

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة -البليدة 1-
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil

مذكرة نهاية التخرج
MEMOIRE DE MASTER EN GENIE CIVIL

Pour l'Obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE CIVIL

Spécialité : Charpente Métallique et Mixte

Thème

**ESTIMATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DU RESEAU AEP
PAR LA METHODE MULTICRITERE AHP
(ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)**

Présenté par :

M^r.ESSEMIANI Mounir

Devant les membres de jury :

M^r RAHMANI Khalad President

M^{me} TADJER Khalida Examineur

Encadré par :

M^{me} HALFAYA F.Zohra

Pr. BENSAIBI Mahmoud

Blida, Octobre 2023

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

Pour son orientation, sa confiance et sa patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port qu'elle trouve ici un hommage vivant à sa haute personnalité.

Je remercie infiniment le Professeur **Mahmoud BENSAIBI** pour son aide et ces orientations précieuses, tout le long de ce projet.

J'exprime ma gratitude aux honorables membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et de m'honorer de leurs critiques et jugements.

Je souhaite témoigner toute ma gratitude à ma famille

J'adresse également ma profonde gratitude à tous les enseignants 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.

Merci à tous et à toutes

Mounir

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes parents

A toute ma famille

Amis(es)

Collègues

Tous ceux que j'aime

Mounir

ملخص

الزلازل هي أحداث طبيعية يمكن أن تسبب أضرارًا كبيرة للهياكل والشبكات الحيوية للتكتل. هذه الشبكات ضرورية للتشغيل السليم لهذه الأخيرة. من بينها لدينا شبكة المياه الصالحة للشرب.

الغرض من دراستنا هو تقييم ضعف شبكات إمدادات مياه الشرب في ظل الزلازل من خلال النظر في العديد من عوامل التدهور المتعلقة بتشغيل هذه الشبكة. لهذا سنقوم بتطوير طريقة تسمى "طريقة مؤشر الضعف" استنادًا إلى أساليب اتخاذ القرار متعددة المعايير من بين أمور أخرى "طريقة AHP" (عملية التسلسل الهرمي التحليلي)، وهذا سوف تسمح لنا بتشخيص وتصنيف أقسام أنابيب المياه.

سيتم تقديم طلب على شبكة AEP لمدينة البلدية.

ABSTRACT

Earthquakes are natural events that can cause major damage to a city's vital structures and networks. These networks are vital to the smooth running of a city. Among them is the water supply network.

The aim of our study is to assess the vulnerability of the drinking water supply network (AEP) under seismic action, by considering the factors influencing the degradation of the network's operation. To do this, we will develop a method known as the "Vulnerability Index Method (IV)", based on one of the multi-criteria decision making methods (MCDM=Multi Critere Decision Making), namely the "AHP method" (Analytical Hierarchy Process), which will enable us to diagnose and classify water pipe sections.

An application will be made to the AEP network of the city of Blida.

RESUME

Les séismes sont des évènements naturels qui peuvent provoquer des dommages importants aux structures et aux réseaux vitaux d'une agglomération. Ces réseaux sont primordiaux pour le bon fonctionnement de cette dernière. Parmi eux nous avons le réseau AEP.

Le but de notre étude est d'évaluer la vulnérabilité du réseau d'alimentation en eau potable (AEP) sous action sismique en considérant les facteurs ayant une influence sur la dégradation du fonctionnement de ce réseau. Pour cela nous allons développer une méthode dite « Méthode de l'Indice de Vulnérabilité (IV) » en se basant sur une des méthodes multicritères de décision (MCDM=Multi Critere Decision Making) à savoir «la méthode AHP » (Analytical Hierarchy Process), ceci nous permettra de diagnostiquer et de classer les tronçons des conduites d'eau.

Une application sera faite sur le réseau d'AEP de la ville de Blida.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I Etude bibliographie	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Définition du risque	3
I.3 Généralités sur les séismes	4
I.4 Vulnérabilité	5
1.4.1 Vulnérabilité directe	5
1.4.2 Vulnérabilité indirecte	5
I.5 Réseau d'alimentation en eau potable	7
I.5.1 Les conduites.....	8
I.5.2 Les joints	9
I.6 Causes des dommages dans les canalisations enterrées.....	9
I.6.1 Les causes lies au sol.....	9
Mouvements du sol	9
Glissements de terrain	9
Liquéfaction	10
L'interaction avec la Faille.....	10
I.6.2 Les causes liées aux conduites	10
Materiaux	10
Diamètres	10
I.7 Méthodes d'estimation des dommages	10
I.7.1 Méthodes de l'ATC.....	11
I.7.2 Méthode de la FEMA.....	11
I.7.3 Méthode RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters)	12
I.7.4 Méthode RISK-UE.....	13

I.8 Conclusion	13
Chapitre II Indice de vulnérabilité.....	15
II.1 Introduction	15
II.2 Cause des dommages dans les conduites d'AEP	15
II.2.1 Paramétrés structurels	15
II.2.2 Paramètres lié au sol :	16
II.2.3 Aléa sismique.....	17
II.3 Présentation de la méthode multicritères AHP (Analytic Hierarchy Process) ..	18
II.3.1 Les principes de la méthode AHP	19
II.3.2 Méthodologie	22
II.3.3 utilisation de la méthode	30
II.3.4 Avantages et inconvénients de la méthode	30
II.4 Méthode de l'Indice de vulnérabilité des conduites d'eau potable	31
II.4.1 Identification des paramètres de vulnérabilité	31
II.4.2 Classification par l'IV:.....	33
II.5 Conclusion.....	33
Chapitre III Zone d'étude	34
III.1 Introduction	34
III.2 Population	34
III.3 Contexte géologique.....	34
III.4 Contexte sismique	35
III.5 Failles actives de Bouinan/Soumâa.....	36
III.6 Estimation de la magnitude maximale	36
III.7 Types de sol.....	36
III.8 Liquéfaction	37
III.9 Réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP).....	37
III.10 Conclusion.....	39
Chapitre IV Mise en œuvre et validation.....	40
IV.1 Introduction.....	40
IV.2 Exemples d'application.....	40
IV.3 Exemples de comparaison avec la méthode analytique	44
IV.3.1 Conduite en amiante ciment.....	44

IV.3.2 Conduite en Acier	45
IV.3.3 Conduite en Fonte ductile	45
IV.4 Conclusion	46
CONCLUSION GENERALE	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	48

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1 Convolution de l'aléa et de la vulnérabilité	4
Figure I. 2 Effet d'un tremblement de terre sur une ville	5
Figure I. 3 Courbes de vulnérabilité des constructions.....	6
Figure I. 4 Courbes de fragilité pour la conduite d'eau potable	7
Figure I. 5 Joint d'étanchéité pour conduite en béton armé	9
Figure I. 6 Joint d'étanchéité conduite en acier.	9
Figure II. 1 (A.B.C.D) : Les étapes de l'AHP.....	20
Figure II. 2 : Échelle d'importance relative (échelle dite de Saaty, 1980)	21
Figure II. 3: Structure hiérarchique de la méthode AHP	23
Figure II. 4: Graphiques de répartition des articles.....	26
Figure III. 1: Carte géologique de la région de Blida.	31
Figure III. 2: La faille active de Bouinan/Soumâa.....	32
Figure III. 3: Différents types de sols de la région de Blida	33
Figure III. 4: Longueurs des canalisations en fonction du diamètre.....	34
Figure III. 5: Longueurs des canalisations en fonction du matériau.....	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 :De réparation en fonction des dommages.....	12
Tableau I.2 :Taux de réparation combinant cassures et fuites	13
Tableau II.1: Différents matériaux constituant le réseau de Blida	16
Tableau II. 2: Différents Diamètre constituant le réseau de Blida	16
Tableau II. 3 : Différents type de sol constituant le réseau de Blida.....	17
Tableau II. 4: glissements de terrain	17
Tableau II. 5: L'intensité sismique	18
Tableau II. 6: Interaction avec la faille	18
Tableau II. 7: Liquéfaction	18
Tableau II. 8: Echelle de comparaisons binaires de Saaty.....	23
Tableau II. 9: Exemple d'une matrice de comparaison.	24
Tableau II. 10: Valeurs de l'indice de cohérence Aléatoire ACI.....	25
Tableau II.11: Poids AHP (réseau AEP).....	28
Tableau II. 12: Classification des conduites	29
Tableau III. 1: Evolution de la population de la ville de Blida entre 1998 et 2023	30
Tableau III. 2: Longueurs des canalisations en fonction du diamètre et du matériau	34
Tableau IV. 1: L'IV de l' Amiante Ciment en fonction des différents diametres	36
Tableau IV. 2: L'IV des conduites en Acier en fonction des différents diametres.....	37
Tableau IV. 3: L'IV des conduites en Fonte en fonction des différents diametres	37
Tableau IV. 4: L'IV des Conduite en Fonte Ductile en fonction des différents diametres.....	38
Tableau IV. 5: L'IV conduite PVC en fonction des différents diametres.	38
Tableau IV. 6: L'IV Conduite PEHD en fonction des différents diametres.....	39
Tableau IV. 7: L'IV pour Conduite en PEHD en fonction des différents diametres.....	39
Tableau IV. 8: comparaison Conduite en amiante ciment.....	40
Tableau IV. 9: comparaison Conduite en Acier.....	41
Tableau IV. 10: Conduite en Fonte ductile.....	41

INTRODUCTION GENERALE

L'infrastructure d'alimentation en eau potable (AEP) est fréquemment exposée à des phénomènes naturels aléatoires (événement climatique extrême, séisme, mouvement de terrain) susceptibles de perturber ou d'interrompre son fonctionnement.

De nombreux éléments constitutifs de cette infrastructure peuvent être affectés, notamment la ressource exploitée (turbidité de l'eau après des événements climatiques extrêmes, destruction de la prise d'eau), les ouvrages de pompage, de stockage ou de traitement, les réseaux assurant leur alimentation électrique ou les conduites d'adduction. Compte tenu des moyens limités dont ils disposent, les gestionnaires sont amenés à identifier les ouvrages et les tronçons constitutifs de l'infrastructure qui doivent être sécurisés en priorité, en considérant à la fois le niveau d'exposition à l'aléa (c'est-à-dire la probabilité de subir une agression) et la vulnérabilité de chaque élément.

Nous nous intéressons plus particulièrement à la notion de vulnérabilité, globalement définie comme la sensibilité au phénomène source de désordre. Celle-ci peut être appréhendée à plusieurs échelles. À l'échelle de chaque élément de l'infrastructure, on caractérise une vulnérabilité physique matérielle rendant compte de la capacité de l'ouvrage à résister à la source de désordre, cette capacité dépendant du contexte géotechnique (stabilité des terrains), de la résistance mécanique des matériaux (canalisation acier soudé PVC ...) et de leur mise en œuvre (génie civil), etc.

À l'échelle du réseau, on caractérise la vulnérabilité fonctionnelle, c'est-à-dire la capacité du réseau à continuer à fonctionner lors d'un désordre. La vulnérabilité fonctionnelle dépend de la redondance du réseau (maillage, possibilité d'inverser les sens de circulation).

Notre étude porte sur la vulnérabilité sismique du réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP). Il s'agit de calculer un indice de vulnérabilité pour les conduites d'eau en utilisant une méthode multi critère l'Analytic hierarchy Process (AHP).

Cet indice de vulnérabilité nous permettra de classer les conduites selon leurs dommages à savoir :

- Pas de dommage ;
- Dommage moyen ;
- Dommage important.

Pour cela nous avons organisé notre travail en quatre grands chapitres :

- Le chapitre 1 portera sur l'étude bibliographique, les définitions d'ordre générales et les différentes méthodes d'étude des réseaux d'AEP.
- Dans le chapitre 2 nous allons développer une méthode pour le calcul de l'indice de vulnérabilité des conduites d'eau potable en utilisant la méthode multicritère AHP. Aussi, nous allons proposer une classification pour ces conduites.
- Le chapitre 3 sera dédié à la présentation de la zone d'étude en l'occurrence la ville de Blida.
- En fin le chapitre 4 sera consacré à l'application de la méthode de l'IV développée dans le chapitre 2. Des exemples sur des tronçons de différente conduite du point vue Matériaux et Diamètres seront traités

Chapitre I

ETUDE BIBLIOGRAPHIE

I.1 Introduction

Un tremblement de terre de grande intensité peut engendrer des pertes dans une région. Ces pertes peuvent résulter aussi bien des dommages aux structures et infrastructures présentes, que des feux qui peuvent s'allumer après un séisme.

Les pertes sont enregistrées aussi dans les réseaux vitaux tels que les voies ferrées, les autoroutes, les ponts, les canalisations d'eaux potables et d'assainissement ainsi que les réseaux d'électricité et de gaz. Les dégâts dans les réseaux vitaux peuvent gêner considérablement les efforts de secours et de reconstruction dans la région sinistrée.

Les dégâts seront estimés à partir de l'aléa et de la vulnérabilité des structures existantes dans la région et ne dépendront pas seulement du nombre de structures mais aussi des types de bâtiments et/ou des réseaux vitaux, en utilisant les fonctions de vulnérabilité déterminées pour chaque type de structure.

Les fonctions de vulnérabilité reflètent la relation entre l'intensité sismique et le degré des dommages dans la structure.

L'estimation des dommages pour les séismes futurs est requise pour une multitude de raisons citons : gestion des risques, réponse d'urgence et la planification de la reconstruction, ainsi plusieurs méthodes d'estimation des dommages ont été développées à travers le monde.

I.2 Définition du risque

Le risque sismique désigne la combinaison entre l'aléa sismique, les biens et les populations qui y sont soumises, et leur vulnérabilité face à cet aléa. En fonction des situations géodynamiques, politiques, sociales et économiques, le risque sismique dans le monde est très variable, selon les régions considérées. Dans les régions les plus exposées à

l'aléa sismique, la réduction du risque passe notamment par l'information des populations et la construction de bâtiments aux normes parasismiques. Afin de définir le risque sismique, les sismologues doivent caractériser : l'aléa, par l'étude des paléo-séismes enregistrés dans les archives géologiques et/ou humaines ; les enjeux, qui désignent les populations et/ou les infrastructures soumises à l'aléa ; la vulnérabilité, qui dépend des caractéristiques géologiques de la région, de la préparation des populations et de la qualité des infrastructures.

Le risque est le produit convoluté de l'aléa et de la vulnérabilité (voir Figure I.1).

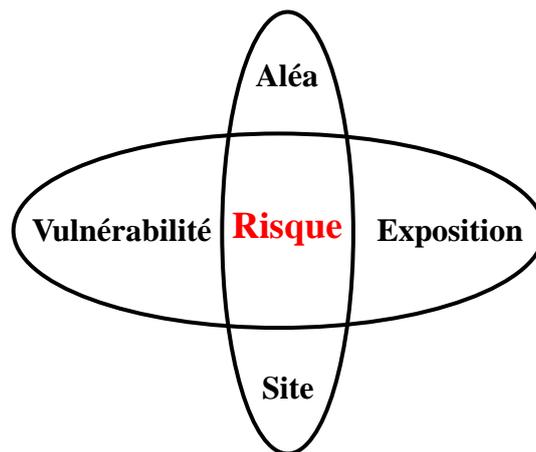


Figure I. 1 : Convolution de l'aléa et de la vulnérabilité [1]

- **Site** : Un site est une étendue de terre .C'est une surface qui peut être plus au moins étendue, un site peut être bâti ou vide.
- **Aléa** : L'aléa est un Phénomène naturel auquel un site est exposé. Il ne peut pas être réduit.
- **Exposition** : Ce sont l'ensemble des individus et/ou des infrastructures présentes sur un site donné et qui est soumis à un aléa donné.
- **Vulnérabilité** : est le degré de perte que subit un élément particulier lors d'un phénomène naturel.

I.3 Généralités sur les séismes

Un tremblement de terre est l'une des catastrophes naturelles parmi les plus dangereuses. A la différence d'un cyclone ou d'une éruption volcanique, un séisme frappe en quelques secondes pratiquement sans signe précurseur ne donnant aucune chance de fuir (Figure I.2).Les dégâts d'un séisme peuvent affecter beaucoup de domaines liés les uns aux autres.

Les dégâts les plus communs sont l'endommagement des constructions et les pertes humaines.

L'effondrement ou l'endommagement sévère des bâtiments sont considérés comme les causes principales des pertes en vie humaines et des blessés lors d'un tremblement de terre. Les pertes peuvent résulter aussi bien des dégâts de l'endommagement des bâtiments que des feux qui peuvent s'allumer après un séisme.

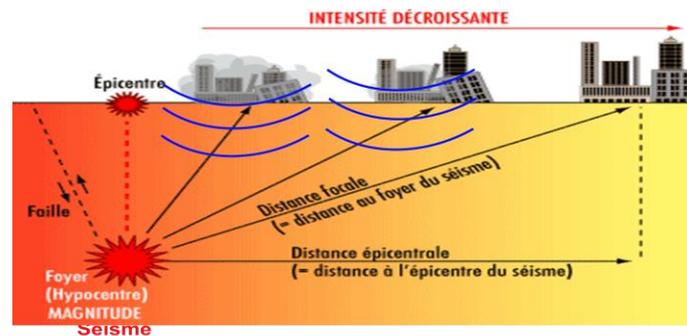


Figure I. 2 : Effet d'un tremblement de terre sur une ville

Le séisme affecte aussi les réseaux vitaux tel que, les réseaux d'électricité, de transport ferroviaire, de routes et autoroutes, de canalisations des eaux potables, de canalisation des eaux usées (égouts) ainsi que de gaz.

Les dégâts dans les réseaux vitaux peuvent gêner considérablement les efforts de secours dans une région sinistrée ainsi que les plans de reconstruction.

I.4 Vulnérabilité

Comme définie précédemment, nous pouvons alors distinguer deux types de vulnérabilité à savoir :

1.4.1 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.

1.4.2 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.

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 caractéristiques des séismes sont : la magnitude, l'épicentre, la profondeur, l'heure de l'événement et la distance épacentrale.

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 dégâts seront estimés à partir de l'aléa et des structures existantes dans la région et ne dépendront pas seulement du nombre de structures mais aussi des types de constructions ou des réseaux vitaux, en utilisant les fonctions de vulnérabilité déterminées pour chaque type de structure.

Les fonctions de vulnérabilité reflètent la relation entre l'intensité sismique et le degré des dommages dans la structure (voir Figure I.3).

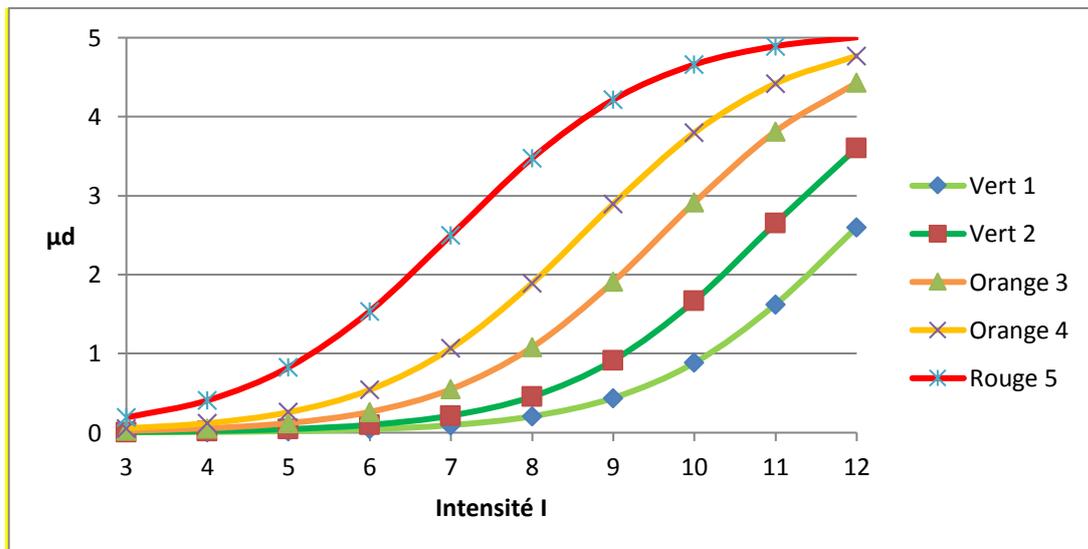


Figure I.3 : Courbes de vulnérabilité des constructions en béton armé algériennes [2]

Un autre type de courbe peut être utilisé. Il s'agit des courbes de fragilité. Ces dernières expriment la probabilité de dépassement d'un seuil de perte en fonction de l'accélération maximale (voir Figure I.4).

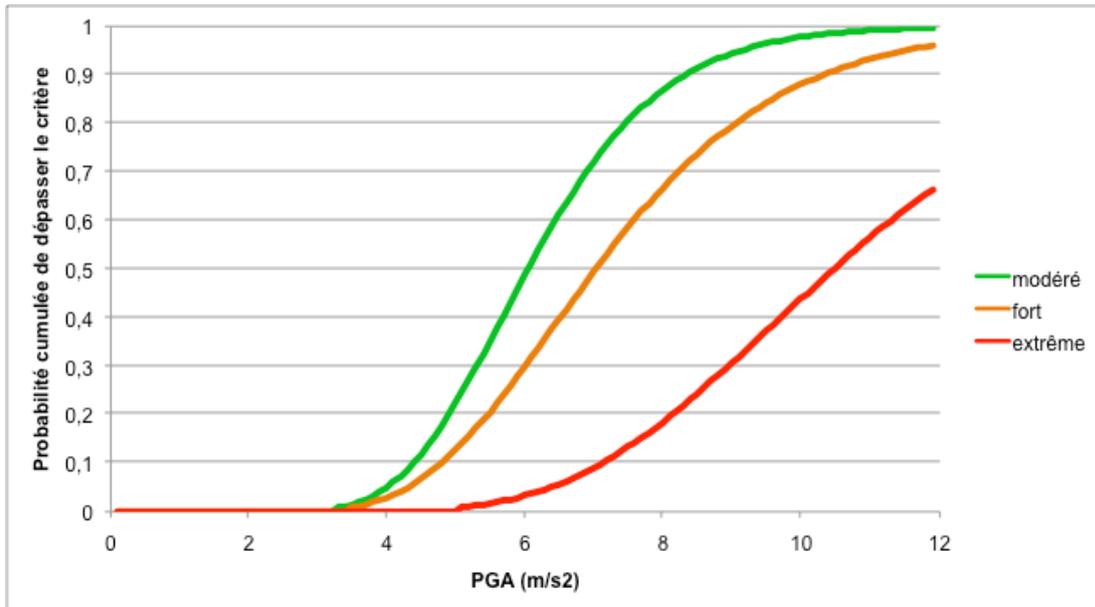


Figure I. 4 : Courbes de fragilité pour la conduite d'eau potable [3]

Remarque : Lors de l'estimation des dégâts, dans les réseaux vitaux, affectés par un tremblement de terre, il sera nécessaire de ne pas considérer seulement les pertes directes et les efforts de la reconstruction, mais aussi l'interruption des activités de la vie journalière. Dans ce cas les méthodes d'estimation sont souvent complexes et ont besoin de données détaillées.

I.5 Réseau d'alimentation en eau potable

Parmi les réseaux vitaux, nous nous intéresserons au réseau d'alimentation en eau potable. Le réseau d'AEP est indispensable pour la survie de la population. Son bon fonctionnement, après un séisme, permet d'une part d'acheminer l'eau pour une population déjà affecté par un sinistre et d'autre part d'éviter la transmission des maladies hydriques.

Le réseau d'alimentations en eaux potable est constitué de plusieurs éléments. Ces éléments ont pour objet de mettre à la disposition de la population une eau saine. Essentiellement un réseau d'AEP est constitué de:

- ✓ Barrages ou retenues collinaires.
- ✓ Stations de traitement.
- ✓ Stations de pompages.
- ✓ Systèmes de stockage (châteaux d'eau,...).
- ✓ Conduites (canalisation, tunnels, canaux).

Dans notre travail, nous nous intéresserons uniquement aux conduites ou canalisations.

I.5.1 Les conduites

Ce sont les éléments les plus répons dans un réseau d'AEP, leur fonction est d'assurer en permanence, pour la population, une alimentation en eau suffisante.

Les séismes peuvent alors entraîner des ruptures au niveau des conduites ou des fuites au niveau des joints. Pour éviter les pertes dans ces canalisations, il est donc nécessaire de prendre en compte l'effet des séismes, ainsi que l'effet des sols dus principalement aux déplacements permanents de ces derniers tels que les glissements de terrains et la liquéfaction. Ils existe :

- ✓ Conduites aériennes : Les conduites aériennes sont des conduites de grand diamètre soutenues sur palés. Elles sont souvent utilisés dans les zones qui traversent les sols faibles et les palés sont souvent supporté par des piles.
- ✓ Conduites enterrées : Les conduites enterrées sont enfouies dans le sol à une profondeur qui varie entre 1 à 5 mètres et cela pour plusieurs raisons, entre autres, l'esthétique, la sûreté, l'économique et aussi pour des raisons environnementales.

I.5.1.1 Matériaux

Les conduites pour l'alimentation en eau potable sont constituées de divers matériaux tel que: Acier, Béton armé, PVC, PEHD, Fonte ductile etc.

I.5.1.2 Diamètre

Le diamètre des conduites d'eau est important car il intervient dans la vulnérabilité sismique de ces dernières, c'est un facteur influençant le taux de dommage que pourrait subir une conduite donnée soumise à un séisme de magnitude ou d'intensité donnée.

I.5.2 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.

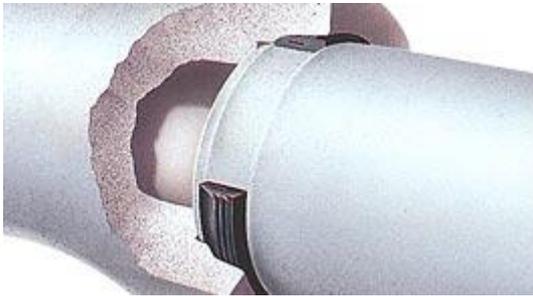


Figure I. 5 Joint d'étanchéité pour conduite en béton armé



Figure I. 6 Joint d'étanchéité conduite en acier.

I.6 Causes des dommages dans les canalisations enterrées

Différents facteurs peuvent causer des dommages dans les conduites d'AEP lors d'un séisme, ce sont essentiellement :

I.6.1 Les causes liées au sol

✓ **Mouvements du sol**

Le tremblement de terre se réfère aux déformations du sol causées 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 Acceleration): le déplacement maximal du sol.
- PGA (Peak Ground displacement) : l'accélération maximale du sol.
- MMI : (Mercalli Modified Intensity) : l'échelle de Mercalli modifié.

✓ **Glissements de terrain**

Les glissements de terrain sont des mouvements du sol, 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. Le PGD est souvent utilisé comme mesure pour caractériser ce phénomène.

✓ **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.

✓ **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.

I.6.2 Les causes liées aux conduites

✓ **Matériaux**

Les conduites pour l'alimentation en eau potable sont constituées de divers matériaux tels que : acier, béton armé, PVC, PEHD, fonte ductile ect...

✓ **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.

I.7 Méthodes d'estimation des dommages

Il existe deux grandes familles de méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique : les méthodes analytiques et les méthodes numériques.

– Les méthodes analytiques : on utilise le retour d'expérience des séismes passés pour estimer la vulnérabilité des structures représenté par leurs caractéristiques structurales Elles sont utiles pour avoir une estimation plus ou moins grossière de la vulnérabilité des réseaux. Parmi les méthodes analytiques nous distinguons la méthode de l'indice de vulnérabilité. [3]

– Les méthodes numériques : peuvent permettre des analyses plus fines, mais nécessitent des moyens de calcul important. La vulnérabilité est calculée sur la base des informations structurales disponibles à l'aide de models numériques plus ou moins sophistiqués. [3]

Plusieurs méthodes ont été développées, aussi nous avons synthétisé ci-après les fondements des principales méthodes utilisées dans le monde.

I.7.1 Méthodes de l'ATC

Pour les canalisations l'état de dommage a été défini comme le nombre de cassure par kilomètre. Chaque valeur dans la matrice de probabilité de dommage représente la probabilité qu'une structure appartenant à une classe donnée ait subi un taux de dommage donné quant elle aura été soumise à une certaine intensité (MMI).

L'addenda à l'ATC-25, l'ATC 25-1[4, 5] est dédié aux systèmes d'alimentation en eau potable.

Dans l'ATC 25-1 les canalisations ont été subdivisées en deux groupes : canalisations de refoulement (diamètre > 508 mm) et canalisations de distribution (diamètre < 508 mm). Il y est fait l'hypothèse que les canalisations de distribution sont plus susceptibles de subir des dommages que les canalisations de refoulement. Cette hypothèse est faite sur la base des constatations du retour d'expérience sismique.

I.7.2 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 [6]. La méthodologie développée a été implantée dans le logiciel HAZUS en utilisant un Système d'Information Géographique (SIG). 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 et 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 [7].

I.7.3 Méthode RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters) [8]

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 Abbeba (Ethiopie), Antofagasta (Chili), Bandung (Indonésie), Guayaquil (Equateur), Izmir (Turquie), Skopje (Ex-République Yougoslave de Macédoine), Tashkent (Ouzbekistan), Tijuana (Mexique), Zigong (Chine).

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.

La méthode RADIUS adopte une méthode simple qui estime les dégâts totaux à partir du nombre total de réseaux vitaux dans la région étudiée.

Cet outil estime approximativement la valeur moyenne des dégâts et les proportions des dégâts pour le nombre total d'installations dans la région visée.

Le projet RADIUS a déterminé des classes de taux de réparation associées à un état d'endommagement pour les conduites d'eau (Tableau I.1).

Tableau I.1 : de réparation en fonction des dommages

Taux de réparation (réparation/km)	Utilisation	Etat de dommage
≥0.60	≤10%	Complet
0.15 à 0.60	10 à 50%	Important
0.05 à 0.15	50 à 85%	Modéré
≤0.05	≥85%	Mineur

I.7.4 Méthode RISK-UE[9]

La méthodologie du projet européen RISK-UE 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 model pour la vulnérabilité des conduites a été donné, selon que les conduites soit soumises aux propagations des ondes sismique, 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 comme suit 80% des dégâts sont dus aux fuites et 20% sont dus aux cassures dans le cas d'onde sismique. Dans le cas de mouvement du sol (glissements de terrains ou liquéfaction) les dégâts sont de 20% pour les fuites et 80% pour les cassures.

Tableau I.2 : Taux de réparation combinant cassures et fuites

Onde Sismique		Mouvement du sol	
Fuites	80%	Fuites	20%
Cassures	20%	Cassures	80%

I.8 Conclusion

L'évaluation des risques est une mesure indispensable qui vise à une prévention appropriée et efficace des catastrophes.

Nous avons présenté les méthodes d'estimation des dommages causés aux conduites d'eau potable lors d'un séisme. Il existe :

- Les méthodes analytiques basées sur les expériences post séisme Elles sont utiles pour avoir une estimation plus ou moins grossière de la vulnérabilité des réseaux.
- Les méthodes numériques peuvent permettre des analyses plus fines, mais nécessitent des moyens de calcul important.

La prévention des catastrophes et la planification préalable sont d'une importance capitale pour la réduction des besoins en matière de secours et doivent faire partie intégrante des politiques de développement et de planification aux niveaux national, régional, bilatéral, multilatéral et international. Ces mesures préventives donnent de meilleurs résultats lorsqu'elles entraînent une participation à tous les niveaux allant des collectivités locales aux niveaux régional et international en passant par le gouvernement national.

Chapitre II

METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE

II.1 Introduction

En cas de catastrophe naturelle il est très important d'assurer l'adduction en eau potable, c'est pour cela que c'est très important d'identifier les tronçons les plus vulnérables sous l'action sismique et d'avoir un plan d'action afin d'intervenir et diriger les actions pour réduire leur vulnérabilité.

Nous avons opté pour une méthode rapide brève et précise, vu l'importance et la grandeur du réseau AEP qui s'étend sur des centaines de kilomètres.

II.2 Cause des dommages dans les conduites d'AEP

Les caractéristiques d'un séisme, les conditions du sol, les données démographiques et les fonctions de la vulnérabilité, sont des données primordiales pour l'estimation des dégâts d'un tremblement de terre.

On distingue trois grandes catégories qui influent directement sur le dommage des conduites d'AEP :

- Paramétrés structurel ;
- paramètres liés au sol ;
- aléas sismique.

II.2.1 Paramétrés structurels

Ce sont les paramètres qui caractérisent la conduite, matériaux et diamètre

II.2.1.1 Matériaux : les conduites du réseau AEP sont constituées de divers matériaux tels que l'amiante le PVC le PEHD, l'acier...

Tableau II.1: Différents matériaux constituant le réseau de Blida

Matériaux	Amiante-ciment
	Fonte
	Fonte ductile
	Acier
	Acier galvanisé
	Chlorure polyvinylique (PVC)
	Polyéthylène PEHD

II.2.1.2 Diamètre :

L'expérience nous a montré que plus le diamètre de la conduite augmente plus la conduite résiste à la rupture "plus le diamètre de la conduite est petit plus le nombre de rupture augmente".

Tableau II. 2: Différents Diamètre constituant le réseau de Blida

Diamètres	$\varphi < 75 \text{ mm}$
	$75 \text{ mm} < \varphi < 150 \text{ mm}$
	$150 \text{ mm} < \varphi < 250 \text{ mm}$
	$250 \text{ mm} < \varphi < 450 \text{ mm}$
	$450 \text{ mm} < \varphi < 1000 \text{ mm}$
	$\varphi > 1000 \text{ mm}$

II.2.2 Paramètres lié au sol :

Ce sont des paramètres lié au type de sol et au glissement.

II.2.2.1 type de sol : La nature et la classification du sol affecte directement l'amplification des ondes sismiques, c'est un paramètre très important dans l'évaluation des dégâts.

Tableau II. 3 : Différents type de sol constituant le réseau de Blida

Type de Sol	Alluvion: sol très mou S1
	Diluvien: sol mou S2
	Sol moyen S3
	Sol rocheux moyen S4
	Sol rocheux dur S5

II.2.2.2 Les glissements de terrain : ce sont des déformations permanentes de sol qui peuvent produire des dégâts importants dans les conduites d'AEP, c'est un paramètre qui est étroitement lié avec les saisons.

Tableau II. 4: glissements de terrain

Glissement	Pas de glissement
	Glissement moyen
	Glissement important

II.2.3 Aléa sismique

C'est un paramètre très important pour la détermination des dommages dans les conduites enterrées qui inclut:

II.2.3.1 L'intensité sismique : Caractérise la sévérité de la secousse sismique au sol, à partir des dégâts occasionnés en surface, elle se fonde sur l'observation des effets et des conséquences du séisme sur des indicateurs communs, Parmi les différentes échelles, on peut citer :

- **L'échelle de Mercalli**, la première échelle établie en 1902 (notée MMI dans sa version modifiée) ;
- **L'échelle Medvedev-Sponheuer-Karnik** (aussi notée MSK), la plus utilisée, elle a été proposée en 1964 ;
- **L'échelle Rossi-Forel** (aussi notée RF) ;
- **L'échelle de Shindo** de l'agence météorologique japonaise ;
- **L'échelle macrosismique européenne** (aussi notée EMS98).

Tableau II. 5: L'intensité sismique

Intensité	$MMI < 8$
	$8 \leq MMI < 9$
	$9 \leq MMI < 10$
	$10 \leq MMI < 11$
	$MMI \leq 11$

II.2.3.2 L'interaction avec la faille : tout dépend du matériau avec lequel la conduite est faite tout dépend de la limite de déformation du matériau de la conduite.

Tableau II. 6: Interaction avec la faille

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

II.2.3.3 Liquéfaction : La liquéfaction des sols s'observe lors de forts séismes dans des zones saturées en eau, elle provoque la remontée des eaux, 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 II. 7: Liquéfaction

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

II.3 Présentation de la méthode multicritères AHP (Analytic Hierarchy Process)

Depuis longtemps, les gens s'intéressent à la mesure des événements physiques et psychologiques. Par « physique », nous entendons le domaine de ce que l'on appelle à la mode les « tangibles », qui se rapportent à une sorte de réalité objective extérieure à l'individu

qui effectue la mesure. En revanche, le domaine psychologique est le domaine des intangibles, car il est lié aux idées et croyances subjectives de l'individu sur lui-même et sur le monde de l'expérience. La question est de savoir s'il existe une théorie cohérente capable de traiter ces deux mondes de la réalité sans compromettre l'un ou l'autre. L'AHP est une méthode qui peut être utilisée pour établir des mesures dans les domaines physique et social [10].

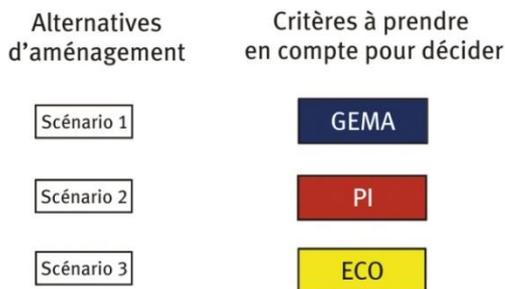
De nombreuses méthodes d'aide multicritère à la décision existent ; leur objectif est d'aider les acteurs de la décision à formaliser un problème, expliciter le contexte de décision avant de procéder à l'évaluation et la comparaison des solutions. La méthode d'agrégation totale AHP (ou analyse multicritère hiérarchique) [11], compte parmi les plus simples à mettre en œuvre, Elle permet de calculer une note synthétique (valeur comprise entre 0 et 1) agrégée sur la base d'une hiérarchisation et d'une pondération de l'ensemble des critères entrant en compte dans la décision.

II.3.1 Les principes de la méthode AHP

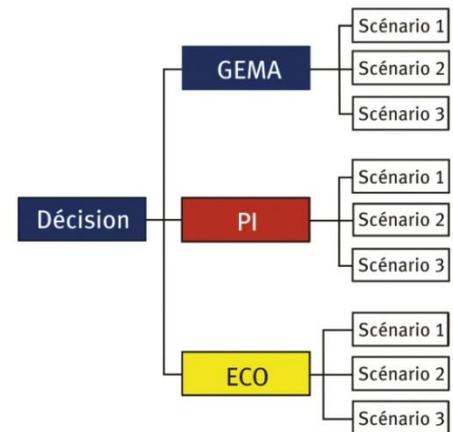
Dans un premier temps, il convient de qualifier le cadre décisionnel relatif à la problématique de décision. Cette étape, applicable quelle que soit la méthode AMC choisie, permet de fixer l'entité ayant la responsabilité de la décision, les limites de l'évaluation, de définir notamment quelles sont les alternatives d'aménagement (ou scénarios) à évaluer, et quels sont les critères pertinents à utiliser pour les comparer.

La seconde étape consiste à structurer la hiérarchie des critères de décision et les alternatives sous une forme arborescente (arbre de décision) à plusieurs niveaux (figure II.1 A et B). Les critères et alternatives sont comparés deux à deux à chaque niveau de l'arbre de décision (figure II.1.C).

A Identification des alternatives d'aménagement et des critères d'évaluation



B Agencement des critères et alternatives en arbre de décision



C Attribution des préférences à tous les niveaux de l'arbre
NB : dans les cases jaunes, sont indiquées les valeurs de l'échelle de Saaty

C1 Préférences entre critères

Ligne / colonne	GEMA	PI	ECO	w
GEMA	1,000	1,000	1,000	0,333
PI	1,000	1,000	1,000	0,333
ECO	1,000	1,000	1,000	0,333
Somme	3,000	3,000	3,000	1,000

C2 Préférence entre alternatives (évaluation des performances des alternatives)

C2.1 Pour le volet GEMA

Ligne / colonne	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	w
Scénario 1	1,000	1,000	0,200	0,143
Scénario 2	1,000	1,000	0,200	0,143
Scénario 3	5,000	5,000	1,000	0,714
Somme	7,000	7,000	1,400	1,000

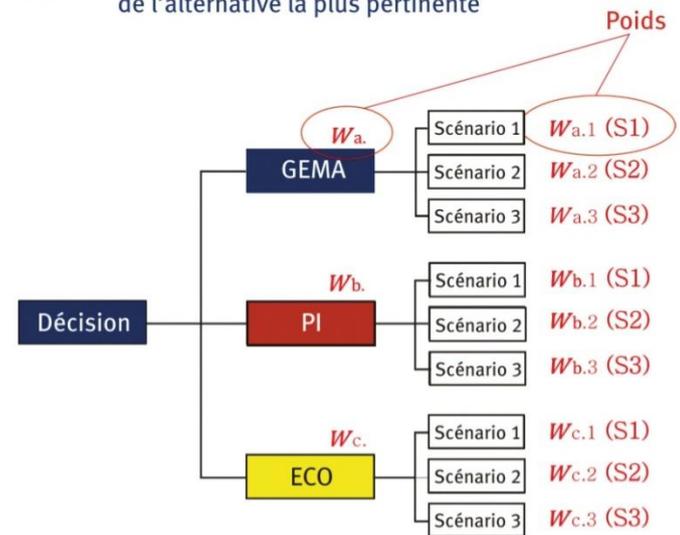
C2.2 Pour le volet PI

Ligne / colonne	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	w
Scénario 1	1,000	0,143	0,500	0,094
Scénario 2	7,000	1,000	5,000	0,738
Scénario 3	2,000	0,200	1,000	0,168
Somme	10,000	1,343	6,500	1,000

C2.3 Pour le volet ECO

Ligne / colonne	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	w
Scénario 1	1,000	0,333	0,333	0,143
Scénario 2	3,000	1,000	1,000	0,429
Scénario 3	3,000	1,000	1,000	0,429
Somme	7,000	2,333	2,333	1,000

D Agrégation totale des poids calculés pour chaque branche de l'arbre et choix de l'alternative la plus pertinente



EXEMPLE – Évaluation Scénario 1 :

$$WS1 = (W_{a.1} * W_a) + (W_{b.1} * W_b) + (W_{c.1} * W_c)$$

Figure II. 1(A.B.C.D) : Les étapes de l'AHP

Les alternatives d'aménagement sont comparées entre elles au dernier niveau de l'arborescence. Cette comparaison se fait via une matrice de préférences qui permet de déterminer des poids relatifs pour chaque critère et alternative à défaut de méthode de pondération fixée par la loi ou par des méthodes dédiées. Les préférences sont attribuées selon une échelle qualitative à 9 niveaux [11], reliant des valeurs chiffrées à des expressions verbales : 1 signifie critère A d'importance égale à critère B, jusqu'à 9 qui signifie critère A absolument plus important que critère B. Des valeurs intermédiaires (de compromis) peuvent également être renseignées (figure II.2).

Finalement, les poids calculés pour les critères et les alternatives sont agrégés de la racine vers les feuilles de l'arbre (critères terminaux) selon un principe qui s'apparente à une somme pondérée (figure II.1 D). Une version simplifiée du calcul a été codée sur tableur Excel. Elle permet l'obtention directe des poids des critères et des alternatives.



Figure II. 2 : Échelle d'importance relative [11]

Cette méthode reste simple d'application, mais n'est pas exempte de biais qu'il est important de connaître avant d'en faire usage. Parmi les critiques connues, notons :

- la possibilité de compensation entre critères. Si les poids sont les mêmes, une bonne évaluation sur un critère peut en effet balancer une mauvaise sur un autre : on comprend aisément ici l'importance de la détermination des préférences ;
- Le mode de calcul des poids à partir de préférences subjectives ;
- Le renversement de rang.

Du fait du mode d'agrégation des poids calculés (somme pondérée), des écarts de performance sur certains critères entre les alternatives évaluées peuvent être masqués ou mal interprétés. Il faut garder en mémoire que même si les différences d'évaluation sont minimales, une meilleure note indique une meilleure solution, la valeur des scores ne doit pas perturber l'interprétation. En pratique, si la méthode supporte théoriquement un nombre infini de

niveaux de critères, l'expérience montre que l'esprit humain ne peut comparer valablement que sept critères au maximum en raisonnant par paires. Au-delà, il devient difficile de comparer deux à deux les critères d'une même matrice sans éviter des incohérences. Il faut donc limiter le nombre de critères de même niveau hiérarchique (le nombre de branches à un embranchement). On recommande un nombre maximal de sous-critères entre trois et quatre. Enfin, il convient de veiller à construire un arbre de critères qui soit le plus équilibré possible, c'est-à-dire avec des profondeurs de niveaux de critères équivalentes entre les branches de l'arbre. Plus un critère sera situé en profondeur dans l'arbre et moins son influence sur le résultat final sera importante. D'autres méthodes existent, notamment les méthodes d'agrégation partielle qui permettent de limiter ces écueils (méthode Electre par exemple). Ces méthodes sont cependant moins simples à mettre en œuvre et les résultats plus longs et complexes à interpréter par les décideurs [12].

La méthode AHP a été appliquée pour la résolution de nombreux problèmes et a été implantée dans plusieurs logiciels d'aide à la décision. Le logiciel EXPERTCHOICE développé par Forman et Saaty en 1980 se trouve au premier rang de ses logiciels.

II.3.2 Méthodologie

Étape 1 : Décomposer le problème en une hiérarchie d'éléments inter-reliés.

Au sommet de la hiérarchie, on trouve l'objectif, et dans les niveaux inférieurs, les éléments contribuant à atteindre cet objectif. Le dernier niveau est celui des actions.

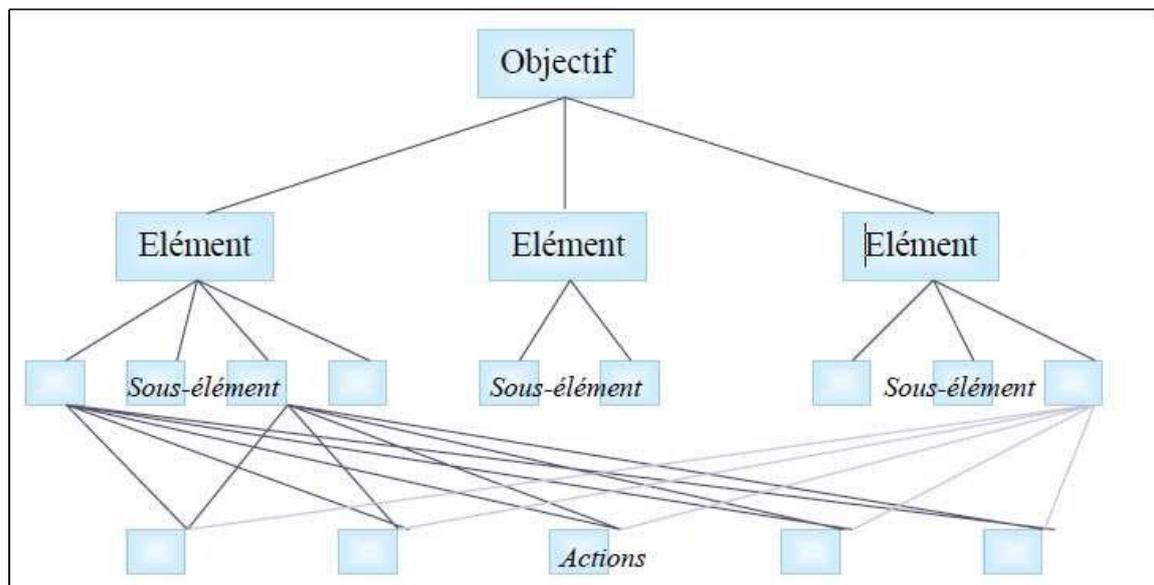


Figure II. 3: Structure hiérarchique de la méthode AHP [13].

Étape 2 : Procéder à des comparaisons par paires des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur. Cette étape permet de construire des matrices de comparaisons. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaisons binaires), tout en respectant le principe de réciprocité.

Tableau II. 8: Echelle de comparaisons binaires de Saaty [11].

Echelle numérique ou intensité	Echelle Verbale ou Définition	Commentaire
1	Importance égale des deux éléments : Egalement important	Les deux éléments concurrents de la même manière à l'objectif
3	Un élément est un peu plus important que l'autre : Légèrement plus important	L'expérience et le jugement personnel favorisent légèrement un élément par rapport à l'autre.
5	Un élément est plus important que l'autre : Fortement important	L'expérience et le jugement personnel favorisent vraiment un élément par rapport à l'autre.
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre : Très fortement plus important	Un élément est largement dominant et cette dominance est démontrée dans la pratique
9	Un élément est absolument plus important que l'autre : Absolument plus important	La dominance d'un élément par rapport à un autre est démontré et absolue
1,1, 2, 4, 6	Valeur intermédiaire entre deux jugements	Utilisées pour affiner son jugement
Réciprocité	Si l'élément i se voit attribuer l'un des chiffres précédents lorsqu'il est comparé à l'élément j , j aura donc la valeur inverse lorsqu'on le compare à i	

N.B : A chaque nœud éclaté en n éléments, il faut réaliser $\frac{n.(n-1)}{2}$ comparaisons par paire.

Les matrices de comparaison obtenues sont des matrices carrées (nxn), les éléments diagonaux sont égaux à 1. Le critère dans la i-ième ligne est meilleur que celui de la j-ième colonne si la valeur de l'élément (i, j) est supérieure à 1, sinon l'élément (j, i) de la matrice est l'inverse de l'élément (i, j) par le principe de réciprocité.

$$[A] = [a_{ij}]$$

$$a_{ij} = 1$$

$$\text{Et } a_{ji} = 1/a_{ij} \quad (\text{valeur réciproque})$$

i et j varient de 1 à n avec **n** : rang de la matrice.

Tableau II. 9: Exemple d'une matrice de comparaison.

Critères	C1	C2	C3
C1	1	3	4
C2	1/3	1	2
C3	1/4	1/2	1

Étape 3 : Déterminer l'importance relative des éléments en calculant les vecteurs propres correspondants aux valeurs propres maximales des matrices de comparaisons, afin d'obtenir une estimation des priorités relatives des critères étudiés.

Les vecteurs propres normalisés des matrices sont appelés « poids », le vecteur propre W est donné par :

$$A \cdot W = \lambda_{max} \cdot W$$

A : matrice de comparaison

λ_{max} : la valeur propre maximale de la matrice A

$$\text{Tel que } \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Les vecteurs propres normalisés ou vecteurs « poids » sont calculés comme suit :

Phase 1 : calcul de la somme de chaque colonne de la matrice de comparaison $[A]$:

$$S_j = \sum_{i=1}^n A_{ij}$$

j indice de la colonne et varie de 1 à n .

Phase 2 : Calcul de la matrice normalisée $[A_N]$ en divisant chaque élément a_{ij} de la matrice $[A]$ par la somme de chaque colonne $[S_j]$ à laquelle il appartient :

$$a'_{ij} = a_{ij} / S_j$$

Phase 3 Calcul du vecteur poids $[W]$ à partir de la moyenne des colonnes de la matrice normalisée $[A_N]$.

$$W_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij} / n$$

Étape 4 : Vérifier la cohérence des jugements pour évaluer la consistance de la matrice de comparaison.

La matrice de comparaison est dite cohérente si elle satisfait la propriété de transitivité [11]

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj} \quad ; \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

La vérification se fait en deux phases :

Phase 1 : On calcule d'abord, l'indice de cohérence IC.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Où λ_{\max} est la valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires et n est le nombre d'éléments comparés.

Pour calculer λ_{\max} , il faut calculer les vecteurs [B] et [D] :

$$b_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij} \cdot w_j \text{ et } d_i = b_i / w_i$$

Ainsi :

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

Phase 2 : On calcule le ratio de cohérence (RC) défini par :

$$RC = \frac{IC}{AI}$$

Où AI est l'indice de cohérence moyen obtenu en générant aléatoirement des matrices de jugement de même taille.

Tableau II. 10: Valeurs de l'indice de cohérence Aléatoire ACI.

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cohérence aléatoire (ACI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Une valeur de RC inférieure à 10% est généralement acceptable, sinon, les comparaisons par paires doivent être révisées pour réduire les incohérences.

Étape 5 : Établir la performance relative de chacune des actions.

L'AHP permet de calculer les valeurs des poids P_i pour chaque alternative :

$$P_i = \sum_{j=1}^k w_i v_j c_{ji}$$

w_i : le poids des critères ($i=1 \dots n$) ;

v_j : le poids des sous-critères ($j=1 \dots k$) ;

c_{ij} : les scores attribués à l'alternative du sous-critère j du critère i.

Le score global pour chaque alternative est donné par l'équation :

$$W = \sum_{i=1}^n P_i$$

II.3.3 utilisation de la méthode :

La méthode d'aide à la décision multicritère AHP a été conçue par Thomas Saaty [11], au cours des années 70s. Elle est utilisée dans un vaste éventail de domaines d'application aux quatre coins de la planète et de façon soutenue depuis son introduction il y a 40 ans [14], ont effectué l'analyse d'un échantillon de 150 articles dans le but précis d'illustrer cet éventail d'applications. Les quatre graphiques suivants (figure II.4) sont tirés de cet article.

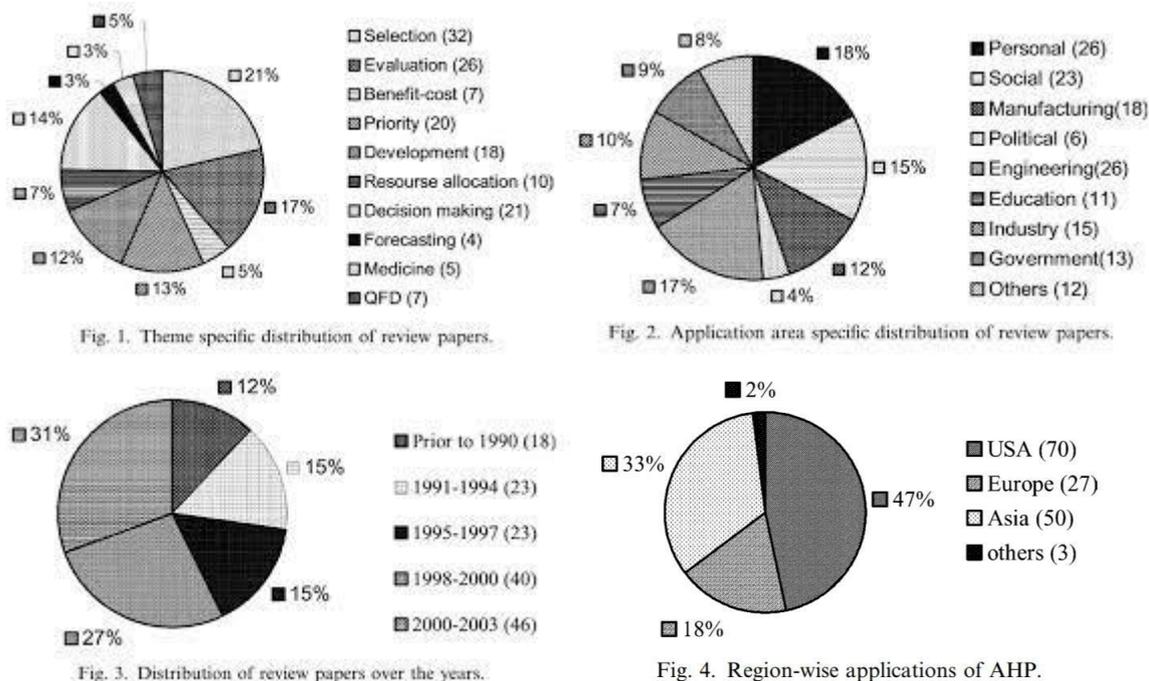


Figure II. 1: Graphiques de répartition des articles [15]

II.3.4 Avantages et inconvénients de la méthode :

Cette méthode tient son avantage de sa similitude au raisonnement de l'être humain, notamment la décomposition, le jugement et la synthèse. Elle se différencie par sa capacité à gérer différentes classes de critères qualitatifs et quantitatifs.

C'est la seule méthode multicritères qui comporte une procédure pour évaluer systématiquement la cohérence des choix [16].

L'application de cette méthode se fait à deux niveaux : la structure hiérarchique et l'évaluation d'où la facilité d'utilisation.

L'inconvénient de cette méthode est l'instabilité du classement des différentes alternatives dans le cas où le problème à traiter contient un grand nombre d'alternatives [17].

II.4 Méthode de l'Indice de vulnérabilité des conduites d'eau potable

En ce basant sur la méthode de l'AHP et sur les causes des dommages dans les conduites d'eau nous proposons une méthode appelée méthode de l'indice de vulnérabilité pour estimer la vulnérabilité sismique des conduites du réseau en alimentation d'eau potable.

Dans notre méthode nous allons prendre en considération les paramètres causons les dommages dans les canalisations à savoir :

- Matériaux ;
- Diamètres ;
- Type de sol ;
- Glissement de terrains ;
- Interaction avec la faille ;
- Intensité sismique ;
- Liquéfaction.

II.4.1 Identification des paramètres de vulnérabilité

La base des retours d'expérience des tremblements de terre passés, les experts ont attribué une note à chaque catégorie. Puis en utilisant les coefficients de pondération et les scores attribués, l'indice de vulnérabilité IV est calculé à l'aide de la formule suivante [18] :

$$IV = \sum_{i=1}^3 W_i \sum_{k=1}^{3 \text{ ou } 5 \text{ ou } 6 \text{ ou } 7} C_{ijk} \times W_{ij}$$

Avec :

W_i le coefficient de pondération du paramètre ;

W_{ij} le coefficient de pondération des attributs (catégories), où $W_{ij} = 1$ si $i = 2$;

C_{ijk} le score de la catégorie, où $k = 3$ ou 5 ou 6 ou 7 .

Tableau II.1: Poids AHP (réseau AEP)

Paramètres	Poids	Facteur	Poids	Catégorie	Score
Structurel	0.571	Matériaux	0.750	Amiante-ciment	60
				Fonte	50
				Fonte ductile	40
				Acier	30
				Acier galvanisé	20
				Chlorure polyvinylique (PVC)	10
				Polyéthylène PEHD	00
		Diamètre	0.250	$\varphi < 75$ mm	50
				$75 \text{ mm} < \varphi < 150$ mm	40
				$150 \text{ mm} < \varphi < 250$ mm	30
				$250 \text{ mm} < \varphi < 450$ mm	20
				$450 \text{ mm} < \varphi < 1000$ mm	10
				$\varphi > 1000$ mm	00
Sol	0.143	Type de Sol	0.750	Alluvion: sol très mou S1	40
				Dilluvion: sol mou S2	30
				Sol moyen S3	20
				Sol rocheux moyen S4	10
				Sol rocheux dur S5	00
		Glissement	0.250	Pas de glissement	00
				Glissement moyen	10
				Glissement important	30
				Aléa sismique	0.286
$8 \leq MMI < 9$	20				
$9 \leq MMI < 10$	30				
$10 \leq MMI < 11$	40				
$11 \leq MMI$	50				
Liquéfaction	0.294	$0 \leq PL < 5$	00		
		$5 \leq PL < 15$	10		
		$15 \leq PL$	30		
Interaction avec la faille	0.163	pas d'intersection	00		
		une intersection	10		
		plusieurs intersections	30		

II.4.2 Classification par l'IV:

Suite au développement de la méthode de l'indice de vulnérabilité par l'AHP, nous avons proposé une classification des conduites en fonction de la valeur de l'IV cette classification est donné dans le tableau suivant :

Tableau II. 2: Classification des conduites

Valeur de l'IV	Evaluation	Couleur
$0 < IV < 25$	Vulnérabilité faible	Vert
$25 \leq IV < 35$	Vulnérabilité moyenne N2	Orange
$35 \leq IV$	Vulnérabilité grande	Rouge

Constatation :

Dans cette classification, on distingue trois intervalles :

- IV compris entre Zéro et Vingt-Cinq [00-25], vulnérabilité de la conduite faible la couleur verte lui est attribuée.
- IV compris entre Vingt-Cinq et trente-Cinq [25-35], vulnérabilité de la conduite moyenne la couleur Orange lui est attribuée.
- IV supérieur à trente-Cinq (≥ 35), grande vulnérabilité de la conduite, la couleur rouge y est associée.

II.5 Conclusion

Les paramètres qui influent sur la vulnérabilité sismique des réseaux AEP pris en considérations dans le présent chapitre ne sont pas exhaustifs. Toutefois nous avons pris en compte les plus importants.

L'utilisation de la méthode AHP a permis de calculer leur coefficient de pondération et l'expression de l'indice de vulnérabilité à l'issue de cette démarche permis de calculer l'IV de n'importe quel réseau d'alimentation en eau potable.

Dans le cadre de cette étude, un programme sur Excel a été développé pour permettre le calcul de l'indice de vulnérabilité rapidement pour le réseau en question et de traiter quelques exemples de réseau, qui nous permettra dans un premier temps de comparaitre le réseau d'après ces différent caractéristique (Matériaux et diamètres), par la suite, de faire une comparaison avec d'autre résultat obtenue avec la méthode analytique [3].

Chapitre III

ZONE D'ETUDE

III.1 Introduction

La méthode développée dans le chapitre précédent sera appliquée sur un cas d'étude. Il s'agit de la ville de Blida qui est située à environ 40 Km au Sud Ouest de la capitale Algérienne. C'est une zone à forte sismicité (Zone III) d'après le dernier Règlement Parasismique Algérien [19].

III.2 Population

La population de la ville de Blida est en continuel accroissement, nous présentons son évolution dans le tableau suivant [20] :

Tableau III. 1: Evolution de la population de la ville de Blida entre 1998 et 2023

Année	Population (hab)			
	1998	2001	2005	2023
Blida	139 690	150 431	166 048	199 170

III.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.

La région de Blida est constituée par un Miocène formé de marnes et d'argiles marneuses avec des intercalations de grès (Figure III.1).

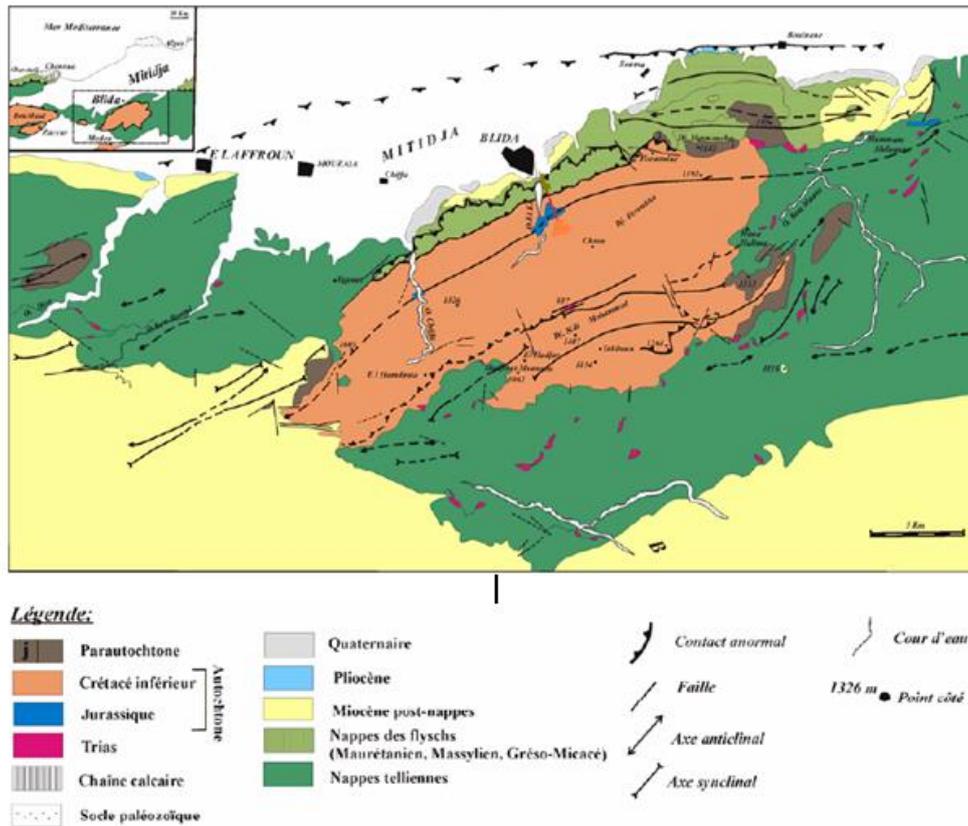


Figure III. 1: Carte géologique de la région de Blida [21].

III.4 Contexte sismique [21]

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.

III.5 Failles actives de Bouinan/Soumâa

La faille active de Bouinan/Soumâa (Figures III.2) a joué un grand rôle dans la sismicité historique de la ville de Blida. En effet, Blida était située autrefois dans la vallée de l'Oued El Kebir, cette dernière 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), soit une surface oscillant entre 300 km² et 600 km².

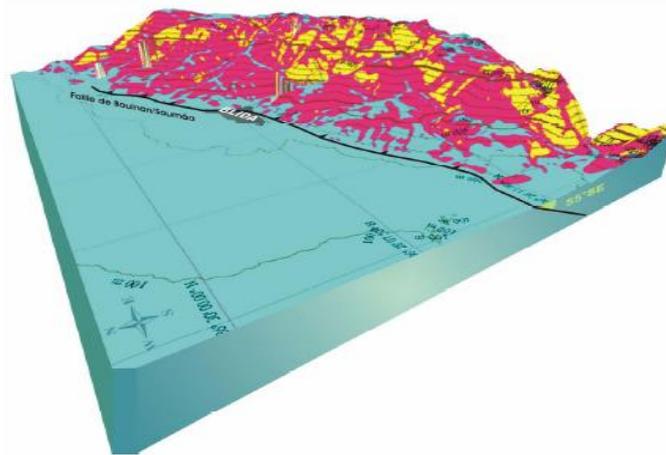


Figure III. 2: La faille active de Bouinan/Soumâa [21]

III.6 Estimation de la magnitude maximale

Pour estimer la magnitude maximale, nous considérons la faille de Bouinan/Soumâa continue et non segmentée. La relation entre la magnitude du moment et la longueur de rupture dans le cas de la faille inverse de Soumâa/Bouinan est de :

$$M = 5 + 1.22 \log (30 \text{ km}), \text{ d'où } M = 6.8 (\pm 0.28) [3]$$

III.7 Types de sol

Le type de sols est l'un des principaux facteurs initiateurs des instabilités de terrain et de la sismicité. On distingue pour le secteur des piémonts blidéens trois types de sols (Figure III.3):

- Les sols tendres, correspondant aux terrains quaternaires (Quaternaire ancien, terrasses et cônes de déjection).

- Les sols moyens, correspondant aux terrains des unités des flyschs massylien et maurétanien et à ceux du Pliocène.
- Les sols durs, correspondant aux unités telliennes.

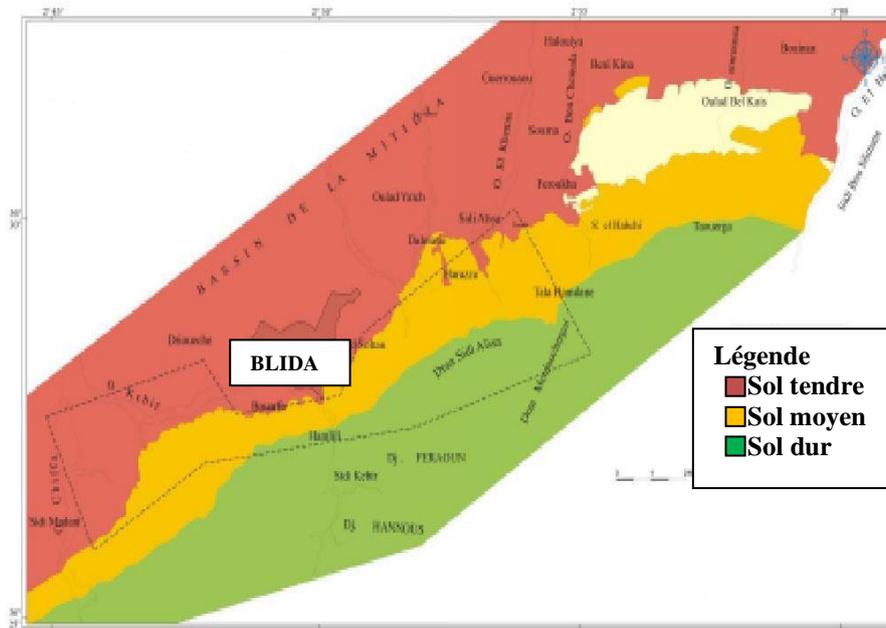


Figure III. 3: Différents types de sols de la région de Blida [21].

III.8 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 sujette à la liquéfaction [22].

III.9 Réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP)

Le réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la ville de Blida est diversifié du point de vue âges, diamètres et matériaux car il comporte des conduites anciennes, rénovées et nouvelles.

La longueur des différents diamètres en fonction du matériau est donnée dans le Tableau III.2. La longueur totale de ce réseau avoisine les 163 km (Tableau III-2).

Tableau III. 2: Longueurs des canalisations en fonction du diamètre et du matériau

Diamètre (mm)	Longueurs(m)							Total (m)
	Fonte	Amiante Ciment	Acier	Acier Galvanisé	PVC	PEHD	Bonna	
50	230			422				652
60	191	44				10 000		10235
70	323							323
80	385	481	1118	818				2802
100	4272	427	770		305			5774
125	213				941			1154
150	15462		4920		378			20760
160					113	4 000		4113
200	14217	1612	1221	1151		3 000	540	21741
250	842	4784				2 000		7626
300	6489	578	6247			3 977		17291
400	9 000		8222					17222
500	15 311	2296	4366				2300	24273
600	15 000		4380			414		19794
700	5 000							5 000
800			3668					3668
Total (m)	86935	10222	34912	2391	1737	23391	2840	162 428

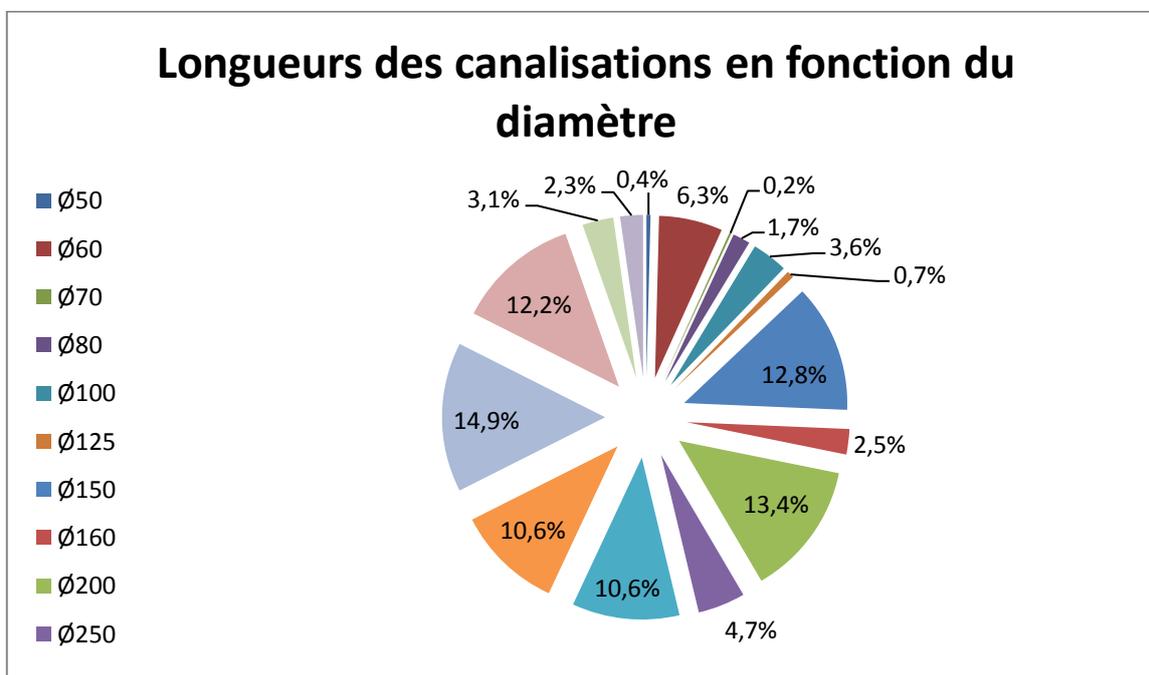


Figure III. 4: Longueurs des canalisations en fonction du diamètre

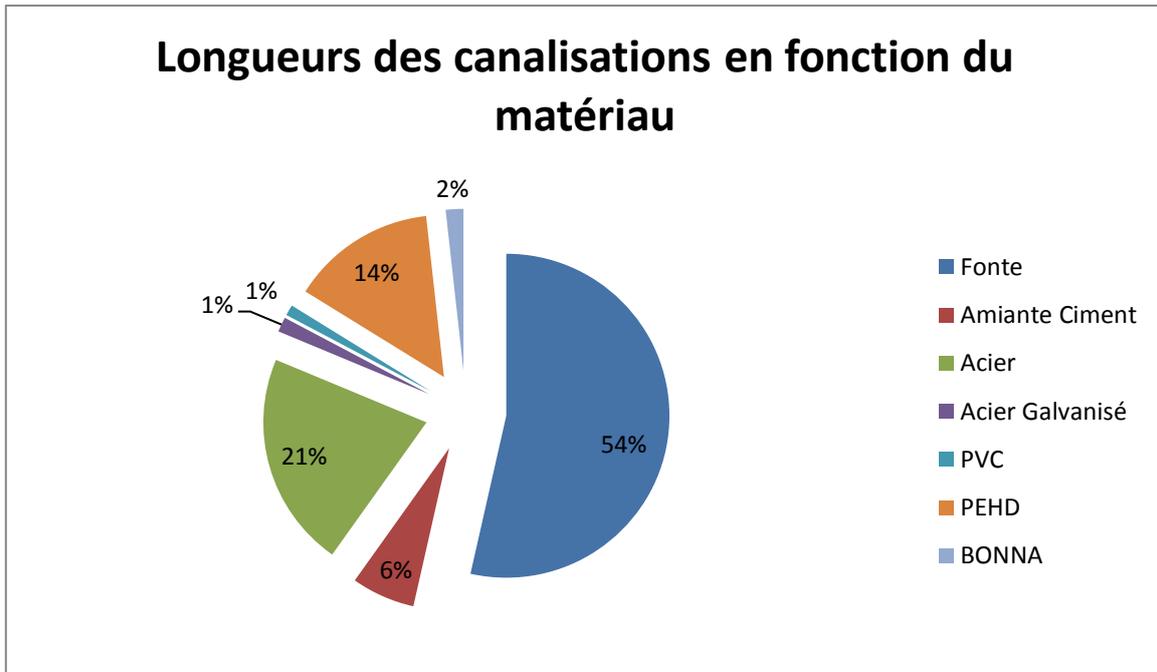


Figure III. 5: Longueurs des canalisations en fonction du matériau

III.10 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. Le réseaux 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

MISE EN ŒUVRE ET VALIDATION

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons traiter quelques exemples pour mettre en application notre méthode en calculant l'indice de vulnérabilité de différents matériaux en fonction du diamètre classé selon la méthode proposée.

IV.2 Exemples d'application

Dans le traitement de nos exemples on va fixer les paramètres suivants :

- le type de sol : Sol moyen S3 ;
- On va considérer qu'il y a pas de phénomène de Liquéfaction $0 \leq PL \leq 5$;
- Pas de glissement ;
- Une intensité de séisme inférieure à 8 ($MMI < 8$) ;
- Le réseau n'a aucune interaction avec la faille.

On va traiter l'exemple d'une conduite en amiante ciment, en acier, en fonte, en fonte ductile, en PVC, et en PEHD.

Pour chaque matériau on va faire varier les diamètres ($\varnothing = 75 \text{ mm}$; 100 mm ; 200 mm ; 300 mm ; 500 mm ; et 1000 mm) ;

➤ Exemple 01 : Conduite Amiante Ciment

Tableau IV. 1: L'IV de l' Amiante Ciment en fonction des différents diamètres

Matériaux	AMIANTE CIMENT					
	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S3					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	$MMI \leq 8$					
Interaction avec la faille	Pas interaction					
Indice de vulnérabilité	36,52	35,09	33,66	32,24	30,81	29,38
Classification	R	R	O	O	O	O

- **Constatations :**

Dans le cas du réseau en amiante ciment l'indice de vulnérabilité est compris entre 29,38 et 36,52 on remarque que l'indice de vulnérabilité diminue avec l'augmentation du diamètre, et le réseau reste très vulnérable.

➤ **Exemple 02 :** Conduite Acier

Tableau IV. 2: L'IV des conduites en Acier en fonction des différents diametres.

Matériaux	ACIER					
Diamètre Φ (mm)	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S3					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	$MMI \leq 8$					
Interaction avec la faille	Pas interaction					
Indice de vulnérabilité	23,67	22,24	20,82	19,39	17,96	16,53
Classification	V	V	V	V	V	V

- **Constatations :**

Dans le cas du réseau en acier l'indice de vulnérabilité est compris entre 16,53 et 23,67 et que l'indice de vulnérabilité diminue avec l'augmentation du diamètre, et que le réseau n'est pas du tout vulnérable.

➤ **Exemple 03 :** Conduite en Fonte.

Tableau IV. 3: L'IV des conduites en Fonte en fonction des différents diametres

Matériaux	FONTE					
Diamètre Φ (mm)	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S3					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	$MMI \leq 8$					
Interaction avec la faille	Pas interaction					
Indice de vulnérabilité	32,24	30,81	29,38	27,95	26,53	25,10
Classification	O	O	O	O	O	O

- **Constatations :**

Dans le cas du réseau en fonte l'indice de vulnérabilité est compris entre 25,10 et 32,24 ; on enregistre une vulnérabilité moyenne (Orange) pour les différents diamètres.

➤ **Exemple 04 :** Conduite Fonte Ductile

Tableau IV. 4: L'IV des Conduite en Fonte Ductile en fonction des différents diametres.

Matériaux	FONTE DUCTILE					
	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S3					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	$MMI \leq 8$					
Interaction avec la faille	Pas interaction					
Indice de vulnérabilité	27,95	26,53	25,10	23,67	22,24	20,82
Classification	O	O	O	V	V	V

- **Constatations :**

Concernant la fonte ductile on enregistre une vulnérabilité comprise entre 20,82 et 27,95

On enregistre une vulnérabilité moyenne (orange) pour les diamètres inférieurs à 300 mm et faible (vert) pour les diamètres supérieure.

➤ **Exemple 05 :** Conduite PVC

Tableau IV. 5: L'IV conduite PVC en fonction des différents diametres.

Matériaux	PVC					
	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S3					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	$MMI \leq 8$					
Interaction avec la faille	Pas interaction					
Indice de vulnérabilité	15,11	13,68	12,25	10,82	9,40	7,97
Classification	V	V	V	V	V	V

➤ **Exemple 06 :** Conduite PEHD

Tableau IV. 6: L'IV Conduite PEHD en fonction des différents diamètres.

Matériaux	PEHD					
	<75	100	200	300	500	> 1000
Diamètre Φ (mm)	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S3					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	MMI ≤ 8					
Interaction avec la faille	Pas interaction					
Indice de vulnérabilité	10,82	9,40	7,97	6,54	5,11	3,69
Classification	V	V	V	V	V	V

- **Constatations pour les exemples 5 et 6 :**

Pour la conduite en PVC et en PEHD on enregistre une vulnérabilité inférieure à 16 (vert) pour tous les diamètres.

➤ **Exemple 07:** Conduite en PEHD

Tableau IV. 7: L'IV pour Conduite en PEHD en fonction des différents diamètres.

Matériaux	PEHD					
	<75	100	200	300	500	> 1000
Diamètre Φ (mm)	<75	100	200	300	500	> 1000
Type de sol	S1					
Liquéfaction	$0 \leq PL \leq 5$					
Glissement	Pas de glissement					
Intensité	MMI ≤ 8					
Interaction avec la faille	une intersection					
Indice de vulnérabilité	13,44	12,01	10,58	9,15	7,73	6,30
Classification	V	V	V	V	V	V

- **Constatations :**

En ce qui concerne le Tableau IV.7, nous avons changé le type de sol (sol très mou) et le nombre d'interactions avec la faille (une interaction).

Dans cet exemple on constate que l'indice de vulnérabilité est compris entre 6,30 et 13,44 contrairement à l'exemple N°06 où l'indice de vulnérabilité est compris entre 3,69 et 10,82 et pour tous les diamètres on enregistre une vulnérabilité faible (Vert).

Remarques Importantes 1:

- Nous remarquons que l'IV est plus important dans les conduites en fonte et en amiante ciment que dans celles en PVC et PEHD ceci est dû à la nature du matériau ;
- Dans toutes les conduites, nous remarquons que le diamètre est inversement proportionnelle à l'IV, plus le diamètre augmente, plus l'IV est petit.
- Pour la conduite en PEHD, nous avons deux IV différentes et ceci est dû aux conditions au sol et la présence de la faille sismique.

IV.3 Exemples de comparaison avec la méthode analytique

Nous allons comparer les résultats de l'IV obtenus en utilisant l'AHP avec les résultats de l'IV obtenus par la méthode analytique [3].

La comparaison se fait pour les conduites de diamètres 200 mm et 500 mm et pour les matériaux suivants :

- amiante ciment ;
- acier ;
- fonte ductile.

Les résultats suivants sont récapitulés dans les tableaux IV.8, IV.9, IV.10

IV.3.1 Conduite en amiante ciment

Tableau IV. 8: comparaison Conduite en amiante ciment

Amiante ciment	Méthode analytique		Méthode AHP	
	IV	Classification	IV	Classification
Diamètres				
200 mm	6,5	Orange	33,66	Orange
500 mm	3,6	Vert	30,81	Orange

Constatations :

Concernant le diamètre 200 mm on a un niveau de classification orange pour la méthode analytique et pour la méthode AHP. Pour le diamètre 500 mm on enregistre un niveau de classification faible (vert) pour la méthode analytique et moyenne (Orange) pour la méthode AHP.

IV.3.2 Conduite en Acier

Tableau IV. 9: comparaison Conduite en Acier

Acier	Méthode analytique		Méthode AHP	
	IV	Classification	IV	Classification
200 mm	0,8	Vert	20,82	Vert
500 mm	0,4	Vert	17,96	Vert

Constatations :

Pour la conduite en acier on relève un niveau de vulnérabilité Vert pour le diamètre 200 mm et 500 mm par les deux méthodes.

IV.3.3 Conduite en Fonte ductile

Tableau IV. 10: Conduite en Fonte ductile

Fonte ductile	Méthode analytique		Méthode AHP	
	IV	Classification	IV	Classification
200 mm	2,9	Vert	25,10	Orange
500 mm	1,6	Vert	22,24	Vert

Constatation :

Concernant le diamètre 200 mm on a un niveau de classification vert pour la méthode analytique et orange pour la méthode AHP. Pour le diamètre 500 mm on enregistre un niveau de classification vert pour les deux méthodes.

Remarque Importante 2:

Nous deduisons que dans le cas de la conduite en Acier, la methode de l'IV par l'AHP nous donne la meme classification que la methode de l'IV analytiquement.

Néanmoins la méthode multicritère AHP a donné des intervalles de vulnérabilité plus précis et une expression analytique de l'indice de vulnérabilité plus exigeante que les résultats obtenue par la méthode analytique développé.

IV.4 Conclusion

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

CONCLUSION GENERALE

Dans notre étude, nous nous sommes intéressé à l'estimation de la vulnérabilité sismique du réseau d'alimentation en eau potable (AEP). Ce choix se justifie par le fait que ce réseau est essentiel pour la survie des populations ainsi que pour l'activité économique d'une région concernée par le risque sismique.

L'estimation de la vulnérabilité sismique des structures et infrastructures d'une agglomération est importante, dans la mesure où elle contribue à la prise de décision quant au renforcement, le remplacement ou laisser en l'état l'élément à risque considéré.

Nous avons développé une méthode analytique simplifiée appelée « Méthode de l'Indice de Vulnérabilité (IV) sur les canalisations d'AEP » en utilisant la méthode multicritère l'Analytic Hierarchy Process (AHP). La méthode de l'IV prend en compte les facteurs intervenant dans la vulnérabilité des conduites. Cette méthode nous a permis de diagnostiquer l'état de la conduite et de la classer en fonction de sa vulnérabilité sismique.

Les développements que nous avons présentés ont été appliqués sur un cas d'étude, il s'agit de la ville de Blida. Vu la sismicité et vu les besoins en eau de la population de cette ville, il est primordial d'en assurer la disponibilité, surtout suite à un séisme particulièrement destructeur. Cette disponibilité ne peut être réalisée que si le réseau d'AEP reste fonctionnel.

Ce travail ne saurait être vu comme un travail fini, en effet, d'autres développements peuvent être effectués, citons entre autres, l'étude de la résilience des canalisations d'alimentation en eau potable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: Bensaïbi M., Notes de cours de vulnérabilité des structures et infrastructures, University Saad Dahleb, Blida, Algeria, 2010.
- [2]: Bensaïbi M., Belheouane F. I., « Assessment of vulnerability curves for Algerian types RC buildings », *UKIERI Concrete Congress*, Jalandhar, Punjab, India, March 5-8, 2013
- [3]: Halfaya F.Z., « Evaluation des courbes de vulnérabilité sismique d'un réseau de conduites enterrées » Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de CACHAN, France, 2013.
- [4]: ATC 25, Seismic Vulnerability and Impact of Distribution of Lifelines in the Conterminous United States, 1991.
- [5]: ATC 25-1, Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States. ATC-25, Redwood City, CA 25-1, 1991.
- [6]: FEMA, Earthquake loss estimation methodology HAZUS technical volumes. NIBS Document number 5201. National Institute of Building Sciences, 1997.
- [7]: FEMA, Estimating earthquake losses with HAZUS. Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [8]: OYO Corporation. RADIUS methodology. IDNDR, 1999.
- [9] 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
- [10]: Saaty R.W., «The analytic hierarchy process-what it is and how it is used » *Mat/d Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176, USA 1987
- [11]: Bernasconi M., Choirat C. et Seri R.; « The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement » ; *Management Science* Vol. 56, No. 4, pp. 699–711 ; 2010.
- [12]: Guillaume P., Félix P., Tacnet J., Gourhand A., « Caractérisation des altérations de la géomorphologie naturelle d'un cours d'eau », INRAE, France, 2018.
- [13]: Sadjı S., « Un protocole de négociation pour les systèmes d'aide à la décision de groupe », Mémoire de Fin d'Etudes, Université d'Oran, Algérie, 2018.
- [14]Vaidya S., Kumar S., « Analytic hierarchy process: An overview of applications », Omkarprasad S. Vaidya and Sushil Kumar, *European Journal of Operational Research*, vol. 169, issue 1, 1-29, 2006.

- [15] : Rivest R., « Techniques de simulation pour la recherche sur le perfectionnement de la méthode AHP », Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise ès sciences en gestion, HEC Montréal, Canada, 2019 .
- [16] : Bhushan, N., Rai, K., « Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process », Springer, Berlin, 9, 11-21, 2004.
- [17] : Agrebi M., « Méthodes d'aide à la décision multi-attribut et multi-acteur pour résoudre le problème de sélection dans un environnement certain/incertain : cas de la localisation des centres de distribution. Intelligence artificielle [cs.AI] », Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis ; Université de Sfax, Tunis, 2018.
- [18] : Adafer S., Bensaibi M., « Seismic Vulnerability Index for Road Networks » International Conference on Industrial Technology and Management Science, 2015.
- [19] : RPA, Règlement Parasismique Algérien, version 2003.
- [20] : Halfaya F.Z., Bensaibi M., Tayebi K.A., « Diagnostic de vulnérabilité du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Blida », Actes du VII^{ème} Colloque National AFPS, Paris, France, 2007.
- [21] : CRAAG, Étude géologique, géophysique et géotechnique des piémonts Est et Ouest de la ville de Blida, (Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique), Rapport, 2005.
- [22] : Bahi, F., « Estimation de l'indice de potentiel de liquéfaction », Thèse de Magister Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 2010.