



République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE DE SAAD DAHLAB BLIDA

Faculté de Technologie

Département de génie civil

MEMOIRE DE MASTER 2

OPTION : matériaux de construction

**ETUDE DE LA VULNERABILITE DES CONDUITES
D'ASSAINISSEMENTS VIS-A-VIS DU RISQUE
SISMIQUE**

PRESENTE :

BOUMEDDANE WALID NAZIM

ENCADRE :

M^{me} HALFAYA F.ZOHRA

Remerciements

En premier lieu, je remercie le bon **Dieu** qui m'a donné la volonté et la puissance pour achever ce modeste travail.

La première personne que je tiens à remercier est ma promotrice madame
M^{me} F. Zohra HALFYA

Je remercie aussi Mr M. BENSAIBI pour son aide si précieuse
Pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport
considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port qu'elle
trouve dans ce travail est un hommage vivant à sa haute personnalité.

J'exprime ma gratitude au président et honorables membre du jury pour avoir
accepté d'examiner ce mémoire et de m'honorer de leur critique et jugements.

Je souhaite témoigner toute ma gratitude à ma famille, qui m'a, tout au long de
ces années, fourni les moyens nécessaires pour mener à bien mes études.

J'adresse également ma profonde gratitude à tous les professeurs de l'université
Saad Dahleb en particulier ceux du département de génie civil.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui
m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi
qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous nos proches et amis,
qui nous ont toujours encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma chères mère pour sa patience et ses sacrifices et pour m'avoir toujours soutenu durant toutes les périodes de ma vie et dont le rêve était toujours de me voir réussir. Quelle sache que sa place est dans mon cœur et ma pensée

A mes oncles et tantes qui représente un pilier dans ma carrière éducative, leur aide et générosité leur soutient ont été pour moi une ressource de courage et de confiance

A mes adorable amies : Abdeldjamil SALEM CHERIF, Fycel ZERGOUG, amine MADAOUÏ, Cherif BOUKAF, Salah KELLO, Anis ADOUM, Salim HACHIM Sifax LAHCEN, Zaki BELIL, Alla LAEFAOUI Ayoub KEMMOUN, Sidali BENSADA, Celia DRAIFI, Lyna MOKHTARI, Nadim CHAABNA, Hamida , Ryma DANE Rym DJITLI Sara ATTIA ,Nesrine DOURMANE, Younes MEGHNI , ,Hichem BOUREZEK ,Lyes DILMI , Rabah MEZIANI ,Imane SI AHMED ,Mohamad HAMOCHE ,Youcef SIACI , Sarah LOUNES ,

WALID NAZIM

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédiasses	
Résumé	
Introduction générale	

Chapitre I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.	INTRODUCTION.....	1
II.	DEFINITION DE LA VULNERABILITE.....	1
III.	RESEAU DES EAUX USEES OU ASSAINISSEMENT.....	2
III.1	Historique de l'assainissement.....	2
III.2	A quoi sert l'assainissement.....	2
III.3	Définition et classification des eaux usées.....	3
III.4	Origine des eaux usées.....	4
III.4.1	Origine domestique.....	4
III.4.2	Origine industrielle.....	4
III.4.3	Origine agricole.....	5
III.4.4	Origine pluviale.....	5
III.5	Définition des systèmes d'assainissement.....	6
III.5.1	Le système séparatif.....	6
III.5.2	Le système unitaire.....	6
III.5.3	Le système pseudo-séparatif.....	7
III.5.4	Avantages et inconvénients des différents systèmes.....	7
III.5.5	Critères influant sur le choix.....	8
III.5.6	Choix du système d'assainissement.....	9
IV.	LES CONDUITES.....	10
IV.1	Emplacements.....	10
IV.2	Matériaux.....	10
IV.2.1	Conduites en béton non armée.....	10
IV.2.2	Conduites en béton armée.....	11
IV.2.2.1	Conduite en BA standard.....	11
IV.2.2.2	Le dalot.....	12
IV.2.2.3	Canalisations ovoïde.....	12
IV.2.2.4	Conduites CAP et CAO.....	13
IV.2.3	Les Conduite en polyéthylène.....	13
IV.2.3.1	Conduite en PE standard.....	13
IV.2.3.2	Le polyéthylène haute densité (PEHD).....	14
IV.2.4	Conduite en polyester renforcé de fibres de verre (PRV).....	15
IV.2.5	Tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC).....	15
IV.2.6	Les Conduites en amiante-ciment.....	16

IV.2.7	Conduite en grès.....	17
IV.2.8	La fonte.....	17
IV.3	Choix du type de canalisation	18
V.	LES JOINTS	20
VI.	CAUSES DE LA DEGRADATION DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT.....	22
VI.1	Définition de la dégradation	23
VI.2	Etats de la dégradation.....	23
VI.3	Conditions qui déterminent le comportement des équipements.....	23
VI.4	Type de dégradation des réseaux d'assainissement.....	24
VI.4.1	Dégradation hydraulique.....	24
VI.4.2	Dégradation structurale.....	24
VI.4.3	Dégradation environnementale	25
VI.5	Facteurs de la dégradation des réseaux d'assainissement.....	25
VI.5.1	Facteurs mécaniques.....	25
VI.5.2	Facteurs physiques.....	25
VI.5.2.1	La porosité	25
VI.5.2.2	La perméabilité (pores ouverts)	25
VI.5.3	Facteurs chimiques.....	26
VII.	PRINCIPALES CAUSES DE LA DEGRADATION DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT	26
VII.1	Causes structurels	26
VII.1.1	Manque de maintenance.....	26
VII.1.2	Construction	26
VII.2	Les causes liées aux conduites.....	27
VII.2.1	Diamètres.....	27
VII.2.2	Conduites continues.....	27
VII.2.3	Conduites segmentées.....	27
VII.2.4	Conduite principale et secondaire.....	27
VII.2.5	Age et corrosion.....	28
VII.3	Causes liée au sol.....	28
VII.3.1	Mouvements du sol.....	28
VII.3.2	Liquéfaction.....	28
VII.3.3	L'interaction avec la Faille.....	29
VII.3.4	Condition de sol.....	29
VII.3.5	Tassement.....	29
VII.3.6	Nature du sol.....	29
VII.3.7	Gonflement – retrait : sol.....	29
VII.3.8	Glissement de terrain.....	30
VIII.	METHODES D'ESTIMATION DES DOMMAGES.....	30
VIII.1	Méthode de l'ATC	30
VIII.2	2Method RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters).....	31

VIII.3	Méthode RISK-UE.....	31
VIII.4	Méthode de la FEMA.....	32
VIII.5	La méthode de l'indice de vulnérabilité	33
IX	CONCLUSION	34

Chapitre II

METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE

I.	INTRODUCTION.....	35
II.	CAUSES DES DOMMAGES DANS LES CONDUITES D'ASSAINISSEMENT.....	35
II.1	Paramètres structurels	35
II.1.1	Matériaux.....	35
II.1.2	Diamètres.....	36
II.1.3	Le pH.....	36
II.2	Paramètres liés au sol.....	36
II.2.1	Type de sol	36
II.2.2	Liquéfaction.....	37
II.2.3	Les glissements de terrain.....	37
II.2.4	Pente.....	37
II.3	Aléa sismique.....	38
II.3.1	Intensité sismique	38
II.3.2	Interaction avec la faille.....	38
III.	INDICE DE VULNERABILITE DES CANALISATIONS D'EAU POTABLE	39
IV.	INDICE DE VULNERABILITE DES CANALISATIONS D'ASSAINISSEMENT	39
IV.1	Méthode de l'AHP.....	39
IV.2	Evaluation hiérarchique ascendante	40
IV.2	Classification des conduites d'assainissement	40
VI.	CONCLUSION.....	41

Chapitre III

ZONE D'ETUDE « VILLE DE BLIDA »

I.	INTRODUCTION	42
II.	ZONE D'ETUDE.....	42
II.1	Population.....	42
II.2	Réseau d'Assainissement	43
II.3	Contexte géologique.....	45
II.4	Contexte sismique	46
II.5	Failles actives de Bouinan/Soumâa	47
II.6	Types de sol	49

II.7	Liquéfaction	50
III.	CONCLUSION.....	50

Chapitre IV

APPLICATIONS A LA ZONE D'ETUDE

REGIONS BLIDA ET BENI MERED

I.	INTRODUCTION.....	51
II.	CLASIFICACION DES CONDUITES D'ASSAINISSEMENT SELON L'IV.....	51
III.	EXEMPLE DE CALCUL DE L'INDICE DE VULNERABILITE POUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE BLIDA.....	51
III.1	Hypothèses de calcules	51
II.2	Données sur le réseau d'assainissement de la ville de Blida.....	52
II.3	Exemples.....	52
II.3.1	Conduite en PEHD.....	52
II.3.2	Conduite en BA.....	53
II.3.3	Conduite en Acier	54
II.3.3	Conduite en PVC	54
II.3.4	Constatations.....	55
III.	CONCLUSION.....	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1	Avantages et inconvénients des différents systèmes	08
Tableau II.2	Différents matériaux.....	36
Tableau II.3	Différents diamètres.....	36
Tableau II.4	Différents ph.....	36
Tableau II.5	Différents types de sols	37
Tableau II.6	Liquéfaction.....	37
Tableau II.7	Glissement des terrains.....	37
Tableau II.8	Pentes.....	37
Tableau II.9	Intensité sismique.....	38
Tableau II.10	Interaction avec la faille.....	38
Tableau II.11	Tableau de Saaty.....	40
Tableau II.12	Classification des conduites.....	41
Tableau III.13	Longueurs en fonction des différents diamètres et matériaux (région de Blida)	43
Tableau V.14	Classification des conduites d'assainissement.....	51
Tableau V.15	Longueurs des conduites en fonction des différents diamètres et matériaux...	52
Tableau V.16	l'IV pour différents diamètres en PEHD.....	53
Tableau V.17	l'IV pour différents diamètres en BA.....	53
Tableau V.18	l'IV pour différents diamètres en Acier.....	54
Tableau V.19	l'IV pour différents diamètres en PVC.....	54

LISTE DES FIGURES ET PHOTOS

Figure I.1	Conduite d'eau usée.....	3
Figure I.2	Eau d'origine domestique.....	4
Figure I.3	Eau usée d'origine industrielle.....	5
Figure I.4	Le système séparatif.....	6
Figure I.5	Le système unitaire.....	7
Figure I.6	Le système pseudo-séparatif.....	7
Figure I.7	Conduites en béton non armé.....	11
Figure I.8	Conduites en béton armé standard.....	11
Figure I. 9	conduites en béton sous forme de dalot.....	12
Figure I.10	Conduite sous forme ovoïde.....	13
Figure I.11	Conduites en polyéthylène.....	14
Figure I.12	Conduites en polyéthylène haute densité.....	15
Figure I.13	Conduite en polyester renforcé de fibres de verre.....	16
Figure I.14	Tuyau en PVC.....	17
Figure I.15	conduite en amiante-ciment.....	17
Figure I.16	Conduite en Grès.....	18
Figure I.17	Conduite en fonte.....	19
Figure I.18	Joints torique en caoutchouc.....	20
Figure I.19	Joint d'étanchéité pour conduite en béton armé.....	20
Figure I.20	Joint d'étanchéité pour conduite en acier.....	20
Figure I.21	Joint STANDARD automatique standard Ve.....	21
Figure I.22	Joint TYTON.....	21
Figure I.23	Joint standard Ve.....	21
Figure I.24	Joint standard Vi.....	22
Figure III.25	Proportion des différents diamètres (mm) en fonction de la longueur (m) (région de Blida).....	44
Figure III.26	Proportion des différents matériaux en fonction de la longueur du système d'assainissement de Blida.....	44
Figure III.27	Carte géologique de la région de Blida.....	45
Figure III.28	Coupe géologique illustrant la disposition des différentes unités tectono-sédimentaires dans la région de Blida.....	46
Figure III.29	Distribution cartographique de la sismicité historique et instrumentale dans la région de Blida, entre 1825 et 2005. La taille des cercles est proportionnelle à la magnitude considérée.....	47
Figure III. 30	Structures géologiques (failles) actives de la zone algéroise, y compris la région de Blida.....	48
Figure III.31	Modèles Numériques de Terrain (MNT) de la bordure sud de la Mitidja, Faille deOuledYaich-Bouinan.....	49
Figure III.32	Différents types de sols de la région de Blida.....	50

INTRODUCTION GENERALE

Plusieurs grandes catastrophes naturelles survenues en Afrique et dans le monde ont mis en lumière la vulnérabilité des sociétés modernes au phénomène naturel de grande intensité, les tremblements de terre, étant l'un d'eux, peuvent provoquer des dommages importants, touchant, les constructions, les infrastructures sociales et économiques, et les réseaux vitaux. Parmi ces réseaux, nous distinguons les réseaux des eaux usées appelé aussi réseaux d'assainissements qui sont indispensables pour le bien-être de la population.

Les réseaux d'assainissement revêtent une grande importance en Algérie aussi bien pour l'être humain et son environnement, que pour préserver la santé de la population et assurer la protection des eaux superficielles et souterraines.

En 2004, un groupe d'experts suisses a constaté que, vu le risque de pollution des eaux inhérent aux réseaux d'assainissement et du danger que celui-ci implique pour l'eau potable, ces réseaux constituent l'un des secteurs prioritaires dont il importe d'analyser la vulnérabilité aux séismes.

L'examen des causes des dégâts provoqués par des tremblements de terre et l'analyse des méthodes appliquées lors de la construction des équipements d'assainissement révèlent que, compte tenu de l'aléa sismique en Algérie, les réseaux d'assainissement de notre pays présentent tout de même une certaine vulnérabilité.

En cas de séisme, les réseaux des eaux usées peuvent donc représenter un risque pour la nature, l'environnement, et la santé de la population. Les réseaux d'égouts qui peuvent par ailleurs s'avérer vulnérables. Des dégâts apparaissent souvent sur les assemblages et les raccords rigides, en particulier sur les conduites plutôt âgées, corrodées et devenues fragiles, par exemple au niveau des raccordements à des bâtiments ou à des chambres de visite. De plus, les éléments non fixés, tels des récipients et des armoires de commande, peuvent basculer et entraver gravement le bon fonctionnement des installations après un séisme. Afin de réduire le risque de dommage des réseaux d'assainissements, on étudiera le comportement des conduites enterrées en utilisant une méthode d'estimation du risque de

dommage qui sont basées sur le retour d'expériences des séismes précédant, et des essais expérimentaux, ce qui rend complexe l'étude du comportement des conduites est leurs positionnements. En effet ces conduites sont enterrées dans le sol ce qui amène à faire une étude de l'interaction sol-conduite, aussi il faut avoir les données concernant la nature du sol, les diamètres des conduites et leurs longueurs qui sont des paramètres importants à prendre en considération lors du calcul de la vulnérabilité

Dans notre étude, nous allons développer une méthode d'estimation des dommages dans le réseau d'assainissement. C'est la méthode de l'indice de vulnérabilité (IV) qui va nous permettre de déterminer les tronçons de canalisation les plus vulnérables de les classer selon un indice de vulnérabilité. Cet outil nous permettra aussi de faire un diagnostic primaire sur l'état du réseau d'assainissement et d'intervenir rapidement en cas d'un séisme particulièrement destructeur.

L'organisation de notre travail se fera comme suit :

Après une introduction situant la problématique et donnant les grands principes de l'étude.

Le premier chapitre sera consacré à l'étude bibliographique, et aux définitions essentielles aux réseaux d'assainissement soumis à une action sismique et des causes de dégradations de ce réseau.

Le deuxième chapitre concernera les méthodes de calcul de l'indice de vulnérabilité par rapport à plusieurs paramètres variables liés à ce réseau.

Le troisième chapitre parlera de la zone d'étude qui est la ville de Blida.

Enfin le dernier chapitre fera l'objet de la mise en œuvre de la méthode de calcul de l'indice de vulnérabilité vis-à-vis des risques sismiques sur la région de Blida.

Résumé

Les séismes sont des évènements naturels qui peuvent provoquer des dommages importants aux structures et aux réseaux vitaux d'une agglomération. Les réseaux vitaux sont primordiaux dans la vie de la cité. Parmi les réseaux les plus importants nous avons le réseau d'assainissement.

Le but de notre étude est d'évaluer la vulnérabilité des réseaux d'assainissement sous séisme en considérant plusieurs facteurs de dégradation liés au fonctionnement de ce réseau. Pour cela nous allons développer une méthode dite méthode de l'indice de vulnérabilité (IV) qui nous permettra de diagnostiquer et de classer les tronçons des conduites. Une application sera faite sur le réseau d'assainissement de la ville de Blida.

Abstract

Earthquakes are natural events that can cause significant damage to the structures and vital networks of an urban area. Vital networks are essential in the life of the city. Among the most important networks we have the sewerage network.

The purpose of our study is to assess the vulnerability of sanitation networks under earthquake by considering several degradation factors related to the functioning of this network. To do this, we will develop a method called the vulnerability index (IV) method that will allow us to diagnose and classify the sections of pipes. An application will be made on the sewerage network of the city of Blida.

ملخص

الزلازل هي أحداث طبيعية يمكن أن تسبب أضرارًا كبيرة للهياكل والشبكات الحيوية للتكتل. الشبكات الحيوية ضرورية في حياة المدينة. من بين أهم الشبكات لدينا شبكة الصرف الصحي.

الغرض من دراستنا هو تقييم مدى تعرض شبكات الصرف الصحي للزلازل من خلال النظر في العديد من عوامل التدهور المتعلقة بتشغيل هذه الشبكة. لهذا سنقوم بتطوير طريقة تسمى طريقة مؤشر الضعف (IV) والتي سوف تتيح لنا تشخيص وتصنيف أقسام الأنابيب سيتم تقديم تطبيق على شبكة الصرف الصحي لمدينة البلدة.

Conclusion générale

L'assainissement des eaux a pour objectif d'assurer l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales ainsi que leur rejet dans l'exécutoire naturel. Toute anomalie ou disfonctionnement d'un tel système risque d'engendrer des conséquences néfastes sur le bien-être et la santé des gens.

L'estimation de la vulnérabilité sismique du réseau d'assainissement d'une agglomération est importante, dans la mesure où elle contribue à la prise de décision quant au renforcement et/ou remplacement de l'élément à risque considéré.

Nous avons commencé par donner une présentation académique générale de l'assainissement en rappelant son historique, ses différents aspects, objectif, rôle, systèmes et les schémas d'évacuation des eaux usées et eaux pluviales, éléments constitutifs du réseau.

Aussi, nous avons présenté les différentes méthodes d'estimation des dommages et le calcul de l'indice de vulnérabilité dans les conduites d'assainissement lors d'un séisme.

Basé sur ces dernières, nous avons développé un modèle simple et efficace pour la détermination de l'indice de vulnérabilité des conduites d'assainissement. Pour cela nous avons développé une méthode de l'indice de vulnérabilité (IV) d'une conduite en se basant sur un ensemble de facteurs influençant les dommages d'une conduite d'assainissement lors d'un séisme.

Ainsi nous mettons en place une classification des tronçons des conduites en fonction de l'indice de vulnérabilité. Cette méthode a été appliquée à la ville de Blida où nous avons pu classer les conduites de son réseau d'assainissement en rouge, orange ou vert.

Nous pouvons dire que les résultats obtenus sont satisfaisants puisqu'ils rejoignent les résultats trouvés dans la bibliographie.

Par manque de temps et de moyens (difficultés à récolter les données), nous n'avons pas pu faire le SIG du réseau d'assainissement de la ville de Blida.

Chapitre I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. INTRODUCTION

La vulnérabilité des conduites d'eaux usées vis-à-vis des tremblements de terre est une préoccupation majeure des conseils régionaux, en particulier dans les régions situées dans des zones urbaines peuplées.

Les conduites d'eaux usées constituent la partie la plus critique et la plus vulnérable de chaque système d'assainissement et méritent une attention particulière.

La défaillance de la réticulation des eaux usées peut mettre en danger la santé et l'environnement de la zone urbaine touchée par le séisme.

II. DEFINITION DE LA VULNERABILITE

La vulnérabilité est le degré de perte que subit un élément particulier lors d'un phénomène naturel. Deux types de vulnérabilité se distinguent :

- **Vulnérabilité directe**

L'élément soumis au risque subit directement les dommages structurels sous l'effet du séisme. L'évaluation de cette dernière lorsqu'il s'agit de structures se traduit généralement par l'estimation du taux de dommages attendu.

- **Vulnérabilité indirecte**

L'élément soumis au risque peut par sa fonctionnalité se traduire par le dysfonctionnement social d'un quartier ou d'une ville du fait de l'endommagement ou de l'effondrement partiel ou total de ce dernier. Dans ce cas d'étude, la première tâche à entreprendre concerne l'identification des éléments exposés et la hiérarchisation de leur relation de fonctionnalité dans une agglomération.

La vulnérabilité touche de nombreuses structures et les infrastructures, parmi eux nous citons les réseaux d'assainissement. Ces réseaux sont constitués principalement de conduites enterrées.

III. RESEAU DES EAUX USEES OU ASSAINISSEMENT

L'assainissement concerne la gestion des eaux usées, dont celles issues des pluies. Il peut être collectif et/ou utiliser des techniques plus ou moins localisées. Il constitue l'aspect technique de l'hydrologie urbaine.

Ce terme peut revêtir au moins deux sens. Le premier correspond à une approche physique : c'est l'ensemble des équipements utilisés pour évacuer les eaux d'une agglomération qu'elles soient usées ou pluviales.

Le second, couvre une acception plus large : c'est l'ensemble des stratégies utilisées par les habitants des villes pour essayer de répondre aux problèmes posés par la circulation urbaine de l'eau, en excluant la production et la distribution d'eau potable.

III.1 Historique de l'assainissement

Nous présentons un bref aperçu sur l'assainissement

- **Les premières civilisations**

L'homme a imaginé différentes techniques susceptibles de lui permettre de mieux maîtriser son environnement. L'assainissement urbain constitue l'une de ces techniques. On en trouve des traces dans les civilisations.

- **Du Moyen Âge au XX^e siècle**

Au Moyen Âge, les systèmes d'évacuation des eaux sales hérités des Romains ne sont pas oubliés. S'ils ne sont plus utilisés, c'est que les villes n'ont pas les moyens nécessaires pour les entretenir. En revanche, certaines abbayes sont équipées de réseaux très développés. À la campagne ou dans les petites villes, les techniques les plus utilisées sont les puits perdus en terrain perméable. Dans les grandes villes, la plupart des maisons n'ont pas de fosse, la technique utilisée est donc celle du « tout à l'égout ».

- **Le XX^e siècle**

Dès le milieu du XVIII^e siècle, on inventa la chasse d'eau, les puits d'accès, le dégrillage à la sortie du réseau. Le concept de réseau a été développé et la montée en puissance des « experts » allait être une caractéristique de l'évolution, on assistait au développement de l'idée d'une séparation complète des eaux usées et des eaux pluviales [1].

III.2 A quoi sert l'assainissement ?

La dépollution des eaux usées est devenue un impératif pour nos sociétés modernes. En effet, le développement des activités humaines s'accompagne inévitablement d'une

production croissante de rejets polluants. Les ressources en eau ne sont pas inépuisables. Leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie. L'assainissement (ou dépollution) des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux usées, afin de les débarrasser de la pollution dont elles sont chargées avant de les rejeter dans le milieu naturel. [1]

III.3 Définition et classification des eaux usées

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Les problèmes liés aux eaux usées s'aggravent suivant [2][3] :

- La croissance démographique ;
- L'amélioration de la qualité de vie des populations ;
- Le développement des activités industrielles.

Les eaux usées se divisent en deux grandes catégories :

- Les eaux résiduaires urbaines (ERU) :
- Eaux ménagères ;
- Eaux des vanes ;
- Eaux de ruissellement.
- Les eaux résiduaires industrielles (ERI).

La composition et les caractéristiques d'une eau résiduaire urbaine sont peu variables par rapport aux eaux usées industrielles. Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, solubles ou insolubles, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui avait servi aux besoins domestiques ou industriels.



Figure 1 : Conduite d'eau usée

III.4 Origine des eaux usées

Selon les études menées par Rodier [4], on peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaine constituées par des eaux ménagères (lavage corporel, de linge, de locaux, eaux de cuisine) et les eaux de vannes chargées de fèces et d'urines. Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et celles pluviales. Selon les cas, peuvent s'y ajouter les eaux d'origine industrielle et agricole.

III.4.1 Origine domestique

Les eaux d'origine domestique sont composées des eaux domestiques (habitations, bureaux, bains publics) et, en quantité moindre, d'eaux issues de fonds de commerce et de petites industries [5] :

- Les eaux domestiques sont constituées d'eaux de bain, lessive, urines, fèces et résidus alimentaires ;
- Les eaux commerciales sont issues principalement de lavages de voitures, restaurants, cafés, pressing, etc.

Ces eaux sont chargées de matières organiques : graisses et produits d'entretiens ménagers. Elles sont en général aisément biodégradables.



Figure 2 : Eau d'origine domestique

III.4.2 Origine industrielle

Les eaux d'origine industrielle proviennent des différentes usines de fabrication ou de transformation. Leur qualité varie suivant le type d'industrie. Elles peuvent être chargées de matières toxiques difficilement biodégradables nécessitant un traitement spécifique [5].



Figure 3 : Eau usée d'origine industrielle

III.4.3 Origine agricole

Les eaux d'origine agricoles sont constituées essentiellement d'eaux de drainage des champs agricoles et de rejets de lavage des fermes d'élevage. Il s'agit d'un mélange de composés relativement biodégradable. Néanmoins, ces eaux sont parfois caractérisées par de fortes concentrations de pesticides et d'engrais artificiels. Les paramètres qui doivent être pris en considération sont l'azote nitrique, le phosphate et les substances organiques, matières hautement polluantes [4].

III.4.4 Origine pluviale

Le lessivage des surfaces urbaines suit le lessivage atmosphérique, la charge polluante provenant pour l'essentiel des retombées atmosphériques sèches et de l'érosion des matériaux des surfaces urbaines. La quantité de dépôts secs représente jusqu'à 1 g/m²/j et dépend de la topographie, du vent et de la pluviosité. Les véhicules automobiles constituent une source importante de pollution en hydrocarbures, en Pb (combustion d'essence jusqu'à récemment), en Zn et Cd (usure des pneus), en Cu, Pb, Cr, et Mn (usure des plaquettes des freins) en Al, Cu, Ni, et Cr (usure des moteurs), en Fe, Al, Cr, et Zn (corrosion des véhicules). Au cours des orages, ces dépôts sont drainés et remis en suspension par les eaux de ruissellement [6].

III.5 Définition des systèmes d'assainissement

Un réseau d'assainissement a pour but de collecter et de transporter les eaux usées et pluviales. On peut classer les divers réseaux d'assainissements en fonctions des eaux usées qu'ils transportent.

On distingue ainsi : les systèmes unitaires, séparatifs ou pseudo-séparatifs.

III.5.1 Le système séparatif

Consiste à réserver un réseau à l'évacuation des eaux usées domestiques (et souvent aussi aux effluents industriels), alors que l'évacuation des eaux pluviales est assurée par un autre réseau (canalisations, fossés, caniveaux, écoulement superficiel...). C'est un système compact qui convient mieux pour les milieux urbains de hautes densités, mais qui pose, mais qui pose des problèmes d'auto-curage en période sèche [6].

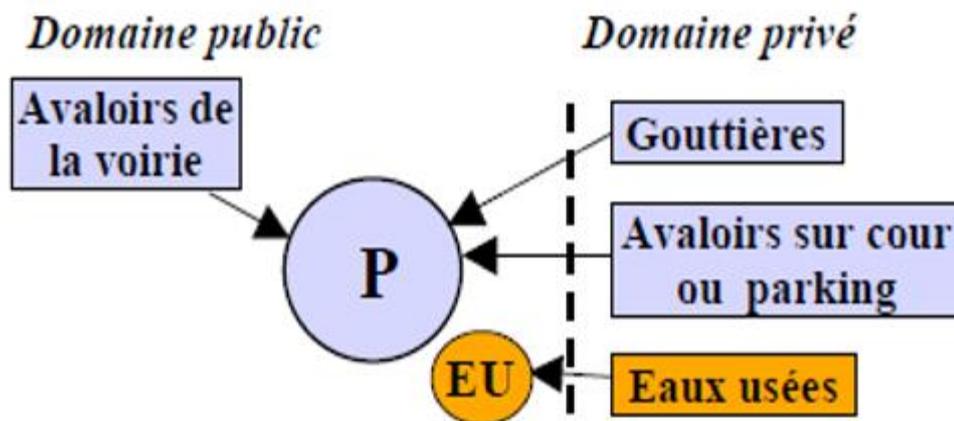


Figure 4 : Le système séparatif

III.5.2 Le système unitaire

Consiste à évacuer l'ensemble des eaux usées et pluviales par un seul réseau, généralement pourvu de déversoirs, permettant en cas d'orage le rejet direct par surverse d'une partie des eaux dans le milieu naturel.

Il est adopté dans les petites et moyennes agglomérations et dans les extensions des grandes villes [7].

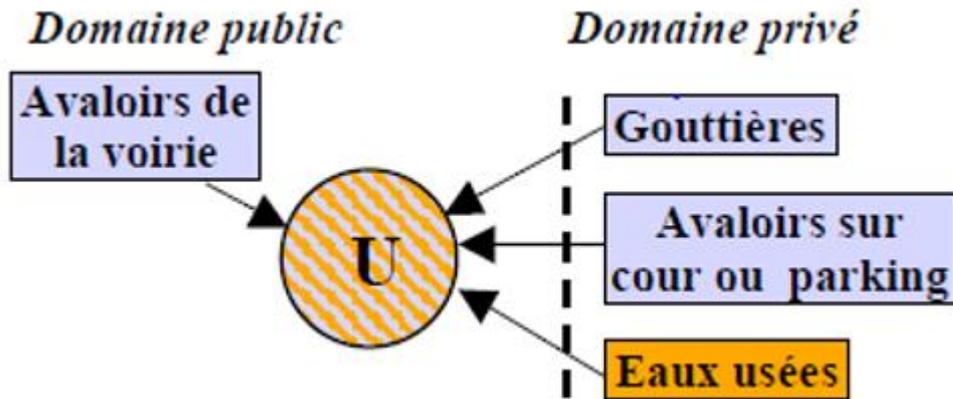


Figure 5 : Le système unitaire

III.5.3 Le système pseudo-séparatif

Consiste à réaliser un réseau séparatif particulier pour lequel il est admis que le réseau d'évacuation des eaux usées peut recevoir certaines eaux pluviales (toitures, caves...) en provenance des propriétés riveraines. Dans ce cas, la fonction du réseau d'évacuation des eaux pluviales est réduite à la collecte et à l'évacuation des eaux ruisselant sur la chaussée et les trottoirs [7].

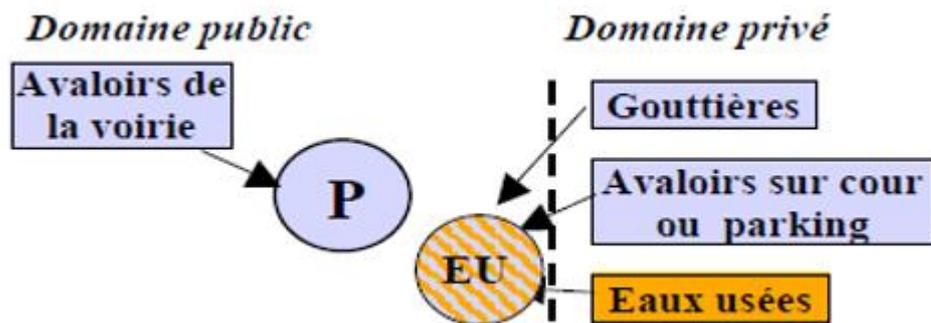


Figure 6 : Le système pseudo-séparatif

III.5.4 Avantages et inconvénients des différents systèmes

Le choix du système d'évacuation des eaux usées est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différents systèmes [8]

Système	Domaine d'utilisation	Avantages	Inconvénients
Unitaire	<ul style="list-style-type: none"> - milieu récepteur éloigné des points de collecte - topographie à faible relief -débit d'étiage du cours d'eau récepteur Important 	<ul style="list-style-type: none"> - conception simple - encombrement réduit du sous-sol - à priori économique - pas de risque d'inversion de branchement. 	<ul style="list-style-type: none"> - débit à la STEP très variable - la dilution des eaux usées est variable - apport de sable important à la station d'épuration - rejet direct vers le milieu récepteur du mélange eaux usées eaux pluviales au droit des déversoirs d'orage.
Séparatif	<ul style="list-style-type: none"> - petites et moyennes agglomérations ; - extension des villes ; - faible débit d'étiage du cours d'eau récepteur 	<ul style="list-style-type: none"> - diminution des sections des collecteurs - exploitation plus facile de la STEP - milieux naturel préservé 	<ul style="list-style-type: none"> - encombrement important du sous-sol - coût d'investissement élevé - risque important d'erreur de branchement.
Pseudo séparatif	<ul style="list-style-type: none"> - petits et moyennes agglomération. - présence d'un milieu récepteur proche. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le problème des faux branchements est éliminé. - Le plus gros des eaux pluviales étant acheminées en d'hors de la ville, ce qui nous donne des collecteurs traversant la ville de moindre dimension 	<ul style="list-style-type: none"> - le fonctionnement de la station d'épuration est perturbé, la charge polluante est variable en qualité et en quantité

III.5.5 Critères influant sur le choix

On peut définir les critères influant sur le choix d'un système de la façon suivante :

- Evacuer au plus bas cout possible les eaux de ruissellement (choix du tracé et du profil en long bien adapté aux besoins),
- Respecter les objectifs de qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel,

- Tenir compte des choix d'urbanisme et d'occupation des sols.

Ainsi, généralement, le choix entre les systèmes d'assainissement résulte d'une suite de considérations :

Techniques, topographie locale, régimes des précipitations, nature du terrain, tracé du réseau de la voirie urbaine, importance de l'imperméabilité des sols, répartition de l'habitat, préservation des lieux habités contre les inondations.

1. Liées à des objectifs de qualité.
2. Urbanistiques (réparation des quartiers résidentiels, commerciaux et industriels).
3. Environnementales, qui parfois interdiront le recours à un équipement unitaire.
4. De proximités des réseaux voisins et de leurs positions en profondeur [9].

III.5.6 Choix du système d'assainissement :

Le choix du système d'assainissement est conditionné par plusieurs facteurs (situation, profil, débit, cout ...) et notamment par :

- La densité de population
- La nature des sols et leurs aptitudes à assurer l'épuration des eaux usées
- La présence des nappes phréatiques
- L'existence d'un système d'assainissement collectif public
- L'espace disponible
- Les orientations choisies en matière d'aménagement (élaboration d'un schéma directeur d'assainissement et sa mise en œuvre).

De tout ce qui précède, dans le présent projet le réseau le plus adéquat, approprié et nécessaire à adapter est celui du type unitaire pour les raisons suivantes :

- Indisponibilité d'espace ; voie de 3.00m de large et l'existence de plusieurs réseaux enterrés (réseau d'AEP, réseau électrique, réseau téléphonique, réseau Gaz et l'actuel réseau d'assainissement)
- Impossibilité de réaliser un réseau pluvial par tronçons courts et autonomes.
- Existence d'un réseau général unitaire [9].

IV. LES CONDUITES

Les conduites sont des éléments nécessaires dans les réseaux d'assainissements, elles permettent l'acheminement de l'eau d'un point à un autre point du réseau. Une conduite est un segment de tuyau ou la canalisation délimitée par deux points de consommation d'eau appelés nœuds

IV.1 Emplacements

Les conduites enterrées sont enfouies dans le sol à une profondeur qui varie entre 3 à 5 mètres et cela pour plusieurs raisons, entre autres, l'esthétique, la sûreté, l'économie et aussi pour des raisons environnementales [10].

IV.2 Matériaux

Afin d'avoir une conduite d'assainissement durable et résistante il faut bien choisir le matériau adéquat qui dure. Il existe plusieurs types de matériaux tels que le plomb, l'amiante ciment, le béton, l'acier, le PRV, le PEHD, le PVC. Le Dalot, le CAO, le CAP et l'ovoïde.

On va présenter brièvement quelques matériaux des conduites enterrées.

IV.2.1 Conduites en béton non armée : Les tuyaux en béton non armé sont fabriqués mécaniquement par un procédé assurant une compacité élevée du béton (compression radiale, vibration, centrifugation, etc.).

- La longueur utile ne doit pas dépasser 2,50 m.
- Les tuyaux non armés : ont une rupture brutale ; mais, à moins que la hauteur de recouvrement soit insuffisante, elle survient aux premiers âges de la canalisation visitable, sous voirie...,
- L'essai à l'étanchéité est effectué sous une pression de 1 bar pendant 30 minutes.
- Les principaux joints sont du type emboîtement à gorge pour joint élastomère.



Figure 7 : Conduites en béton non armé

IV.2.2 Conduites en béton armée

➤ IV.2.2.1 Conduite en BA standard : Les tuyaux en béton armé sont fabriqués mécaniquement par un procédé assurant une compacité élevée du béton (centrifugation, compression radiale, vibration, etc.). Pour pouvoir être dit « armé », un tuyau doit comporter deux séries d'armatures :

- des barres droites appelées « génératrices ».
- des spires en hélice continues, d'un pas régulier maximal de 15 cm

À moins que les tuyaux proviennent d'usines agréées, le constructeur doit obtenir du fournisseur que l'allongement sous charge maximale des aciers utilisés se supérieur ou égal à 2 %.

Ces tuyaux doivent satisfaire aux essais de résistance à la rupture et aux essais d'étanchéité (sous une pression de 1 bar pendant 30 minutes).



Figure 8 : Conduites en béton armé standard

- IV.2.2.2 Le dalot : Appelés cadres ou dalots, ces conduites béton sont de forme rectangulaires.

Les cadres sont des ouvrages en béton armé, de dimensions très variées (de 0.5m à 4m voir plus). Leurs formes à l'avantage d'avoir une section d'écoulement importante pour des hauteurs réduites. Les éléments préfabriqués peuvent être posés sous chaussée et affleurer le sol pour recevoir directement des charges roulantes. Si l'étude de sol préalable du sol le recommande, une dalle de répartition peut être mise en œuvre sous l'ouvrage pour le stabiliser.



Figure 9 : conduites en béton sous forme de dalot

- IV.2.2.3 Canalisations ovoïde : Cette forme de conduite a été mise au point afin d'obtenir une vitesse d'écoulement en fonction du remplissage la moins variable possible. Malgré la volonté de normalisation, il existe différentes formes de tuyaux ovoïdes, notamment la forme simple, proportionnelle au cercle. Leur longueur utile est d'au moins 1 m. Ils sont à joint à emboîtement à mi- épaisseur ou à tulipe. Dans le cas où ils sont armés, ils sont pourvus d'une armature répondant aux sollicitations particulières propres à la forme de la canalisation ; la section des armatures, mesurée dans les sections les plus sollicitées en service, abstraction faite éventuellement de la

présence d'un béton de forme, ne doit pas être inférieure aux 4/1 000 de la section longitudinale du béton. L'épaisseur du radier ne doit différer en aucun point de $\pm 2,5$ % de l'épaisseur garantie par le fournisseur ; mesurée au fil d'eau, en deux points situés à chaque extrémité de l'ovoïde, elle ne doit pas varier de plus de 5 mm

L'essai d'étanchéité est effectué sous une pression de 0,5 bar maintenue pendant 1 heure, sur deux ovoïdes assemblés. [11]



Figure 10 : Conduite sous forme ovoïde

➤ IV.2.2.4 Conduites CAP et CAO : Actuellement, dans les projets d'assainissement de Blida, les conduites centrifuges Armées en précontrainte (CAP), et Conduites centrifuges armées ordinaire (CAO) sont utilisées.

Ces conduites sont fabriquées en béton armé, de section circulaire, dont le diamètre varie entre 300 et 1100 mm,

IV.2.3 Les Conduite en polyéthylène

➤ IV.2.3.1 Conduite en PE standard : Les conduites en polyéthylène sont utilisées depuis 1957 avant tout pour les réseaux de distribution de gaz, d'eau potable et pour l'évacuation des eaux usées. Elles sont également utilisées dans de nombreuses branches de l'industrie.

Les conduites en polyéthylène (PE) sont résistantes à la corrosion, inerte et stable vis-à-vis de nombreux réactifs chimiques.

Le PE permet de réaliser des tuyaux légers et pouvant être assemblés simplement. La section circulaire est suffisamment rigide pour enterrer les conduites sans déformation. Les tuyaux sont, par contre, flexibles dans la longueur, ce qui permet de les courber sans rupture.

Les conduites en PE permettent de transporter de nombreux médiums dangereux et corrosifs tels que des huiles, des acides ou des saumures. Elles peuvent être utilisées aussi bien pour un transport en surface libre que sous pression. La rugosité des parois est relativement faible comparée aux conduites en acier. Cette faible rugosité occasionne des pertes de charge moindres lors du transport de médium sous pression. Les tuyaux sont également moins sujets aux incrustations.



Figure 11 : Conduites en polyéthylène

➤ IV.2.3.2 Le polyéthylène haute densité (PEHD) : Il s'agit d'un tuyau en polyéthylène haute densité double paroi de grand diamètre de 20 à 800 mm en barres de 6 mètres, qui se raccorde par manchons à joints. Il est extrêmement léger et possède une exceptionnelle résistance aux chocs, à la corrosion et à l'abrasion.

Ce tuyau est en outre jusqu'à 25 fois plus léger que le béton, ce qui permet un transport beaucoup plus économique en carburant et d'être posé sans avoir recours à un moyen de levage.

Ils sont composés de deux couches parfaitement soudées :

- La paroi extérieure est ondulée pour assurer la rigidité et de couleur noire, pour une meilleure résistance aux U.V, qui lui confère une grande stabilité à la lumière solaire durant le stockage.
- La paroi intérieure est lisse pour véhiculer les effluents et de couleur blanche pour favoriser l'inspection grâce à des caméras.



Figure 12 : conduites en polyéthylène haute densité

IV.2.4 Conduite en polyester renforcé de fibres de verre (PRV)

Bien que les longueurs standards soient 6 m et 12 m, les tuyaux en PRV peuvent être fabriqués sur mesure, la seule restriction étant la capacité des moyens de transport.

Composé de résine thermodurcissable et de sable de silice renforcé de fibres de verre, un tuyau en PRV est un matériau composite très flexible. Il est fabriqué et installé conformément aux normes locales et internationales. Parmi les avantages du PRV :

- **Longue durée de vie** : Les tuyaux sont fabriqués, conformément aux normes internationales, pour avoir une durée de vie minimale de 50 ans. Les coûts d'exploitation et de maintenance sont négligeables.
- **Des raccords sécurisés** : Les raccords en PRV sont fabriqués selon la méthode de raccord flexible et l'étanchéité est garantie par des manchons intégrant un joint élastomère full-face.
- **Une grande légèreté** :
 - Le poids des tuyaux en PRV correspond approximativement à 1/4 du poids des tuyaux en acier, 1/5 du poids des tuyaux en fonte, et environ 1/10 du poids des tuyaux en béton.
 - Les tuyaux en PRV de différents diamètres peuvent être imbriqués les uns dans les autres, il est possible de transporter davantage de tuyaux sur un seul véhicule. Le coût du transport est ainsi réduit.
 - L'installation est facile et rapide.
 - La manipulation et le montage ne requièrent aucun équipement spécifique. Leur légèreté facilite l'installation, y compris celle des plus longs tuyaux.
 -
- **Résistance à la corrosion et aux produits chimiques** :
 - Le tuyau en PRV ne rouille pas car il ne contient aucun matériau métallique.

- Par défaut, il est conçu pour être utilisé dans une large gamme de pH.
- Il est doté de propriétés isolantes et n'est pas influencé par le courant électrique.
- Il ne nécessite aucune protection cathodique.
- Il ne nécessite aucun revêtement intérieur et extérieur.



Figure 13 : Conduite en polyester renforcé de fibres de verre

IV.2.5 Tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC)

L'utilisation des tubes PVC en assainissement est devenue la règle depuis la fin des années 80. Le matériau PVC allie à ses propriétés de base (résistance à la corrosion, à l'abrasion, excellente continuité à l'écoulement), une grande résistance à l'ovalisation.

Ces tubes sont d'un usage pratique de par leur légèreté et leur relative facilité à mettre en œuvre. On distingue diverses tailles de tuyau en PVC : 32,40,50,63,100 ... mm

L'avantage du PVC :

- Faible coût ;
- Facile à transporter ;
- Facilité de montage ;
- Choix très important.

L'inconvénient :

- Bien connaître les règles de mise en œuvre par rapport à sa forte dilatation.



Figure 14 : Tuyau en PVC

IV.2.6 Les Conduites en amiante-ciment

Les tuyaux et pièces de raccordement en amiante-ciment se composent d'un mélange de ciment Portland et d'amiante en fibre fait en présence d'eau. Ce genre de canalisation se fabrique en deux types selon le mode d'assemblage : à ou sans emboîtement avec deux bouts lisses. Les diamètres varient de 60 à 500 mm pour des longueurs variant de 4 à 5 m. Les joints sont exclusivement du type préformé.



Figure 15 : conduite en amiante-ciment

IV.2.7 Conduite en grès

Le grès servant à la fabrication des tuyaux est obtenu à parties égales d'argile et de sable argileux cuit entre 1200°C à 1300°C.

Le matériau obtenu est très imperméable. Il est inattaquable aux agents chimiques, sauf l'acide fluorhydrique. L'utilisation de ce genre de conduite est recommandée dans les zones industrielles. La longueur minimale est de 1 m.



Figure 16 : Conduite en Grès

IV.2.8 La fonte

Grâce à des canalisations dont le poids a été réduit d'un tiers et dont la durée de vie a été multipliée par trois en dix ans ainsi que par la mise au point de technique de pose plus ergonomique, Saint-Gobain PAM réduit ses besoins en énergie et en matières premières, tout en diminuant significativement les émissions de CO₂. Lors du cycle de production, toutes les émissions polluantes sont filtrées et tous les déchets recyclés. L'impact environnemental est contrôlé par deux laboratoires, l'un interne, l'autre indépendant. Pour l'expédition des produits, l'accent est mis sur des moyens de transport diversifiés et faibles consommateurs d'énergie comme le rail ou le bateau. L'ensemble des pièces, tuyaux et raccords sont en fonte ductile et présentent des caractéristiques mécaniques exceptionnelles. Solides et imperméables, elles subissent les modifications d'environnement sans casse ni fissure et ne permettent pas les infiltrations. Elles n'autorisent pas non plus les raccordements pirates. Les

jonctions sont assurées par des joints STANDARD qui fonctionnent par compression et ont fait leur preuve en adduction d'eau. Les élastomères qui composent ces bagues sont soigneusement sélectionnés pour le maintien de leurs caractéristiques mécaniques et physico-chimiques dans le temps.



Figure 17 : Conduite en fonte

IV.3 Choix du type de canalisation

Une attention particulière doit guider le choix des matériaux de construction des réseaux d'assainissement ; les facteurs suivants sont à considérer [12] :

- Disponibilité des matières : ciment, agrégats et acier d'armature pour les tuyaux en béton par exemple ;
- Caractéristiques d'écoulement des tuyauteries (coefficients de frottement, etc.)
- Durabilité prévue des divers matériaux dans les conditions locales
- Résistance physique des matériaux
- Résistance à l'érosion, aux acides, aux bases, au gaz, et aux solvants lorsqu'il faut évacuer des eaux usées industrielles ou qu'il s'impose d'installer des égouts longs, peu inclinés, sous des climats chauds réputés accroître les risques de corrosion
- Facilité de manutention et d'installation
- Étanchéité et facilité d'assemblage des types de joints à utiliser
- Disponibilité des pièces spéciales aux dimensions requises
- Facilité d'installation des accessoires et des branchements
- Coûts d'achat des matériaux, de manutention et d'installation

V. LES JOINTS

Les joints sont conçus pour résister à la pression extrême et à la dépression, évitant l'infiltration d'eau du sol à l'intérieur des conduites et l'infiltration de l'eau.

Il existe plusieurs types de joints, leur nature dépend du matériau constituant les conduites. Les figures suivantes montrent quelques exemples de joints existants.



Figure 18 : Joints torique en caoutchouc

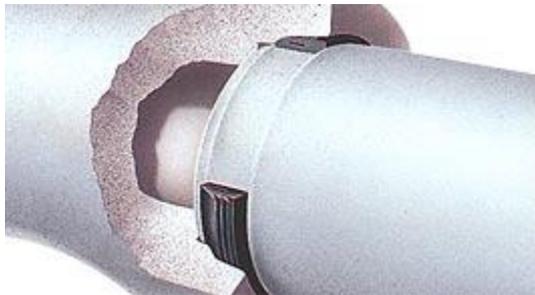


Figure 19 : Joint d'étanchéité pour Conduite en béton armé.



Figure 20 : Joint d'étanchéité pour Conduite en acier.

➤ Joint automatique

Le joint STANDARD Ve est un joint automatique verrouillé permettant la réalisation de canalisations auto butées. Le verrouillage a pour rôle une reprise des efforts axiaux et permet de s'affranchir des butées en béton.

Le principe de base du verrouillage des joints consiste à transférer les efforts axiaux d'un élément de canalisation vers le suivant et donc à rendre la jonction indéboîtable.

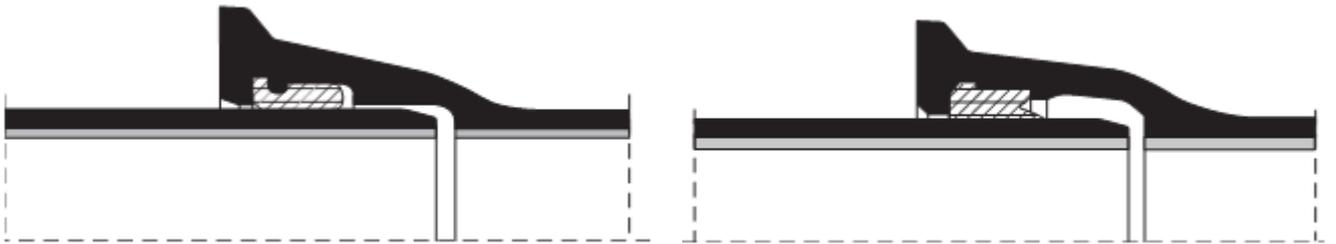


Figure 21 : Joint STANDARD automatique standard Ve

Figure 22 : Joint TYTON

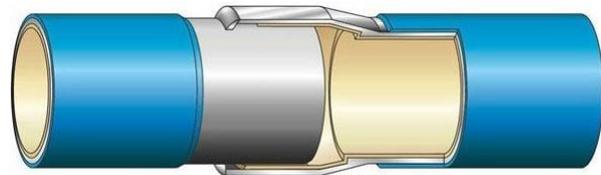
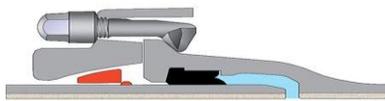


Figure 23: Joint standard Ve

Les joints verrouillés permettent de répartir sur un ou plusieurs tuyaux les poussées axiales qui prennent naissance aux points singuliers (coudes, cônes, tés, plaques pleines, etc.) et évitent ainsi l'implantation de butées en béton.

La fonction étanchéité est assurée par une bague de joint STANDARD. Le transfert des efforts axiaux se fait par un dispositif mécanique indépendant de celui de l'étanchéité et qui comprend

- un cordon de soudure réalisé en usine et situé sur le bout-uni du tuyau,
- un jonc de verrouillage, monobloc ou segmenté selon les diamètres

➤ **Joint automatique standard Vi**

L'utilisation du joint STANDARD Vi est particulièrement intéressante lorsqu'il existe des contraintes d'encombrement excluant la construction de butées en béton ou dans des terrains à faible cohésion ainsi que dans le cas de pose en forte pente ou en fourreau.

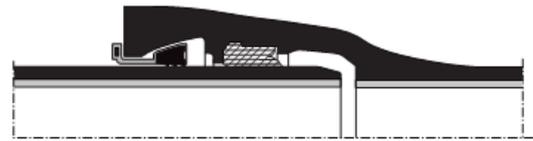


Figure 24 : Joint standard Vi

L'utilisation du joint STANDARD Vi n'est pas recommandée lorsque les joints sont soumis à des efforts de traction ou à des déviations angulaires non contrôlés et répétés.

Le joint STANDARD Vi n'est pas utilisable sur les tuyaux en fonte FGL (« fonte grise »).

Le joint STANDARD Vi cumule les avantages des canalisations à joints flexibles et des canalisations à joints soudés. L'étanchéité de ces joints repose sur les qualités reconnues des joints automatiques.

➤ **Joint type ROCLA**

Ce type de joint assure une très bonne étanchéité pour les eaux transitées et les eaux extérieures, Ce joint est valable pour tous les diamètres.

➤ **Joint à demi-emboîtement**

Avec cordon de bourrage en mortier de ciment, ce joint est utilisé dans les terrains stables.

Il y a risque de suintement si la pression est trop élevée, Il est à éviter pour les terrains à forte pente.

➤ **Joint à collet**

Le bourrage se fait au mortier de ciment, il n'est utilisé que dans les bons sols à pente faible.

[13]

VI. CAUSES DE LA DEGRADATION DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

En assainissement, le terme dégradation est couramment utilisé pour caractériser le mauvais état des équipements (réseaux), ou des ouvrages. Mais, qu'est-ce qui détermine, en fait, le caractère dégradé d'un réseau d'assainissement ?

Nous considérons que ce sont les manifestations du dysfonctionnement de ce réseau, ou le fait que le réseau ne réussisse plus à remplir son rôle. [14].

VI.1 Définition de la dégradation

Un réseau d'assainissement est dit dégradé lorsqu'il est incapable d'assurer les conditions nécessaires à la réalisation des objectifs qui lui sont assignés.

La dégradation est quantifiée par l'écart existant entre l'état réel (performance actuelle) et l'état prévu (performance optimale).

Notons que ce dernier est une notion relative. Il est orienté par les attributs et les préférences des gestionnaires du réseau. Une composante d'un réseau peut continuer à se dégrader sous l'effet de l'environnement auquel elle est soumise (variation des contraintes appliquées, action corrosive de l'effluent...).

Si ces mécanismes ne sont pas contrôlés par le biais d'une maintenance corrective, les défaillances engendrées auront des conséquences graves sur le réseau lui-même et sur son environnement. [15].

VI.2 Etats de la dégradation

L'état la dégradation d'un ouvrage d'assainissement ne s'identifie pas à l'accumulation d'un certain nombre d'anomalies, mais il se réfère au dysfonctionnement global des équipements et il caractérise, précisément, l'écart existant entre les finalités associées au réseau et sa performance réelle.

Le déclenchement d'un état de dégradation signifie, autrement dit, que la performance fonctionnelle de l'ouvrage devient désormais incompatible avec le rôle requis du système d'assainissement qui dépend, bien sûr, des conditions socio-économiques

L'existence du système se met alors automatiquement en cause. Par contre, la structure du réseau peut être usée et même en mauvais état sans être reconnue comme dégradée, tant que l'écart entre la performance fonctionnelle de l'ouvrage et ses finalités n'existe pas. [14].

VI.3 Conditions qui déterminent le comportement des équipements

Il existe quatre types principaux de conditions qui déterminent le comportement des équipements :

1- la construction initiale du réseau : concerne la qualité des matériaux qui composent les équipements, les conditions de leur construction et de leur pose. Elle influe considérablement sur l'évolution de la structure des ouvrages en conditionnant l'adéquation ou non de la structure vis-à-vis des contraintes exercées.

2- l'âge du réseau se reflète sur l'état de vieillissement de son matériel et sur les techniques utilisées pour l'installation initiale des canalisations. En effet, l'âge de l'ouvrage, en définissant le moment de sa construction, détermine aussi les moyens utilisés pour son installation.

3- l'usage du réseau : Le mode d'usage du réseau dépend de la nature des effluents déversés dans les canalisations, de même que des charges exercées sur les parois externes des canalisations. La nature des effluents est liée à la fonction d'utilisation des équipements qui est définie par la réglementation et qui dépend des mœurs des habitants et du contrôle des usagers, assuré par les agents exploitants du service. En outre, les contraintes exercées à l'extérieur des canalisations dépendent de la nature du milieu environnant (acidité du sol, rôle du trafic, présence d'autres services au voisinage du réseau).

4- l'entretien du réseau représente le souci du service d'assainissement pour conserver les équipements en bon état ; un niveau satisfaisant d'entretien pouvant, en effet, prévenir ou retarder le mécanisme de la détérioration. [14]

VI.4 Type de dégradation des réseaux d'assainissement

La dégradation d'un réseau d'égout peut être définie comme étant son incapacité à évacuer les eaux sanitaires et pluviales sans surcharge hydraulique, avec un certain impact sur l'environnement et la conservation de la bonne intégrité structurelle. Il est à noter qu'il y a trois types de dégradation :

VI.4.1 Dégradation hydraulique

C'est l'incapacité de l'égout à transporter le débit de conception sans dommages à la propriété. Un tronçon est dit défaillant quand il n'est plus capable d'évacuer adéquatement le débit de design pluvial et sanitaire. Il suffit parfois qu'un tronçon soit défaillant pour juger le dysfonctionnement de l'ensemble du réseau. En effet, une surcharge observée au niveau d'une conduite peut être causée par elle-même et par d'autres conduites en aval.

Cette dégradation se manifeste par les inondations suite à l'augmentation des débits de ruissellement. [16]

VI.4.2 Dégradation structurale

Représente en général le mauvais état physique d'un tronçon de conduite. Le réseau d'égout est compté parmi les infrastructures souterraines, se mettant en contact d'une façon

permanente par ces différents composantes (conduites, collecteur, intercepteur, émissaire, etc.) avec le milieu environnant.

L'état du sol constituant l'assise de la conduite est très important, car il lui constitue un soutien latéral.

La sollicitation des charges statiques permanentes et les charges dynamiques, liées au trafic routier, fait aussi partie du milieu environnant. L'ensemble de ces facteurs associés au vieillissement du réseau définissent la qualité. [16]

VI.4.3 Dégradation environnementale

La dégradation environnementale la plus commune est le déversement des eaux unitaires par les déversoirs d'orage en temps de pluie. Elle se manifeste quand la fréquence annuelle des déversements (sans traitement) dépasse largement la valeur prévue. [17]

VI.5 Facteurs de la dégradation des réseaux d'assainissement :

Les matériaux usuellement utilisés pour les réseaux d'assainissement sont les conduites en Béton, en CAO, CAP, en PVC, en PEHD et dernièrement en fibre de verre PRV alors que la plus parts des réseaux d'assainissements sont réalisés en PEHD.

Il faut mentionner que les causes principales de la dégradation de ces réseaux sont d'origine mécanique, physique ou chimique.

VI.5.1 Facteurs mécaniques

Dépassement des contraintes (σ_{ad}) ou des déformations (ϵ_{ad}) admissibles ($\sigma > \sigma_{ad}$, $\epsilon > \epsilon_{ad}$)

.Par exemple :

- le passage des grands engins ou camions dans les petites cités qui donnent naissance à des fissures qui favorisent la décroissance de la durabilité du béton armé.
- les charges accidentelles telles que le séisme ou bien les catastrophes naturelles.
- les charges thermiques dues à l'écart de température.

VI.5.2 Facteurs physiques

- **VI.5.2.1 La porosité** : La porosité indique les pores dans la matrice cimentaire qui favorisent la diffusion des eaux chargées et l'absorption capillaire notamment pour les petits pores.
- **VI.5.2.2 La perméabilité (pores ouverts)** : La perméabilité d'un milieu poreux correspond à son aptitude à se laisser traverser par un fluide (liquide ou gaz) sous

l'effet d'un gradient de pression. Elle dépend fortement du réseau poreux et de sa connectivité. Un béton perméable est un béton non durable.

VI.5.3 Facteurs chimiques

Les facteurs chimiques se traduisent par les réactions d'échange entre le matériau et le milieu agressif. Ils sont souvent les plus importants, puisque le béton peut se dégrader par réaction Chimique (dissolution, gonflements) à partir de ses constituants. [18]

VII. PRINCIPALES CAUSES DE LA DEGRADATION DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

VII.1 Causes structurels

L'affaiblissement de la performance fonctionnelle du réseau :

La performance fonctionnelle du réseau d'assainissement dépend d'une part de l'état physique des équipements et d'autre part de la nature des effluents transportés par le réseau.

L'affaiblissement de la performance du réseau représente la manifestation du mauvais état des ouvrages et du caractère impropre des effluents au fonctionnement des ouvrages. Il s'agit autrement dit, soit de la détérioration des équipements, qui a un caractère permanent, soit des anomalies temporaires du fonctionnement du réseau, liées à la quantité et à la qualité des eaux usées transportées (débordements dus à des pluies exceptionnellement fortes, dysfonctionnement de la station d'épuration dû au caractère agressif des effluents transportés).

VII.1.1 Manque de maintenance

L'observation régulière et sérieuse des conduites est une condition impérative pour la prévention de sa dégradation et de ses dysfonctionnements. Sa négligence constitue un facteur de risque aggravant, de même que l'absence de réalisation des mesures préconisées après constat de désordres ou anomalies.

VII.1.2 Construction

La vulnérabilité des ouvrages est fortement accrue par :

- L'inadaptation des techniques d'exécution.
- La mauvaise maîtrise de ces techniques.
- La rencontre d'aléas géologiques, pour lesquels les techniques d'exécution et la structure ont été mal adaptées.

Les modes d'exécution de l'ouvrage défaillant suivant sont aussi générateurs, d'une vulnérabilité accrue des conduites :

Les travaux à ciel ouvert (en tranchées), où la mise en place du soutènement est décalée par rapport au terrassement et surtout où le rabattement préalable de la nappe n'a pas été réalisé induisant ainsi un remaniement de fouille.

L'environnement des canalisations génère un certain nombre de risques de dégradation qui peuvent être liés :

- aux terrains (risques géotechniques).
- à l'effluent transporté (risques hydrauliques).
- à l'ouvrage lui-même (risques structurels).
- au milieu environnant (risques d'impacts).
- au catastrophe naturelle (séisme, inondation).

VII.2 Les causes liées aux conduites

Les paramètres des conduites influençant les dommages sont les suivants :

VII.2.1 Diamètres

Les tremblements de terre passés ont montré l'influence des diamètres sur le nombre de rupture. Les conduites ayant de petits diamètres subissent plus de dégâts que les conduites ayant de grands diamètres.

VII.2.2 Conduites continues

Les conduites continues sont celles ayant des joints rigides, comme les canalisations continues soudés en acier. Construite conformément aux codes d'usage modernes, les conduites continues ont eu un meilleur comportement lors des tremblements de terre passés que celles construites en utilisant d'autres méthodes.

VII.2.3 Conduites segmentées

C'est une conduite constituée de segments couplés avec des connexions relativement flexibles. Selon le matériau les connexions permettent plus ou moins un mouvement sans rupture de ce type de canalisations.

VII.2.4 Conduite principale et secondaire

Les dommages dans les conduites ont tendance à se concentrer aux discontinuités comme les coudes et les valves. Ceci crée des points d'ancrage rigide qui ont pour effet d'augmenter la concentration des contraintes.

VII.2.5 Age et corrosion

L'âge de la conduite ainsi que sa corrosion vont augmenter les dommages, en particulier dans les tuyauteries en acier segmenté, filetés et en fonte ductile. La corrosion affaiblit les tuyaux en diminuant l'épaisseur du matériau et en créant des concentrations de contraintes.

Enterrées), aussi il convient d'étudier l'interaction sol-structures afin de modéliser correctement le comportement de ces conduites lors d'un tremblement de terre.

VII.3 Causes liée au sol

Les causes liées au sol peuvent engendrer des dommages par différents aspects résumés ci-après [20] :

VII.3.1 Mouvements du sol

Le tremblement de terre se réfère aux déformations du sol causé par les propagations des ondes sismiques. Il affecte une zone étendue et peut produire des dommages dispersés. Le niveau d'un tremblement de terre, peut être exprimé en terme de :

- PGV (Peak Ground Velocity) : la vitesse maximale du sol.
- PGD (Peak Ground Accélération): le déplacement maximal du sol.
- PGA (Peak Ground displacement) : l'accélération maximale du sol.
- MMI : (Mercalli Modified Intensity) : l'échelle de Mercalli modifié.

VII.3.2 Liquéfaction

Liquéfaction est un phénomène affectant généralement les sols granulaires saturés (limons-sable) dans des conditions desserrées sous un chargement dynamique comme le cas de tremblement de terre.

Dans cette condition et avec une période de temps courte, le sol granulaire sera dans un état non drainé suite à la propagation de l'onde sismique. Cela conduit à une augmentation de la pression interstitielle de l'eau qui réduit le frottement entre les particules de sol d'où la liquéfaction.

Le PGD est souvent utilisé comme mesure pour caractériser l'effet de ce phénomène sur les conduites enterrées.

VII.3.3 L'interaction avec la Faille

C'est une déformation permanente localisée du sol, se produisant à la surface de ce dernier et rencontrant la canalisation.

Souvent les dommages dans les canalisations rigides sont importants en cas où les canalisations croisent une faille, par contre pour les canalisations souples, les dommages sont moins importants car une certaine flexibilité les caractérise ce qui leur permet de se déformer jusqu'à une certaine limite.

Le PGD est souvent utilisé comme mesure pour caractériser ce phénomène.

VII.3.4 Condition de sol

La classification ou le zonage du sol est important dans le processus d'évaluation de dégâts d'un tremblement de terre car ce dernier affecte directement l'amplification des ondes sismiques.

VII.3.5 Tassement

Ce sont, avant tout, les conditions de réalisation des conduites ou d'évolution de leur environnement qui vont générer ces tassements

VII.3.6 Nature du sol

Certains matériaux naturels, tels que le gypse, sont solubles voire très solubles dans l'eau. La dissolution conduit à la formation de cavités et de Karst plus ou moins importants.

L'origine de fissure, d'affaissement ou d'effondrement pour les conduites situées dans des sols cependant, pour qu'il y ait un risque réel, il faut que le sol soluble soit effectivement baigné par une nappe et que cette nappe, dans le cas où elle s'écoule naturellement, ne soit pas saturée ou bien que cette nappe soit en mouvement sous l'effet d'un pompage dont la zone d'influence intéresse la canalisation. [19]

Une fuite entraînant une circulation d'eau d'origine accidentelle constitue une autre grande cause de dissolution de ce type de sol.

VII.3.7 Gonflement – retrait : sol

Certaines argiles et marnes raides ont une tendance à changer de volume en fonction de leur teneur en eau. Pour une conduite qui traverse des terrains de cette nature, l'existence de cycles gonflement – retrait, causés par des fluctuations du niveau de la nappe phréatique ou par des

cycles de sécheresses, peut se traduire par des soulèvements, des tassements et des efforts de compression à l'origine de déformation et de fissure de la structure.

VII.3.8 Glissement de terrain :

Les glissements de terrains résultent de la rupture d'un massif lorsque la contrainte de cisaillement, au niveau de la surface de rupture, devient supérieure à la résistance au cisaillement du sol. Ils entraînent, le plus souvent la ruine des ouvrages.

VIII. METHODES D'ESTIMATION DES DOMMAGES

Il existe deux grande familles de méthodes d'estimation des dommages suite à un séisme[20] :

- Les méthodes empiriques : basées sur le retour d'expériences des séismes passées pour estimer la vulnérabilité des structures représenté par leurs caractéristiques structurales.
- Les méthodes numériques : qui se base sur la base des informations structurales disponible afin de calculer la vulnérabilité grâce à des modèles numériques plus ou moins sophistiqués.

VIII.1 Méthode de l'ATC

La méthode de l'ATC (Applied Technical Council) a été développée pour l'évaluation des dommages sismiques pour 78 types de structures en Californie, parmi ces structures il y avait 48 types de bâtiments et 38 types d'infrastructure comme les ponts, les tunnels et les canalisations.

Pour les canalisations l'état de dommage a été définie comme le nombre de cassure par kilomètre. L'échelle de Mercalli Modifiée (MMI) est utilisée pour caractériser l'intensité sismique.

L'addenda à l'ATC-25, l'ATC 25-1 est dédié aux systèmes d'assainissements et présente une méthodologie pour l'estimation des dommages sismiques pour ce type de réseau ainsi que les impacts de la fissuration des canalisations et de la rupture du système d'assainissements [20].

Le modèle présenté dans l'ATC 25-1 donne les outils pour effectuer un examen préliminaire ou « phase une » de l'impact d'un séisme sur la fonctionnalité d'un système d'assainissement au niveau local ou régional.

VIII.2 Method RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters).

C'est un projet réalisé lors de la décennie internationale (IDNDR 1990-2000) de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN). Il vise à établir des instruments d'évaluation des risques pour le diagnostic des zones urbaines soumises aux catastrophes sismiques.

Le programme RADIUS (Outils pour l'évaluation et le diagnostic des risques sismiques en zones urbaines) a été développé sur la base d'études effectuées sur 9 villes parmi 58 candidates à savoir : Addis-Abeba (Ethiopie), Antofagasta (Chili), Bandung (Indonésie), Guayaquil (Equateur), Izmir (Turquie), Skopje (Ex-République Yougoslave de Macédoine), Tachkent (Ouzbékistan), Tijuana (Mexique), Zigong (Chine).

RADIUS vise à préparer des scénarios de catastrophe et des plans d'actions préventives dans les villes sélectionnées ainsi qu'à développer des instruments pratiques pour l'évaluation des risques sismiques en zone urbaine.

Le projet RADIUS a été financé par le Gouvernement Japonais. En outre, trois instituts internationaux ont contribué à son élaboration : le Centre International pour les techniques de réduction des catastrophes (INCEDE, Japon), le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, France), et GeoHazards International (GHI, USA).

Selon RADIUS l'estimation des dégâts dans les réseaux vitaux tels que l'eau potable, l'assainissement, l'électricité, le gaz et les réseaux de transport, à savoir routes et ponts, etc. ne considère pas seulement les pertes directes et les efforts de la reconstruction, mais aussi l'interruption des activités de la vie journalière.

Une base de données qui inclut des renseignements sur l'emplacement, le type de structure et les attributs de ces installations est nécessaire afin d'estimer précisément les dommages dans les réseaux vitaux. Mais, dans beaucoup de cas, il est difficile de rassembler des données complètes. Cet outil estime approximativement la valeur moyenne des dégâts et les proportions des dégâts pour le nombre total d'installations dans la région visée [21].

VIII.3 Méthode RISK-UE

Le projet européen RISK-UE a été lancé à la fin de la décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN), avec un démarrage effectif en janvier 2001. Il s'est achevé fin 2004.

La méthodologie RISK-UE utilise les mêmes hypothèses préconisées dans l'ATC 25-1 pour les canalisations

Il concerne l'évaluation des scénarios sismiques, basés sur l'analyse de l'impact global d'un ou plusieurs séismes plausibles, à l'échelle d'une ville, dans le contexte européen [22].

La méthodologie a été appliquée aux 7 villes européennes suivantes : Barcelone (Espagne), Bitola (Macédoine), Bucarest (Roumanie), Catane (Italie), Nice (France), Sofia (Bulgarie) et Thessaloniki (Grèce).

Dans cette méthodologie, la typologie des conduites dépend des paramètres suivants :

- Localisation (conduits enterrées ou aérienne)
- Matériau de la conduite
- Géométrie de la conduite (diamètre, épaisseur)
- Types de joints (rigide ou fragile)
- Appartenance ou non à une ramification
- Corrosion (âge et conditions du sol)

Un modèle pour la vulnérabilité des conduites a été donné, selon que les conduites soient soumises aux propagations des ondes sismiques, aux glissements de terrains et/ou à la présence de faille ainsi qu'aux types de joints : rigide ou fragile.

Les conséquences possibles de dommage pour les conduites sont décrites par un taux de réparation qui combine les cassures et les fuites :

- Dans le cas d'onde sismiques ,80% des dégâts sont dus aux fuites et 20% sont dus aux cassures.
- Dans le cas du mouvement du sol les dégâts sont de 20% pour les fuites et 80% pour les cassures.

VIII.4 Méthode de la FEMA

La FEMA (Federal Emergency Management Agency) a financé un projet en coopération avec NIBS (National Institute of Building Sciences) afin de développer un outil d'estimation des dommages.

Ces estimations avaient pour objectif d'encourager les efforts de prévention et de réduction du risque sismique et de préparer les plans de secours et de reconstructions.

La méthodologie développée a été implantée dans le logiciel HAZUS en utilisant un Système d'Information Géographique (SIG). Trois niveaux d'analyse y sont disponibles :

- Analyse par défaut,
- Analyse utilisant des données de l'utilisateur
- Analyse avancé et modélisation.

A l'opposé des études précédentes de l'ATC, le mouvement sismique et les fonctions de dommages sont décrites en termes de réponses spectrales, de pics d'accélération (PGA) et de pics de vitesses (PGV) plutôt qu'en MMI.

HAZUS utilise les PGV et les PGD (pics de déplacement du sol) dans l'évaluation des dommages pour les canalisations. Par ailleurs, il ne considère pas que le diamètre des canalisations soit un facteur dominant pour l'estimation des dommages dans les tuyauteries. Par contre, il différencie entre les canalisations fragiles (cassantes) et les canalisations ductiles. Les canalisations en amiante ciment, en béton, en fonte, et en aciers tel que les joints sont réalisés par soudage au chalumeau, sont considérées comme fragiles.

Par contre les canalisations en acier ductile, en PVC et en aciers tel que les joints sont réalisés à l'arc électrique, sont considérées comme ductiles.

Par hypothèse les canalisations ductiles ont une vulnérabilité égale de 30% de celle des canalisations fragiles. HAZUS considère deux types de dommages pour les canalisations :

- Les fuites
- Les cassures.

Il est fait l'hypothèse que le mouvement du sol (PGD) et la propagation des ondes (PGV) provoquent des cassures et des fuites respectivement.

Dans l'estimation des pertes, le dommage par défaut dû aux PGV est estimé à 80% de fuites et 20% de cassures. L'opposé est valable pour les PGD. Cependant l'utilisateur de HAZUS peut changer ces valeurs [23].

de glissement sont définis pour estimer la diminution de la contrainte sur une conduite résultant de l'effet de glissement.

VIII.6 La méthode de l'indice de vulnérabilité

La méthode de l'indice de vulnérabilité pour le réseau d'eau potable a été développée dans [20]. C'est une méthode analytique simplifiée prenant en compte un certain nombre de paramètres influençant le comportement sismique des canalisations considérées.

Cette méthode nous permettra de diagnostiquer l'état de la conduite et de la classer en fonction de la vulnérabilité sismique.

IX CONCLUSION

La vulnérabilité peut être réduite par l'application de plans et de modes de développement appropriés. Il est important d'étudier la vulnérabilité des constructions mais aussi les réseaux vitaux dont nous allons étudier l'un des plus importants à savoir le réseau d'assainissement. Ce choix se justifie par le fait que ce réseau est essentiel pour l'environnement de la région concernée par le sinistre.

Compte tenu de ceci, nous allons développer une méthode analytique simplifiée prenant en compte les facteurs intervenant dans la vulnérabilité des conduites ceci à travers la méthode de l'Indice de Vulnérabilité (IV). Cette méthode nous permettra de diagnostiquer l'état du réseau d'assainissement et de classer les tronçons des conduites en fonction de sa vulnérabilité sismique.

Chapitre II

METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE

I. INTRODUCTION

Les causes des dommages dans les canalisations enterrés d'assainissements sont multiples et variées comme présentés auparavant. Néanmoins il convient de disposer d'un outil fiable pour identifier les tronçons les plus vulnérables à l'action sismique afin d'intervenir dessus pour réduire leur vulnérabilité en cas de séisme.

La méthode utilisée devra être rapide, brève et précise vu que le réseau est réparti sur une large région et qu'il s'étend sur des centaines voire des milliers de kilomètres.

Deux approches peuvent être utilisées. L'approche statistique et l'approche par modélisation. Ce chapitre sera consacré à l'outil statistique

II. CAUSES DES DOMMAGES DANS LES CONDUITES D'ASSAINISSEMENT

Pour l'estimation des dégâts d'un tremblement de terre, les caractéristiques des séismes, les conditions du sol, les données démographiques et les fonctions de la vulnérabilité sont des données primordiales. Les conditions du sol sont importantes dans le processus de l'estimation des dommages d'un séisme parce que les caractéristiques du sol affectent directement l'amplification sismique de ce dernier.

Les paramètres influents sur le dommage des conduites d'assainissement sont classés en trois grandes catégories à savoir :

II.1 Paramètres structurels

Ce sont des paramètres liés à la conduite, il s'agit du matériau, du diamètre et de la nature chimique des eaux usées et sont représentés dans les tableaux 2,3 et 4.

II.1.1 Matériaux : les conduites pour l'assainissement sont constituées de divers matériaux tel que : Acier, Béton armé, PVC, PEHD, PRV etc.

Tableau 2 : Différents matériaux

Matériaux	Amiante
	Grés
	Fonte
	BA
	PVC
	PEHD
	PRV

II.1.2 Diamètres : Les tremblements de terre passés ont montré l'influence des diamètres sur le nombre de rupture. Les conduites ayant de petits diamètres subissent plus de dégâts que les conduites ayant de grands diamètres.

Tableau 3 : Différents diamètres

Diamètre	D < 300 mm
	$300 \leq D \leq 600$ mm
	D > 600 mm

II.1.3 Le pH : est un élément important pour l'interprétation de la corrosion dans les canalisations. Le déversement des eaux usées domestiques ou industrielles peut influencer le pH du milieu

Tableau 4 : Différents ph

Nature chimique des eaux usées	PH<7 (acide)
	PH>7 (basique)

II.2 Paramètres liés au sol

Ce sont des paramètres liés au type de sol, à la liquéfaction, au glissement et la pente. Ces paramètres sont représentés dans les tableaux 5,6, 7 et 8.

II.2.1 Type de sol : la classification ou le zonage du sol est important dans le processus d'évaluation des dégâts d'un tremblement de terre car ce dernier affecte directement l'amplification des ondes sismiques.

Tableau 5 : Différents types de sols

Type de sol	Alluvion: sol très mou
	Alluvion: sol mou
	Sol moyen
	Sol rocheux moyen

II.2.2 Liquéfaction : c'est un phénomène affectant généralement les sols granulaires saturés (limons-sable) dans des conditions desserrées sous un chargement dynamique comme le cas de tremblement de terre.

Dans cette condition et avec une période de temps courte, le sol granulaire sera dans un état non drainé suite à la propagation de l'onde sismique. Cela conduit à une augmentation de la pression interstitielle de l'eau qui réduit le frottement entre les particules de sol d'où la liquéfaction.

Tableau 6 : Liquéfaction

Liquéfaction	$0 \leq PL < 5$
	$5 \leq PL < 15$
	$15 \leq PL$

II.2.3 Les glissements de terrain : ce sont des déformations permanentes de sol, produisant des dégâts sévères, dans les conduites. Les glissements de terrains se produisent plus si le séisme survient pendant la saison des pluies.

Tableau 7 : Glissement des terrains

Glissement	Pas de glissement
	Glissement moyen
	Glissement important

II.2.4 Pente : la pente est le rapport entre la déniveler et la distance du terrain qui permet l'évacuation des eaux usées chargées d'impureté afin d'éviter la stagnation des eaux

Tableau 8 : Pentas

Pente	$1\% < p \leq 3\%$
	$3\% < p \leq 5\%$
	$P > 5\%$

II.3 Aléa sismique

C'est un paramètre très important pour la détermination des dommages dans les conduites enterrées, représenté dans les tableaux suivants 9 et 10.

II.3 .1 Intensité sismique :

Le tremblement de terre se réfère aux déformations du sol causé par les propagations des ondes sismiques. Il affecte une zone étendue et peut produire des dommages dispersés. Le niveau d'un tremblement de terre, peut être exprimé en terme de :

- PGV (Peack Ground Velocity) : la vitesse maximale du sol.
- PGD (Peak Ground Acceleration): le déplacement maximal du sol.

- PGA (Peak Ground displacement) : l'accélération maximale du sol.
- MMI : (Mercalli Modified Intensity) : l'échelle de Mercalli modifié.

Tableau 9 : Intensité sismique

Intensité	MMI<8
	8≤MMI<9
	9≤MMI<10
	10≤MMI<11
	11≤MMI

II.3.2 Interaction avec la faille : Souvent les dommages dans les canalisations rigides sont importants en cas où les canalisations croisent une faille, par contre pour les canalisations souples, les dommages sont moins importants car une certaine flexibilité les caractérise ce qui leur permet de se déformer jusqu'à une certaine limite.

Tableau 10 : Interaction avec la faille

Interaction avec la faille	pas d'intersection
	une intersection
	plusieurs intersections

III. INDICE DE VULNERABILITE DES CANALISATIONS D'EAU POTABLE

Pour le réseau d'alimentation en eau potable, une expression simple est proposée où l'indice de vulnérabilité (IV) est le produit de plusieurs coefficients qui dépendent des paramètres considérées dans [20].

L'indice de vulnérabilité est donc représenté par l'équation suivante :

$$IV = C_d \cdot C_m \cdot C_f \cdot C_s \cdot C_g \cdot C_l \cdot C_i$$

Où :

C_d : représente le facteur de correction pour le diamètre de la conduite

C_p : représente le facteur de correction pour le matériau

C_f : représente le facteur de correction pour l'intersection avec la faille

C_g : représente le facteur de correction pour le glissement de terrain

C_s : représente le facteur de correction pour le type au sol

C_l : représente le facteur de correction pour la liquéfaction

C_i : représente le facteur de correction pour l'intensité sismique

IV. INDICE DE VULNERABILITE DES CANALISATIONS D'ASSAINISSEMENT

En se basant sur les causes des dommages dans les canalisations enterrées, nous proposons une méthode simple nommée "méthode de l'indice de vulnérabilité" pour estimer la vulnérabilité sismique des canalisations enterrées des réseaux d'assainissements.

Dans notre méthode nous allons considérer tous les paramètres qui causent des dommages dans les conduites d'assainissement sous l'effet du séisme.

Pour se faire une allons utiliser une méthode multicritère **ANALYTICALHIERARCHY PROCESS (AHP)**.

IV.1 Méthode de l'AHP

Le Processus de décision analytique/hierarchique ou l'AnalyticalHierarchy Process(AHP) est une méthode inventée par le professeur Thomas Saaty. Elle fournit une structure de prise de décision qui tient compte de facteurs pesés en groupe. La structure dite hiérarchique est la suivante : le but, puis les critères d'atteinte du but, puis les alternatives possibles pour chaque critère. [24] [25]

La vision hiérarchique d'un problème multicritère :

- n critères C_1, \dots, C_n
- Chaque critère c_i se décompose en sous-critères C_{ij}
- Chaque sous critère C_{ij} donne lieu à des conséquences

IV.2 Evaluation hiérarchique ascendante

- Pour les ratios d'utilité des conséquences → poids d'une conséquence x : $W_{ij}(x)$
- Ratios d'importance des sous-critères de i → poids du sous-critère j : $W_i(j)$
- Ratios d'importance des critères C_1, \dots, c_n → poids $W(i)$

➤ Le tableau de Saaty [24] permet d'établir les paires de comparaison entre les paramètres sous forme d'une matrice. Les coefficients C_{ij} sont les éléments de la matrice représentant justement ces comparaisons entre les paramètres.

➤ La comparaison par paire étant effectuée, il faut rechercher un vecteur de priorité qui classe les alternatives par ordre croissant ou décroissant d'importance relative

Tableau 11 : Tableau de Saaty [24]

Valeurs numériques	Définitions
1	Egalement important (aucune préférence)
3	Légèrement plus important
5	Fortement plus important
7	Très fortement plus important
9	Absolument plus important (une préférence absolue)
2, 4, 6,8	Valeurs intermédiaires pour mettre en évidence des compromis
Valeurs inverses	Utilisées pour montrer la dominance du second élément par rapport au premier.

Agrégation hiérarchique : Objet x dont les conséquences sont x_{ij} sur C_{ij}

$$V_i(x) = \sum_j W_j(x_{ij})$$

$$V(x) = \sum_i W_i V_i(x)$$

IV.2 Classification des conduites d'assainissement

Sur la base de l'étude de l'AHP, nous avons proposés une classification des conduites en fonction de la valeur prise par l'IV. Cette classification est donnée dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Classification des conduites d'assainissements

Valeur de l'IV	Evaluation	Couleur
$0 < IV < 7$	Vulnérabilité faible	Vert
$7 \leq IV < 10$	Vulnérabilité moyenne	Orange
$10 \leq IV$	Vulnérabilité grande	Rouge

- ✓ Dans cette classification, quand l'indice de vulnérabilité est entre zéro et sept la vulnérabilité de la conduite est faible et la couleur verte lui est associée.
- ✓ Quand l'indice est supérieur à dix, cela signifie une situation critique et la conduite est vulnérable, aussi la couleur rouge y est associée.
- ✓ Pour une situation intermédiaire (IV entre sept et dix) la couleur orange y est associée.

VI. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons développé un outil simple et efficace pour la détermination de l'indice de vulnérabilité des conduites d'assainissement. Pour cela nous avons utilisé une méthode basée sur la méthode multicritère de prise de décision l'AHP. En se basant sur les causes de dommage des canalisations d'assainissement, nous avons proposé une classification des tronçons des conduites en fonctions de l'indice de vulnérabilité.

Chapitre III

ZONE D'ETUDE « VILLE DE BLIDA »

I. INTRODUCTION

La méthode de l'indice de vulnérabilité des canalisations d'eau usée développée dans le chapitre précédant, sera appliquée sur un cas d'étude. Il s'agit en l'occurrence de l'agglomération de Blida. C'est une agglomération située à environ 40 Km au Sud-Ouest d'Alger capital de l'Algérie. Elle se situe dans la plaine de la Mitidja. Plaine réputée pour ses terres fertiles, c'est une zone à forte sismicité (Zone III) d'après le dernier Règlement Parasismique Algérien (RPA 99 version 2003).

La ville de Blida est importante de part sa situation géographique et de part son tissu industriel et agricole. C'est aussi un centre commercial, universitaire, touristique et militaire. Elle se caractérise aussi par un réseau d'assainissement dense et diversifié du point de vue diamètres et matériaux.

II. ZONE D'ETUDE

La ville de Blida est fondée au XVI^e siècle par le marabout Sidi Ahmed el Kabir avec la participation de musulmans andalous qui s'installent à Ourida (premier nom de Blida) et transforment alors les terres incultivables en vergers grâce aux plantations d'orangers et l'art de l'irrigation. Ils apportent également à la région, l'art de la broderie sur cuir. La légende locale attribue à Sid Ahmed Ben Youcef surnommé el Kebir des origines andalouses, mais il est originaire du Sahara occidental. À la demande de Barberousse qui a fourni les finances nécessaires des caisses de la régence d'Alger, il créa le noyau de la ville de Blida pour accueillir des réfugiés andalous. Selon la tradition orale, il s'écria en contemplant la ville : « On t'appelle El-Blida (petite ville), je t'appelle El-Ourida (« la petite rose ») ».

II.1 Population

La population totale de la wilaya est estimée à 1 116 471 habitants (2012), soit une densité de 755 habitants par Km².

⇒ Taux de croissance de la population : 2.3 %

⇒ Population active (2012): 467 315 hab.

⇒ Population occupée (2012): 412 887 hab.

II.2 Réseau d'Assainissement

Le réseau d'Assainissement de la région de Blida remonte à la période de la présence Française en Algérie et n'a cessé de s'étendre et de se renouveler depuis. Pour cette raison on trouve différents types de matériaux pour les canalisations

Ce réseau est constitué de tuyauteries de différents diamètres allant du diamètre 300 mm au diamètre 2500 mm La longueur des différents diamètres en fonction du matériau est donnée dans les tableaux suivants :

Tableau 13 : Longueurs en fonction des différents diamètres et matériaux (region de Blida)

Diamètre (mm)	Longueurs(m)									
	BA	PEHD	CAO	CAP	PVC	Beton	Accier	Ovide	BC	DALLOT
300	818,95	755,26	4703,40			303.9	139.37		272,50	
400	10540,99	5408,52	542,40		204,68		133.09	94,81	381,89	
500	6129,91	17790,11								
600	17175,45	2333,49	590,17	1896,80						
700	2625,34									
800	16652,33	416,21								
900	2745,95									
1000	13647,33	352,42								
1200	5131,38									
1300								289,74		
1500	2396,43							160,79		346,68
1600	892,30									
1800	733,34									
2250								206,66		

Figure 25 : Proportion des différents diamètres (mm) en fonction de la longueur (m) (région de Blida).

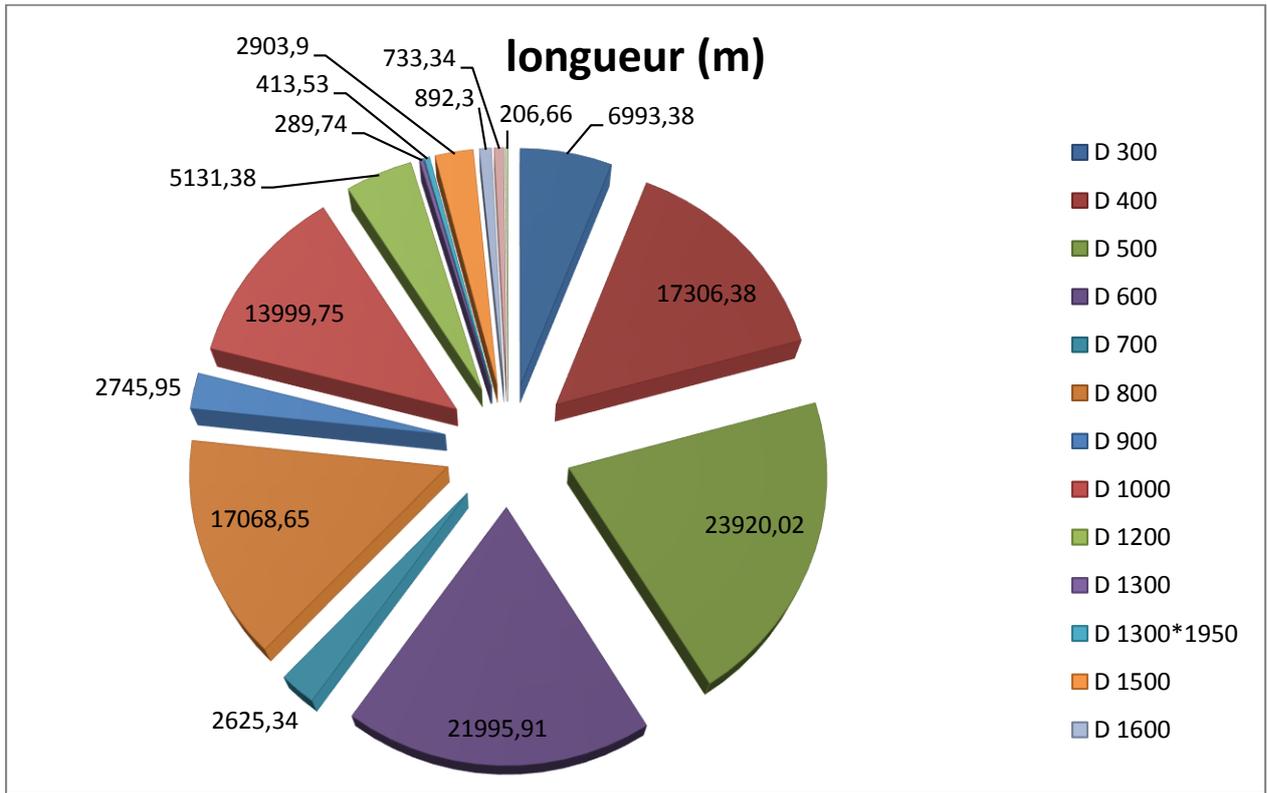
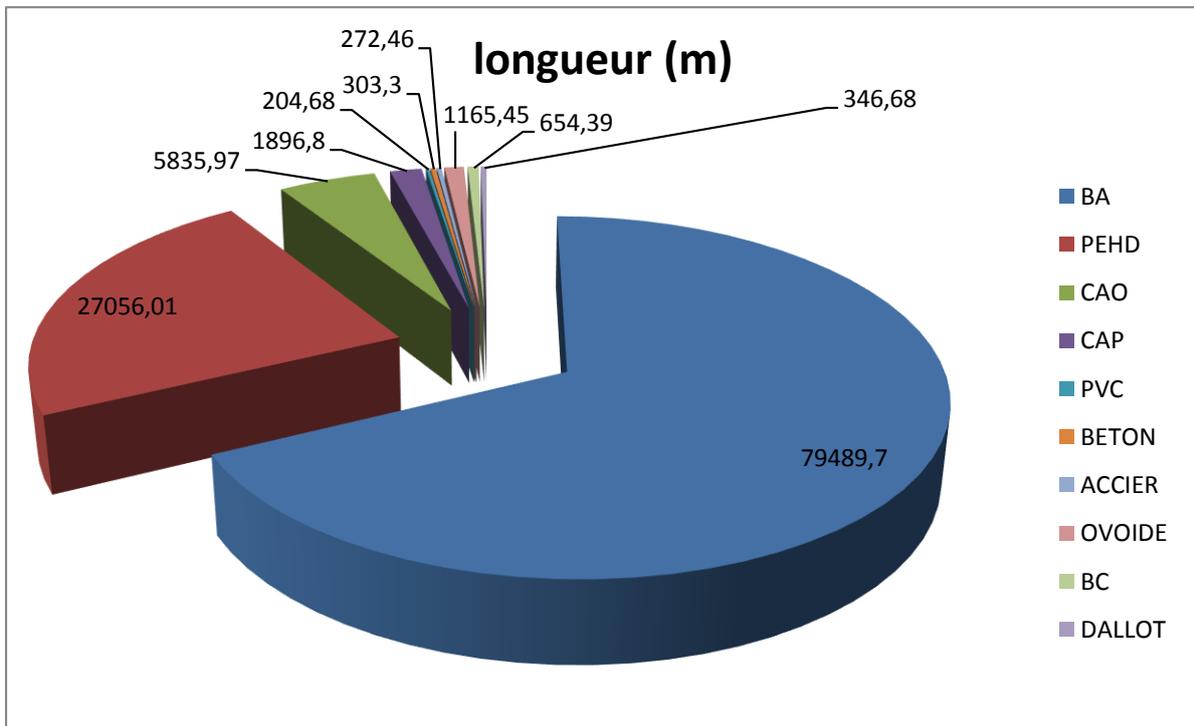


Figure 26 : Proportion des différents matériaux en fonction de la longueur du système d'assainissement de Blida



II.3 Contexte géologique

La ville de Blida est située sur des formations récentes, marquant la limite entre l'Atlas Blidéen et la plaine de la Mitidja.

La stratigraphie se lit à partir de la formation la plus récente à la formation la plus ancienne. Le contexte litho stratigraphique de cette région est caractérisé par des formations allant du Trias au Quaternaire (Trias, Jurassique, Crétacé et Paléocène), la région de Blida est constituée par un Miocène formé de marnes et d'argiles marneuses avec des intercalations de grès [20].

Figure 27 : Carte géologique de la région de Blida [20].

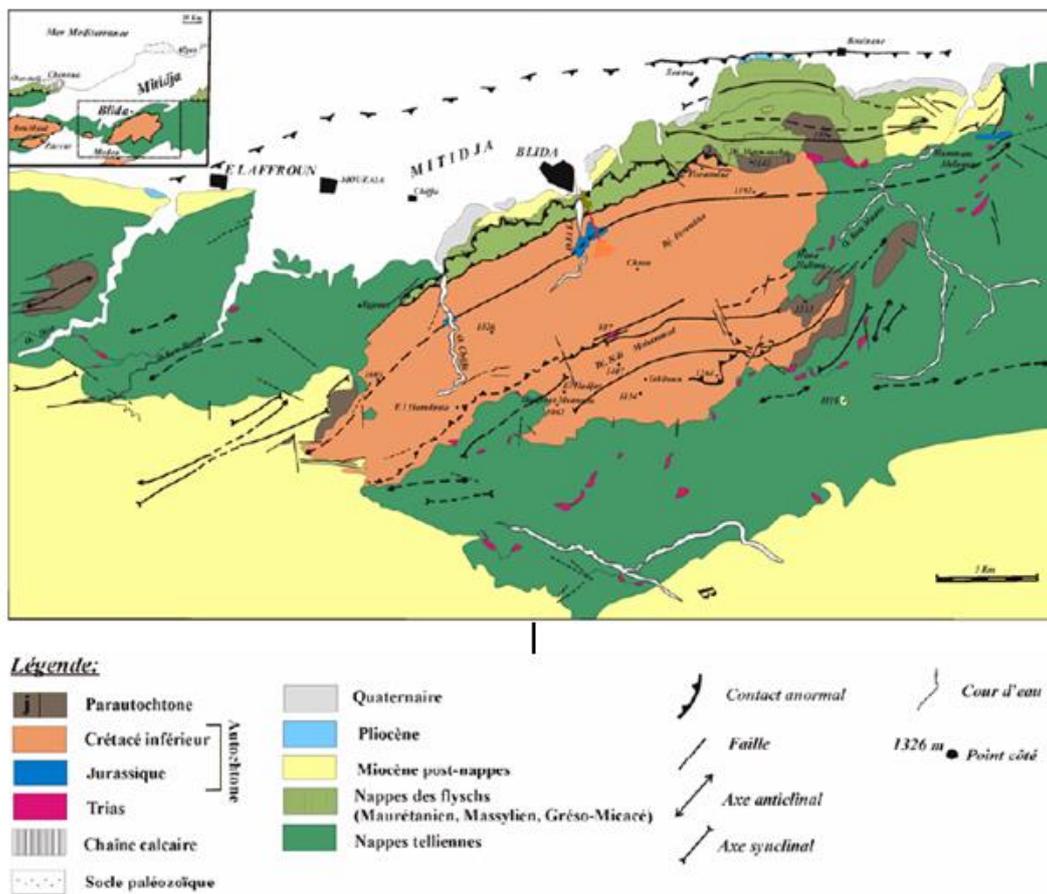
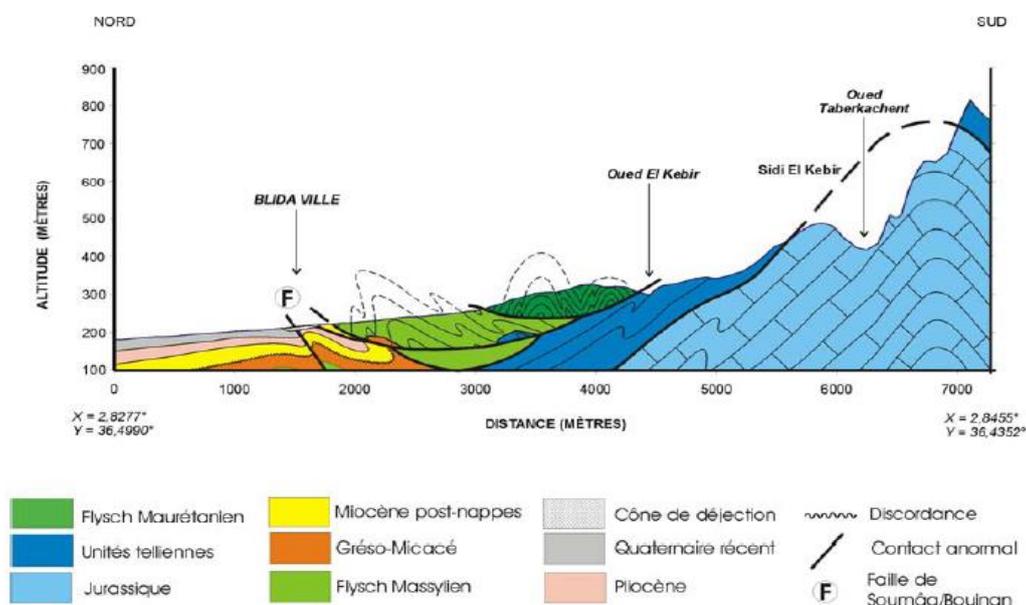


Figure 28 : Coupe géologique illustrant la disposition des différentes unités tectono-sédimentaires dans la région de Blida [20].



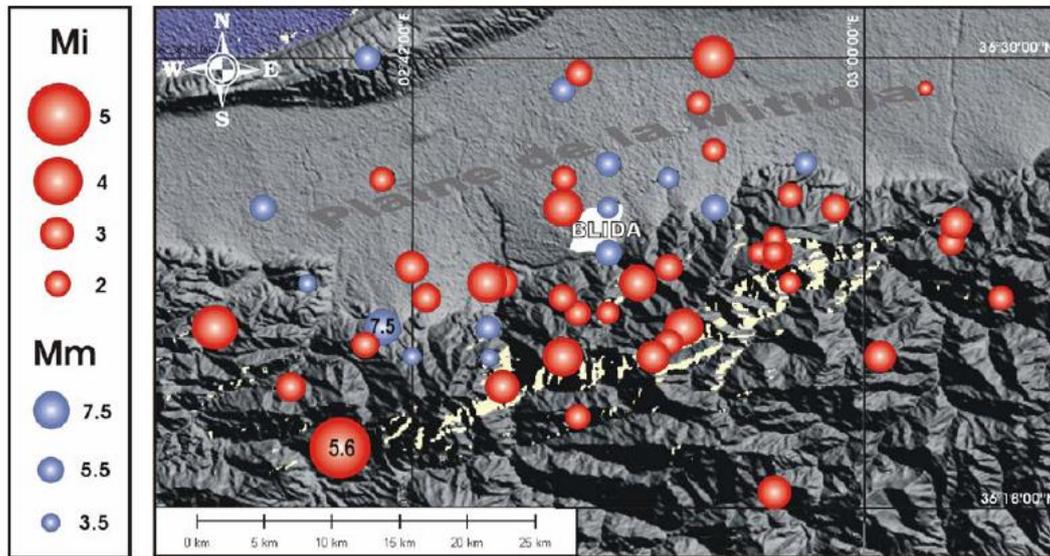
II.4 Contexte sismique

La région de Blida, est donc une zone à forte sismicité. Le séisme le plus fort enregistré de façon instrumentale dans la région de Blida est celui du 07 novembre 1959, avec une magnitude de 5,6. L'historique de l'activité sismique dans la région de Blida révèle que la région a connu des séismes de plus forte magnitude, qui ont souvent causé des pertes importantes en vies humaines et en biens matériels. En particulier, au 19e siècle, la région de Blida a été secouée par deux séismes destructeurs de fortes intensités. Le premier s'est produit le 02 mars 1825 d'intensité X et a détruit la moitié de la ville ainsi que deux villages avoisinants. Environ 7000 personnes trouvèrent la mort lors de ce séisme, qui reste l'un des plus forts jamais recensés dans la Mitidja. Le second a eu lieu le 02 janvier 1867 d'intensité XI et a détruit la quasi-totalité du village de Mouzaïa, des dégâts importants ont été constatés à Blida et à El Affroun.

La figure 29 montre la distribution cartographique des épicentres de ces événements dans la région de Blida. Celle-ci révèle que les épicentres se concentrent sur les massifs Blidéens et leurs piémonts.

Ces séismes sont déclenchés par les failles du front atlasique et les nombreux accidents transverses qui les découpent. Les plus forts séismes recensés (exemple ceux de mars 1825 et de novembre 1959) intéressent ces secteurs.

Figure 29 : Distribution cartographique de la sismicité historique et instrumentale dans la région de Blida, entre 1825 et 2005. La taille des cercles est proportionnelle à la magnitude considérée.

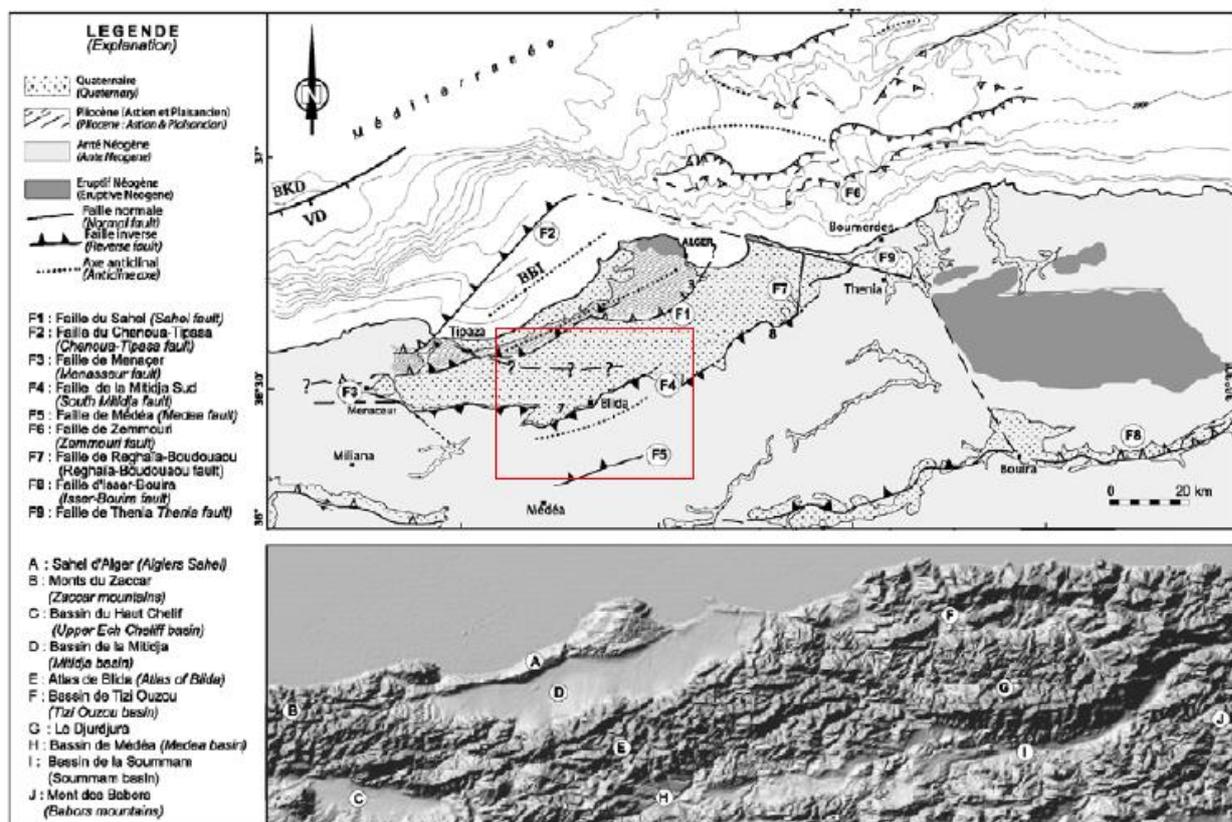


II.5 Failles actives de Bouinan/Soumâa

L'activité sismique de la région de Blida, plus particulièrement les événements dont les épicentres sont situés sur les massifs Blidéen, est liée au chapelet de failles qui bordent la zone de contact entre le bassin de la Mitidja et le massif de Blida. Cette bordure montre des déformations tectoniques importantes affectant les niveaux plio-quadernaires.

Les failles actives de cette région sont observées principalement au sud de la Mitidja (faille F4 dans la figure 30).

Figure 30 : Structures géologiques (failles) actives de la zone algéroise, y compris la région de Blida.

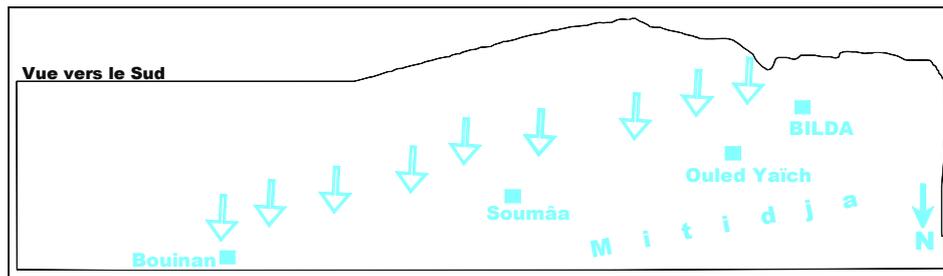


La faille active de Bouinan/Soumâa constitue l'élément structural néotectonique majeur dans la région de Blida. Cette faille active de Bouinan/Soumâa (Figures 31) a joué un grand rôle dans la sismicité historique de la ville de Blida, en effet, cette ville située autrefois dans la vallée de l'Oued El Kebir a été complètement détruite par les séismes du 3 février 1716 et du 2 mars 1825, considérés comme événements sismiques majeurs de la région vue les dégâts humains et matériels enregistrés.

C'est une faille à jeu inverse d'orientation NE-SW et plongeant d'environ 55° vers le SE. Sa longueur est d'environ 30 km et sa largeur variant entre 10 et 20 km (cette dernière valeur correspond approximativement à l'épaisseur estimée de la croûte terrestre sous les bassins sismogènes nord-algériens, dont la Mitidja), soit une surface oscillant entre 300 km² et 600 km².

Les modèles numériques de terrain réalisés à partir de carte topographique au 1/200.000 de la Mitidja montrent que l'Atlas blidéen est affecté par un important accident E-W. (Figure 31)

Figure 31: Modèles Numériques de Terrain (MNT) de la bordure sud de la Mitidja, Faille de Ouled Yaich-Bouinan [20]



La magnitude maximale estimée pour la faille de Bouinan/Soumâa est de 7,8

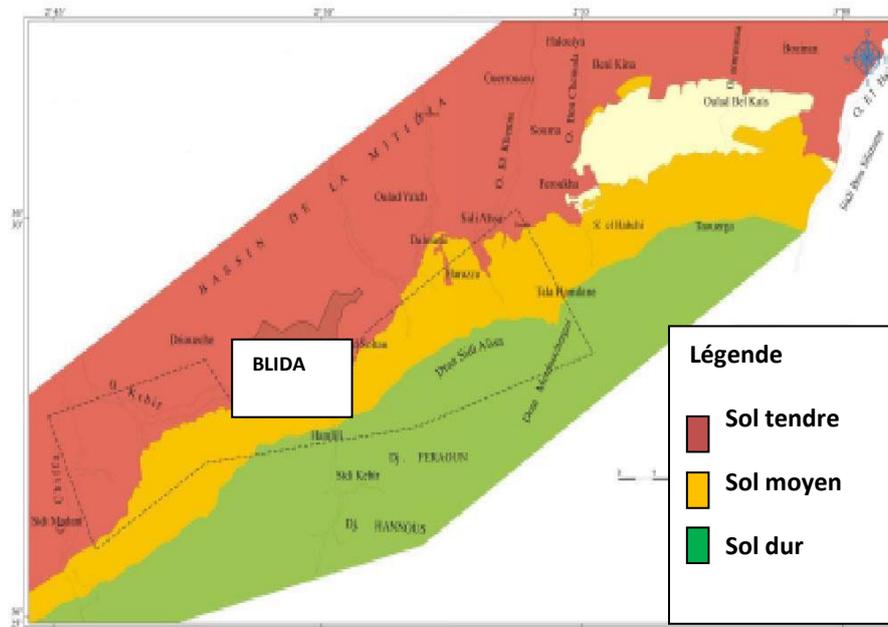
II.6 Types de sol

L'un des principaux facteurs initiateurs des instabilités de terrain et de la sismicité est le sol. On distingue pour le secteur des piémonts blidéens trois types de sols (Figure 32), en liaison avec leur lithologie dominante et l'âge considéré. Ainsi, on distingue :

- Les sols tendres, correspondant aux terrains quaternaires (Quaternaire ancien, terrasses et cônes de déjection).
- Les sols moyens, correspondant aux terrains des unités des flyschmassylien et maurétanien et à ceux du Pliocène.
- Les sols durs, correspondant aux unités telliennes.

L'examen de la carte (Figure 32) montre que les piémonts sont occupés principalement par des sols moyens, et dans une moindre mesure, par des sols tendres au nord (vers la Mitidja) et des sols durs au sud (vers les massifs de Blida) [20].

Figure 32 : Différents types de sols de la région de Blida [20]



II.7 Liquéfaction

Une étude a été réalisée en utilisant l'indice du potentiel de liquéfaction (PL) développé par Iwasaki. Dans cette étude plusieurs sondages ont été considérés. En prenant en compte les caractéristiques du sol au niveau de ces sondages, un indice du potentiel de liquéfaction est calculé. Cet indice a montré que l'ensemble de la zone d'étude n'était pas sujet à la liquéfaction [20].

III. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté la zone d'étude qui est la ville de Blida. Cette dernière est caractérisée par une forte densité démographique résultat du flux migratoire. Sa population ne cesse d'augmenter ce qui augmente les besoins en eau potable et donc en rejet d'eau usée. Le réseau s'étend sur une large surface et comprend différent types de matériaux et de diamètres. Blida est située dans une zone de forte sismicité d'ailleurs elle est traversée par une faille qui traverse toute la ville appelée faille Bouinan-Soumaa. Malgré que la ville de Blida est située sur un sol meuble, ce dernier n'est pas sujet a la liquéfaction.

Chapitre IV

APPLICATIONS A LA ZONE D'ETUDE

REGIONS BLIDA ET BENI MERED

I. INTRODUCTION

Nous allons traiter quelques exemples pour mettre en application notre méthode. Il s'agit de calculer l'indice de vulnérabilité IV des tronçons de canalisations et de les classer selon la méthodologie proposée.

II. CLASIFICATION DES CONDUITES D'ASSAINISSEMENT SELON L'IV

Tableau 14 : Classification des conduites d'assainissement

Valeur de l'IV	Evaluation	Couleur
$0 < IV < 7$	Vulnérabilité faible	Vert
$7 \leq IV < 10$	Vulnérabilité moyenne	Orange
$10 \leq IV$	Vulnérabilité grande	Rouge

III. EXEMPLE DE CALCUL DE L'INDICE DE VULNERABILITE POUR LE RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE BLIDA

III.1 Hypothèses de calculs

Pour tous les exemples qui vont suivre on supposera que :

- La nature des eaux qui circule dans les conduites est acide,
- Le sol est très mou S1
- Pas de liquéfaction
- Pas de glissement de terrain
- Une intensité sismique qui ne dépasse pas 8 sur l'échelle de Richter
- Une interaction avec la faille

- Une pente qui varie entre :1% et 5%

II.2 Données sur le réseau d'assainissement de la ville de Blida

Nous présentons dans le tableau suivant les longueurs et les diamètres des différents matériaux qui constituent le réseau d'assainissement de la ville de Blida.

Tableau 15 : Longueurs des conduites en fonction des différents diamètres et matériaux

Diamètre (mm)	Longueurs(m)				
	BA	PEHD	PVC	Béton	Acier
300	5522.35	755,26	204,68	303.9	139.37
400	11178.8	5408,52			133.09
500	8616.88	17790,11			
600	19662.2	2333,49			
700	2625,34				
800	16652,33	416,21			
900	2745,95				
1000	13647,33	352,42			
1200	5131,38				
1300	289.74				
1500	2903.9				
1600	892,30				
1800	733,34				
2250	206.66				

II.3 Exemples

II.3.1 Conduite en PEHD

Pour cet exemple nous allons considérer les diamètres suivants :

D=1000 mm, D=800 mm, D=600 mm et D=300 mm

Tableau 16 : l'IV pour différents diamètres en PEHD

Matériaux	PEHD			
Diamètre Φ (mm)	1000	800	600	300
Nature chimique des eaux usées	acide			
Type de sol	S1			
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$			
Glissement	Pas de glissement			
Pente %	1.27%	3.33%	2.1%	2.23%
Intensité	$MMI \leq 8$			
Interaction avec la faille	1 interaction			
Indice de vulnérabilité	6.3	6.88	9.02	10.5
Classification	IV	IV	IV	IV

II.3.2 Conduite en BA

Pour cet exemple nous allons considérer les diamètres suivants :

D=1000 mm, D=800 mm, D=600 mm et D=300 mm

Tableau 17 : l'IV pour différents diamètres en BA

Matériaux	BA			
Diamètre Φ (mm)	1000	800	600	300
Nature chimique des eaux usées	acide			
Type de sol	S1			
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$			
Glissement	Pas de glissement			
Pente %	4.19%	2.5%	2.34%	2.7%
Intensité	$MMI \leq 8$			
Interaction avec la faille	1 interaction			
Indice de vulnérabilité	6.98	8.22	9.6	11.03
Classification	IV	IV	IV	IV

II.3.3 Conduite en Acier

Pour cet exemple nous allons considérer les diamètres suivants :

D=400 mm, D=300 mm

Tableau 18 : l'IV pour différents diamètres en Acier

Matériaux	Acier	
Diamètre Φ (mm)	400	300
Nature chimique des eaux usées	acide	
Type de sol	S1	
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$	
Glissement	Pas de glissement	
Pente %	2.26%	2.90%
Intensité	MMI ≤ 8	
Interaction avec la faille	1 interaction	
Indice de vulnérabilité	8.88	12.55
Classification	IV	IV

II.3.3 Conduite en PVC

Pour cet exemple nous allons considérer uniquement le diamètre D=300 mm,

Tableau 19 : l'IV pour différents diamètres en PVC

Matériaux	PVC
Diamètre Φ (mm)	300
Nature chimique des eaux usées	Acides
Type de sol	S1
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$
Glissement	Pas de glissement
Pente %	2.8%
Intensité	MMI ≤ 8
Interaction avec la faille	1 interaction
Indice de vulnérabilité	9.2
Classification	IV

II.3.4 Constatations : Nous remarquons que

- Plus le diamètre est grand, plus l'IV est petit
- Pour le diamètre 600 mm, les conduites en PEHD et en BA ont le même comportement puisqu'elles sont classées en orange
- Pour le diamètre 300 mm, le PVC est moins vulnérable que l'ACIER, le BA et le PEHD

III. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons appliqué la méthode de l'IV à quelques exemples. Le modèle développé donne la classification de tronçon de canalisation en fonction des paramètres choisies. La mise en œuvre de cette méthode est aisée et ne nécessite pas des moyens de calcul importants, un programme sous Excel est suffisant. Le temps de calcul est aussi minimal. Nous pouvons donc obtenir un diagnostic de l'état de la conduite étudiée rapidement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Antoine, E., Traitement des eaux pluviales par coagulation floculation : spéciation des éléments traces, influence des anions complexants et recherche sur le devenir des boues à partir du système de silice-phosphate- $FeCl_3$, Thèse Doctorat, L'Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 273 pages, Mai 2003.
- [2] Chocat, B., Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, p. 42.
- [3] SALGHI, R., Différentes filières de traitement des eaux, Thèse de doctorat, université Ibn Zohr École nationale des sciences appliquées d'Agadir, Maroc, 220 pages.
- [4] Grosclaude, G., L'eau : usage et polluant, Tome II 4eme, Edition: INRA, Paris. 200 pages, 1999.
- [5] Rodier, J., Legube B., Merlet N., et Brunet R., L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 1383 pages, 2009
- [6] RESJECK, F., Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques, Éditions SCERENE, Paris, pp. 166-198, 2002.
- [7] François B, 2006, Distribution et collecte des eaux, édition : presses international polytechniques.
- 8- GHALI S F, 2012, P.E.F de Master ESA « dimensionnement du réseau d'assainissement de la ville de Marsat Ben Mhidi », Département hydraulique- Université de Tlemcen.
- [9] Bonnin J, 1986, hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petites et moyennes importance, édition : EDF. p 254.
- [10] Diplôme d'Ingénieur des techniques des T.P. Koffi Assômôly Emerson August kouassi, INPHB, 2013 Page 38
- 11 René B., V.R.D. Voirie Réseaux Divers Terrassements- Espaces verts, Aide-mémoire du concepteur, Edition Eyrolles, 515 pages, 2006.
- [12] Valiron, F., Gestion des eaux : Alimentation en eau et assainissement, Edition Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 505 pages, 1989.
- [13] site : <http://hydrauliqueformation.blogspot.com/2013/03/les-ouvragesnormaux.html>, consulté le

[14] Catherine Trianta-Ilou ,2008 : « la dégradation et la réhabilitation des Réseaux d'assainissement France -Angleterre - ETATS-UNIS ».

[15] Bengassem J, 2001 : « Élaboration d'un système d'aide au diagnostic hydraulique et Structural des réseaux d'assainissement urbains », thèse de doctorat, école de technologie Supérieure, Québec. Canada.

[16] Ilham Ennaouri ,2010 : « modélisation de la dégradation hydraulique et structurale des réseaux sanitaires et pluviaux), école polytechnique de Montréal ».

[17] Yves Dion, 28 Avril 2006 : « Restructuration Hydraulique Et Environnement Ale Des Réseaux D'assainissement », L'école De Technologie Supérieure, Université Du Québec

[18] Mechri Bachir et al, 29 & 30 Novembre 2010 : « Impact de dégradation des réseaux d'assainissement et AEP sur l'état de la route », université Kasdi Merbah Ouargla, Séminaire national de la route et la sûreté de la circulation.

[19] Jean-Marc Berland, Octobre 2004 : « Réhabilitation des réseaux d'assainissement en zone rurale », Office International de l'Eau SNIDE.

[20] HALFAYA,fatma zohra,,évaluation des courbe de vulnérabilité sismique d'un réseau de conduites enterrées, thèse de doctorat, ENS cachan, paris 2013

[21] RADIUS Méthodologie, Oyo corporation, IDNDR,1998

[22] RISK-UE,Geo-ter.vulnerability assessment of lifelines and essential facilities (WP06):methodological handbook.potable water utility system,Appendix11:water pipes,report n GTR-RSK 0101-152av7,February,2003

[23] Federal Emergency Managment Agency (FEMA),Estimating eathquake losses with HAZUS.Federal Emergency Management Agency ,2000

[24] A.Zahaf & M. Bensaibi, « Gestion du risque sismique de chantier de bâtiment Seismic »

[25] Vaibhav Gaikwad, Hansraj Patil, Pankaj Patil, Aniket Thakur, V.J.Pillewan, « Decision making using the analytic hierarchy process(AHP) », International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER)