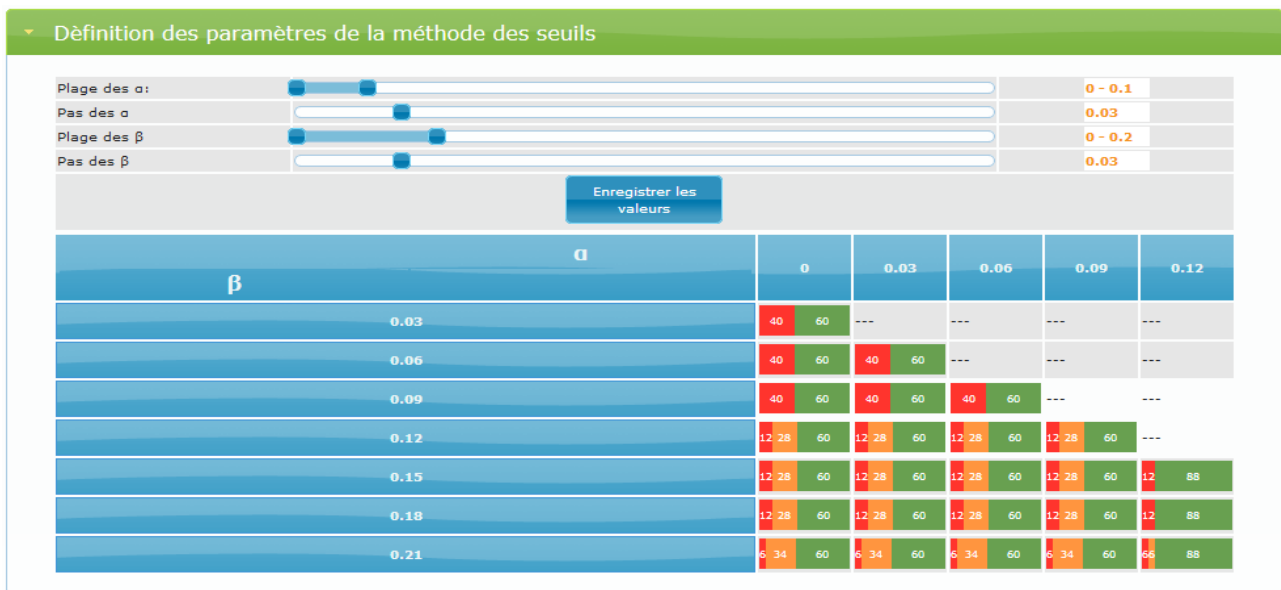


Figure 34: Valeurs prises en compte pour  $\alpha$  et  $\beta$

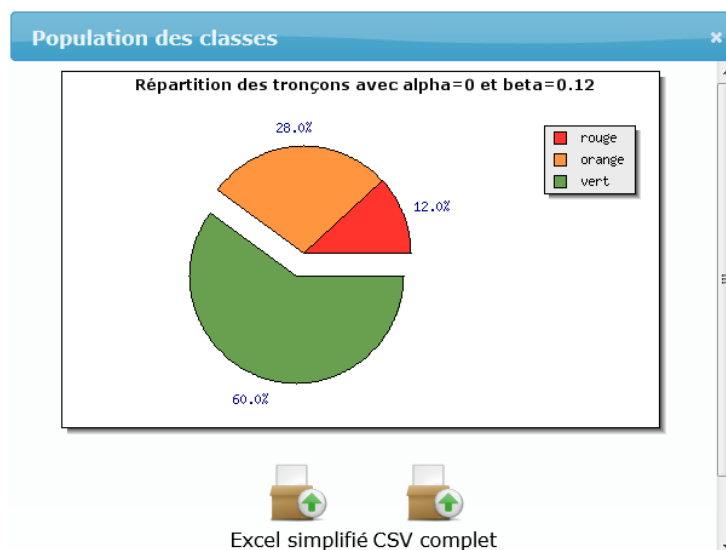


Figure 35: Valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  et % du linéaire à renouveler «scénario 1»

Après avoir testé plusieurs valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  et comparé les différents scénarios qui en découlent, nous proposons un premier scénario illustré dans la figure 35 où nous renouvelons obligatoirement 12 % du linéaire inspecté classé en « rouge » (363,7m). Le choix du renouvellement du linéaire restant (44,3m) se fera à partir des tronçons classés en « orange » (28 % du linéaire inspecté et pris en compte dans l'analyse Indigau = 848,7m) et en prenant en compte les programmes voirie de la commune ainsi que d'autres contraintes (projets de fibre optique, travaux de renouvellement des réseaux d'eau potable et projets de voirie de la collectivité).

Le tableau suivant montre les conduites candidates au renouvellement sur la période (2019-2021) :

Nom du tronçon	Affectation	Longueur
4643757	rouge	29,82
4643846	rouge	26,85
4643705	rouge	35,86
4225956	rouge	30,6
4609070	rouge	18,4
4607920	rouge	20,84
4506922	rouge	37,1
4225537	rouge	27
4225438	rouge	28
4225308	rouge	39
4225752	rouge	24,08
4225195	rouge	30,41
4644035	orange	34,99
4643995	orange	67,65
4643810	orange	26,9
4643618	orange	40,6
4643661	orange	27,66
4608947	orange	35,75
4608116	orange	2,03
4643498	orange	41,19
4608072	orange	31,35
4643581	orange	22,66
4607990	orange	61,93
4607877	orange	71,01
4607838	orange	49,37
4506847	orange	5,8
4506812	orange	4,7
4506705	orange	24,6
4506672	orange	7,8
4643504	orange	7,42

*Tableau 23: Conduites candidates au renouvellement sur la période (2019-2021) «scénario 1»*

Néanmoins, ce premier scénario est difficile à réaliser.

Vu les contraintes de voirie, il serait compliqué de renouveler obligatoirement les 363,7m choisis. Nous optons pour un deuxième scénario plus réaliste (figure 36) qui consiste à renouveler obligatoirement 6 % du linéaire pris en compte dans l'analyse Indigau (181,9m) qui est classé en « rouge » et choisir le renouvellement des 226,1m restants à partir du 34 % du linéaire (1030,5m) classé en « orange ». Ce deuxième scénario nous laisse une plus grande marge de manœuvre afin de pouvoir coordonner avec les autres services.

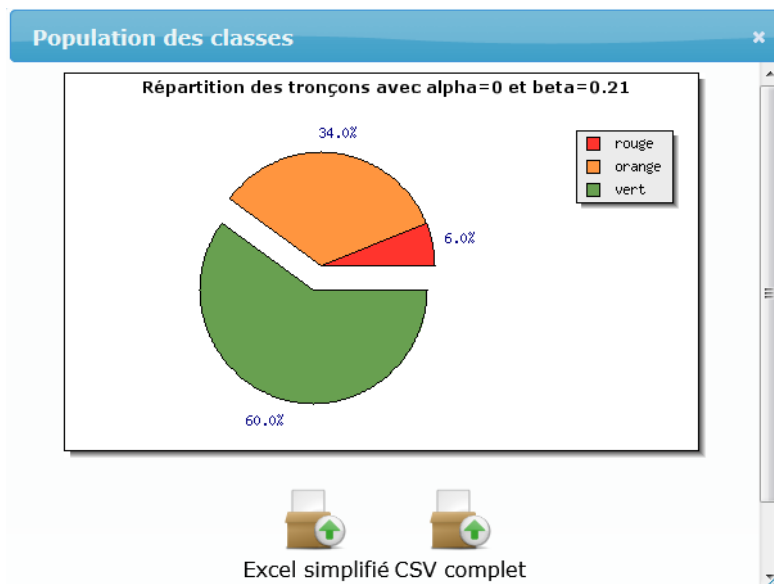


Figure 36: Valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  et % du linéaire à renouveler «scénario 2»

Le tableau suivant montre les conduites candidates au renouvellement sur la période (2019-2021) :

Nom du tronçon	Affectation	Longueur
4643757	rouge	29,82
4607920	rouge	20,84
4225537	rouge	27
4225308	rouge	39
4225752	rouge	24,08
4225195	rouge	30,41
4644035	orange	34,99
4643995	orange	67,65
4643810	orange	26,9
4643846	orange	26,85
4643705	orange	35,86
4643618	orange	40,6
4643661	orange	27,66
4225956	orange	30,6
4609070	orange	18,4
4608947	orange	35,75
4608116	orange	2,03
4643498	orange	41,19
4608072	orange	31,35
4643581	orange	22,66
4607990	orange	61,93
4607877	orange	71,01
4607838	orange	49,37
4506922	orange	37,1
4506847	orange	5,8
4506812	orange	4,7
4506705	orange	24,6
4506672	orange	7,8
4643504	orange	7,42
4292497	orange	10,2

Tableau 24: Conduites candidates au renouvellement sur la période (2019-2021) «scénario 2»

L'annexe 8 présente également ce classement sous forme d'une carte.

## PARTIE N°4 : La gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable (Méthode et résultats)

Pour les réseaux d'eau potable, nous avons réalisé dans un premier temps une modélisation statistique à l'aide du logiciel « Casses » afin d'obtenir une prévision des défaillances des canalisations sur une période donnée, puis nous avons utilisé dans un second temps le logiciel Siroco avec différents paramétrages afin de proposer un programme de renouvellement pertinent. Le schéma suivant résume toutes les étapes de cette analyse :

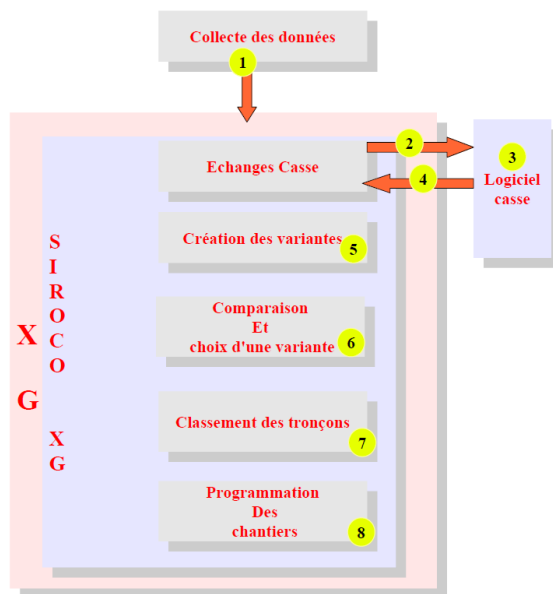


Figure 37: Étapes suivies dans Siroco

### 1. Collecte des données

Le tableau suivant présente l'ensemble des données nécessaires à cette étude et leur classement :

Connaissance du patrimoine	Conséquence / vulnérabilité
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tracé du réseau</li> <li>✓ Matériau, longueur, diamètre, date de pose</li> <li>✓ <u>Historique des défaillances</u></li> <li>✓ Historique des renouvellements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Précarité de la ressource</li> <li>✓ Canalisations stratégiques pour la desserte</li> <li>✓ Abonnés sensibles (hôpitaux, industries, commerces)</li> <li>✓ Niveau de service requis (desserte, pression)</li> <li>✓ Importance es axes routiers</li> </ul>
Facteurs influents	Paramètres locaux
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Charge de trafic routiers</li> <li>✓ Type de sol</li> <li>✓ Pression de service</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Coûts de réparation, renouvellements</li> <li>✓ Coûts de personnel</li> <li>✓ Priorités pour le service</li> </ul>

Tableau 25: Données nécessaires au fonctionnement de l'outil Siroco

Nous avons récupéré / complété ces données afin de pouvoir utiliser l'outil Siroco, ce dernier n'arrive pas à proposer des résultats si l'un des champs des variables pris en compte n'est pas renseigné.

L'historique des défaillances est une donnée difficile à récupérer, puisque les fuites ne sont pas renseignées dans le SIG, ils sont généralement sous forme de fiches mal renseignées avec des

formats différents. Nous étions obligés de les trier et les valoriser afin de pouvoir utiliser le logiciel « Cassettes ». Ce logiciel développé par Irstea permet, grâce à un modèle statistique, l'estimation du nombre de casses que subira chacun des tronçons du réseau au cours d'une période future en considérant les données caractéristiques des canalisations et les historiques des casses subies par chaque tronçon. Au-delà de quelques données obligatoires (date de pose, matériau, longueur), le logiciel est conçu pour s'adapter à la diversité des données disponibles au sein des bases de données existantes.

## 2. Analyse descriptive

Nous avons commencé par réaliser une analyse descriptive afin d'avoir une idée sur la nature des réseaux qui cassent.

Les diagrammes suivants montrent les résultats obtenus sur l'historique des défaillances récupéré :

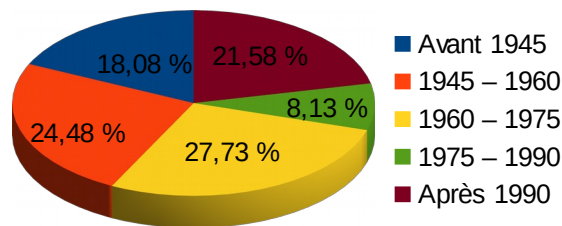


Figure 38: % du linéaire en fonction de la période de pose

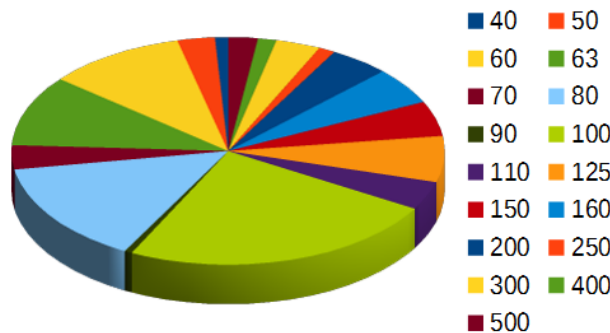


Figure 39: % du linéaire en fonction du diamètre

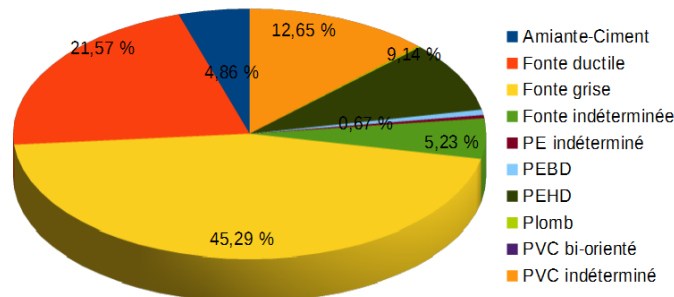


Figure 40: % du linéaire en fonction du matériau

Nous ne pouvons rien conclure à partir des courbes précédentes malgré leur importance dans une telle analyse (nous constatons quand même que les conduites en fonte grise sont celles qui cassent le plus).

### 3. Modélisation statistique

L'analyse descriptive précédente est nécessaire mais pas suffisante, elle donne des indications sur le comportement de groupes des conduites, et non pas sur le comportement individuel de chaque conduite. En revanche, la modélisation statistique permet de :

- Fournir un taux de casse individuel par tronçon,
- Déceler l'influence éventuelle d'une variable malgré le brouillage possible généré par les autres variables, ou inversement la non-influence d'une variable qui apparaît.

La pertinence du modèle augmente avec la taille de l'échantillon considéré et de la fiabilité des données fournies.

#### 3.1. Le principe

La base de données « tronçons et défaillances » est analysée dans un premier temps par le module « Casses » afin d'identifier les co-variables significativement influentes sur le taux de casses prévisionnel (âge, nombre de défaillances historiques, diamètre, matériau, pression de service, niveau de trafic routier et type de sol) sur la base de tests statistiques. Les paramètres non pertinents seront alors exclus de l'analyse statistique. Un nombre de casses prévisionnel est ensuite calculé pour chaque tronçon pour une période future que nous avons choisi égale à (2019 - 2021).

#### 3.2. Construction du modèle de prévision de défaillances

L'objectif de cette phase est d'attribuer un taux de défaillance individuel pour chaque conduite. Le calcul d'un taux de défaillance nécessite de suivre la démarche suivante :

- Déterminer les variables et/ou modalités de variables significatives à l'aide d'un test statistique dénommé « Chi-2 » réalisé sur la base de données brutes.
- Conserver, éliminer ou retraiter les variables en se basant sur les observations graphiques de l'étude statistique descriptive. Plusieurs jeux de variables sont alors construits et testés.
- Pour chaque jeu de variables testé, nous mesurons :
  - ✓ la pertinence et l'efficacité globale du modèle statistique par comparaison de la valeur du maximum de la fonction de vraisemblance. Un modèle est d'autant mieux ajusté que la valeur du Log(vraisemblance) est grande.
  - ✓ L'influence individuelle des variables par la valeur du « Chi2 ». Plus cette valeur est grande, plus la prise en compte de la variable dans la modélisation est pertinente.

#### 3.3. Test de Chi-2

Le test de Chi-2 est conçu pour évaluer la dépendance entre deux variables. Dans notre cas, il permet d'étudier l'influence d'une modalité ou d'une co-variable sur le taux de défaillances.

Le test suppose (hypothèse H0) qu'il n'y a pas d'influence d'une co-variable sur le taux de défaillance (co-variable non significative). L'issue du test est binaire : rejet ou acceptation de l'hypothèse.

- Le rejet de cette hypothèse (0) signifie que la variable est significative.
- Dans le cas contraire, si H0 est acceptée (1), la co-variable testée est non significative.

Des indicateurs (valeur du Chi-2 et P-value) permettent de mesurer le niveau « statistique » de l'influence d'une co-variable sur la probabilité d'apparition des défaillances. Ces valeurs sont fournies par le module Casses pour toutes les variables, lors de chaque simulation.



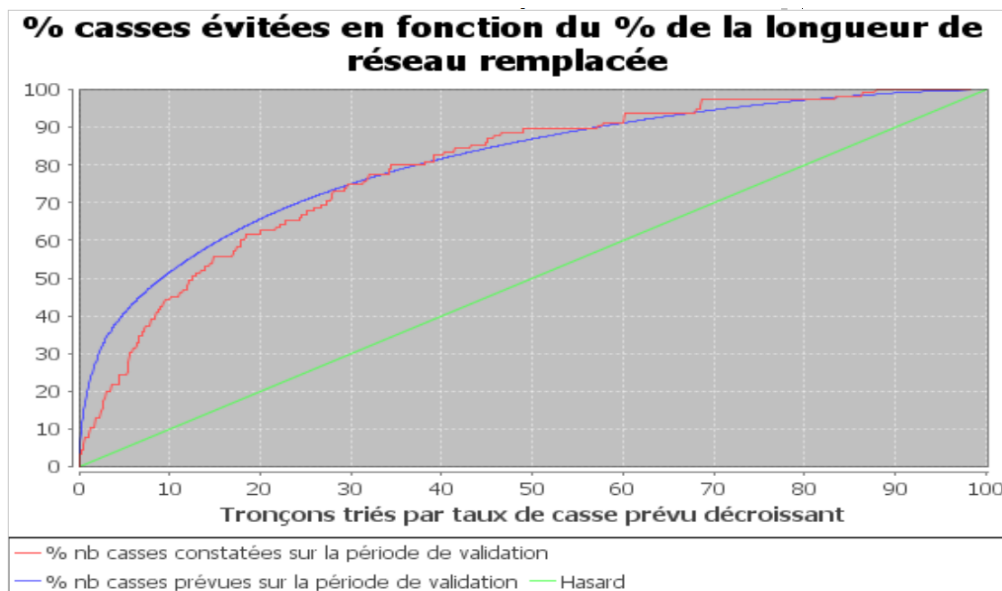
### 3.4. Modèle utilisé :

Dans notre cas, d'après une série de tests, fondés sur la comparaison des résultats de Chi-2 et des valeurs du maximum de la vraisemblance, et effectués sur plusieurs jeux de variables obtenus par différents traitements (opérations, regroupement ou découpage de variables) des données du réseau, nous avons retenu un modèle final, basé sur le jeu de variables suivant :

Nom court	Nom long	Type (traitement)
DIA	Diamètre	Qualitatif (Discrétisation)
DDP	Date de pose	Quantitatif
LogLNG	Logarithme de la longueur	Quantitatif (opération)
MAT	Matériau	Qualitatif (regroupement)

*Tableau 26: Données nécessaires au fonctionnement de l'outil Siroco*

Les tests sur les autres paramètres présentent des résultats non pertinents. Nous obtenons la courbe de validation suivante :



*Figure 41: % du linéaire en fonction du matériau*

L'objectif est d'avoir l'aire sous la courbe rouge la plus proche de 1, en d'autres termes de classer les tronçons dans l'ordre d'apparition des casses sur la période de validation.

Ici, nous avons trouvé une aire de 0,793, ce qui est tout à fait acceptable.

Nous avons gardé ce calage pour le calcul du taux de casse.

## 4. Analyse multicritère

Le principe de l'analyse multicritère consiste à donner un ordre de priorité aux tronçons du réseau, en vue de leur renouvellement prochain, sur la base d'un score associé à chaque tronçon.

### 4.1. Calcul des critères de renouvellement

#### 4.1.1. Les critères

Le score de renouvellement final associé à chaque tronçon peut être égal au taux de défaillances prévisionnel. Cependant, dans une véritable approche patrimoniale, il n'est pas juste de se fonder sur le taux de casses comme indicateur unique de la performance du réseau d'eau et comme critère

unique du renouvellement. En effet, toutes les défaillances ne représentent ni le même contexte ni le même risque. Évidemment pour chaque tronçon, le risque est proportionnel au taux de défaillances prévisionnel, mais il est également fonction des conséquences des défaillances sur le système. Ces conséquences sont de plusieurs types :

➤ **Conséquences sur la satisfaction de la demande en eau - « Risque hydraulique »**

Ce risque est défini au niveau du tronçon, il exprime la responsabilité potentielle de chaque tronçon dans la non satisfaction globale de la demande en eau. Ainsi ce risque dépend, en plus du taux de casses, de la position stratégique du tronçon au sein du réseau. Une modélisation hydraulique est nécessaire pour quantifier ce risque : elle est réalisée par le module Fiabilité de Siroco en utilisant comme données d'entrée le taux de casses prévisionnel calculé par le module Casses et les données de la base patrimoniale (SIG) de type hydraulique (diamètre, matériau, consommation aux nœuds et altitude des nœuds).

➤ **Risque lié au trafic routier - « Risque de perturbation urbaine »**

Une défaillance a également des conséquences sur le trafic routier, puisque sa réparation va nécessiter la mise en place d'une zone de chantier. Ainsi les perturbations dépendront du niveau de trafic de l'axe routier sur lequel a lieu le chantier et le temps de réparation du tronçon.

Dans le cadre méthodologique Siroco, un critère exprime le poids linéaire du tronçon en termes de perturbations du trafic routier.

➤ **Conséquences sur les coûts d'exploitation - « Risque économique »**

Ce critère est un critère très important pour l'élaboration des programmes de renouvellement [13]. Une défaillance a des conséquences économiques directes sur l'exploitation puisqu'elle entraîne une réparation dont le coût, qui dépend globalement du diamètre et de l'emplacement du tronçon, peut varier de 500 à 1500 € HT.

Dans le cadre méthodologique Siroco, un critère exprime le poids relatif du coût annuel de réparation du tronçon par rapport à l'amortissement de son renouvellement.

➤ **Risque lié aux ressources - « Risque environnemental » [1]**

Les conséquences environnementales des défaillances sur le réseau peuvent revêtir plusieurs formes. Nous avons restreint notre analyse au seul problème des pertes en eau. En effet, la vétusté d'une canalisation a un impact sur la ressource par ses fuites potentielles. Contrairement aux autres critères décrits ci-dessus, il n'est pas juste de relier directement le niveau des pertes en eau d'un réseau aux défaillances (donc à l'état du patrimoine), puisqu'il est également fortement lié aux problèmes d'exploitation : le volume d'eau perdu sur un réseau dépend de l'état du réseau (ayant une influence sur le nombre de défaillances), mais également de la capacité de l'exploitant à détecter les défaillances et de sa rapidité à les réparer.

Pour cette raison, il est difficile d'établir la responsabilité individuelle d'un tronçon dans la perte globale d'eau.

Dans le cadre méthodologique Siroco, nous avons simplement choisi d'utiliser l'Indice Linéaire de Pertes du secteur d'appartenance du tronçon (lorsque celui-ci est connu par une sectorisation du réseau). Cet indicateur exprime plutôt une responsabilité collective de l'ensemble des tronçons d'un même secteur.

L'ensemble des critères précédents est automatiquement calculé pour chaque tronçon par le logiciel Siroco.

#### **4.1.2 La constitution du corps d'hypothèses**

Préalablement à toute analyse Siroco, l'utilisateur doit adapter le paramétrage du logiciel à ses spécificités locales et ainsi créer un ou plusieurs corps d'hypothèses. Cela consiste à fixer les

valeurs numériques, correspondantes aux différentes occurrences des indices et variables prévues dans Siroco (cf paragraphe précédent), qui permettent le calcul des critères décrits précédemment. L'ensemble de ces données est renseigné dans le logiciel par le biais d'une fenêtre de saisie dédiée. Nous avons ainsi établi le corps d'hypothèse via les informations que nous avons à notre disposition (coût de renouvellement, temps de réparation, nature du sol ...).

Variable à paramétrer :

Coût unitaire de réparation hors main d'oeuvre

Tableau de correspondances (en €) :

CUHM	Terrain naturel	Chaussée ou	Zone urbaine
80	1097	1753	2104
90	1102	1758	2109
100	1116	1772	2127
110	1105	1761	2114
125	1139	1795	2155
140	1562	2355	2826
150	1569	2362	2835
160	1560	2353	2823
175	1560	2353	2823

Figure 42: Module Siroco de saisie du corps d'hypothèses

## 4.2. Des critères au score

Il existe des méthodes, fondées sur des relations de surclassement, permettant de classer les actions candidates en comparant leur profil multicritère avec les profils multicritères de plusieurs actions de références. Une telle méthode nécessite une expertise qui n'est pas toujours présente au sein des petites et moyennes collectivités et manque de transparence dans l'obtention du classement.

Une méthode d'agrégation multicritère simple conduisant à un critère unique de synthèse a donc été préférée dans le cadre méthodologique Siroco.

### 4.2.1. Normalisation

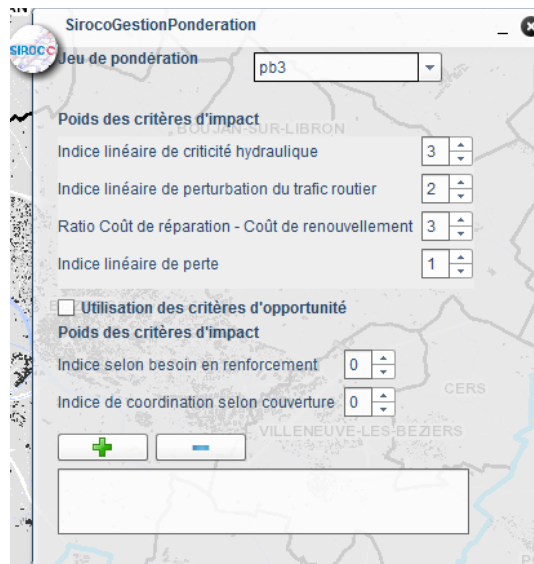
Il est nécessaire de normaliser la valeur des critères de manière à pouvoir réaliser une agrégation de ces valeurs par la suite. Cela consiste à passer d'une échelle "naturelle" à une échelle normalisée.

### 4.2.2. Pondération

"La manière de formuler le problème, de tourner les questions et d'obtenir les réponses ont un impact substantiel sur les jugements qui expriment les vraies valeurs des gens", "Il existe un lien fort entre la manière avec laquelle un problème de décision est structuré et les préférences exprimées par le décideur" (Mousseau 1993).

La pondération est donc une étape délicate dans la définition d'un système d'aide à la décision. Le choix de la méthode utilisée pour définir les poids n'est donc pas anodin.

Dans le cadre méthodologique de Siroco, le choix a été fait sur « l'échelle cardinale » : le décideur évalue chaque critère selon une échelle subjective qu'il définit. Il affecte à chaque critère un poids qu'il peut normaliser ensuite en divisant par la somme. La figure suivante présente les poids que nous avons pris en compte.



*Figure 43: Module Siroco de pondération des critères*

### 4.2.3. Agrégation

Dans le cadre méthodologique Siroco, la méthode d'agrégation retenue est la simple somme pondérée qui requiert que le décideur affecte un poids à chaque critère, afin de se rendre compte de l'importance du choix du décideur dans l'affectation des poids aux critères.

Pour cela, Siroco permet l'évaluation d'une variante de renouvellement (c'est à dire l'ensemble des poids choisis par le décideur ; ce qui va déterminer le classement des tronçons) par la mesure de l'amélioration qu'elle apporte sur les différents aspects de l'analyse (taux de casses, criticité hydraulique, coût de réparation, perturbation du trafic routier, pertes en eau). Cette méthode d'évaluation est présentée dans le paragraphe suivant.

## 4.3. L'aide à la pondération des critères

La pondération des critères doit refléter nos préférences. En effet, le choix d'une variante de pondération va privilégier le renouvellement de certains tronçons au détriment d'autres, ce qui va entraîner une « forme d'amélioration » plutôt qu'une autre. Le but de cette démarche consiste à formaliser et quantifier au mieux « l'amélioration » sur différents critères d'une variante de renouvellement afin que nous puissions choisir le jeu de poids qui s'ajuste le mieux à nos objectifs multicritères.

### 4.3.1. Indicateurs d'évaluation d'une variante de renouvellement

Dans une première étape, nous avons besoin d'indices sur lesquels fonder l'évaluation des variantes. Dans le cadre méthodologique Siroco, les indices suivants, tous relatifs à un des critères de l'analyse sont proposés.

#### ➤ Criticité hydraulique

L'indicateur doit permettre de mesurer l'efficacité d'un programme de renouvellement des tronçons en termes de réduction de la criticité hydraulique globale (sa tendance à ne pas satisfaire la demande globale en eau) du réseau.

#### ➤ Perturbation du trafic routier

L'indicateur doit permettre de mesurer l'efficacité d'un programme de renouvellement des tronçons en termes de réduction de la perturbation du trafic globale.

#### ➤ Coût annuel de réparation

L'indicateur doit permettre de mesurer l'efficacité d'un programme de renouvellement des tronçons en termes de réduction du total des coûts de réparation du réseau.

#### ➤ Pertes évitées

L'indicateur doit permettre de mesurer l'efficacité d'un programme de renouvellement des tronçons en termes de réduction des pertes en eau du réseau.

Pour chaque indicateur, nous calculons l'efficacité qui est le rapport du bénéfice prévisionnel et du pourcentage renouvelé. Siroco permet le calcul de ces indicateurs (bénéfice, efficacité) pour un tronçon ou un groupe de tronçon (programme). Leur calcul a donc été effectué pour l'ensemble des tronçons du réseau de Bassan.

### 4.3.2. Définition de plusieurs variantes de pondération

Une fois les indicateurs d'évaluation construits, il nous faut définir plusieurs jeux de pondération contrastés. Ces jeux seront ensuite comparés par le biais de leur profil multi-indicateur. Dans le cas de la commune de Bassan nous avons évalué les variantes de pondération suivantes :

	Poids affectés				
Critères	VEQ	VHCI	VPTR	VCREP	VILP
HCI (Criticité hydraulique)	0.25	1	0	0	0
ILP (Pertes en eau)	0.25	0	0	0	1
PTR (Perturbations du trafic)	0.25	0	1	0	0
CREP (Coût de réparation)	0.25	0	0	1	0
Somme	1	1	1	1	1

*Tableau 27: Variantes de pondération évaluées*

Chaque variante de pondération favorise un critère au détriment des autres. Par exemple, la variante de pondération VILP aura tendance à placer en tête de classement les tronçons aux taux de défaillances élevés sur les secteurs présentant des taux de pertes importants.

Au vu des influences entre les différents critères (cf figure ci-dessous) pour la construction de la variante finale, il a été décidé :

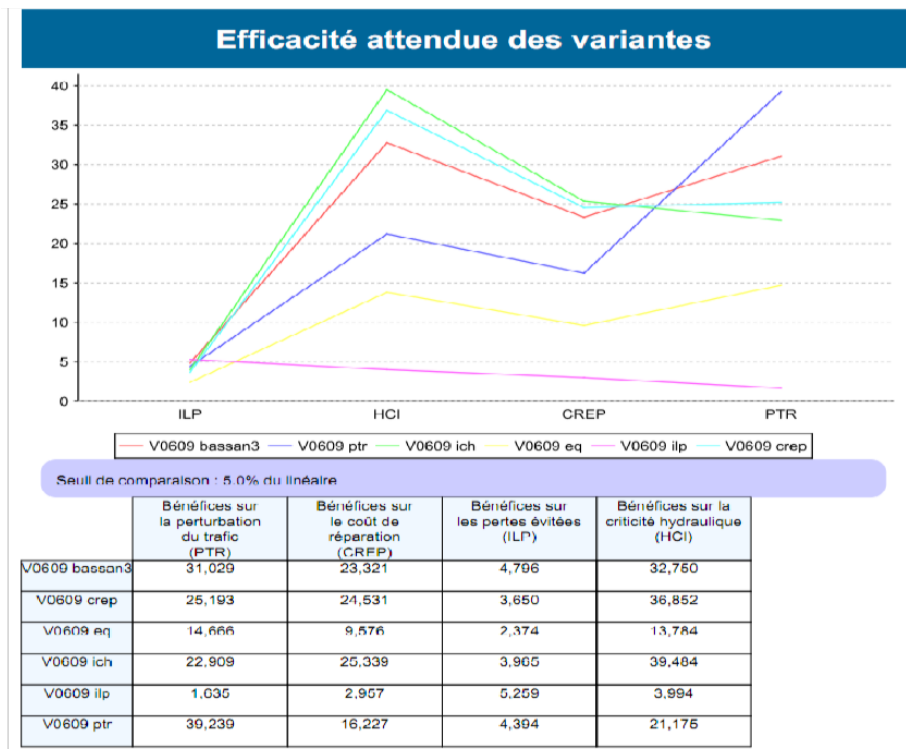
- De ne pas prendre en compte HCI dans la variante finale car jumelle de CREP
- De ne pas prendre en compte ILP dans la variante finale car trop spécifique à des secteurs.

### 4.3.3. Comparaison du profil de chaque variante de pondération

Une simulation avec Siroco est réalisée pour les 6 jeux de pondération. Pour chaque analyse, le module classe alors les tronçons par ordre de priorité.

A l'aide du logiciel, nous calculons, pour chaque variante de pondération, sur la base de 5% du linéaire total renouvelé, le bénéfice pour les quatre indicateurs d'évaluation précédemment construits. Dans un premier temps, nous pouvons choisir n'importe quel pourcentage du linéaire total renouvelé (5 %, 10 %, ...), car nous allons reclasser dans un second temps les tronçons en se basant sur le budget disponible.

Les résultats de ce calcul figurent dans le graphique ci-dessous :



*Figure 44: comparaison des variantes de pondération*

Nous pouvons faire les remarques suivantes :

Mise à part la Variante ILP, les profils multi-bénéfices sont relativement proches : ce n'est pas étonnant car tous les critères sont proportionnels au taux de défaillances. De plus dans ce type de réseau plutôt rural, les axes routiers principaux sont souvent également les axes présentant les plus importantes canalisations et donc les plus onéreuses. Il est donc normal que les 3 critères HCI, PTR et CREP soient interdépendants (surtout HCI et CREP).

La variante V0609 bassan3 est celle qui a été retenue pour la réalisation du classement de priorisation des canalisations à renouveler. Cette variante est basée sur les critères CREP et PTR. Le choix de ne pas imputer de pondération à HCI est dû au fait que cette dernière est trop proche de CREP.

Le choix de ne pas imputer de pondération à ILP est dû au fait que la connaissance de l'ILP n'est pas assez fine ici. En effet l'ILP est similaire à toutes les canalisations d'un même secteur, secteur déterminé par les postes de sectorisation. Or chaque secteur présente une hétérogénéité importante sur les caractéristiques des canalisations. Cette homogénéité sur le paramètre ILP et sur les autres paramètres conduit à une indépendance du critère ILP vis à vis des autres.

Notre choix de pondération se porte donc sur la variante V0609 bassan3 .

#### 4.4. Le classement multicritère

L'analyse finale multicritère est finalement réalisée sur la base du jeu de pondération précédemment choisi. Nous obtenons un classement de tous les tronçons du réseau basé sur le score calculé pour chaque tronçon.

Siroco a permis d'évaluer les bénéfices réalisés sur chaque critère selon les tranches de renouvellement effectuées. Cette première information permet de mettre en évidence le seuil à partir duquel l'optimisation du renouvellement n'est plus intéressante. Les figures présentent les bénéfices pour 3 tranches de programmation :

Classe 1 – 0 au 5 premiers %

Classe 2 – 5 au 10 premiers %  
 Classe 3 – 10 au 15 premiers %

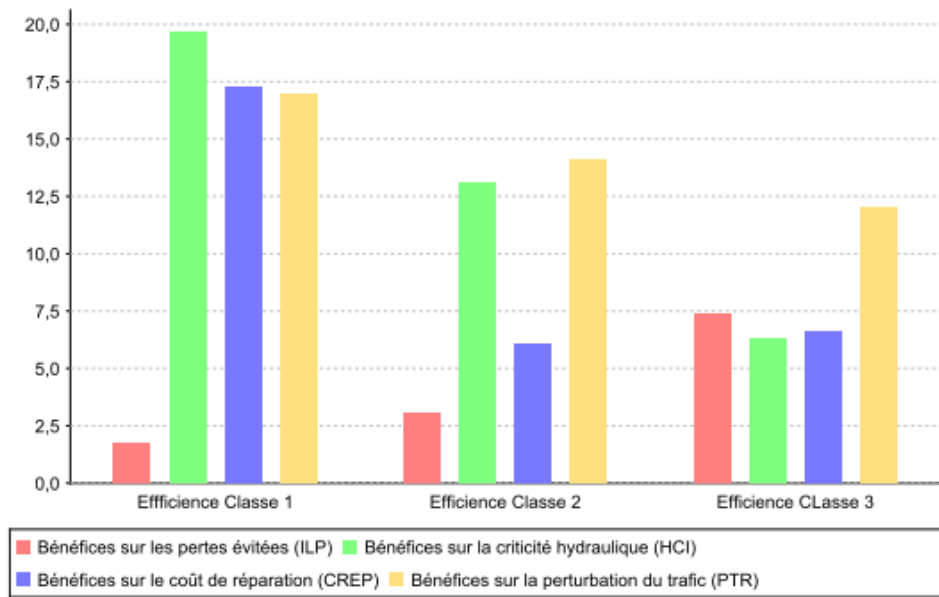


Figure 45: Bénéfices escomptés sur les 3 tranches de renouvellement

Ainsi après une série de tests réalisés sur le logiciel, nous avons pu faire apparaître qu’au-delà des 10% les plus prioritaires, le renouvellement ciblé n’apporterait plus un bénéfice net quant au linéaire renouvelé. De même, à effort similaire (5% du linéaire total) la tranche 0 à 5 % est bien plus bénéfique que la tranche de 5 à 10%. Une carte de priorisation des canalisations à renouveler à été élaborée (annexe 9).

## 5. Préparation des chantiers

Classer les conduites par ordre de priorité ne suffit pas pour établir un programme de renouvellement. En effet, la disparité spatiale des conduites ne correspond pas forcément aux contraintes des travaux. Il est donc nécessaire de former des chantiers cohérents d’un point de vue géographique.

La programmation de renouvellement s'effectue en 2 temps :

- Création de chantiers
- Planification des travaux

Siroco nous permet de créer différents chantiers en introduisant les informations suivantes :

- Le nom du chantier
- La description de la localisation du chantier
- L'année de réalisation imposée
- La liste des canalisations

Ensuite l'outil permet également de générer un tableau de planification en se basant sur les différentes information fournies (budget, période de renouvellement ...) :

Chantiers	Nombre de tronçons	Localisation	Linéaire en mètre	Pourcentage de linéaire	Coût de réparation annuel	Coût de renouvellement annuel
CH2	4	Place St Jean	56,53	0,41	608,00	9608,53
ch6	2	St Pierre	20,45	0,15	80,07	2863,00
ch4	3	Eglise 2	38,94	0,28	166,07	6071,65
ch3	4	rue de l'Eglise	49,51	0,36	159,10	6931,40
ch5	4	française	74,50	0,54	286,59	12477,32
ch1	3	Garrigue	183,33	1,32	2042,69	33204,27
<b>6</b>	<b>20,00</b>		<b>423,26</b>	<b>3,06</b>	<b>3342,52</b>	<b>71156,17</b>

*Tableau 28: Planification des travaux aep (2019-2021)*

## **PARTIE N°5: Coordination des travaux entre les différents services**

Après avoir défini les programmes de renouvellement des réseaux d'eau potable et d'assainissement pour la période (2019-2021), nous avons contacté le service voirie de la commune de Bassan afin de nous transmettre ses prévisions de travaux. Nous avons également vérifié si il y aurait des travaux de fibre optique sur la commune (c'est le cas dans les communes voisines). Les annexes 8, 9, et 10 représentent les différents travaux prévus sur la période (2019-2021).

Finalement, ce sont les techniciens du service « GPR » responsables des communes qui auront la responsabilité de croiser les différentes cartes et d'étudier les différents cas possibles afin de décider les travaux à réaliser.

## **PARTIE N°6: Réflexion sur la mutualisation des données**

Tout au long de la réalisation de ce travail, nous nous sommes rendus compte en pas mal de reprises que plusieurs données sont exploitables à la fois par les réseaux d'eau potable et les réseaux d'assainissement comme les données d'environnement (occupation du sol, terrain en place, trafic routier ...). Il est donc nécessaire de prendre en considération lors de la démarche de récupération et d'analyse de ces données qu'ils seront exploitables par les deux réseaux afin de mettre en commun les moyens qu'ils soient humains ou financiers ... pour réduire les coûts et réaliser des économies. Ce travail est important surtout pour les données traitées manuellement puisqu'une mutualisation de ces données permettra au service « GPR » de gagner du temps et de valoriser les données dont il dispose dans les deux démarches de gestion patrimoniale (AEP + ASS).

Cette réflexion devrait être également maintenue lors de la récupération des nouvelles données fournies par l'exploitant et disponibles dans les nouveaux outils d'exploitation et de suivi de mesures en temps réel (Aquadvanced et Aquacalc). Le service SIG quant à lui devrait faire le lien entre le SIG et les nouveaux outils (Aquadvanced et Aquacalc) afin que la récupération des données soit facile et automatique. Il faudrait également intégrer les données hydrauliques (pression aux nœuds, débits...) ainsi que d'autres données disponibles en format tableur actuellement (déversements, débordements, pluviométrie ...).



## Conclusion

L'étude bibliographique ainsi que tout le travail réalisé pendant ce TFE nous amènent à bien comprendre la grande importance de la gestion patrimoniale des réseaux. La gestion d'un patrimoine de plusieurs millions d'euros ne peut plus être faite d'une manière empirique.

C'est dans ce cadre-là que le service « GPR » de l'Agglo Béziers Méditerranée a souhaité agir rapidement en acquérant des outils et en développant des méthodes afin de renouveler ses réseaux en se basant sur des analyses multicritères au lieu des avis subjectifs des techniciens, tout en considérant ses objectifs de performance.

Nous avons fait le choix de mener toute l'étude sur une petite commune test « Bassan » vu la qualité et la quantité des données disponibles et également afin de pouvoir proposer des résultats à la fin de l'étude. Nous avons commencé par travailler sur les réseaux d'assainissement puis sur les réseaux d'eau potable tout en essayant de mutualiser les données communes.

Pour son fonctionnement, l'outil Indigau a besoin de résultats d'ITV ainsi que d'autres critères environnementaux. Nous étions donc avant tout obligé de travailler sur la proposition et la validation d'une méthode de priorisation des tronçons d'assainissement à inspecter par ordre de gravité. Ensuite, nous avons calculé plusieurs critères de réhabilitation (RERAU) et avons paramétré l'outil Indigau en considérant à chaque fois les objectifs de la collectivité ainsi que les problèmes récurrents posés par le réseau. Ce travail nous a permis de tester plusieurs scénarios de renouvellement et d'en choisir le programme le plus pertinent sur la période (2019-2021).

En ce qui concerne les réseaux d'eau potable, nous avons beaucoup travaillé sur la préparation des données nécessaires au fonctionnement du logiciel « Casses ». L'historique des casses disponible n'est pas très profond et souvent avec différents formats mal renseignés. Nous avons essayé de récupérer le plus de casses possibles afin que notre modèle de prévision soit fidèle à la réalité. Ensuite, nous avons analysé la base de données tronçons et défaillances par le module « Casses » afin d'identifier les critères significativement influents sur le taux de casses prévisionnel sur la base de tests statistiques. Les paramètres non pertinents ont été exclus de l'analyse statistique puis un nombre de casses prévisionnel a été calculé pour chaque tronçon pour la période (2019-2021).

Nous avons réalisé ensuite une analyse multicritère à l'aide de l'outil Siroco qui nous a permis de comparer l'efficacité de plusieurs scénarios de renouvellement par rapport à quatre critères prédéfinis (criticité hydraulique, perturbation du trafic routier, coût annuel de réparation, pertes en eau évitées) avant de choisir le scénario le plus pertinent et évaluer les bénéfices réalisés sur chaque critère.

Nous avons réalisé ensuite trois cartes des travaux prévus sur la période (2019-2021) « travaux eau potable, travaux assainissement et travaux voirie » afin que les techniciens puissent coordonner entre les différents services et bien analyser chaque scénario avant de décider quels travaux engager.

Nous avons mené également une réflexion sur la mutualisation des données des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Plusieurs données environnementales sont utilisées dans la gestion patrimoniale des deux réseaux (occupation du sol, terrain en place, trafic routier ...), il est donc nécessaire de prendre en considération lors de la démarche de récupération et d'analyse de ces données qu'ils seront exploitables par les deux réseaux afin de mettre en commun les moyens qu'ils soient humains, financiers ... pour réduire des coûts et réaliser des économies.

Finalement, pour une application de ce travail à l'échelle de toute la collectivité, il va être nécessaire d'améliorer la base de données existante afin que l'ensemble du travail soit réalisé automatiquement. Beaucoup de calculs ont été faits manuellement sur la commune de Bassan, cela sera impossible en passant à des échelles plus grandes. Il faudrait donc mener une réflexion particulière sur l'automatisation de tous les calculs en utilisant éventuellement l'outil FME.

D'un point de vue personnel, ce projet m'a beaucoup apporté en termes de méthodologie de réflexion. Il m'a appris à relativiser les résultats obtenus et à prendre du recul par rapport au travail effectué.

## Références bibliographiques

- [1] AFB, ASTEE, IRSTEA. Réduction des pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau potable. Guide pour l'élaboration du plan d'actions. Volume 2 : Plan d'actions détaillé et hiérarchisé. Mai 2017.
- [2] AHMADI M. Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : Impact de la qualité des données et du paramétrage du modèle utilisé sur l'évaluation de l'état des tronçons et des patrimoines. Thèse de doctorat, Mécanique – Énergétique - Génie civil – Acoustique. Soutenue le 11 Avril 2014 à l'INSA de Lyon. 200 pages.
- [3] ASTEE, AITF, FNCCR, AFB. Gestion patrimoniale au sein des service d'eau et d'assainissement- Approche croisée par le suivi des activités et l'analyse des coûts du service. Septembre 2017.
- [4] ASTEE, AITF, ONEMA, FNCCR. Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable- Politiques d'investissement et gestion des immobilisations : cadre et bonnes pratiques - Une vision à la croisée des approches techniques, comptables et financières. Juillet 2014.
- [5] ASTEE. Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement. Bonnes pratiques : Aspects techniques et financiers. Décembre 2015.
- [6] Cabinet MERLIN. Exploitation automatisée des résultats d'ITV – Définition de l'état des conduites à l'aide de la méthode RERAU. Présentation d'un outil libre de droit. CARREFOUR DE L'EAU, Tanguy COUGARD 26/01/2016.
- [7] CADOR J.M. Le patrimoine en canalisations d'AEP en France. Bilan des huit enquêtes départementales et estimation nationale. Mars 2002.
- [8] DORCHIES D., Étude d'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 d'ingénieur, ENGEES, UMR Gestion des services publics, Juin 2005.
- [9] GIRARDIN J. Développement d'une méthodologie pour la programmation des travaux de renouvellement des conduites d'eau potable Application au réseau du périmètre du Kronthal (Bas-Rhin). Mémoire d'ingénieur, ENGEES, 2010. 94 pages.
- [10] IBRAHIM M. Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains : évaluation et agrégation d'indicateurs de performance précis ou flous. Thèse de doctorat , Mécanique - Énergétique - Génie civil – Acoustique. Soutenue le 15 Décembre 2008 à L'INSA de Lyon. 189 pages.
- [11] LARGE A. Une meilleure gestion patrimoniale des des réseaux d'eau potable : le modèle de prévision du renouvellement à long terme OPTIMEAU. Thèse de doctorat, Sciences physiques et de l'ingénieur. Soutenue le 27 Juin 2016 à l'université de Bordeaux. 565 pages.
- [12] Le Gauffre P., Joannis C., Breyse D., Gibello C., Desmulliez J.J. (2004) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique. Paris, Lavoisier Tec&Doc, 416 p.
- [13] NAFI A. La programmation pluriannuelle du renouvellement des réseaux d'eau potable. Thèse

de doctorat. Sciences de gestion. Soutenue le 8 Décembre 2006 à l'université de Strasbourg. 232 pages.

[14] NAFI A., WEREY C. Aide à la décision multicritère pour la hiérarchisation de tronçons d'assainissement dans le cadre d'une gestion patrimoniale. Publié sur le site Web des Presses scientifiques du CNRC, au [rcgc.cnrc.ca](http://rcgc.cnrc.ca), le 5 août 2009.

[15] ONEMA, ASTEE, AITF. Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable- Élaboration du descriptif détaillé des ouvrages de transport et de distribution d'eau. Mai 2013, 48 pages.

[16] ONEMA, ASTEE, AITF. Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable- Volume II : Optimiser ses pratiques pour un service durable et performant. Mai 2016.

[17] ONEMA, ASTEE, IRSTEA. Réduction des pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau potable. Guide pour l'élaboration du plan d'actions. Novembre 2014.

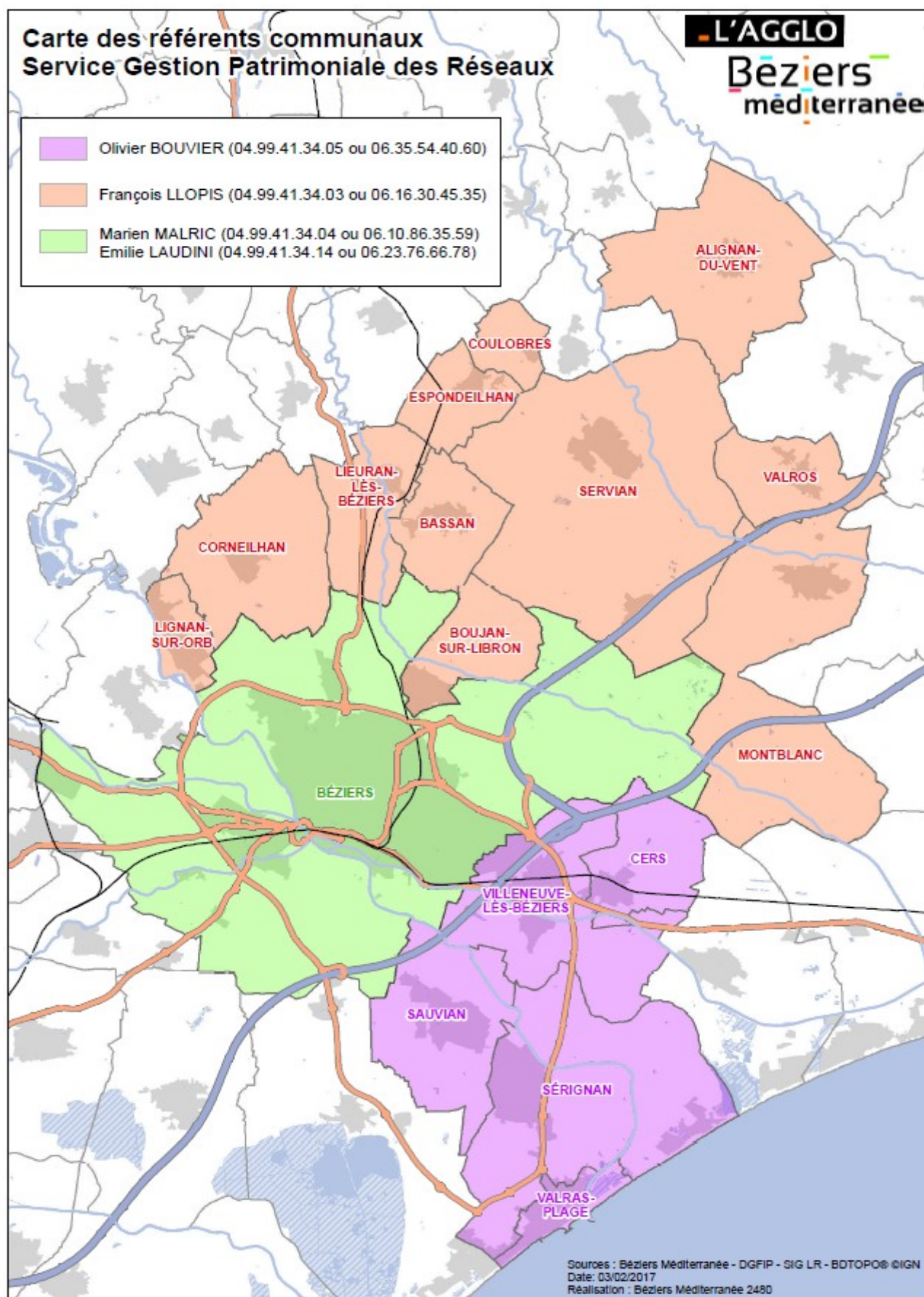
[18] ROUBERTIER C. Élaboration d'un programme de réhabilitation moyen terme pour les réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales du SyAGE. Mémoire d'ingénieur, ENGEES, Juin 2014. 89 pages.

[19] WEREY C., ROZAN A., WIITNER C., LE GAT Y., LE GAUFFRE P., NIRSIMLOO K., LECLERC C. Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement de l'état des réseaux à la planification de leur réhabilitation- outils, méthodes et perspectives. Irstea | « Sciences Eaux & Territoires ». 2012/4 Numéro 9 | pages 44 à 53.

## Liste des annexes

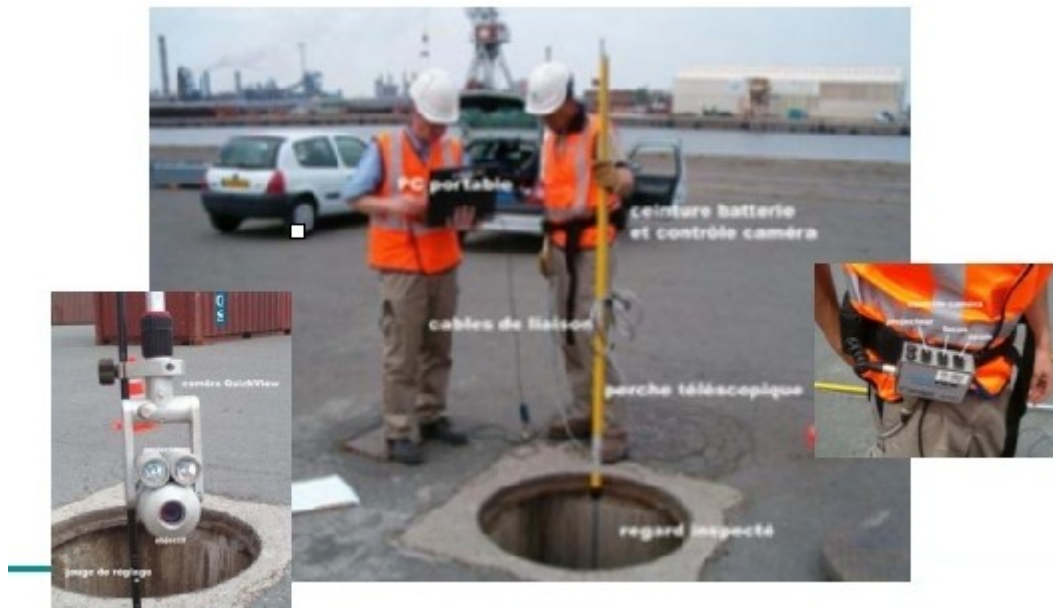
Annexe 1: Répartition des techniciens réseaux par communes.....	85
Annexe 2: Inspections vidéo-périscopiques (IVP).....	86
Annexe 3: Manipulation sur TANAGRA.....	94
Annexe 4: Calcul des indicateurs RERAU « simples ».....	99
Annexe 5: Courbes de survie.....	113
Annexe 6: Calcul des indicateurs RERAU composites.....	119
Annexe 7: Construction des critères d'investigation.....	125
Annexe 8: Carte de classement des canalisations d'assainissement à renouveler sur la commune de Bassan .....	128
Annexe 9: Carte de classement des canalisations d'eau potable à renouveler sur la commune de Bassan....	129
Annexe 10: Programme voirie de la commune de Bassan (2019-2021).....	130

## Annexe 1: Répartition des techniciens réseaux par communes



## Annexe 2: Inspections vidéo-périscopiques (IVP)

Une IVP est une opération visant comme son nom l'indique à inspecter l'état intérieur d'une canalisation à l'aide d'une caméra.



L'IVP permet d'avoir une visualisation des canalisations depuis un regard de visite sur une longueur variant entre 10 et 20 mètres selon le diamètre du collecteur ; cette distance peut également être réduite en présence de certaines anomalies.

En revanche, l'IVP ne permet pas de repérer l'ensemble des défauts qui seraient détectables grâce à une inspection télévisée (ITV), puisque comme l'inspection n'est pas précédée d'un curage, des dépôts de matière peuvent masquer certaines anomalies.

Donc la réalisation d'une IVP ne remplace pas une ITV mais elle permet de repérer les canalisations en bon état et celles avec peu d'anomalies sur la longueur inspectée.

Contrairement aux IVP, un curage de la canalisation est réalisé systématiquement en amont pour permettre une ITV dans des conditions optimales. Le contrôle vidéo de la canalisation est ensuite effectué au moyen d'un robot composé d'un chariot motorisé et d'une caméra numérique HD étanche, orientable à 360° et télécommandée depuis la surface.






L'affichage simultané sur l'écran extérieur de contrôle permet de suivre en direct la visite du robot, d'inspecter ainsi minutieusement l'intérieur de la canalisation et de localiser de manière très précise toute anomalie.



Ensuite, à l'issue du passage caméra, le prestataire remet au maître d'ouvrage un rapport complet d'inspection, détaillé, illustré et accompagné du support DVD de la visite filmée.

Dans le cadre du contrat de délégation, l'exploitant s'est engagé à réaliser 220 inspections vidéo-périscopiques sur la commune de Bassan entre la période du 15/07/2015 au 30/10/2015. Les rapports de ces inspections ont été rendus avec plusieurs mois de retard, et ils comprenaient des

fiches mal renseignées voire non renseignées avec une notation non argumentée comme le montre la fiche suivante :

		<b>INSPECTION VIDEO PERISCOPE</b>			
<b>Rue / Voie :</b>	rue de l'abelanié		R6142080 vers R6142160		
<b>Diamètre :</b>	150 mm	<b>Matériaux :</b>	Fibres-ciment	<b>Sens écoulement :</b>	
Dysfonctionnements					
		Distance ( ml )		Distance ( ml )	
Emboîtement insuffisant	<input type="checkbox"/>		Affaissement de voûte	<input type="checkbox"/>	
Déboîtement	<input type="checkbox"/>		Ovalisation	<input type="checkbox"/>	
Déviation angulaire	<input type="checkbox"/>		Eclatement	<input type="checkbox"/>	
Epaufrure	<input type="checkbox"/>		Perforation	<input type="checkbox"/>	
Joints défectueux	<input type="checkbox"/>		Corrosion	<input type="checkbox"/>	
Changement de section	<input type="checkbox"/>		Armatures visibles	<input type="checkbox"/>	
Flache	<input type="checkbox"/>		Dépôts de sédiments	<input type="checkbox"/>	
Infiltration	<input type="checkbox"/>		Dépôts de graisse	<input type="checkbox"/>	
Exfiltration	<input type="checkbox"/>		Dépôts de concrétions	<input type="checkbox"/>	
Fissures longitudinales	<input type="checkbox"/>		Racines	<input type="checkbox"/>	
Fissures transversales	<input type="checkbox"/>		Branchement pénétrant	<input type="checkbox"/>	
Fissures multiples	<input type="checkbox"/>		Pénétration d'éléments extérieurs	<input type="checkbox"/>	
Effondrement partiel	<input type="checkbox"/>		Branchement	<input type="checkbox"/>	
Effondrement total	<input type="checkbox"/>		Regard borgne	<input type="checkbox"/>	
Ecrasement	<input type="checkbox"/>		Autre :	<input type="checkbox"/>	
<b>Encrassement :</b>		<input checked="" type="checkbox"/> < 25%	<input type="checkbox"/> 25<x<50%	<input type="checkbox"/> 50<x<75%	<input type="checkbox"/> > 75%
Photo(s)					
					
Etat général de la canalisation					
Etat neuf à presque neuf	<input type="checkbox"/>	<b>1</b>	Risque faible, anomalies structurantes peu évolutives, très peu de travaux d'entretien nécessaires, , inspection de contrôle à programmer		
Etat médiocre	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>2</b>	Etat médiocre, risque moyen, défauts ponctuels, opérations d'entretien suffisantes, surveillance renforcée par des inspections		
Etat mauvais	<input type="checkbox"/>	<b>3</b>	Etat mauvais, risque élevé, renouvellement à réaliser à moyen terme		
Etat catastrophique	<input type="checkbox"/>	<b>4</b>	Etat catastrophique, risque immédiat, renouvellement à réaliser à court terme ( le niveau 4 est un niveau 3 qui ne peut pas attendre )		
Présence de boîte de branchement					
OUI en totalité	<input checked="" type="checkbox"/>	OUI en partie	<input type="checkbox"/>	NON	<input type="checkbox"/>
<b>NOM DE L'AGENT</b>	Yannick		<b>DATE</b>	26/10/2015	

*Ancienne fiche IVP*

Étant donné que le format actuel ne répond pas aux attentes du service « Gestion patrimoniale des réseaux », ce dernier a proposé au prestataire un nouveau format de rendu plus simple et qui répondrait mieux à ses attentes.



Ce format intègre les différents critères détaillés dans les deux tableaux suivants (défauts de fonctionnement / défauts structurels) et les résume sous forme d'une fiche type qui a été validée par le service et le prestataire.

CONSTAT		FONCTIONNEMENT				
		Mise en charge	Encrassement	Dépôts	Pénétration d'élément extérieur	rats - vermine
NOTE	1					
	2	30%	30%	sable	racines	OUI
				béton	branchement	
				graisses	concessionnaire	
				divers	autre	
3	>30%	>30%				
4						

*Matrice des défauts de fonctionnement*

CONSTAT		STRUCTUREL					
		Fissures	Corrosion	Casse	Déformation	Décalage du tube	Infiltration eau claire
NOTE	1						
	2	superficielles	superficielle	superficielle		10%	
	3	ouvertes et généralisées	granulats visibles	perforation	ovalisation	>10%	Infiltration eau claire
	4		granulats visibles généralisés	effondrement	déformation voûte	OUI	

*Matrice des défauts structurels*

Cette fiche a été construite en verrouillant toutes les cellules à remplir afin de ne pouvoir sélectionner que les critères présents dans les menus déroulants, ce qui permettra par la suite de réaliser un traitement automatique pour la notation des tronçons inspectés.

Logo Prestataire	<b>INSPECTION VIDEO PERISCOPE</b>			<b>L'AGGLO</b> <b>Beziers</b> méditerranée
	Commune de			
Voie :		ID Tronçon :		
Diamètre :		ID_RG_départ	vers	ID_RG_arrivée
Matériau :		Date :		
<b>Constat IVP</b>				
<b>Fonctionnement</b>		<b>Structurel</b>		
Encrassement		Fissures		
Mise en charge		Corrosion		
Pénétration d'élément extérieur		Casse		
Dépôts		Déformation		
Rat - Vermine		Décalage du tube		↓
		Infiltration eau claire		
NOTE	#N/D	ACTION PONCTUELLE		
<b>Photo(s)</b>				
PHOTO 1		PHOTO 2		

*Première fiche IVP proposée*

Cependant, après la réception des premières fiches d'IVP, il s'est avéré que le prestataire n'avait pas bien assimilé la nouvelle démarche à suivre car ces fiches étaient mal renseignées ce qui n'a pas permis un traitement automatique des données.

Le service « Réseaux » a décidé de simplifier cette fiche davantage en ne mettant dans les menus déroulants que les critères intéressants et que le prestataire pourra constater facilement à l'aide de sa caméra.

Cette nouvelle fiche intègre les différents critères détaillés dans les deux tableaux suivants (défauts de fonctionnement / défauts structurels).

CONSTAT		FONCTIONNEMENT		
		Mise en charge	Encrassement	Infiltration eau claire
NOTE	1			
	2	Inférieur ou égal à 30 %	Inférieur ou égal à 30 %	
	3	Supérieur à 30 %	Supérieur à 30 %	Infiltration eau claire
	4			

*Matrice des défauts de fonctionnement*

CONSTAT		STRUCTUREL					
		Fissures	Corrosion	Casse	Déformation	Décalage du tube	Pénétration d'élément extérieur
NOTE	1						
	2		Granulats visibles généralisés		Ovalisation	Décalage du tube	Racines Branchement Concessionnaire Autre
	3	Ouvertes et généralisées					
	4			Casse			

*Matrice des défauts structurels*

Cette nouvelle fiche rassemble tous les défauts visibles à l'aide de la caméra, avec une partie dédiée aux commentaires pour permettre au prestataire de rajouter d'autres éléments non listés sur les menus déroulants. Les cellules des deux matrices (défauts de fonctionnement et défauts structurels) ont été verouillées afin de ne choisir que les éléments du menu déroulant pour pouvoir réaliser un traitement automatique de ces données par la suite.

Logo Prestataire	<b>INSPECTION VIDEO PERISCOPE</b>		<b>L'AGGLO</b> <b>Beziers</b> méditerranée	
	Commune de			
Voie :		ID Tronçon :		
Diamètre :		ID_RG_départ	vers	ID_RG_arrivée
Matériau :		Date :		
Constat IVP				
Fonctionnement		Structurel		
Mise en charge		Casse		
		Fissures		
Encrassement		Déformation		
		Corrosion		
Infiltration d'eaux claires parasites		Pénétration d'éléments extérieurs		
		Décalage du tube		
Commentaires (Autres informations importantes)				
Photo(s)				
PHOTO 1		PHOTO 2		

*Deuxième fiche IVP proposée*

Un système de notation a été mis en place afin d'affecter automatiquement une note aux tronçons inspectés en se basant sur les informations fournies par cette fiche.

Le système de notation adopté est résumé dans les tableaux suivants :

Défauts de fonctionnement					
	Mise en charge supérieur à 30%	Encrassement supérieur à 30%	Infiltration d'eaux claires parasites	Mise en charge inférieure ou égale à 30%	Encrassement inférieur ou égal à 30%
Mise en charge supérieur à 30%	3	3	3	3	3
Encrassement	3	3	3	3	3

supérieur à 30%					
Infiltration d'eaux claires parasites	3	3	3	3	3
Mise en charge inférieure ou égale à 30%	3	3	3	2	2
Encrassement inférieur ou égal à 30%	3	3	3	2	2

*Notation des défauts de fonctionnement*

Défauts structurels						
	Casse	Fissures	Déformation	Corrosion	Pénétration d'éléments extérieurs	Décalage du tube
Casse	4	4	4	4	4	4
Fissures	4	3	3	3	3	3
Déformation	4	3	2	2	2	2
Corrosion	4	3	2	2	2	2
Pénétration d'éléments extérieurs	4	3	2	2	2	2
Décalage du tube	4	3	2	2	2	2

*Notation des défauts structurels*

Le système de notation finale est basé sur le croisement des deux matrices de notation (matrice des défauts de fonctionnement et matrice des défauts structurels). Ce croisement peut se faire de deux manières comme le montre les tableaux suivants :

		Défauts de fonctionnement			
		4	3	2	1
Défauts structurels	4	4	4	4	4
	3	4	<b>3</b>	3	3
	2	4	3	<b>2</b>	2
	1	4	3	2	1

*Notation finale des IVP (1)*

		Défauts de fonctionnement			
		4	3	2	1
Défauts	4	4	4	4	4

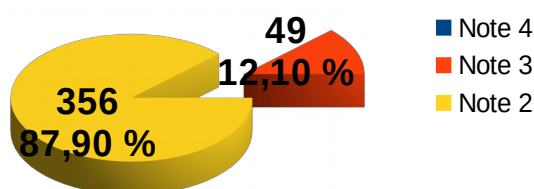
structurels	3	4	4	3	3
	2	4	3	3	2
	1	4	3	2	1

*Notation finale des IVP (2)*

Afin de choisir le système final de notation ( (1) ou (2) ), une étude statistique a été faite sur un échantillon de 405 tronçons sur la commune de Bassan. Les IVP de ces tronçons ont été tous mis sous la nouvelle forme afin d'obtenir automatiquement la note souhaitée. Les graphiques suivants représentent les résultats trouvés :

Bassan (1)		
Note ivp	Nombre d'ivps	Pourcentage %
Note 4	0	0,00
Note 3	49	12,10
Note 2	356	87,90

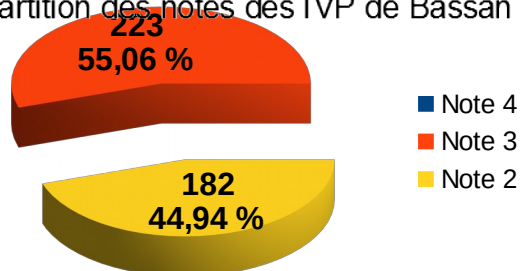
Répartition des notes des IVP de Bassan



*Système de notation (1)*

Bassan (2)		
Note ivp	Nombre d'ivps	Pourcentage %
Note 4	0	0,00
Note 3	223	55,06
Note 2	182	44,94

Répartition des notes des IVP de Bassan



*Système de notation (2)*

En se référant aux différents rapports (Compagne de mesure des débits, RAD ...), il paraît que le réseau de Bassan est généralement en bon état (bon à moyen) ; il semble donc logique de privilégier le premier système de notation (1) par rapport au deuxième (2).

Après la validation interne de ce dernier format de rendu des IVP, le service demandera au prestataire d'adopter cette nouvelle fiche dans toutes les prochaines inspections afin de pouvoir avoir une notation automatique des tronçons inspectés.

Le service SIG créera ensuite la requête permettant d'alimenter la base de données avec ces IVP afin qu'ils soient visibles sur cart@jour par tous les agents du service.

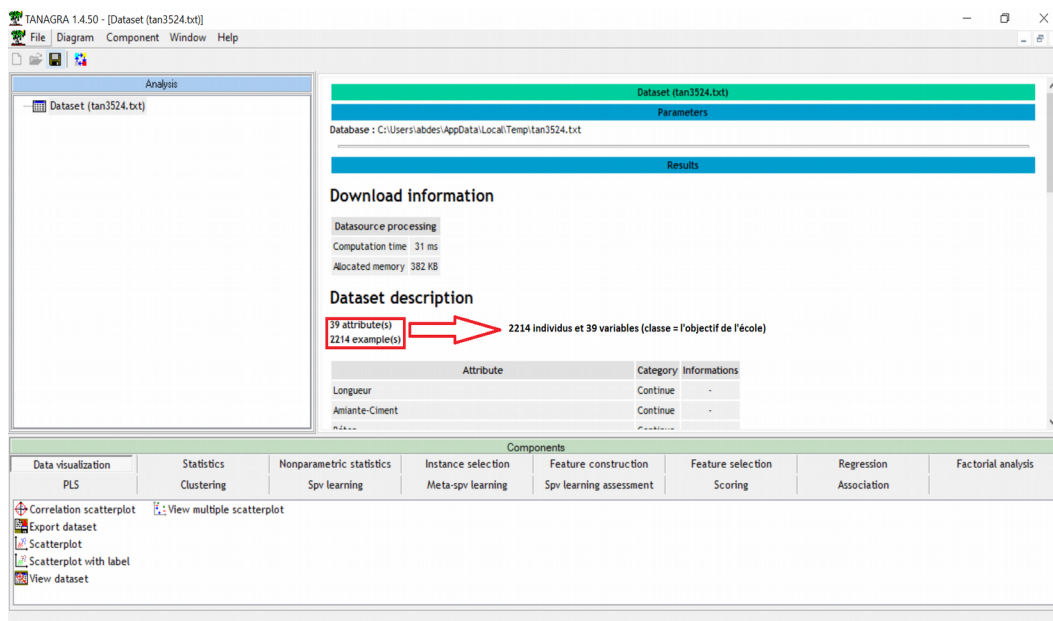
## Annexe 3: Manipulation sur TANAGRA

Pour mettre en oeuvre cet exercice, nous avons installé la dernière version de Tanagra. Ensuite, nous avons créé la macro complémentaire TANAGRA XLA qui permet de lancer TANAGRA directement à partir d'Excel. Le menu Tanagra est donc visible dans le tableur.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Longueur	Amiante-Ciment	Béton	Fonte	Grès	Maçonnerie	Polychlorure de vinyle	Réseau séparatif	Réseau unitaire	Diamètre < 400	Diamètre > 400	Âge < 40	Âge > 40	Bâti collectif
2	14,5	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
3	4,5	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
4	9,33	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
5	33,84	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
6	35,2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
7	3,6	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
8	4,9	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
9	8,5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
10	12,6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
11	14,1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
12	14,12	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
13	16,03	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
14	24	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
15	26,15	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
16	29	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
17	31,4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
18	34	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
19	44,7	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
20	49,3	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
21	71	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
22	1,5	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
23	1,5	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
24	3,54	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0

Pour effectuer une analyse, nous devrions :

- Sélectionner la plage de cellules contenant les données (y compris les en-têtes représentant les noms de variables)
- Activer le nouveau menu TANAGRA ==> Exécuter TANAGRA
- S'assurer que la sélection des données est correcte dans la boîte de dialogue qui apparaît
- Valider cette sélection, ce qui a pour effet de lancer le logiciel TANAGRA et les données sont automatiquement chargées



Une fois sur Tanagra, les données sont stockées dans un fichier temporaire au format texte puis chargées automatiquement dans le logiciel de DATA MINING.

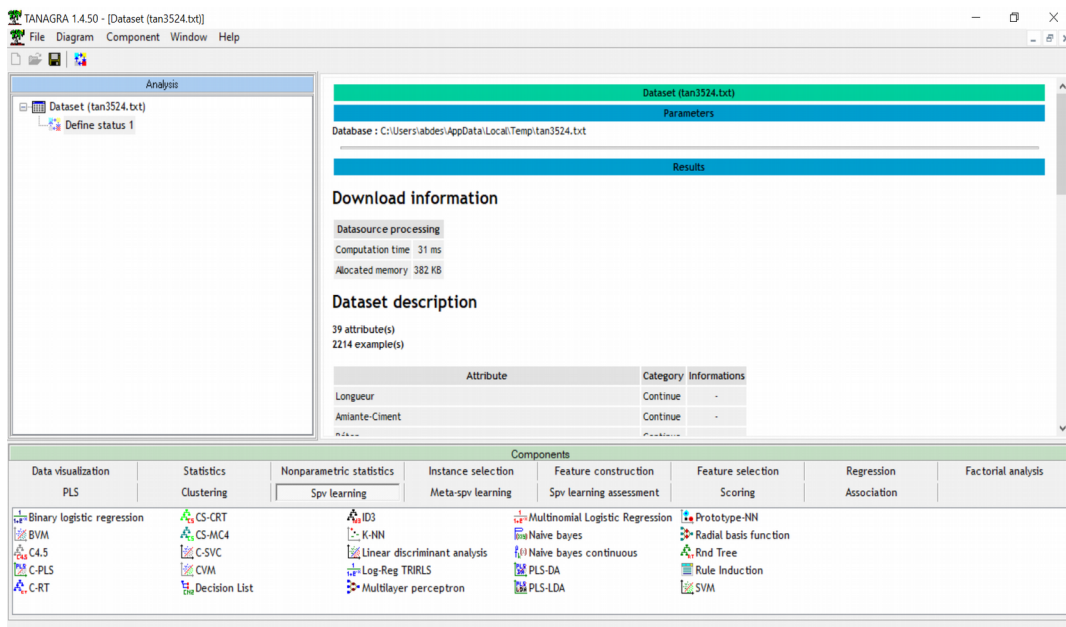
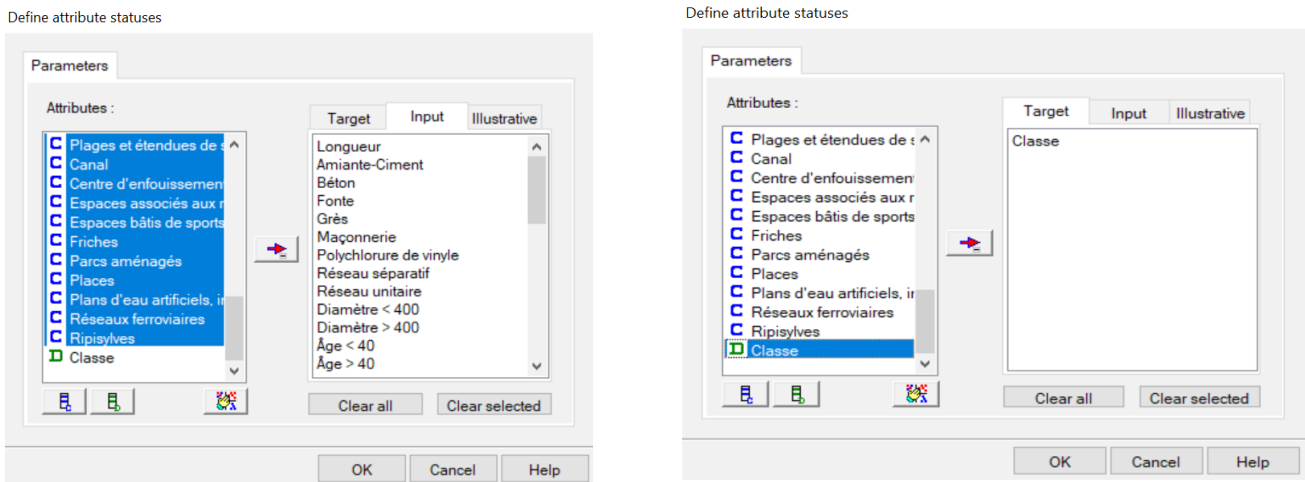
Nous constatons qu'il y a bien 39 variables et 2214 observations dans notre jeu de données. Nous avons ensuite mis en place les étapes standards d'un processus d'exploration de données, à savoir :

- Définir le problème, en l'occurrence définir le rôle que doit tenir chaque variable dans une analyse supervisée (prédictive ou à prédire)
- Choisir la méthode d'apprentissage
- Lire et interpréter les résultats
- Éventuellement, essayer d'améliorer la pertinence du modèle de prédiction en procédant à une sélection de variables par exemple (cela peut passer également par un paramétrage différent de la méthode)
- Enfin, évaluer les performances du modèle final sélectionné afin de se donner une idée de l'efficacité du modèle dans la population initiale

La composante DEFINE STATUS permet de définir le rôle que devra tenir chaque variable dans l'analyse. Il est directement accessible dans la barre d'outils. Le composant est automatiquement inséré dans le diagramme et la boîte de paramétrage apparaît.

Dans cette étude, nous définissons comme variables prédictives INPUT la série de variables continues. CLASSE est la variable à prédire TARGET (objectif).

Nous validons en cliquant sur le bouton OK dans la boîte de paramétrage.

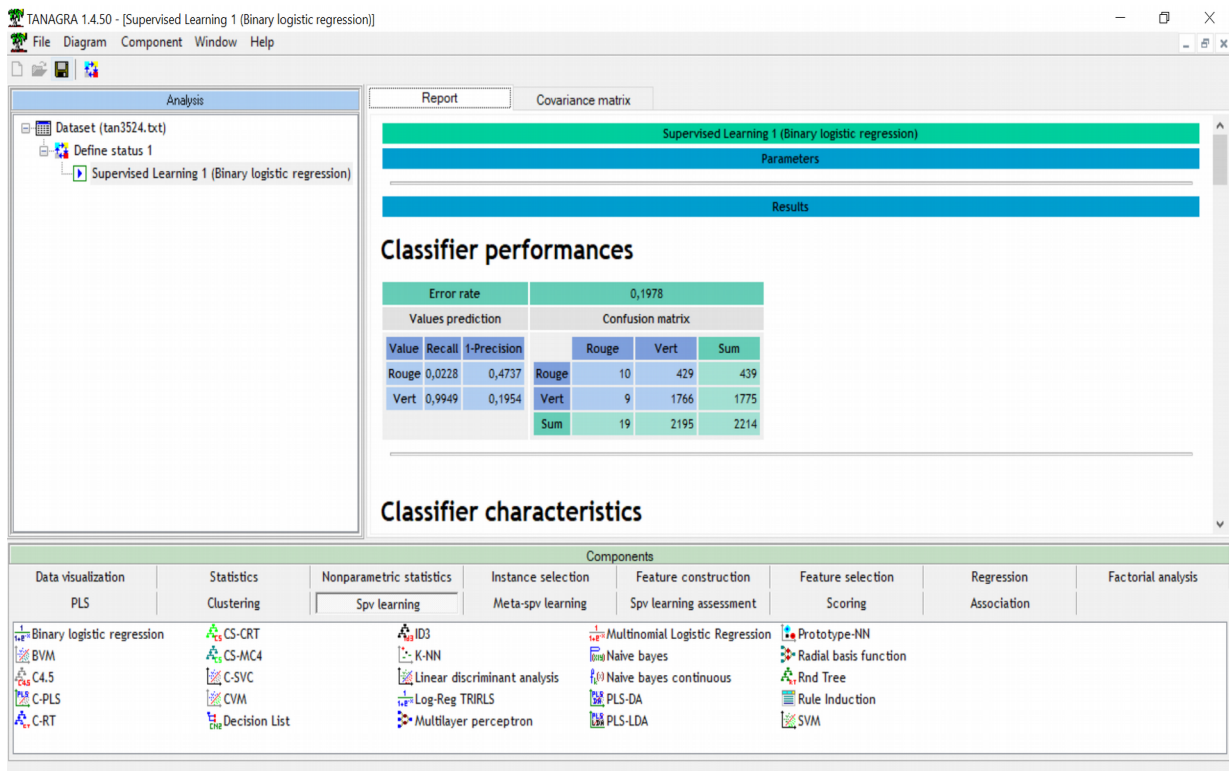




Nous avons inséré ensuite la méthode d'apprentissage dans le diagramme de traitement. Nous voulons dans notre étude effectuer une régression logistique. Les techniques supervisées sont accessibles dans l'onglet SPV LEARNING, nous avons choisi le BINARY LOGISTIC REGRESSION.

Nous l'avons ensuite inséré dans le diagramme en le glissant sur le DEFINE STATUS 1.

Pour lancer les calculs et accéder aux résultats, le plus simple est de faire apparaître le menu contextuel du composant et d'activer le menu VIEW.



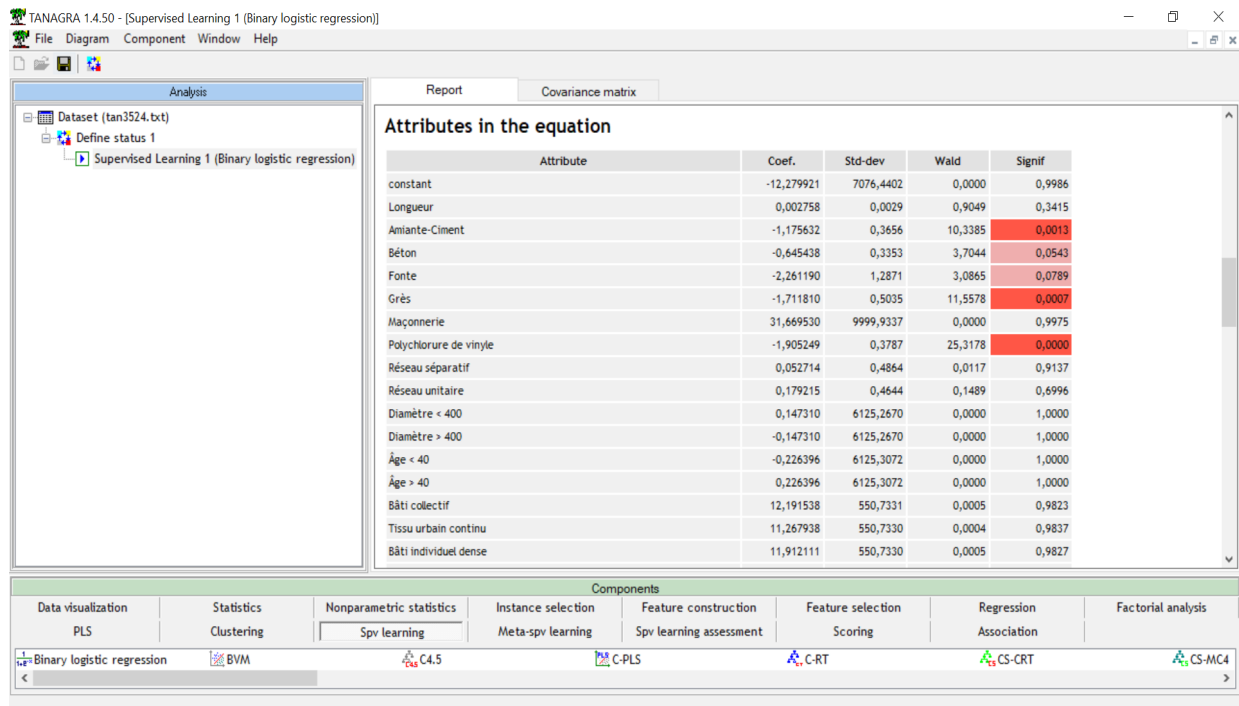
Les résultats sont résumés dans la fenêtre à droite. Il s'agit d'un document au format HTML que l'on peut copier dans un traitement de texte pour l'édition des rapports : nous pouvons également le copier dans un tableur pour la prédiction, en appliquant les coefficients de la régression sur nos données pour construire la grille des scores.

La matrice de confusion est la première information qui apparaît. Elle donne une indication sur la qualité globale de l'apprentissage et la nature des erreurs commises. Dans notre exemple, elle indique que dans 19% des cas, notre modèle effectue un mauvais classement.

Il faut néanmoins relativiser ces résultats, surtout si la méthode est prompte à « coller » aux données lorsqu'elle est mal paramétrée, ou si le ratio nombre de variables sur le nombre d'observations est défavorable. Dans ces situations, le taux d'erreur calculé sur les données qui ont servi à l'apprentissage, dit taux d'erreur en substitution, a tendance à être trop optimiste, laissant croire à tort une bonne reconnaissance des classes.

En faisant dérouler la fenêtre, les résultats détaillés de la régression logistique sont accessibles.

Parmi les résultats disponibles, le tableau suivant qui recense les coefficients associés à chaque variable prédictive.



En effet, il permet de juger de la pertinence de la variable dans la prédiction/explication en effectuant un test classique : le coefficient est-il significativement différent de 0 ?

Les coefficients significatifs, associés à une probabilité critique inférieure à 1%, 5% et 10% sont surlignés en rouge.

A cette étape se pose une question importante : comment faire pour sélectionner les variables pertinentes ? Il existe un grand nombre de procédures de sélection automatique ( ex. Forward, backward ...) ou semi-automatique (ex. Tester le rôle significatif d'un bloc de variables) de sélection de variables.

Pour notre cas, nous choisis de prendre en compte toutes les variables car on considère qu'elles sont toutes pertinentes.

Pour avoir une idée plus précise de la qualité de la prédiction sur la population, nous utilisons souvent les méthodes de ré-échantillonnage. Ces outils sont disponibles dans l'onglet SPV LEARNING ASSESSMENT. Nous avons choisi la validation croisée et nous l'avons glissé à la suite du composant LOGISTIC REGRESSION dans le diagramme. Puis, nous avons modifié le paramétrage par défaut et avons demandé la répétition 5 fois d'une 10 « validation croisée » classique. Puis nous avons validé en cliquant sur le menu VIEW pour visualiser les nouveaux résultats.

TANAGRA 1.4.50 - [Supervised Learning 1 (Binary logistic regression)]

File Diagram Component Window Help

Analysis

- Dataset (tan3524.txt)
  - Define status 1
    - Supervised Learning 1 (Binary logistic regression)
      - Cross-validation 1

Report

Covariance matrix

### Attributes in the equation

Attribute	Coef.	Std-dev	Wald	Signif
constant	279921	7076,4402	0,0000	0,9986
Longueur	002758	0,0029	0,9049	0,3415
Amiante-Ciment	175632	0,3656	10,3385	0,0013
Béton	345438	0,3353	3,7044	0,0543
Fonte	261190	1,2871	3,0865	0,0789
Grès	711810	0,5035	11,5578	0,0007
Maçonnerie	669530	9999,9337	0,0000	0,9975
Polychlorure de	905249	0,3787	25,3178	0,0000
Réseau séparat	052714	0,4864	0,0117	0,9137
Réseau unitaire	179215	0,4644	0,1489	0,6996
Diamètre < 400	147310	6125,2670	0,0000	1,0000
Diamètre > 400	147310	6125,2670	0,0000	1,0000
Âge < 40	226396	6125,3072	0,0000	1,0000
Âge > 40	226396	6125,3072	0,0000	1,0000

Cross-validation parameters

Parameters

Number of repetitions : 5

Number of folds : 10

Save results

Save error rate to file

D:\tanagra\experiments\_results.txt

OK Cancel Help

Data visualization PLS Statistics Clustering Nonparametric statistics Spv learning Instance selection Meta-spv learning Feature construction Spv learning assessment Feature selection Scoring Regression Association Factorial analysis

Bias-variance decomposition Bootstrap Cross-validation Hosmer Lemeshow Test Leave-One-Out Logistic Regression Residuals Test Train-test

Donc, si nous appliquons le modèle de prédiction issu de la régression logistique, nous pouvons espérer que dans 79% des cas (100% - 21%) nous prédisons à bon escient.

TANAGRA 1.4.50 - [Cross-validation 1]

File Diagram Component Window Help

Analysis

- Dataset (tan3524.txt)
  - Define status 1
    - Supervised Learning 1 (Binary logistic regression)
      - Cross-validation 1

MAX 0,2348

Trial Err rate

1	0,2041
2	0,2050
3	0,2041
4	0,2348
5	0,2054

Overall cross-validation error rate 0,2107

Error rate		Confusion matrix			
Value	Recall	1-Precision	Rouge	Vert	Sum
Rouge	0,0283	0,7615	Rouge 62	Vert 2130	Sum 2192
Vert	0,9776	0,1974	Vert 198	Vert 8660	Sum 8858
			Sum 260	Sum 10790	Sum 11050

Computation time : 5969 ms.  
Created at 06/08/2018 14:20:31

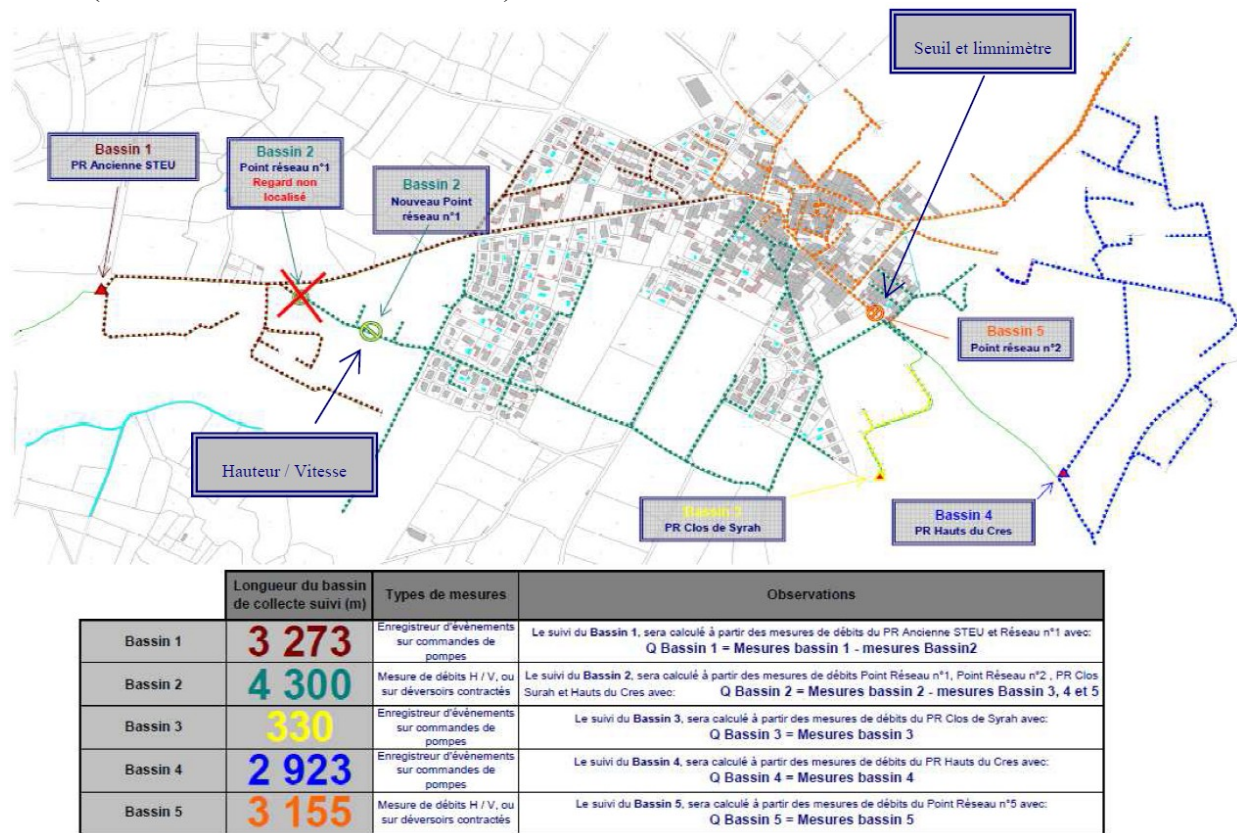
Components

Data visualization PLS Statistics Clustering Nonparametric statistics Spv learning Instance selection Meta-spv learning Feature construction Spv learning assessment Feature selection Scoring Regression Association Factorial analysis

Bias-variance decomposition Bootstrap Cross-validation Hosmer Lemeshow Test Leave-One-Out Logistic Regression Residuals Test Train-test

## Annexe 4: Calcul des indicateurs RERAU « simples »

**INF1x-O-BV** : Cet indicateur est noté selon trois niveaux (1 ; 2 ; 3). La délimitation des bassins versants a été faite par le groupe SUEZ lors de la campagne de mesure des débits menée pendant la période (Novembre 2014 – Janvier 2015).



*Figure : Anciens bassins versants de la commune de Bassan*

Depuis 2014, la commune a connu des extensions de son réseau et une augmentation de sa population. Nous ne prendrons donc pas en compte ces anciennes mesures.

Ne disposant actuellement que des débits (EU+EPP) journaliers sur la totalité de la commune, un seul bassin versant englobant l'ensemble du réseau est pris en compte. En revanche, nous aurons prochainement les mesures des eaux claires parasites en temps réel aux exutoires des différents bassins versants à l'aide des outils « Aquadvanced » et « Aquacalc » mis à notre disposition par le groupe Suez dans le cadre du nouveau contrat de délégation et nous pourrions ensuite actualiser notre seule valeur actuelle.

Actuellement, les données prises en compte sont les mesures de l'année 2016 (rapport annuel mise 2016).

Le tableau suivant explique la méthode de notation proposée par le guide :

	INF1a	INF1m		INF1j	
	%	%	m <sup>3</sup> /j/km	L/j/cm/km	%
S1	10	20	10	400	50
S2	25	50	25	1000	100
S3	50	100	50	2000	200

*Tableau 1: Notation de l'indicateur INF1*

Avec :

- EPA : débit journalier moyen d'EPI (eaux parasites d'infiltration) d'une année moyenne / débit journalier EU strictes ;
  - EPM : débit mensuel maximum d'EPI d'une année moyenne / débit moyen mensuel EU strictes ;
  - EPJ : débit journalier maximum d'EPI d'une année moyenne / débit moyen journalier EU strictes ;
- Nous choisissons de calculer la grandeur « EPJ » afin d'utiliser les valeurs de la colonne INF1j du tableau précédent.

En utilisant les données de 2016, nous trouvons :  $EPJ = 545,36/265,63 = 2,05 = 205 \%$

Nous obtenons une note de 3 pour cet indicateur sur l'ensemble des canalisations. Cela nous paraît cohérent puisque nous observons dernièrement des débordements récurrents au niveau du poste de refoulement placé en amont de la station d'épuration.

**INF2-E/R-T** : Cet indicateur est calculé au niveau du réseau (canalisations) ou du bassin versant. Il est noté selon trois seuils (1, 2, 3).

1 : niveau de nappe constamment inférieur au radier, ou remblai étanche ;

2 : niveau de nappe temporairement supérieur à la cote du radier (valeur par défaut en l'absence d'information) ;

3 : niveau de nappe fréquemment ou en permanence supérieur à la cote du radier.

Aucune nappe n'existe sur la commune de Bassan, toutes les canalisations auront donc une note de 1 pour cet indicateur.

**INF3-O-T** : Cet indicateur est calculé au niveau du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Le niveau d'infiltration au niveau des canalisations est constaté soit par ITV (observation à l'aide d'une caméra) ou débitmétrie (mesure du débit). Ne pouvant pas avoir des ITV ou des mesures de débit sur l'ensemble du réseau, nous avons procédé différemment. Nous avons considéré qu'à un pourcentage près, la consommation au niveau d'un nœud est égale au débit rejeté au niveau de ce nœud (ce qui rentre chez un abonné = ce qui sort à un pourcentage près). Nous avons considéré que le débit moyen transitant dans une canalisation est égale au volume consommé pendant une journée ( $m^3$ ) au niveau de cette canalisation divisé par 86400s afin d'avoir un débit moyen en  $m^3/s$ . Ensuite nous avons convertit nos valeurs afin d'avoir des débits en ( $m^3/j/10m$ ) puis nous avons appliqué la méthode de classement proposée par le guide :

Niveau 4 :  $> 5000 L / j / cm / km$  ou  $\geq 1 m^3 / j / 10m$

Niveau 3 :  $> 1500 L / j / cm / km$  ou  $\geq 0,3 m^3 / j / 10 m$

Niveau 2 :  $> 500 L / j / cm / km$  ou  $\geq 0,1 m^3 / j / 10 m$

Niveau 1 :  $< 500 L / j / cm / km$  ou  $\leq 0,1 m^3 / j / 10m$

**EXF1-O-BV** : Cet indicateur est calculé au niveau du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Comme déjà expliqué, un seul bassin versant englobant l'ensemble du réseau sera pris en compte. Les seuils suivants sont proposés pour le classement :

S1 : si  $Q_{exf} / Q_{eu} < 5 \%$

S2 : si  $5 \% < Q_{exf} / Q_{eu} < 10 \%$

S3 : si  $10 \% < Q_{exf} / Q_{eu} < 20 \%$

S4 : si  $Q_{exf} / Q_{eu} > 20 \%$

Avec  $Q_{exf}$  : débit exfiltré et  $Q_{eu}$  : débit d'eau usée.

D'après le calcul fait sur les données de l'année 2016 nous obtenons  $Q_{exf} / Q_{eu} = 110 / 265,63 = 0,59$ . Le taux d'exfiltration trouvé est égale à 59 %, toutes les canalisations auront alors une note de 4 pour cet indicateur.

**EXF2-E/R-T** : Cet indicateur est calculé au niveau du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon trois seuils (1, 2, 3).

- 1 : niveau de nappe constamment supérieur au radier, ou remblai étanche, ou encaissant imperméable ;
- 2 : niveau de nappe temporairement inférieur à la cote du radier, ou inconnu ;
- 3 : niveau de nappe fréquemment ou en permanence inférieur à la cote du radier et terrain perméable.

Aucune nappe n'existe sur la commune de Bassan, toutes les canalisations auront donc une note de 3.

**EXF3-O-T** : Cet indicateur est calculé au niveau du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Le niveau d'exfiltration au niveau des canalisations est constaté par débitmétrie (mesure du débit). Nous utilisons les mêmes résultats de débit obtenus pour le calcul de l'indicateur INF3-O-T. Ensuite nous appliquons la méthode de classement suivante :

Niveau 4 : débit  $> 10 \text{ m}^3 / \text{j} / \text{km}$

Niveau 3 :  $10 \text{ m}^3 / \text{j} / \text{km} \geq$  débit  $> 5 \text{ m}^3 / \text{j} / \text{km}$

Niveau 2 :  $5 \text{ m}^3 / \text{j} / \text{km} \geq$  débit  $> 2 \text{ m}^3 / \text{j} / \text{km}$

Niveau 1 :  $2 \text{ m}^3 / \text{j} / \text{km} \geq$  débit

**V-SN-PON** : Cet indicateur est calculé au niveau d'un secteur et peut être transposé à l'échelle du tronçon ou du bassin versant. Il est noté selon trois seuils (1, 2, 3). Le guide propose de distinguer 3 niveaux de sensibilité du milieu récepteur :

- Niveau 1 : pas de nappe ;
- Niveau 2 : eaux souterraines non utilisées pour l'alimentation en eau potable ;
- Niveau 3 : eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable.

Aucune nappe n'existe sur la commune de Bassan, toutes les canalisations auront donc une note de 1.

**V-URB-DOB-EXF** : Cet indicateur est défini à l'échelle de chaque bâtiment mais peut être intégré à l'échelle d'un tronçon. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Il concerne essentiellement la vulnérabilité des parties souterraines (caves, fondations) à des apports d'eau. Il doit donc prendre en compte :

- La configuration des bâtiments (présence de caves, de sous-sol, cotes par rapport au réseau...);
- L'usage des implantations souterraines (parkings, stockage) ;
- La proximité au réseau ;
- etc.

Des données sont difficiles à récupérer par rapport à d'autres. Le groupe de travail du guide RERAU en était conscient. C'est pour cela qu'il n'a pas imposé une méthode de calcul unique pour cet indicateur et a laissé le choix aux gestionnaires des réseaux de proposer leur propre système de notation en prenant en compte les données dont ils disposent. A l'agglo Béziers Méditerranée, nous avons utilisé notre base de données « OC\_SOL » qui contient des informations détaillées sur l'occupation du sol et qui sont liées aux canalisations.

Le tableau suivant est un extrait de cette base de données :

Code	Occupation du sol
1110	Tissu urbain continu
1121	Bâti individuel dense
1122	Bâti individuel lâche
1123	Bâti collectif

1124	Bâti isolé
1131	Zones d'équipements collectifs
1132	Parkings
1133	Places
1210	Zones d'activités économiques (industrielles ou commerciales)
1221	Réseaux routiers
1222	Réseaux ferroviaires
1223	Espaces associés aux réseaux
1230	Zones portuaires
1240	Aéroports
1310	Extraction de matériaux
1321	Décharges
1322	Centre d'enfouissement, déchetterie, station d'épuration
1323	Plans d'eau artificiels, industriels ou pluviaux
1330	Parcs éoliens et photovoltaïques
1340	Chantiers
1411	Parcs aménagés
1412	Terrains vagues et friches urbaines
1421	Espaces bâtis de sports et de loisirs
1422	Espaces ouverts de sports et de loisirs
1430	Terrains de camping
2111	Vignes
2112	Vergers, oliveraies et petits fruits
2120	Maraîchage, serres, autres cultures annuelles, intercultures et jachères
2200	Prairies
2300	Friches
3110	Forêts
3120	Ripisylves
3200	Garrigues, pelouses et milieux naturels ouverts
3310	Plages et étendues de sable
3320	Dunes
3330	Roches nues
3340	Enrochements artificiels (spécifique littoral)
4110	Cours d'eau
4120	Canal
4130	Plans d'eau et étangs

4140	Zones humides et lagunes associés
4200	Mer

*Tableau 2: Base de données « occupation du sol »*

Nous avons ensuite utilisé un système de notation de 1 à 4 pour classer ces données en formant des familles qui risquent d'avoir le même impact sur les canalisations (4 = impact très fort sur la canalisation). Puis nous avons proposé un système de notation binaire (1 ou 4) selon la présence ou pas d'un parking ou d'une cave / sous-sol.

Et enfin nous avons considéré que la note de l'indicateur « V-URB-DOB-EXF » est égale au maximum des trois notes.

**HYD1-O-BV** : Cet indicateur, à 2 ou 4 modalités, est basé sur l'observation de traces de mises en charge au niveau des regards. L'option à 4 modalités peut être basée sur une échelle semi-quantitative :

- Mises en charge importantes et /ou fréquentes ;
- Mises en charge assez importantes et /ou fréquentes ;
- Mises en charge peu importantes et /ou fréquentes ;
- Pas de mises en charge observées.

Nous avons obtenu cette information à partir des IVP au niveau de chaque tronçon.

**HYD2-O-BV** : Nous avons considéré que la valeur de cet indicateur est égal à la valeur de l'indicateur HYD1-O-BV. La différence entre eux n'est pas énorme, nous avons choisi de s'en servir pour le calcul d'autres indicateurs composites.

**V-URB-NUH** : Cet indicateur est défini à l'échelle de chaque bâtiment mais peut être intégré à l'échelle d'un tronçon. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Il est défini à l'échelle d'un secteur, mais peut facilement être transposé à l'échelle des tronçons, puisqu'il concerne des impacts locaux.

Les données à prendre en compte proposées par le guide sont :

Espaces publics :

- Voirie
  - Hypercentre/ reste de l'agglomération ;
  - Voies stratégiques (accès à l'agglomération, desserte de quartiers, transports en commun...);
  - Fréquence de nettoyage des chaussées (en tant qu'indice de sensibilité aux salissures) ;
- Parkings de surface ;
- Parkings souterrains ;
- Espaces verts ;

Espaces privés :

- Période de retour pour le dimensionnement des collecteurs ;
- Coût des sinistres passés ;
- Configuration physique des bâtiments (présence de caves, sous-sol, rez-de-chaussée en contrebas ; sources d'information : mode de raccordement, recensement Insee...)

Pour cet indicateur également le groupe de travail du guide n'a pas imposé une méthode de calcul unique et a laissé le choix aux gestionnaires des réseaux pour proposer leur propre système de notation en considérant les données dont ils disposent.

À l'agglomération Béziers Méditerranée, nous avons proposé comme pour l'indicateur « V-URB-DOB-EXF » une note « OC\_SOL » et une note « caves / sous-sol » puis une note « trafic\_routier » qui prend en compte les informations suivantes :



- ✓ Existence ou pas d'une ligne de bus à proximité
- ✓ Existence de petits ou très petits axes routiers à proximité
- ✓ Pas de route à proximité
- ✓ Existence de réseaux ferroviaires à proximité

Finalement, nous avons considéré que la note de l'indicateur « V-URB-NUH » est le maximum des trois notes.

**ENS1-O-T** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). La fréquence du curage est calculée en faisant la moyenne des curages réalisés sur une période de référence suffisante, 3-5 ans, converti en niveau, en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 :  $F \leq 0,5$
- Niveau 2 :  $0,5 < F \leq 1$
- Niveau 3 :  $1 < F \leq 3$
- Niveau 4 :  $F > 3$

Nous avons décidé de considérer un historique de 11 ans vu la quantité insuffisante de données disponibles sur une période de 5 ans.

**ENS3-O-T** : Cet indicateur est défini l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Le pourcentage maximum d'ensablement par rapport au diamètre est converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 :  $N \leq 15 \%$
- Niveau 2 :  $15 \% < N \leq 30 \%$
- Niveau 3 :  $30 \% < N \leq 50 \%$
- Niveau 4 :  $N > 50 \%$

Afin d'avoir cette information, il faut réaliser des relevés d'ensablement aux niveau de tous les regards et l'affecter au tronçon selon une moyenne amont + aval. Ce travail n'a jamais été fait, par contre François Llopis technicien responsable de la commune nous a informé qu'aucun ensablement n'a jamais été observé. Nous avons décidé alors d'affecter une note de 1 à tous les tronçons.

**BOU3-O-T** : Cet indicateur est défini l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Le nombre d'interventions de bouchage par an est converti en niveau, en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 : 0 ou 1 intervention sur les 5 dernières années ;
- Niveau 2 : 2 ou 3 interventions sur les 5 dernières années ;
- Niveau 3 : 4 ou 5 interventions sur les 5 dernières années ;
- Niveau 4 : plus de 5 interventions sur les 5 dernières années.

Vu la quantité de données insuffisante sur une durée de 5 ans nous avons décidé de considérer un historique des 10 dernières années.

**DSC1** : Cet indicateur est défini l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Différentes données peuvent être utilisées pour estimer le risque d'une dégradation de la liaison sol-conduite :

- Circulations d'eau au sein de la tranchée, nombreuses fuites sur le réseau de distribution d'eau potable à proximité de la conduite
- Position de la conduite par rapport à la nappe (sous nappe, en zone de battement) ;
- Pompage influant ;
- Sol susceptible d'entraînement.

Le tableau suivant est utilisé pour évaluer l'indicateur :

Sol susceptible d'entraînement	Mouvement d'eau	Présence de la nappe au-dessus du radier	Pompage influant	DSC1 (*):+1 si pente $\geq$ 2 %
Non				1*
Oui	Non	Oui		2*
Oui	Oui	Non		2*
Oui	Oui	Oui	Non	3*
Oui	Oui	Oui	Oui	4

*Tableau 3: Notation de l'indicateur DSC1*

Il n'existe aucune nappe sur la commune de Bassan. Les tronçons auront une note de 2 si leur pente est inférieure à 2 % et une note de 3 si leur pente est supérieure à 2 %.

**V-CDV** : Cet indicateur est défini à l'échelle de la conduite. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4) à partir des caractéristiques du collecteur et de données urbanistiques. Les facteurs pouvant rendre très coûteux le remplacement d'une conduite selon le guide sont :

- La profondeur ;
- Les dimensions ;
- L'environnement urbain (aménagements nécessaires en cas d'ouverture de tranchée vis-à-vis de la circulation, de l'accès aux commerces, etc.)

Pour cet indicateur également le groupe de travail du guide n'a pas imposé une méthode de calcul unique et a laissé le choix aux gestionnaires des réseaux pour proposer leur propre système de notation en considérant les données dont ils disposent.

A l'agglo Béziers Méditerranée, nous avons proposé une note « OC\_SOL », une note « dimension + profondeur » et une note « trafic routier ».

La note finale de l'indicateur « V-URB-NUH » est le maximum des trois notes.

**ATC1-E/R-T** : Cet indicateur est défini à l'échelle de la conduite. Il est noté selon deux seuils (1, 4). Les conduites en béton, béton armé, fibre ciment et fonte auront une note de 4 parce que ces matériaux sont les plus susceptibles d'être affectés par une attaque chimique, cependant, les autres conduites auront une note de 1.

**ATC2-E/R-T** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Les tronçons recevant des rejets pouvant être à l'origine d'une attaque chimique sont à identifier à partir de la connaissance des activités des abonnés raccordés. Nous avons fait un tri des entreprises par familles puis nous avons proposé une note selon le type d'activités ainsi que les rejets. Le tableau suivant est un extrait des résultats de cette analyse :

Code	Intitulés de la NAF rév. 2, version finale	Note facteur de risque ATC2
	L'industrie de la sidérurgie et du travail mécanique des métaux	3
239	Fabrication de produits abrasifs et de produits minéraux non métalliques n.c.a.	
241	Sidérurgie	
242	Fabrication de tubes, tuyaux, profilés creux et accessoires correspondants en acier	
243	Fabrication d'autres produits de première transformation de l'acier	

244	Production de métaux précieux et d'autres métaux non ferreux	
245	Fonderie	
251	Fabrication d'éléments en métal pour la construction	
252	Fabrication de réservoirs, citernes et conteneurs métalliques	
253	Fabrication de générateurs de vapeur, à l'exception des chaudières pour le chauffage central	
254	Fabrication d'armes et de munitions	
255	Forge, emboutissage, estampage ; métallurgie des poudres	
256	Traitement et revêtement des métaux ; usinage	
257	Fabrication de coutellerie, d'outillage et de quincaillerie	
259	Fabrication d'autres ouvrages en métaux	
261	Fabrication de composants et cartes électroniques	
	<b>Matériel électrique, électronique, optique</b>	
262	Fabrication d'ordinateurs et d'équipements périphériques	
263	Fabrication d'équipements de communication	
264	Fabrication de produits électroniques grand public	
265	Fabrication d'instruments et d'appareils de mesure, d'essai et de navigation ; horlogerie	
268	Fabrication de supports magnétiques et optiques	
271	Fabrication de moteurs, génératrices et transformateurs électriques et de matériel de distribution et de commande électrique	
272	Fabrication de piles et d'accumulateurs électriques	
273	Fabrication de fils et câbles et de matériel d'installation électrique	3
274	Fabrication d'appareils d'éclairage électrique	
275	Fabrication d'appareils ménagers	
279	Fabrication d'autres matériels électriques	
281	Fabrication de machines d'usage général	
282	Fabrication d'autres machines d'usage général	
283	Fabrication de machines agricoles et forestières	
284	Fabrication de machines de formage des métaux et de machines-outils	
289	Fabrication d'autres machines d'usage spécifique	
351	Production, transport et distribution d'électricité	
	<b>La mécanique industrielle dont l'usinage</b>	2
161	Sciage et rabotage du bois	
162	Fabrication d'articles en bois, liège, vannerie et sparterie	
206	Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques	
221	Fabrication de produits en caoutchouc	

222	Fabrication de produits en plastique	
310	Fabrication de meubles	
321	Fabrication d'articles de joaillerie, bijouterie et articles similaires	
322	Fabrication d'instruments de musique	
323	Fabrication d'articles de sport	
324	Fabrication de jeux et jouets	
332	Installation de machines et d'équipements industriels	
329	Activités manufacturières n.c.a.	

*Tableau 4: Notation de l'indicateur ATC2 selon le type d'activités des entreprises*

Ensuite les notes sont affectées à l'échelle du tronçon en considérant une distance maximale de 4m entre le réseau et l'entreprise.

**ATC3-C-T :** Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Sont concernés par ce risque les tronçons en aval d'une station de relèvement ou de refoulement, ou par lesquels transitent des effluents caractérisés par un temps de séjour important.

Les tronçons à l'aval immédiat d'une station de relèvement ou de refoulement auront une note1 égale à 4, les tronçons juste après auront une note1 égale à 3 et ainsi de suite en suivant la topologie du réseau. La note2 sera affectée aux tronçons en se basant sur leur temps de séjour selon le modèle suivant :

Temps de séjour en heures	Classification	Note2
Inférieur à 2 heures	Assez faible	1
De 2 à 2,9 heures	Faible	
De 2,9 à 4 heures	Moyen	2
De 4 à 6 heures	Assez important	3
De 6 à 8 heures	Important	
Supérieur à 8 heures	Très important	4

*Tableau 5: Classification des temps de séjour*

La note de l'indicateur ATC3-C-T est égale au maximum des deux notes (note1 et note2).

**ATC4-E/O-T :** Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon deux seuils (1, 4). Les tronçons en amont immédiat des tronçons ayant une note de 3 ou 4 pour l'indicateur ATC2-E/R-T auront une note de 4, et les autres tronçons auront une note de 1.

**ATC5-E/O-T :** Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon deux seuils (1, 4). Les tronçons à l'aval immédiat des tronçons ayant une note de 3 ou 4 pour l'indicateur ATC3-O-T auront une note de 4, et les autres tronçons auront une note de 1.

**ABR1-E/R-T :** Cet indicateur est défini à l'échelle de la conduite ou du bassin versant. Il est noté selon deux seuils (1, 4). Les conduites à base de ciment « béton, béton armé, fibre ciment et amiante-ciment » auront une note de 4 parce qu'ils sont les plus sensibles à une abrasion, alors que les autres conduites auront une note de 1.

**ABR2-E/R-T :** Cet indicateur est défini à l'échelle de la conduite ou du bassin versant. Il est noté selon trois seuils (1, 2, 3). Les conduites à risque sont les conduites où transitent un effluent très chargé en matières solides, avec une vitesse d'écoulement importante ( $> 4 \text{ m / s}$ ) (AGHTM, 1999) :

- Niveau 3 : vitesse d'écoulement importante et effluent très chargé en matières solides ;
- Niveau 2 : vitesse d'écoulement importante ;
- Niveau 1 : autres cas.

Nous avons proposer les seuils suivants pour les vitesses d'écoulement :

- Niveau 3 : vitesse de l'écoulement supérieure à 2 m/s
- Niveau 2 : vitesse de l'écoulement comprise entre 1 et 2 m/s
- Niveau 1 : vitesse de l'écoulement inférieure à 1 m/s

La note de l'indicateur ABR2-E/R-T est le maximum de la note de la vitesse de l'écoulement et la note de l'IVP.

**EFF1-E/R-T** : Cet indicateur est défini à l'échelle de la conduite ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Outre l'âge et la période de pose, de nombreux facteurs de risque d'effondrement peuvent être considérés :

- Le matériau de la conduite ;
- La hauteur de couverture ;
- La position sous chaussée et le trafic ;
- La localisation de la conduite dans une zone de risque géotechnique (glissement, tassement, etc.) ;
- Le nombre de branchements ;
- Etc.

Nous avons pris en compte 7 critères différents pour évaluer cet indicateur : l'âge de la conduite, le matériau, la hauteur de la couverture, la position ou pas sous chaussée, le trafic routier, le nombre de branchements et le mouvement du terrain. Nous avons ensuite proposé une note pour chaque critère en considérant le risque d'effondrement.

- Âge
  - ✓ Niveau 4 : si l'âge de la conduite est supérieur à 80 ans
  - ✓ Niveau 3 : si l'âge de la conduite est compris entre 38 et 80 ans
  - ✓ Niveau 2 : si l'âge de la conduite est compris entre 18 et 37 ans
  - ✓ Niveau 1 : si l'âge de la conduite est compris entre 0 et 17 ans
- Matériau
  - ✓ Niveau 4 : Amiante-ciment
  - ✓ Niveau 3 : Acier, Béton, Grès
  - ✓ Niveau 2 : Polychlorure de vinyle, polypropylène, PVC, matériau indéterminé
  - ✓ Niveau 1 : Fonte
- Hauteur de couverture (Profondeur – diamètre) : Les profondeurs des tronçons ont été renseignées en faisant la moyenne de la profondeur des regards amont/aval. La profondeur des regards est une information récupérée à partir des plans et levés topographiques, des plans de récolements ou des IVP. Nous étions obligés dans certains cas de renseigner la profondeur de la conduite voisine afin d'avoir l'information sur l'ensemble du réseau de la commune.
  - ✓ Niveau 4 : La hauteur de couverture est inférieure à 1m
  - ✓ Niveau 3 : La hauteur de couverture est comprise entre 1 et 1,5 m
  - ✓ Niveau 2 : La hauteur de couverture est comprise entre 1,5 et 2 m
  - ✓ Niveau 1 : La hauteur de couverture est supérieure à 2m
- Position sous chaussée :
  - ✓ Niveau 4 : Position de la conduite sous chaussée
  - ✓ Niveau 1 : sinon
- Trafic routier : nous avons gardé le même système de notation cité plus haut pour ce critère.

- Nombre de branchements :
  - ✓ Niveau 4 : plus que 6 branchements
  - ✓ Niveau 3 : entre 4 et 6 branchements
  - ✓ Niveau 2 : entre 1 et 3 branchements
  - ✓ Niveau 1 : 0 branchements
- Mouvement du terrain :
  - ✓ Niveau 4 : zone avec risque « mouvement de terrain »
  - ✓ Niveau 1 : zone sans risque « mouvement de terrain »

La note de l'indicateur EFF1-E/R-T est égale à la moyenne haute des notes des sept critères précédents.

**EFF2-E/R-T** : L'état structurel du tronçon est estimé à partir des fonctions de survie de la catégorie à laquelle appartient ce tronçon (matériau). Par souci de simplification, nous avons considéré que cet indicateur est égal à l'indicateur EDS. Nous expliquerons plus loin dans le rapport comment cet indicateur a été évalué.

**V-URB-DOB-EFF** : Cet indicateur est défini à l'échelle de chaque bâtiment mais peut être intégré à l'échelle d'un tronçon. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Il peut prendre en compte des facteurs tels que :

- L'usage des bâtiments ;
- La proximité du réseau ;
- La taille et la profondeur des ouvrages ;
- La nature du sol ;
- Etc.

Nous avons pris en compte comme facteurs : la proximité du bâti, la dimension + la profondeur et la nature du sol. Nous les avons évalués de la manière suivante :

- Proximité du bâti :
  - ✓ Niveau 4 : la conduite passe en dessous d'un bâtiment
  - ✓ Niveau 1 : sinon
- Dimension + profondeur (le maximum des deux notes)
  - ✓ Dimension (diamètre)
    - ◆ Niveau 4 : le diamètre de la conduite est supérieur à 400mm
    - ◆ Niveau 1 : le diamètre de la conduite est inférieur à 400mm
  - ✓ Profondeur
    - ◆ Niveau 4 : la profondeur de la conduite est supérieure à 2,5m
    - ◆ Niveau 1 : la profondeur de la conduite est inférieure à 2,5m
- Nature du sol :
  - ✓ Niveau 4 : rocheux
  - ✓ Niveau 3 : argileux, limoneux, marneux, sableux
  - ✓ Niveau 2 : alluvionnaire, caillouteux,
  - ✓ Niveau 1 : nature terrain inconnue

La note de l'indicateur V-URB-DOB-EFF est égale au maximum des trois notes.

**V-URB-TRA** : Le tableau suivant résume le système d'évaluation utilisé pour cet indicateur.

		BUS	
		Pas de ligne de bus à proximité	Ligne de bus à proximité
TRAFIC ROUTIER	Pas de route à	1	2

	<b>proximité</b>		
	<b>Petits axes routiers (liaisons à l'intérieur d'une commune)</b>	3	4
	<b>Très petits axes routiers (liaisons à l'intérieur d'une commune)</b>	2	3

*Tableau 6: Notation de l'indicateur V-URB-TRA*

**V-ES-POL** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon trois seuils (1, 2, 3).

- Niveau 1 : milieu récepteur peu sensible à la qualité des rejets ;
- Niveau 2 : milieu récepteur sensible ;
- Niveau 3 : milieu récepteur très sensible.

Fabien DADER « responsable du service ouvrages » nous a confirmé que le libron (milieu récepteur de la commune de Bassan) est très sensible à la pollution. Nous avons donc affecté une note de 3 pour tous les tronçons pour cet indicateur.

**DEV4-TS-O-BV** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). %, converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 :  $F < 0,25 \%$  (0,5 j / 200)
- Niveau 2 :  $0,25 \% < F < 1 \%$  (2 j / 200)
- Niveau 3 :  $1 \% < F < 8 \%$  (16j / 200)
- Niveau 4 :  $F > 8 \%$ ,

Avec F : Nombre de jours avec débordement en l'absence de pluie significative (moyenne sur 5 ans « 2012-2016 ») / Nombre de jours sans pluie significative. Une pluie significative est une pluie supérieure à un seuil conventionnel (ex : 2 mm / h), et inférieure à un seuil de dimensionnement (exemple période de retour décennale).

Nous avons utilisé les données suivantes (rapport annuel mise 2016) pour le calcul :

(2012) 5 / 356 ; (2013) 5 / 334 ; (2014) 0 / 351 ; (2015) 0 / 365 ; (2016) 3 / 339

Moyenne (2,6 / 249)  $\Rightarrow F = 2,6 / 249 = 0,7 \%$

Toutes les conduites auront alors une note de 2 pour cet indicateur.

**DEV5-TP-O-BV** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). %, converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 :  $F < 0,25 \%$  (0,5 j / 200)
- Niveau 2 :  $0,25 \% < F < 1 \%$  (2 j / 200)
- Niveau 3 :  $1 \% < F < 8 \%$  (16 j / 200)
- Niveau 4 :  $F > 8 \%$

Avec F : Nombre de jours avec déversement avec pluie significative / Nombre de jours avec pluie significative (moyenne sur 5 ans « 2012-2016 »).

(2012) 2 / 9 ; (2013) 7 / 31 ; (2014) 3 / 14 ; (2015) 0 / 0  $\Rightarrow 0$  ; (2016) 7 / 26

Nous avons utilisé les données suivantes (rapport annuel mise 2016) pour le calcul :

$(2/9+7/31+3/14+0+7/26)/5 = 0,186 \Rightarrow F = 18,6 \%$

Toutes les conduites auront alors une note de 4 pour cet indicateur.

**POL2b-INF-STEP-O-BV** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). %, converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- niveau 1 :           taux = 0 %
- niveau 2 : 0 % < taux ≤ 5 %
- niveau 3 : 5 % < taux ≤ 10 %
- niveau 4 :           taux > 10 %

Avec taux : Nombre de jours avec dépassement de l'autorisation de rejet attribuable aux EPI / Nombre de jours total de la période de référence. (cumul sur 5 ans « 2012-2016 »)

Nous avons utilisé les données suivantes (rapport annuel mise 2016) pour le calcul :

2012 ⇒ 7<12 ⇒ 0 jour de dépassement

2013 ⇒ 12=12 ⇒ 0 jour de dépassement

2014 ⇒ 3<12 ⇒ 0 jour de dépassement

2015 ⇒ 0<12 ⇒ 0 jour de dépassement

2016 ⇒ 10<12 ⇒ 0 jour de dépassement

Donc taux = 0 % ⇒ niveau 1

Toutes les conduites auront alors une note de 1 pour cet indicateur.

**V-STEP-INF** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant : step. Il est noté selon trois seuils (1, 2, 3). Le guide distingue 3 niveaux de sensibilité de la STEP :

- Niveau 1 : efficacité des traitements peu affectée par les EPI ;
- Niveau 2 : efficacité des traitements notablement affectée par les EPI ;
- Niveau 3 : efficacité des traitements fortement affectée par les EPI.

Selon Fabien DADER, la capacité hydraulique de la station est affectée mais l'efficacité des traitements ne l'est pas.

Toutes les conduites auront alors une note de 1 pour cet indicateur.

**DOB1-O-T** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon deux seuils (1, 4). Par souci de simplification, nous avons pris cet indicateur égal à l'indicateur V-URB-DOB-EXF puisqu'ils sont très semblables.

**POL2a-DEV-O-BV** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau, du secteur ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). %, converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 :           taux ≤ 0 %
- Niveau 2 : 0 % < taux ≤ 20 %
- Niveau 3 : 20 % < taux ≤ 100 %
- Niveau 4 :           taux > 100 %

Avec taux : (Nombre de jours avec déversement avec pluie non exceptionnelle - Nombre de jours autorisés) / MAX (nombre de jours autorisés, 1). Nous prenons un cumul sur 5 ans « 2012-2016 ».

Nous avons utilisé les données suivantes (rapport annuel mise 2016) pour le calcul :

2012 ⇒ 5 (5-12)/12 ⇒ -7/12 = -0,58 %

2013 ⇒ 1 (1-12)/12 ⇒ -11/12 = -0,96/ %

2014 ⇒ 0 (0-12)/12 ⇒ 0/12 = 0 %

2015 ⇒ 0 (0-12)/12 ⇒ 0/12 = 0 %

2016 ⇒ 0 (0-12)/12 ⇒ 0/12 = 0 %

Moyenne sur 5 ans = 0,3 %

Toutes les conduites auront alors une note de 2 pour cet indicateur.

Remarque : Une valeur négative indique un respect de l'autorisation de rejet.



**DEB4-TS-O-BV** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Nombre d'événements (jours avec débordement en l'absence de pluie significative) en 5 ans converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- Niveau 1 : aucun événement sur 5 ans ;
- Niveau 2 : 1 événement sur 5 ans ;
- Niveau 3 : 2 à 4 événements sur 5 ans ;
- Niveau 4 : 5 événements ou plus sur 5 ans.

Sur la période « 2012-2016 », 11 événements ont été observés (rapport annuel mise 2016). Toutes les conduites auront donc une note de 4 pour cet indicateur.

**DEB5-TP-O-BV** : Cet indicateur est défini à l'échelle du réseau, du secteur ou du bassin versant. Il est noté selon quatre seuils (1, 2, 3, 4). Nombre d'événements (jours avec débordement avec pluie significative / nombre de jours avec pluie significative) en 5 ans converti en niveau en utilisant les seuils suivants :

- niveau 1 : aucun événement sur 5 ans ;
- niveau 2 : 1 événement sur 5 ans ;
- niveau 3 : 2 à 4 événements sur 5 ans ;
- niveau 4 : 5 événements ou plus sur 5 ans.

Sur la période « 2012-2016 », 19 événements ont été observés (rapport annuel mise 2016). Toutes les conduites auront donc une note de 4 pour cet indicateur.

**EDS-E-T** : Cet indicateur représente l'état de santé du tronçon estimé par modèle de vieillissement. Les modèles de vieillissement sont des courbes appelées « courbes de survie » [5] qui permettent d'estimer l'état structurel d'une canalisation en se basant sur son âge et sur d'autres critères notamment le matériau. Plusieurs indicateurs composites dépendent de cet indicateur. Nous étions donc obligés d'établir ces courbes malgré la grande difficulté de l'exercice. Il a fallu collecter les données et surtout bien cerner les méthodes de calcul qui se basent sur des estimations statistiques et des codes de calcul sous le logiciel R. Nous avons appliqué dans un premier temps une estimation empirique simple qui se base sur la relation de Kaplan – Meier. Elle considère l'âge des canalisations comme seul paramètre d'estimation sachant qu'une vieille canalisation n'est pas forcément en mauvaise état, mais nous donne quand même une idée générale sur l'état du patrimoine. Puis dans un second temps, nous avons appliqué une estimation paramétrique plus intéressante se basant sur l'outil « Gompitz » de modélisation et prédiction du vieillissement des conduites développé par l'IRSTEA. Nous avons été assistés par M. Yves LEGAT qui nous a aidé dans toute la démarche de l'élaboration des courbes (annexe5).

## **Annexe 5: Courbes de survie**

### **Introduction**

L'analyse des données de survie s'attache à l'analyse du délai de survenue d'un événement (la fin de vie d'un élément). Sa particularité est que tous les éléments (patients, machines, canalisations dans notre cas ...) ne vont pas présenter l'événement pendant la période de suivi, le délai d'apparition de l'événement est alors inconnu chez ces éléments. Pour ces derniers, le temps de survie est dit censuré, c'est-à-dire que la période d'observation a été interrompue avant que l'événement ne survienne. L'analyse de ce type de données requiert des méthodes adaptées simplement parce que les éléments n'ont pas tous présenté l'événement sur un délai d'observation variable d'un élément à l'autre.

La variable étudiée au cours de l'analyse des données de survie est le délai de survenue de l'événement au cours du suivi. L'analyse serait simple si tous les éléments présentaient l'événement pendant le suivi, car il suffirait de présenter les délais moyens, médians... pour résumer les données. La particularité des données de survie est qu'à la fin de la période de suivi, l'événement d'intérêt n'a pas été observé chez tous les éléments. Imaginons par exemple que nous réalisons sur deux ans une cohorte prospective de patients consécutifs présentant une embolie pulmonaire, afin d'évaluer leur risque de mortalité. La durée de suivi peut être variable d'un patient à l'autre : la probabilité d'événement est supérieure chez les patients ayant une durée d'observation plus longue, c'est-à-dire les patients inclus en début de cohorte, et au contraire très faible si le recul est court (derniers patients inclus). Paradoxalement, les patients décédés peuvent avoir une survie observée plus longue que ceux encore en vie ! Pourtant, on ne peut pas dire qu'un patient en vie à 2 mois vit plus longtemps qu'un patient qui décède à 4 mois... Ainsi, pour un patient vivant en fin de suivi, nous ne savons pas quand il aurait présenté l'événement, mais seulement que l'événement ne s'est pas produit pendant le suivi. Ce type d'analyse n'est pas propre au domaine médical, malgré le mot « survie ». On peut s'intéresser à la durée de vie d'un lave-vaisselle ou d'une canalisation d'assainissement et évaluer le délai de sa survie. L'événement « fin de vie » devrait se produire pour toutes les canalisations, mais pas forcément pendant le délai d'observation si celui-ci est trop court... Nous allons donc analyser le délai de survenue d'un événement qui ne s'est pas produit pour tous les éléments. Le temps de survie est dit censuré, indiquant que la période d'observation a été interrompue avant que l'événement ne survienne.

### **Historique**

Le domaine médical est le premier domaine ayant utilisé de façon universelle ce type d'analyse et plus précisément dans la cancérologie, domaine pour lequel les premières thérapies permettaient essentiellement d'augmenter l'espérance de vie. Le terme « analyse des données de survie » est resté, même si d'autres événements que la mort peuvent être analysés par ce type d'approche.

### **Population d'étude**

Comme pour les autres types d'étude, il faut minimiser les biais de sélection pour obtenir un échantillon représentatif de la population à laquelle nous souhaitons généraliser les résultats. En particulier, il faut contrôler la comparabilité des caractéristiques des canalisations inclus dans l'échantillon vis à vis de leur fin de vie. Pour une étude descriptive, il faut s'assurer que les participants inclus ne sont pas en meilleure santé que les non-participants (c'est à dire ne pas prendre en compte dans l'étude que des canalisations en bonne état ou que des canalisations en mauvaise état mais plutôt un échantillon homogène qui inclut tous les états possibles « note INDIGAU de G1 à G4 ») et que leur suivi débute et finit au même temps en prenant la même fenêtre d'observation pour tout l'échantillon (2007-2017 par exemple).

Finalement, la taille de l'échantillon doit-être définie a priori avant le début de l'étude pour s'assurer une puissance statistique suffisante permettant de répondre à l'objectif principal fixé et l'effectif inclus doit être d'autant plus grand que le taux attendu de l'événement est faible.

### Méthodes de calcul des fonctions de survie :

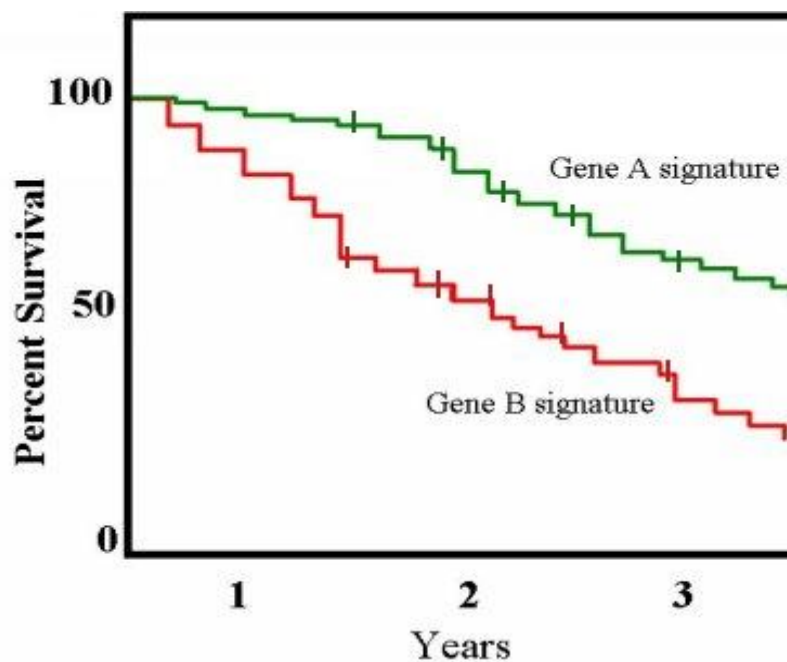
Plusieurs méthodes de calcul des fonctions de survie existent, des méthodes permettant de faire des estimations non paramétriques qui considèrent qu'une seule variable est à l'origine de l'apparition de l'événement (l'âge de la canalisation dans notre cas), et d'autres estimations paramétriques plus explicatives qui considèrent que plusieurs paramètres participent à l'apparition de l'événement et ils sont pris en compte dans l'étude (âge, diamètre, matériau, longueur ... dans notre cas).

### Estimateur de Kaplan-Meier

La plus connue des méthodes non-paramétriques est l'estimateur de Kaplan-Meier, il consiste à estimer la fonction de survie d'après des données de durée de vie.

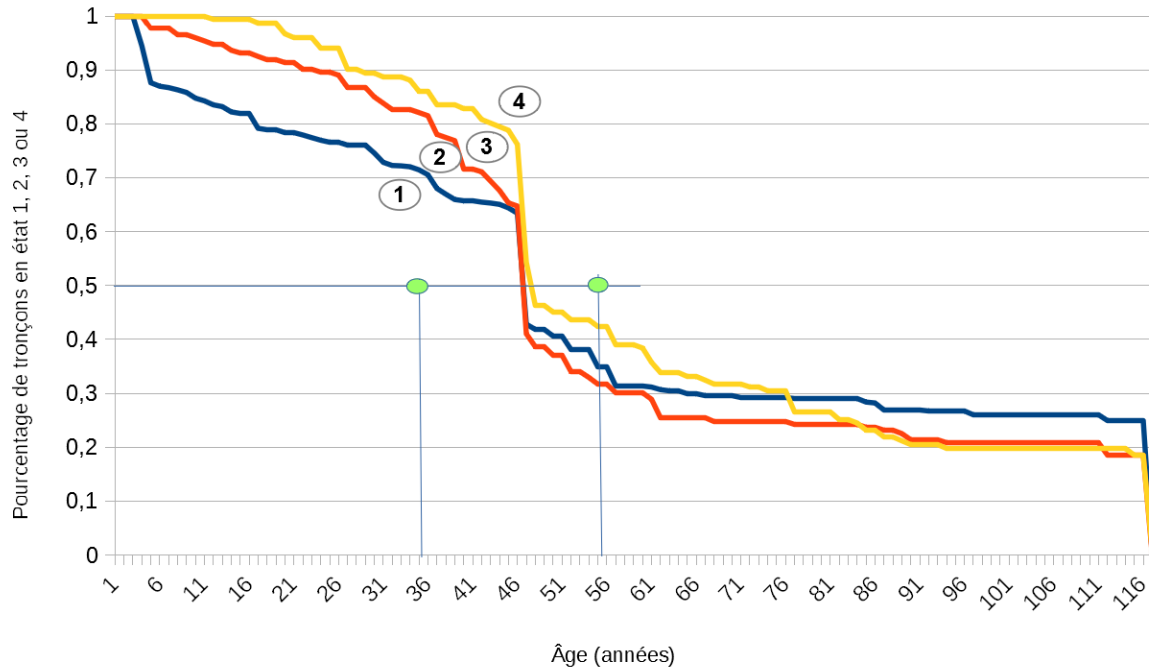
La courbe d'estimation de Kaplan-Meier pour la fonction de survie est une série de marches horizontales de grandeur décroissante qui, quand un échantillon suffisamment grand est utilisé, permet d'approcher la fonction de survie réelle dans cette population (figure). La valeur de la fonction de survie entre les échantillons successifs observés est considérée comme étant constante.

Un avantage important de la courbe de Kaplan-Meier est que cette méthode peut prendre en compte certains types de données censurées, en particulier censurées par la droite, ce qui intervient lorsqu'un individu disparaît d'une étude, c'est-à-dire qu'on ne dispose plus de ses données avant que l'événement attendu soit observé. Si aucune troncature ou censure n'intervient, la courbe de Kaplan-Meier est équivalente à la fonction de survie.



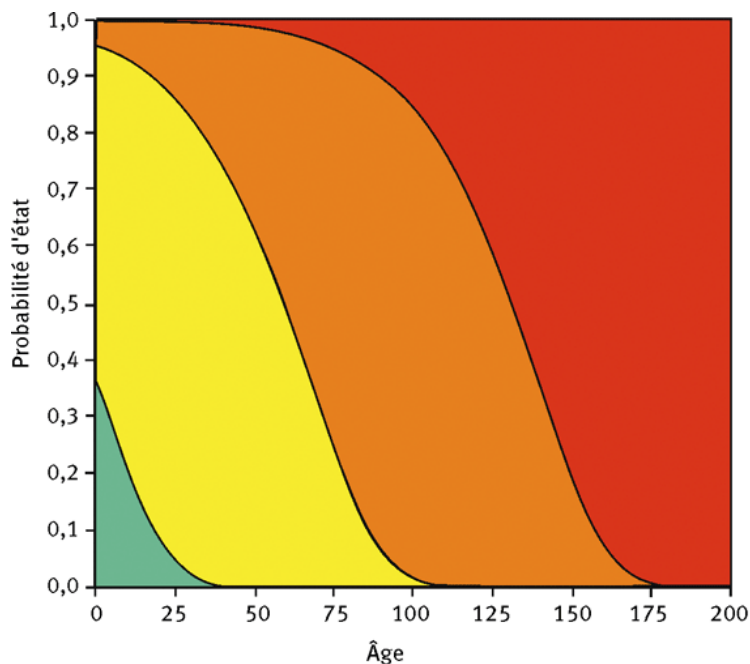
Dans notre cas, nous avons réalisé trois courbes de survie à l'aide de l'estimateur de Kaplan-Meier, chaque courbe correspond à une classe d'état donnée par INDIGAU (G1,G2,G3), puis nous les avons rassemblé sur un même graphique afin de pouvoir estimer directement l'état d'une canalisation en se basant uniquement sur son âge.

Courbes de survie pour quatre états de dégradation successifs



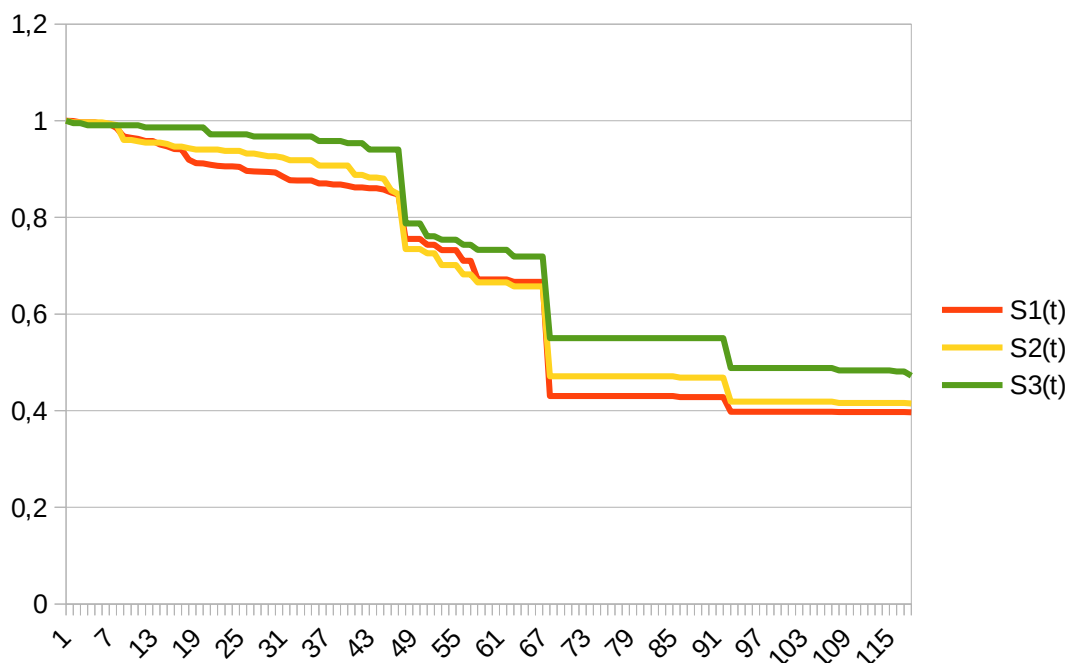
Pour déterminer l'état structurel d'un tronçon on croise son âge avec la médiane horizontale des 50 % (ligne de 0,5). Par exemple ci-dessus, l'état structurel d'un tronçon âgé de 36 ans est G1, alors qu'il est de G4 pour un tronçon âgé de 56 ans.

Les courbes trouvées ont une allure différente de l'allure théorique des courbes de survie (figure) :



Ce résultat nous laisse se poser des questions sur la fiabilité des années de pose des canalisations de l'échantillon étudié. Il s'est avéré que les années de pose étaient assez mal renseignées et plutôt par grandes périodes (plusieurs canalisations datent de 1900 et 1970) ce qui a faussé les résultats. Nous avons décidé ensuite de corriger ces années de pose en se basant sur les années de construction des bâtiments ainsi que les années de fabrication des matériaux des canalisations.

Nous avons réussi ensuite à avoir des courbes de survie plus logiques :



### Estimation à l'aide de la méthode Gompitz :

Gompitz est un outil développé à l'Unité de Recherche Hydraulique et Génie Civil (REBX) du Centre Irstea de Bordeaux, dans le cadre du WP2.2 du programme Care5 du programme FP5. Ce programme informatique est écrit en langage C (ANSI C90).

Le modèle statistique sous-jacent de Gompitz est une chaîne de Markov non homogène, formalisée par une matrice de probabilités de transition d'état variables dans le temps. Ces probabilités de transition sont des fonctions de paramètres qui expliquent:

- les états concernés par la transition (paramètres "Alpha"),
- les facteurs explicatifs propres au tronçon et son environnement supposés influencer la condition initiale (à la disposition du tronçon) (paramètres "Beta0"),
- facteurs explicatifs supposés influencer la vitesse de détérioration (paramètres "Beta1"),
- l'écart-type des effets aléatoires individuels (distribution «Facteurs de fragilité individuels» = IFF) (paramètre «Sigma»).

Afin de pouvoir utiliser l'outil correctement, il était nécessaire de préparer les données d'entrée au préalable. Nous avons récupéré électroniquement quand cela était possible, et "à la main" sinon (plans de recollement et rapports d'ITV), l'ensemble des informations concernant les collecteurs, en service et mis hors service ou réhabilités ces dernières 5 années; cela a permis d'étudier une survie paramétrique plus explicative, fonction de l'âge, de l'état et des covariables. Concernant l'état des collecteurs, nous avons transformé les fichiers textes des ITV qui respectaient la norme en note d'état à l'aide d'Indigau et nous avons corrigé manuellement les fichiers textes des ITV qui ne respectaient pas la norme afin de les traiter à l'aide d'Indigau.

Les données nécessaires à l'étude étaient présentées en deux fichiers : descriptif des tronçons et historique des inspections.

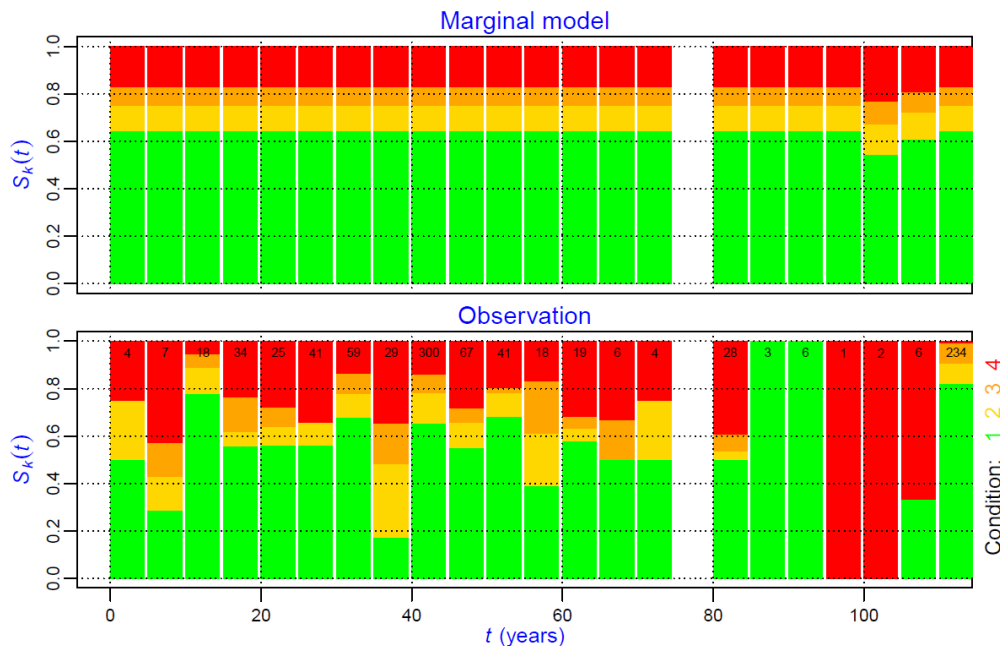
Le descriptif contenait l'identifiant du tronçon, la date de pose, la date de mise hors service ou réhabilitation (vide si encore en service), le matériau et le diamètre. L'historique d'inspection contenait l'identifiant du tronçon (commun avec le fichier descriptif), la date d'inspection, et la classe d'état observée.

L'étude a été faite sur un échantillon de 75 km de tronçons inspectés sur la totalité du réseau de l'agglomération. Nous avons été assistés par M. Yves LEGAT ingénieur chercheur à l'Irstea de Bordeaux et développeur de l'outil Gompitz dans la réalisation de ce travail. Nous avons réécrit tous les scripts

sous le logiciel R afin d'avoir des résultats propres aux données de l'agglomération Béziers Méditerranée, (pour plus de détails, consultez l'article suivant : « Modélisation de la dégradation des canalisations d'égout dans CareS: Guide de l'utilisateur de l'outil GompitZ - version 2.08 »).

Nous avons réalisé un premier test sur les tronçons en amiante-ciment uniquement afin d'avoir une idée claire sur la réponse de l'outil.

Le script complété a produit un double graphique en pdf qui met en regard les distributions des états par âge (ou classe d'âge - ici de 5 ans) observées et calculées (sans prise en compte ici de la fragilité individuelle - en général il y a peu de différence visuelle entre modèle avec IFF et modèle marginal).



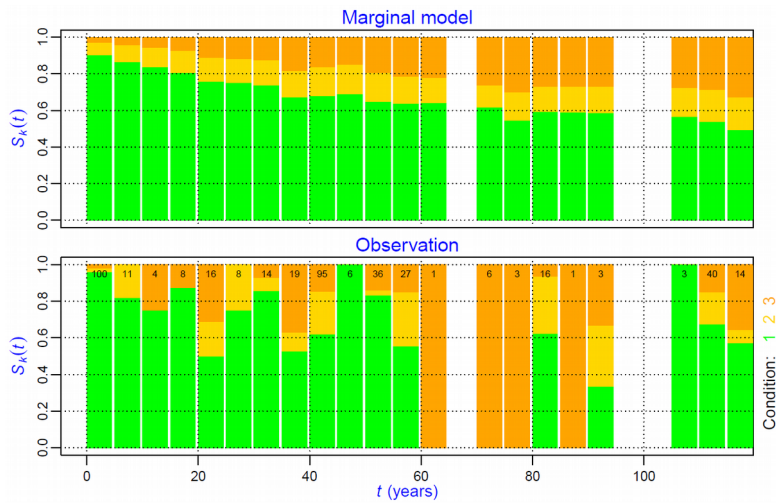
Quand nous examinons le graphique du bas (observation), aucun effet de vieillissement n'est apparent ; en outre, les âges observés sont très concentrés sur les classes 40-44 et 110-114 ans.

La principale question pour ces tuyaux en amiante-ciment est celle de la connaissance de leurs années de pose, cela rejoint la conclusion faite à l'aide de l'estimateur de Kaplan-Meier.

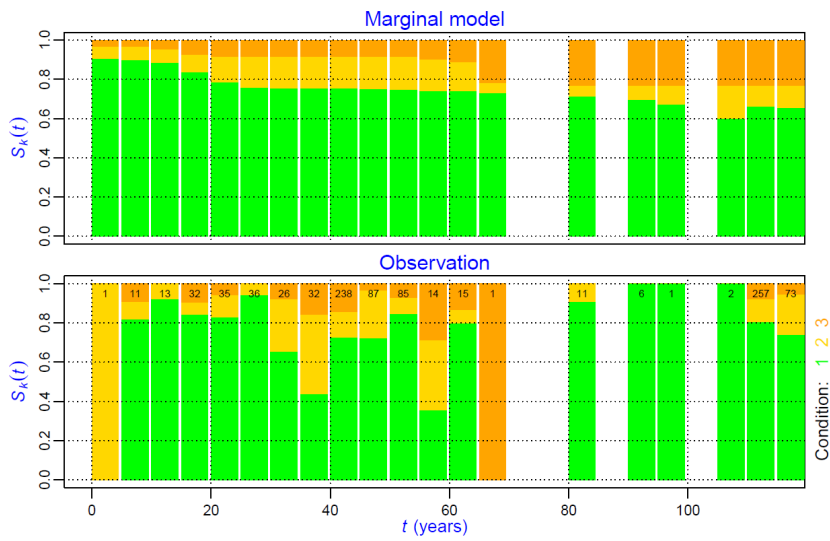
En se référant à notre échantillon, trois matériaux sont prépondérants (béton, amiante-ciment et pvc) nous pourrions donc réaliser trois modélisations différentes mais nous ne pourrions pas avoir de courbes de survie pour les autres matériaux vu leur petit nombre. Pour résoudre ce problème, nous avons décidé de réaliser des modélisations globales en regroupant les matériaux les plus proches par rapport au critère du vieillissement. Le tableau suivant résume les regroupements faits :

Matériau rigide/semi rigide « BFGM »	Matériau friable « AC »	Matériau souple « Plast »
Béton	Amiante-ciment	PVC (polychlorure de vinyle)
Grès		Polyéthylène
Fonte		Polypropylène
Maçonnerie		

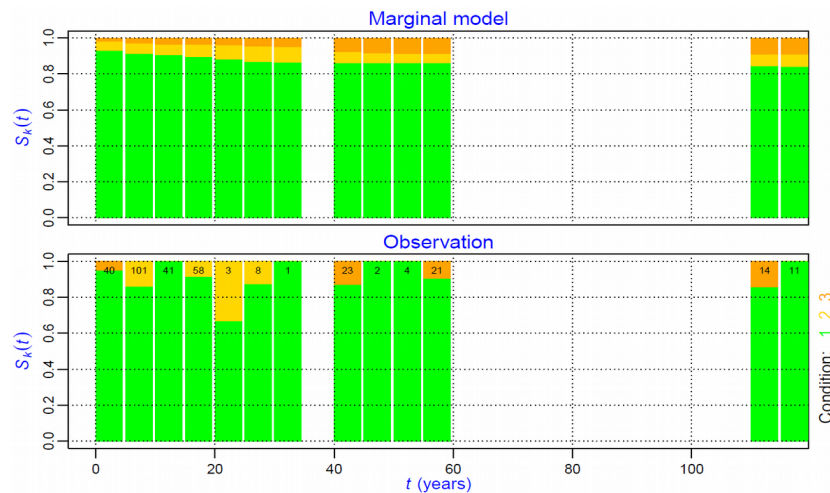
Les résultats trouvés sont satisfaisants puisque les différentes modélisations ont convergé et l'allure des courbes est cohérente.



Courbes de survie « BFGM »



Courbes de survie « AC »



Courbes de survie « Plast »

Le script permet aussi de générer des probabilités d'état pour une année de prédiction choisie, ces probabilités d'état permettent ensuite de calculer l'indicateur RERAU « EDS : état de santé de la canalisation ».

## Annexe 6: Calcul des indicateurs RERAU composites

**INF5-E/R-T** : Cet indicateur est calculé à partir du croisement des deux indicateurs EDS-E-T et INF2-E/R-T selon la matrice suivante :

	EDS-E-T	1	2	3	4
INF2-E/R-T					
1 – niveau de nappe constamment inférieur au radier, ou remblai étanche		1	1	1	1
2 – niveau de nappe temporairement supérieur à la cote du radier		1	2	3	3
3 – niveau de nappe fréquemment ou en permanence supérieur à la cote du radier		2	3	4	4

*Tableau 1: Notation de l'indicateur INF5*

**INF7-C-T** : Deux cas se présentent pour le calcul de cet indicateur :

- Cas 1 : si les observations obtenues lors de l'investigation (INF3-O-T) sont significatives (constat d'infiltration, ou bien constat d'absence d'infiltration en période favorable) l'indicateur global INF7-C-T prend la valeur de l'indicateur INF3-O-T. Cependant, si INF3-O-T = 2, et si les infiltrations sont importantes sur le BV (INF1-O-BV = 3 ou 4) et si le tronçon est suspecté de présenter des défauts d'étanchéité significatifs et des conditions favorables à l'infiltration ( $INF5 \geq 3$ ), alors  $INF7-C-T = INF3-O-T + 1$ .
- Cas 2 : en l'absence d'observations significatives à l'échelle du tronçon (INF3-O-T = ?) l'indicateur global INF7-C-T prend la valeur de INF5-E/R-T, éventuellement minoré d'une classe si les infiltrations sont faibles sur le BV (INF1-O-BV = 1 ou 2).

Nous avons des valeurs de 3 et 4 pour l'indicateur INF3-O-T, nous sommes donc dans le premier cas. L'indicateur INF7-C-T prend la valeur de l'indicateur INF3-O-T.

**EXF5-E/R-T** : Cet indicateur est calculé en croisant les deux indicateurs EDS-E-T et EXF2-E/R-T selon la matrice suivante :

	EDS-E-T	1	2	3	4
EXF2-E/R-T					
1 – niveau de nappe constamment supérieur au radier, ou remblai étanche, ou encaissant imperméable		1	1	1	1
2 – niveau de nappe temporairement inférieur à la cote du radier, ou inconnu		1	2	3	4
3 – niveau de nappe fréquemment ou en permanence inférieur à la cote du radier + terrain perméable		1	3	4	4

*Tableau 2: Notation de l'indicateur EXF5*

**EXF7-C-T** : Cet indicateur est calculé par le croisement des trois indicateurs EXF1-O-BV, EXF3-O-T et EXF5-E/R-T selon la matrice suivante :

	MAX(EXF1-O-BV, EXF3-O-T)	? = 1	1	2	3	4
EXF5-E/R-T						
1		1	1	1	2	2
2		2	2	2	3	3
3		3	3	3	4	4
4		4	4	4	4	4

*Tableau 3: Notation de l'indicateur EXF7*



**HYD5-C-T** : Nous avons utilisé une évaluation binaire pour l'indicateur HYD2-O-BV, l'indicateur HYD5-C-T sera donc calculé par le croisement des deux indicateurs EDS-E-T et HYD2-O-BV selon la matrice suivante :

	EDS-E-T	1	2	3	4
HYD2-O-BV					
1		1	2	3	4
4		1	3	4	4

*Tableau 4: Notation de l'indicateur HYD5*

**ENS5-C-T** : Cet indicateur est calculé par le croisement des trois indicateurs EDS-E-T, ENS3-O-T et HYD2-O-BV selon la matrice suivante :

	MAX (ENS3-O-T, HYD2-O-BV)	1	2	3	4
EDS-E-T					
1		1	2	3	3
2		1	2	3	4
3		1	3*	3	4
4		1	3*	4*	4

*Tableau 5: Notation de l'indicateur ENS5*

**BOU5-C-T** : Cet indicateur est calculé par le croisement des trois indicateurs EDS-E-T, BOU3-O-T et HYD2-O-BV selon la matrice suivante :

	MAX (BOU3-O-T, HYD2-O-BV)	1	2	3	4
EDS-E-T					
1		1	2	3	3*
2		1	2	3	4
3		1	3	3	4
4		1	3	4	4

*Tableau 6: Notation de l'indicateur BOU5*

**DSC2** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs HYD1-O-BV et INF7-C-T selon la matrice suivante :

	INF7-C-T	1	2	3	4
HYD1-O-BV					
1 – pas de mises en charge constatées		1	2	3	4
2 – constat de mises en charge		2	3	4	4

*Tableau 7: Notation de l'indicateur DSC2*

**DSC3-C-T** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DSC1-E/R-T et DSC2-C-T selon la matrice suivante :

	DSC1-E/R-T	1	2	3	4
DSC2-C-T					
1		1	2	3	4
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

4	2	3	4	4
---	---	---	---	---

*Tableau 8: Notation de l'indicateur DSC3*

**DSC4** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs EDS-E/R-T et DSC3-C-T selon la matrice suivante :

	EDS-E/R-T	1	2	3	4
DSC3-C-T					
1		1	1	1	2
2		1	1	2	3
3		1	2	3	4
4		2	3	4	4

*Tableau 9: Notation de l'indicateur DSC4*

**ATC6-C-T** : Cet indicateur est calculé par le croisement des indicateurs EDS-E/R-T, ATC1, ATC2, ATC3, ATC4 et ATC5 selon la matrice suivante :

	EDS-E-T	1	2	3	4
min [ATC1, MAX(ATC2, ATC3, ATC4, ATC5)]					
1		1	1	1	1
2		1	1	2	3
3		1	2	4	4
4		2	3	4	4

*Tableau 10: Notation de l'indicateur ATC6*

**ABR3-E/R-T** : Cet indicateur est calculé par le croisement des trois indicateurs EDS-E/R-T, ABR1 et ABR2 selon la matrice suivante :

	EDS-E-T	1	2	3	4
ABR X ABR2					
- Matériau non sensible à l'abrasion (ABR1 = 1)		1	1	1	1
- Matériau sensible (ABR1 = 4) et vitesse d'écoulement élevée (ABR2=2)		1	2	3	3
- Matériau sensible (ABR1 = 4) et vitesse d'écoulement élevée et effluent très chargé en matières solides (ABR2=3)		2	3	4	4

*Tableau 11: Notation de l'indicateur ABR3*

**POL3b-DEV-TS-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEV4-TS-O-BV et V-ES-POL selon la matrice suivante :

	DEV4-TS-O-BV	1	2	3	4
V-ES-POL					
1 – Milieu peu sensible		1	1	2	3
2 – Milieu sensible		1	2	3	4
3 – Milieu très sensible		1	3	4	4

*Tableau 12: Notation de l'indicateur POL3b-DEV-TS-E/O-BV*

**POL1-INF-STEP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des indicateurs INFa-O-BV, V-STEP-INF, V-ES-POL et POL2b-INF-STEP-O-BV selon les matrices suivantes :

	INF1a-O-BV	1	2	3	4
V-STEP-INF (sensibilité de la STEP)					
1		1	1	2	2
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4
	INF1a-O-BV X V-STEP-INF	1	2	3	4
V-ES-POL (sensibilité du milieu récepteur)					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4
	(INF1a-O-BV X V-STEP-INF) X V-ES-POL	1	2	3	4
POL2b-INF-STEP-O-BV					
1		1	2	2	3
2		2	3	3	4
3		2	3	4	4
4		3	3	4	4

*Tableau 13: Notation de l'indicateur POL1-INF-STEP-E/O-BV*

**POL4-DEV-TP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEV5-TP-O-BV et V-ES-POL selon la matrice suivante :

	DEV5-TP-O-BV	1	2	3	4
V-ES-POL					
1 – Milieu peu sensible		1	1	2	3
2 – Milieu sensible		1	2	3	4
3 – Milieu très sensible		1	3	4	4

*Tableau 14: Notation de l'indicateur POL4-DEV-TP-E/O-BV*

**POL5a-DEV-TP-E/O-BV** : Le guide propose de garder la même note que l'indicateur POL4-DEVTP-E/O-BV s'il n'y a pas une autorisation de rejet. Dans notre cas, il existe bien une autorisation de rejet, l'indicateur est alors calculé par le croisement des deux indicateurs POL4-DEVTP-E/O-BV et POL2a-DEV-O-BV selon la matrice suivante :

	POL4-DEVTP-E/O-BV	1	2	3	4
POL2a-DEV-O-BV					
Pas d'autorisation de rejet		1	2	3	4
1		1	2	2	3
2		2	3	3	4
3		2	3	4	4
4		3	3	4	4

*Tableau 15: Notation de l'indicateur POL5a-DEV-TP-E/O-BV*

**POL7-DEB-TP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEB5-TP-O-BV et V-ES-POL selon la matrice suivante :

	DEB5-TP-O-BV	1	2	3	4
Sensibilité du milieu récepteur V-ES-POL					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

*Tableau 16: Notation de l'indicateur POL7-DEB-TP-E/O-BV*

**PON1-DEBTP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEB5-O-BV et V-SN-PON selon la matrice suivante :

	DEB5-O-BV	1	2	3	4
V-SN-PON					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

*Tableau 17: Notation de l'indicateur PON1-DEBTP-E/O-BV*

**NUH1-DEB-TP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEB5-TP-O-BV et V-URB-NUH selon la matrice suivante :

	DEB5-TP-O-BV	1	2	3	4
Sensibilité du milieu urbain V-URB-NUH					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

*Tableau 18: Notation de l'indicateur NUH1-DEB-TP-E/O-BV*

**NUH2-DEB-TS-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEB4-TS-O-BV et V-URB-NUH selon la matrice suivante :

	DEB4-TS-O-BV	1	2	3	4
Sensibilité du milieu urbain V-URB-NUH					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

*Tableau 19: Notation de l'indicateur NUH2-DEB-TE-E/O-BV*

**NUH3-DEB-TSTP-E/O-BV** : La note de cet indicateur est le maximum des notes des deux indicateurs NUH1-DEB-TP-E/O-BV et NUH2-DEB-TS-E/O-BV.

**POL6-DEV-TSTP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement de l'indicateur POL2a-DEV-O-BV et le maximum des notes des deux indicateurs POL3a et POL4 selon la matrice suivante sachant qu'il existe bien une autorisation de rejet :

	MAX(POL3a, POL4)	1	2	3	4
pol2A-dev-o-bv					
Pas d'autorisation de rejet		1	2	3	4

1	1	2	2	3
2	2	3	3	4
3	2	3	4	4
4	3	3	4	4

*Tableau 20: Notation de l'indicateur POL6-DEV-TSTP-E/O-BV*

**PON2-DEB-TSTP-E/O-BV** : Cet indicateur est le maximum de la valeur de l'indicateur PON1-DEB-TP-E/O-T et le croisement des deux indicateurs DEB4-TS-O-BV et V-SN-PON ; leur croisement se fait selon la matrice suivante :

	DEB4-TS-O-BV	1	2	3	4
V-SN-PON					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

*Tableau 21: Notation de l'indicateur PON2-DEB-TSTP-E/O-BV*

**POL8-DEB-TSTP-E/O-BV** : Cet indicateur est calculé par le croisement des deux indicateurs DEB4-TS-O-BV et V-ES-POL selon la matrice suivante :

	DEB4-TS-O-BV	1	2	3	4
Sensibilité du milieu R2CEPTEUR					
1		1	1	2	3
2		1	2	3	4
3		1	3	4	4

*Tableau 22: Notation de l'indicateur POL8-DEB-TSTP-E/O-BV*

## Annexe 7: Construction des critères d'investigation

Critère I/DOB1/EFF : investigation pour cause de risque de dommages par effondrement

Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

	EFF2-C-T	1	2	3	4
V-URB-DOB-EFF dommages possibles en cas d'effondrement					
1 -		1	1	1	2
2 -		1	1	2	3
3 -		1	2	3	4
4 -		2	3	4	4

Critère I/TRA1/EFF : inspection pour risque de perturbations importantes dues à un effondrement

Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

	EFF2-C-T	1	2	3	4
V-URB-TRA perturbations en cas d'effondrement					
1		1	1	1	2
2		1	1	2	3
3		1	2	3	4
4		2	3	4	4

Critère : I/PON4/DEB/BOU : investigation des causes de bouchage contribuant à des débordements amont polluant les eaux souterraines

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/PON4/DEB/BOU = \text{MIN} [BOU5-C-T, PON2-DEB-TSTP-E/O-BV]$$

Critère I/PON2/DEB-TP/HYD : inspection des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie polluant les eaux souterraines

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/PON2/DEB-TP/HYD = \text{MIN} [HYD5-C-T, PON1-DEB-TP-E/O-BV]$$

Critère I/POL5/DEV/ENS : inspections des causes d'ensablement contribuant à des déversements amont polluant les eaux de surface

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL5/DEV/ENS = \text{MIN} [ENS5-C-T, POL6-DEV-TSTP-E/O-BV]$$

Critère I/POL4/DEV/BOU : inspection des causes de bouchage contribuant à des surverses polluantes

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL4/DEV/BOU = \text{MIN} [BOU5-C-T, POL6-DEV-TSTP-E/O-BV]$$

Critère I/POL9/DEB/BOU : investigation des causes de bouchage contribuant à des débordements à l'amont polluant les eaux de surface

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL9/DEB/BOU = \text{MIN} [BOU5-C-T, POL8-DEB-TSTP-E/O-BV]$$

Critère I/NUH2/DEB-TSTP/BOU : investigation des causes de bouchage contribuant à des débordements préjudiciables

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/NUH2/DEB/BOU = \text{MIN} [ \text{BOU5-C-T}, \text{NUH3-DEB-TSTP-E/O-BV} ]$$

Critère I/POL3/DEVTP/HYD : inspection des limitations hydrauliques contribuant à des déversements de temps de pluie polluant les eaux de surface

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL3/DEVTP/HYD = \text{MIN} [ \text{HYD5-C-T}, \text{POL5a-DEV-TP-E/O-BV} ]$$

Critère I/NUH4/DEB/BOU : investigation des causes de bouchages susceptibles de provoquer des débordements préjudiciables

Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

EFF2-C-T	1	2	3	4
V-URB-NUH sensibilité de l'environnement urbain vis-à-vis des débordements				
1	1	1	1	2
2	1	1	2	3
3	1	2	3	4
4	2	3	4	4

Critère I/POL7/DEB-TP/HYD : inspection des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie polluant les eaux de surface

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL7/DEB-TP/HYD = \text{MIN} [ \text{HYD5-C-T}, \text{POL7-DEB-TP-E/O-BV} ]$$

Critère I/NUH1/DEB-TP/HYD : inspection des limitations hydrauliques contribuant à des débordements de temps de pluie préjudiciables

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/NUH1/DEB-TP/HYD = \text{MIN} [ \text{HYD5-C-T}, \text{NUH1-DEB-TP-E/O-BV} ]$$

Critère I/POL1/STEP/INF : inspection pour infiltrations contribuant à une réduction d'efficacité de la STEP préjudiciable au milieu récepteur

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL1/STEP/INF = \text{MIN} [ \text{INF7-C-T}, \text{POL1-INF-STEP-E/O-BV} ]$$

Critère I/POL2/DEV-TS/INF : inspection pour infiltrations contribuant à des déversements de temps sec polluant les eaux de surface

Ce critère est calculé comme suit :

$$I/POL2/DEV-TS/INF = \text{MIN} [ \text{INF7-C-T}, \text{INF1-O-BV}, \text{POL3b-DEVTS-E/O-BV} ]$$

Critère I/PON1/EXF : inspection pour exfiltrations préjudiciables à la qualité des eaux souterraines et des sols

Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

EXF7-C-T	1	2	3	4
V-SN-PON				
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	1	3	4	4

Critère I/DOB2/EXF : inspection pour exfiltrations provoquant des dommages au bâti  
Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

	EXF7-C-T	1	2	3	4
DOB1-O-T					
1		1	1	1	1
4		1	3	4	4

Critère I/CDV2/ATC : inspection pour risque de surcoût par réduction de la durée de vie par attaque chimique  
Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

	ATC6-C-T	1	2	3	4
V-CDV : Facteurs de coûts en cas de nécessité de remplacement de la conduite					
1 -		1	1	2	2
2 -		1	2	2	3
3 -		1	2	3	4
4 -		1	3	4	4

Critère I/CDV1/DSC : inspection pour risque de surcoût par réduction de la durée de vie par dégradation du complexe sol-conduite  
Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

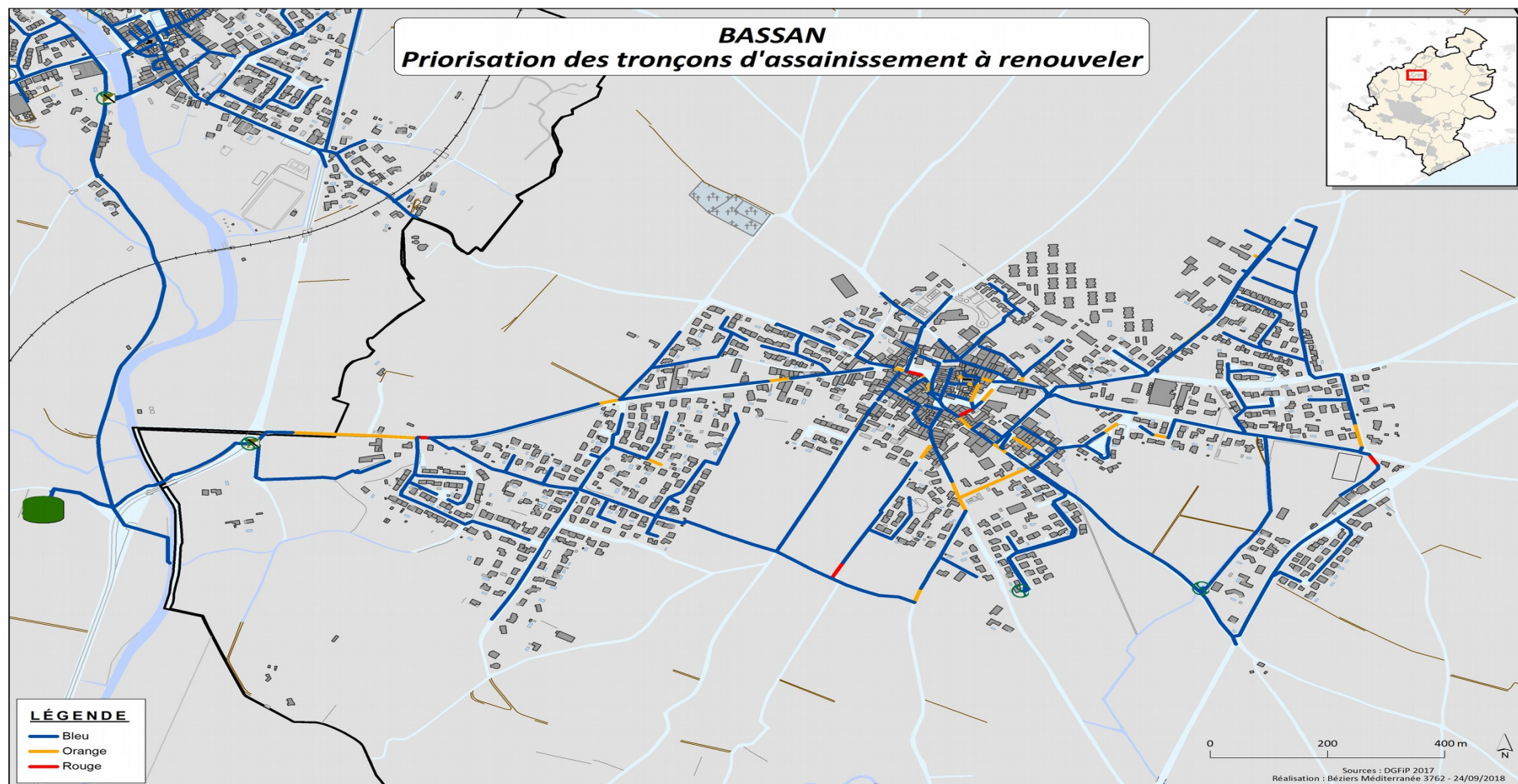
	DSC4-E/R-T	1	2	3	4
V-CDV : Facteurs de coûts en cas de nécessité de remplacement de la conduite					
1		1	1	2	2
2		1	2	2	3
3		1	2	3	4
4		1	3	4	4

Critère I/CDV4/ABR : inspection pour risque de surcoût par réduction de la durée de vie par abrasion  
Ce critère est calculé par le croisement de deux indicateurs selon la matrice suivante :

	ABR3-E/R-T	1	2	3	4
V-CDV : Facteurs de coûts en cas de nécessité de remplacement de la conduite					
1		1	2	2	2
2		1	2	2	3
3		1	2	3	4
4		1	3	4	4

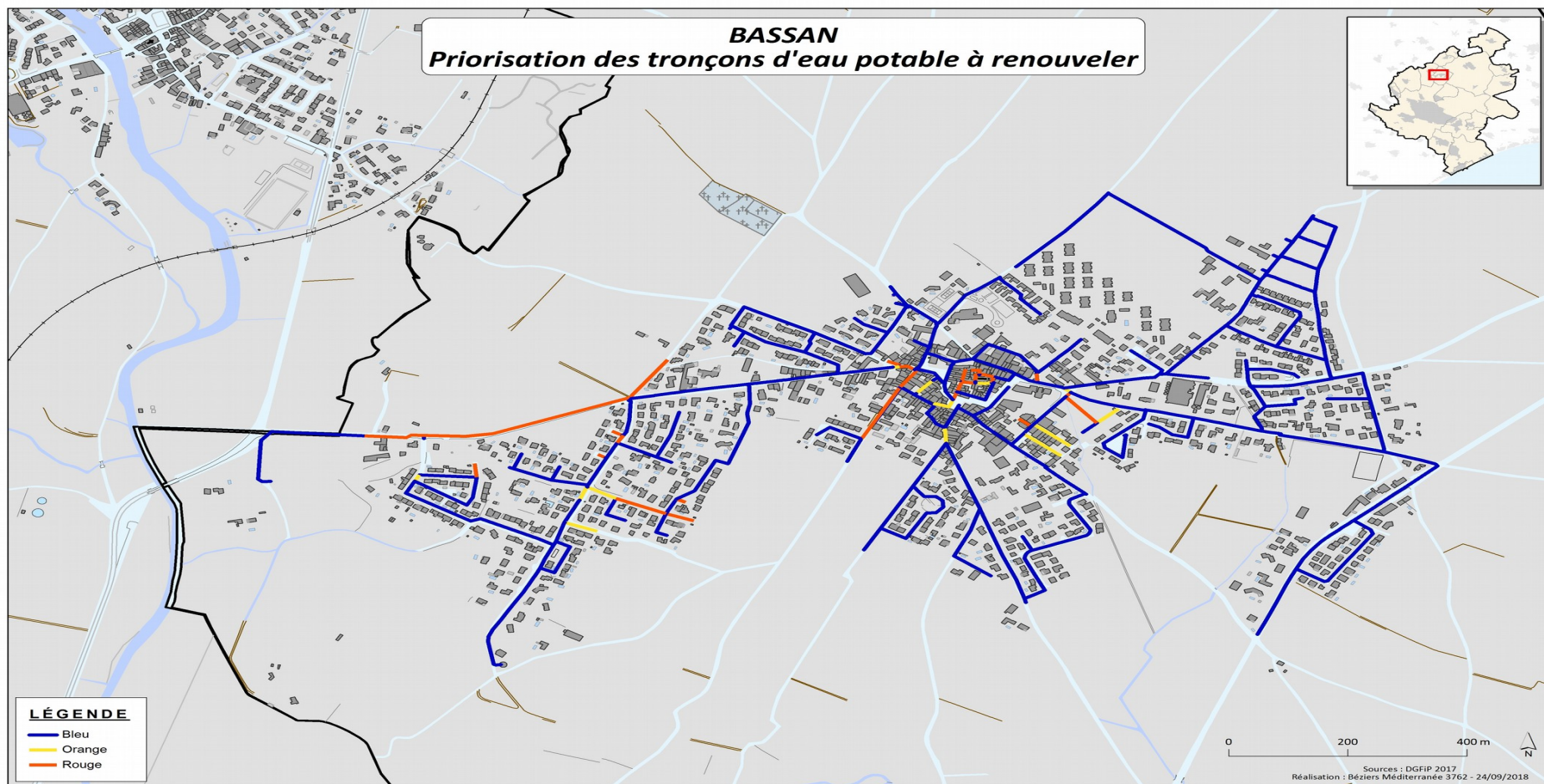


## Annexe 8: Carte de classement des canalisations d'assainissement à renouveler sur la commune de Bassan



Couleur rouge : priorité 1  
Couleur orange : priorité 2  
Couleur bleu : priorité 3

## Annexe 9: Carte de classement des canalisations d'eau potable à renouveler sur la commune de Bassan



Couleur rouge : priorité 1  
Couleur orange : priorité 2  
Couleur bleue : priorité 3

## Annexe 10: Programme voirie de la commune de Bassan (2019-2021)

