

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة حسيبة بن بوعلي الشلف

Université Hassiba Benbouali –Chlef

كلية الهندسة المدنية والمعمارية

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

قسم الهندسة المدنية

Département de Génie-civil



Mémoire de Master

Filière: Travaux public

Spécialité: Voies et ouvrages d'art

Thème

**Utilisation de la méthode japonaise Katayama pour l'évaluation
de la vulnérabilité sismique des ponts routiers à poutres
isostatiques**

Présenté par :

ABBAS Hana
CHELALI Ikram

Dirigé par:

Dr Z. BOUTARAA

Promotion : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Avant tous, nous remercions ALLAH le tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce travail.

Nous tenons également à exprimer nos plus vifs remerciements et à témoigner de notre gratitude envers Dr. Z. Boutaraa pour sa disponibilité, son écoute, ses conseils inestimables son aide, son assistance, sa confiance et surtout son soutien tout au long de ce travail de recherche, elle nous a offert l'opportunité de faire nos premiers pas sur un travail de recherche passionnant.

Nous tenons également à remercier les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos vifs remerciements pour l'ensemble des enseignants du département de génie civil qui ont contribué à notre formation en génie civil.

Tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail, que ce mémoire soit pour eux l'expression de notre profonde gratitude.

DÉDICACE

Au nom du dieu le clément le miséricordieux Je dédie ce travail :

*À ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de
prier pour moi.*

*À mon très cher père pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son
sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

À ma mami et mes tentes que dieu leurs donne une longue et joyeuse vie.

*À mes frères Abdelmadjid, Zakaria, Ayoub qui m'ont encouragé durant toutes mes années
d'étude.*

*À mes sœurs Hiba et Hafsa qui sont aussi mes meilleures amies, merci pour votre soutien
vous êtes ma source de joie et de bonheur*

*À mes chères cousines Farah, Marwa, Souhila, Houda, Sara que dieu les protège et leurs
offre la chance et le bonheur*

À ma famille 'ABBAS' et 'ZIDANE' avec mes sentiments de respect, d'amour, et gratitude.

*À mes fidèles compagnes de route Ikram, Malika, Mallak et Manel qui ont transformé les
longues nuits d'étude en moments de complicité inoubliables*

*À ma meilleure amie Rihab source de motivation et d'inspiration, qui m'a toujours soutenu
et encouragé durant ces années d'études.*

*Enfin, toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes remerciements à tous ceux qui sont
contribué de près ou de loin et la réalisation de ce travail et à ceux qui sont chères pour moi*

ABBAS HANA

DÉDICACE

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

Tout d'abord, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné la force et la volonté de réalisation de ce mémoire.

A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié maman.

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection à mon support qui était toujours à mes côtés pour une soutenir et m'encourager, à mon prince papa.

A mes frères Mohamed et Soufiane pour l'amour qu'ils ont me réserve.

A ma grand sœur Fella qui n'est pas cassée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

A mes neveux Eline, Loai est Osaid qui ont savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mon encadrant Dr Zahra Boutaraa pour son aide et son soutien, notamment dans les moments difficiles

A tous mes collègues de promotion M2 VOA 2024

A mes copines Hana, Imane, Malika, Malak est Manel merci pour le soutien moral et le courage nous avons passé des belles années pleines d'harmonie, d'ambiance aux seines de l'université.

Sans oublier ma cousine Lila pour qui n'ont pas cassée de m'encourager et soutenir

CHELALI IKRAM

ملخص

تمثل الجسور ذات العوارض المتوازنة الغالبية العظمى من جسور الطرق في الجزائر. ومع ذلك، في المناطق الزلزالية يكون هذا النوع من الجسور معرضًا بشدة لسقوط الدعامات، مما يشكل نقطة ضعفها الرئيسية. من بين الطرق التي تقدم تقييمًا سريعًا لقابلية التعرض للزلازل لجسور الطرق ذات الحزم المتوازنة هي تلك التي طورها كوبو كاتاياما في اليابان والتي تهدف معاييرها المستخدمة إلى إجراء تقييم أولي لقابلية تعرض الجسور للزلازل. تم استخدام الأخير في هذا العمل لتقييم قابلية تعرض عينة من جسور الطرق في منطقة زلزالية عالية في الجزائر. وبالنظر إلى أن نماذج الجسور الجزائرية هي من بين تلك الموجودة في اليابان، فإن طريقة كاتاياما يمكن تطبيقها بشكل مثالي على الجسور في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الضعف الزلزالي، جسور الطرق ذات العوارض المتوازنة، سقوط الدعم، طريقة كاتاياما.

Résumé

Les ponts à poutres isostatiques représentent une grande majorité des ponts routiers en Algérie. Cependant, en zones sismiques cette typologie de ponts est hautement vulnérable aux chutes d'appuis, ce qui constitue leur majeure faiblesse. Parmi les méthodes offrant une évaluation rapide de la vulnérabilité sismique des ponts routiers à poutres isostatiques celle développée au Japon par Kubo-Katayama et dont les critères utilisés sont destinés à une évaluation préliminaire de la vulnérabilité au séisme des ponts. Cette dernière est utilisé dans ce travail pour l'évaluation de la vulnérabilité d'un échantillon de ponts routes dans une zone à haute sismicité en Algérie. Étant donné que les typologies de ponts algériens figurent parmi celles japonaises, la méthode Katayama peut parfaitement être applicable aux ponts en Algérie.

MOTS-CLÉS : Vulnérabilité sismique, ponts routiers à poutres isostatiques, chutes d'appuis, méthode Katayama.

Abstract

Isostatic girder bridges represent a large majority of road bridges in Algeria. However, in seismic zones this type of bridge is highly vulnerable to falling supports, which constitutes their major weakness. Among the methods offering a rapid assessment of the seismic vulnerability of road bridges with isostatic beams, that developed in Japan by Kubo-Katayama and whose criteria used are intended for a preliminary assessment of the seismic vulnerability of bridges. To this end, this method is used in this work for the assessment of the vulnerability of a sample of road bridges in a high seismicity zone in Algeria. Given that the typologies of Algerian bridges are among those of Japan, the Katayama method can be perfectly applicable to the case of Algerian bridges.

KEYWORDS: Seismic vulnerability, isostatic girder road bridges, falling supports, Katayama method.

SOMMAIRE

ملخص.....	I
Résumé.....	II
Abstract.....	III
Sommaire.....	IV
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	XII

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction	5
I.2 Généralités Sur Les Ponts.....	5
I.2.1 Ponts Courants	6
I.2.2 Ponts non courants	6
I.2.3 Classification des ponts	7
➤ I.2.3.1 Selon la fonction du pont :	7
➤ I.2.3.2 Selon les matériaux de construction :	8
➤ I.2.3.3 Selon la nature des éléments porteurs :	9
➤ I.2.3.4 Selon la position en plan :	11
I.3 Notions sur les séismes, la vulnérabilité et le risque sismique	12
I.3.1 L'aléa sismique	12
I.3.2 La Vulnérabilité sismique	12
I.3.3 Les Enjeux.....	13
I.3.4 Risque sismique	13
I.4 Vulnérabilité sismique des ponts	13
I.4.1 Facteurs influençant la vulnérabilité sismique des ponts	15
➤ I.4.1.1 Condition de site	15
➤ I.4.1.2 L'application des codes parasismiques.....	16
➤ I.4.1.3 Matériaux de construction.....	16
➤ I.4.1.4 Angle de biais	17

I.4.2 Dégâts typiques causés par les séismes sur les ponts	17
➤ I.4.2.1 Chute du tablier (Échappement du tablier de ses appuis)	19
➤ I.4.2.2 Endommagement aux joints du tablier (martèlement)	19
➤ I.4.2.3 Endommagement des piles (rupture fragile des piles)	20
➤ I.4.2.4 Endommagement des culées	21
➤ I.4.2.5 Dommages observés sur les fondations profondes (les pieux)	21
I.4.3 Dommages observés sur les dalles sous séisme vertical (poinçonnement)	22
I.5 Evaluation de la vulnérabilité sismique	23
I.5.1 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique	23
➤ I.5.1.1 Méthodes empiriques	24
I.5.1.2 Méthodes analytiques	25
I.6 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts	27
I.6.1 Méthode du "IQOA" : (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art)	27
I.6.2 Méthode du "MTQ" : (Ministère des Transports du Québec)	28
I.6.3 Méthode du "NYDOT": (New York Department of Transportation)	28
I.6.4 La méthode des courbes de fragilité	30
I.6.5 La méthode "SISMOA"	31
I.6.6 La méthode de "Kubo/Katayama"	32
I.7 Conclusion	33

Chapitre II

METHODOLOGIE DE TRAVAIL

II.1 Introduction	35
II.2 Présentation de la méthode Katayama	35
II.2.1 Principe de la méthode	35
II.2.2 Paramètres de la vulnérabilité des ponts	36
➤ II.2.2.1 Type du sol	38
➤ II.2.2.2 Potentiel de liquéfaction	39
➤ II.2.2.3 Type de poutres	39
➤ II.2.2.4 Type d'appuis	39
➤ II.2.2.5 Hauteur maximale de la culée ou pile	40
➤ II.2.2.6 Nombre de travées	41
➤ II.2.2.7 Largeur minimale du support du pont	41
➤ II.2.2.8 Intensité sismique	42
➤ II.2.2.9 Type de fondations	44
➤ II.2.2.10 Matériaux de construction des appuis (pile, culée)	44
II.2.3 Organigramme récapitulatif de la méthode Katayama	44

II.2.4 Calcul de l'indice de vulnérabilité	47
II.2.5 Classification de l'indice de vulnérabilité	47
II.3 conclusion	48

CHAPITRE III **PRESENTATION DES CAS D'ETUDE**

II.1 Introduction.....	50
III.2 Présentation des cas d'études	50
III.2.1 Pont sur Oued Mellah (Ténès).....	52
III.2.1.1 Présentation de l'ouvrage.....	52
➤ Situation géographique.....	52
➤ Donnée géotechniques.....	52
➤ Données sismiques du site	52
➤ Données géométriques de l'ouvrage.....	53
III.2.2 Pont sur Oued RIB EL HAMRA (Sidi Abderrahmane)	53
➤ Présentation de l'ouvrage.....	53
➤ Situation géographique.....	53
➤ Données géotechniques	53
➤ Données sismiques du site	54
➤ Donnée géométriques de l'ouvrage.....	54
III.2.3 Pont sur oued OUTAR (Beni Haoua)	54
➤ Présentation de l'ouvrage.....	54
➤ Situation géographique.....	54
➤ Données géotechniques	55
➤ Données sismiques du site	55
➤ Données géométriques de l'ouvrage.....	55
III.2.4 Pont sur Oued TARZOULT	56
➤ Présentation de l'ouvrage.....	56
➤ Situation géographique.....	56
➤ Données géotechniques	56
➤ Données sismiques du site	57
➤ Données géométriques de l'ouvrage	57
III.2.5 Pont sur oued ALLALA.....	57
➤ Présentation de l'ouvrage.....	57
➤ Situation géographique.....	58
➤ Données géotechniques	58
➤ Données sismiques du site	58

➤ géométriques de l'ouvrage	58
III.2.6 Pont de HARBIL (Damous).....	59
➤ Présentation de l'ouvrage.....	59
➤ Situation géographique.....	59
➤ Données géotechniques	60
➤ Données sismiques du site	60
➤ Données géométriques de l'ouvrage	60
III.2.7 Pont de MEURAD (Hadjout - Tipaza)	60
➤ Présentation de l'ouvrage.....	60
➤ Situation géographique.....	61
➤ Données géotechniques	61
➤ Données sismiques du site	61
➤ Données géométriques de l'ouvrage	61
III.2.8 Pont de BOUKADIR (Menaceur – Tipaza)	62
➤ Présentation de l'ouvrage.....	62
➤ Situation géographique.....	62
➤ Données géotechniques	63
➤ Donnée sismique de site	63
➤ Données géométriques de l'ouvrage	63
III.2.9 Pont M'KHADRIA (wilaya d'Ain Defla)	63
➤ Situation géographique.....	64
➤ Donnée géotechnique	64
➤ Données sismiques du site	64
➤ Données géométriques de l'ouvrage	64
III.2.10 Pont Sebaou (wilaya de Boumerdes)	65
➤ Présentation de l'ouvrage.....	65
➤ Données géotechniques	66
➤ Données sismiques du site	66
➤ Données géométriques de l'ouvrage	66
III.3 Conclusion.....	66

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 Introduction.....	68
IV.2 Présentation des résultats.....	68
IV.2.1 Résultats d'Évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts situés dans la wilaya de Chlef	68

➤ Pour pont de Oued <i>Mellah</i>	68
➤ Pour pont de Oued <i>Rib El Hamra</i>	70
➤ Pour pont de Oued <i>Outar</i>	71
➤ Pour pont de Oued <i>Tarzoult</i>	72
➤ Pour pont de Oued <i>Allala</i>	73
IV.2.2 Résultats d'Évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts situés dans la wilaya de Tipaza	74
➤ Pour pont de <i>Harbil (Damous)</i>	74
➤ Pour pont de <i>Meurad (Hadjout)</i>	75
➤ Pour pont de <i>Boukadir (Menaceur)</i>	76
IV.2.3 Évaluation de la vulnérabilité sismique de pont <i>M'khadria (Ain Defla)</i>	77
IV.2.4 Évaluation de la vulnérabilité sismique de pont <i>Sebaou (Boumerdes)</i>	78
IV.3 Discussion des Résultats	79
IV.3.1 Ponts situés dans a wilaya de Chlef	79
IV.3.2 Ponts situés dans a wilaya de Tipaza	80
IV.3.3 Ponts situés dans a wilaya de <i>Ain defla</i>	81
IV.3.4 Ponts situés dans a wilaya de sebaou (<i>Boumerdes</i>)	81
IV.4 Récapitulatif des résultats trouvés pour les dix ponts étudiés	82
IV.4.1 Moyenne de l'indice de vulnérabilité Iv	82
IV.4.2 Résultats de l'évaluation de l'indice IV des dix ponts étudiées	83
IV.3 Conclusion	84
CONCLUSION GENERALE	
Conclusion générale	86
Références Bibliographique	88

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Exemple d'un ouvrage d'art	5
Figure I.2 : Exemple d'un pont courant.....	6
Figure I.3 : Exemple d'un pont non courant	7
Figure I.4 : Classification des ponts selon la fonction : (a) Pont routier, (b) Pont rail, (c) Pont canal, (d) Pont aqueducs, (e) Pont passerelle, (f) Pont spécial.....	8
Figure I.5 : Classification des ponts selon le matériau de construction : (a) Pont en bois, (b) Pont en maçonnerie, (c) Pont métallique, (d) Pont en béton armé, (e) Pont en béton précontraint, (f) pont mixte.....	9
Figure I.6 : Classification des ponts selon les éléments porteurs : (a) Pont à poutre, (b) Pont dalle, (c) Pont en arc, (d) Pont en poutre-caisson, (e) Pont à câble.....	10
Figure I.7 : Classification des ponts selon la position : (a) Pont courbe, (b) Pont biais, (c) Pont droit.....	11
Figure I.8 : Classification des dommages.....	14
Figure I.9 : Schéma des systèmes d'un pont soumis à l'action sismique.....	15
Figure I.10 : Répartition des dégâts de Boumerdes.....	16
Figure I.11 : Chute de tablier d'un pont sous l'action sismique	17
Figure I.12 : Sollicitations sismiques agissant sur un pont.....	18
Figure I.13 : Echappement longitudinal (Kobé, 1995)	19
Figure I.14 : Exemple de Martèlement au niveau de la culée	19

Figure I.15 : (a) Rupture des piles du pont par effort tranchant, (b) Flambement des armatures longitudinales + éclatement des armatures transversales de la pile, (c) Endommagement de la pile par flexion effort tranchant	20
Figure I.16 : Endommagement des culées :(a) avant endommagement et (b) après endommagement.....	21
Figure I.17 : Dommages observés sur une tête de pieux.....	22
Figure I.18 : Dommages de la superstructure du pont de Santa Clara durant le séisme de Northridge en 1994.....	22
Figure I.19 : Comparaison des fonctions de vulnérabilité empirique et analytique des piles de pont en béton armé.....	25
Figure I.20 : Procédure de classement selon la méthode NYDOT.....	30

Chapitre II

METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Figure II.1 : Chute des poutres de ponts isostatiques.....	35
Figure II.2 : Organigramme général de l'analyse de la vulnérabilité sismique des ponts à poutres isostatiques par la méthode Katayama.....	36
Figure II.3 : Repos d'appuis.....	41
Figure II.4 : Relation empirique entre le PGA et l'intensité sismique à l'échelle MSK	43
Figure II.5 : L'organigramme récapitule la méthode Katayama.....	45

CHAPITRE III

PRESENTATION DES CAS D'ETUDES

Figure III.1 : Situation géographique de l'ouvrage Oued MELLAH.....	52
Figure III.2 : Situation géographique de l'ouvrage Oued RIB EL HAMRA.....	53
Figure III.3 : Situation géographique de l'ouvrage Oued OUTAR.....	55
Figure III.4 : Situation géographique de l'ouvrage Oued TARZOULT.....	56
Figure III.5 : Vue de pont d'Oued ALLALA.....	57

Figure III.6 : Situation géographique de l'ouvrage Oued <i>ALLALA</i>	58
Figure III.7 : Vue de pont de <i>HARBIL</i>	59
Figure III.8 : Situation géographique de l'ouvrage <i>HARBIL</i>	59
Figure III.9 : Vue de pont <i>MEURAD</i>	60
Figure III.10 : Situation géographique de l'ouvrage <i>MEURAD</i>	61
Figure III.11 : Vue de pont de <i>BOUKADIR</i>	62
Figure III.12 : Situation géographique de l'ouvrage <i>BOUKADIR</i>	62
Figure III.13 : Vue de pont <i>M'KHADRIA</i>	63
Figure III.14 : Situation géographique de l'ouvrage <i>M'KHADRIA</i>	64
Figure III.15 : Vue du pont <i>SEBAOU</i>	65
Figure III.16 : Situation géographique de l'ouvrage <i>SEBAOU</i>	65

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

Figure IV.1 : Résultats de l'évaluation de l'indice Iv des ponts situés dans la wilaya de <i>Chlef</i>	79
Figure IV.2 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV des ponts situés dans la wilaya de <i>Tipaza</i>	80
Figure IV.3 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV du pont situé dans la wilaya d'Aine <i>Defla</i>	81
Figure IV.4 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV du pont situé dans la wilaya de <i>Boumerdes</i>	81
Figure IV.5 : Résultats de moyenne d'indice de vulnérabilité IV des dix ponts étudiés.....	82
Figure IV.6 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV des dix ponts étudiés.....	83

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I **RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

Tableau I.1 : Classement de la vulnérabilité sismique selon le NYDOT.....	29
--	----

CHAPITRE II **METHODOLOGIE DE TRAVAIL**

Tableau II.1 : Rubriques entrant dans de l'analyse de la vulnérabilité sismique des ponts a poutres isostatiques par la méthode Katayama.....	37
--	----

Tableau II.2 : Transformation de MMI en PGA en fonction de MSK.....	43
--	----

Tableau II.3 : Tableaux des classes d'endommagement en fonction de "Iv"	47
--	----

CHAPITRE IV **RESULTATS ET DISCUSSION**

Tableau IV.1 : Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Mellah.....	69
--	----

Tableau IV.2 : Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Rib El Hamra.....	70
--	----

Tableau IV.3 : Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Tarzoult.....	71
--	----

Tableau IV.4 : Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Outar.....	72
---	----

Tableau IV.5 : Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Allala.....	73
--	----

Tableau IV.6 : Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont Harbil.....	74
---	----

Tableau IV.7 : Résultats d’appréciation des paramètres d’évaluation de la vulnérabilité pont
Meurad..... 75

Tableau IV.8 : Résultats d’appréciation des paramètres d’évaluation de la vulnérabilité pont
Boukadir..... 76

Tableau IV.9 : Résultats d’appréciation des paramètres d’évaluation de la vulnérabilité
pont *M’khadria*.....77

Tableau IV.10 : Résultats d’appréciation des paramètres d’évaluation de la vulnérabilité
pont *Sebaou*..... 78

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

Au cours des dernières années la communauté scientifique s'est de plus en plus préoccupée du risque sismique et de ses implications pour la société en Algérie. Sur le plan humain et économique, un éventuel tremblement de terre pourrait entraîner des catastrophes en termes de nombre de victimes et de dommages matériels. En Algérie, une grande partie des ouvrages d'art sont situées en zone moyennement à fortement sismique, dont la plupart ont été conçus et réalisés avant l'introduction des nouvelles règles de conception parasismique concernant les ouvrages d'art RPOA, 2010. Il est donc indispensable d'élaborer des stratégies de mitigation du risque sismique dans notre pays.

A cet effet et afin de prédire le niveau d'endommagement subi par les ponts durant et après des secousses sismiques, des études de la vulnérabilité sismique sont indispensables. Ces études de la vulnérabilité peuvent être réalisées par plusieurs méthodes, à savoir : empiriques, analytiques ou encore numériques.

Par conséquent, ce travail entre dans le cadre de l'estimation de la vulnérabilité sismique, à travers le diagnostic d'un parc de ponts situés dans quatre wilayas situées dans le nord de l'Algérie. La méthode adoptée, basée sur les retours d'expérience des séismes passés, est la méthode japonaise dite « Katayama », ou dans d'autres références « Kubo- Katayama ». Cette méthode vise à déterminer un coefficient appelé « indice de vulnérabilité » permettant d'estimer la vulnérabilité d'un pont selon trois degrés d'endommagement.

Le mémoire est composé de quatre chapitres précédé par cette introduction générale :

Un premier chapitre qui donne une revue bibliographique sur les généralités et les notions de la vulnérabilité sismique des ponts. Les différents dommages pouvant résulter de l'action sismique ainsi que les principales méthodes d'estimations de ces dommages y sont également exposées ;

Le second chapitre détaille la méthodologie proposée par Kubo-Katayama adoptée dans ce mémoire pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts considérés pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique ;

Le troisième chapitre présente en détail chacun des ponts pris comme cas d'étude, ainsi que les données collectées dans le cadre de ce mémoire concernant les caractéristiques géométriques, les données géotechniques, et les données sismiques ;

Enfin, le quatrième et dernier chapitre présente les résultats obtenus et les discute.

A la fin de ce mémoire, une conclusion générale rappelant les principaux résultats de l'étude, clôture ce travail de fin d'étude.

CHAPITRE 1 :

RECHERCHE

BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction

Lors d'un tremblement de terre, les ponts sont exposés à divers dommages qui peuvent provoquer leur effondrement partiel ou total. Il devient donc nécessaire de développer une méthodologie d'inspection et d'évaluation de l'état d'un pont, ce qui constitue l'élément clé pour pouvoir gérer le risque sismique. Cette approche constitue notamment un outil efficace servant à orienter les stratégies et à mettre en œuvre un processus décisionnel pour faire face à un événement sismique désastreux.

La vulnérabilité sismique représente la réponse du milieu urbain à l'aléa sismique. Cette notion requiert des informations liées au comportement physique des structures d'une zone urbaine. Afin d'étudier cette vulnérabilité, il est important de préciser certaines notions de base telles que : aléa, risque, vulnérabilité, etc.

I.2 Généralités Sur Les Ponts

Un ouvrage d'art est une construction de grande importance entraînée par l'établissement d'une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale (ponts, tunnels), mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs de soutènement, digues) et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport (quais et autres ouvrages portuaires).

De tels ouvrages sont qualifiés « d'art » parce que dans leur conception l'importance de l'aspect esthétique et architectural est majeure. En plus, leur réalisation fait intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur. (Ksouri & Lassoues 2013).



Figure I.1 : Exemple d'un ouvrage d'art (Source : <https://www.stantec.com/bridges>)

Les ponts peuvent être distingués par une division en deux grandes classes ; à savoir les ponts courants et les ponts spéciaux ou non courants. Ces deux classes sont exposées ci-dessous.

I.2.1 Ponts Courants

D'une façon générale, on appelle pont tout ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation. (Figure I.2) Cette définition est un peu imprécise dans la mesure où elle ne se réfère à aucune notion de dimension, de forme ou de nature d'ouvrage. Pour les petits ponts hydrauliques, on parle couramment de ponceaux ou de dalots. À l'inverse, on emploie de préférence le terme de viaduc lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de grande longueur possédant de nombreuses travées et généralement situé en site terrestre (**Idesir & Dece, 2010**). La figure I.2 représente l'exemple d'un pont courant.



Figure 1.2 : Exemple d'un pont courant (Source : <https://www.cerema.fr/ponts-courants>)

I.2.2 Ponts non courants

Un ouvrage d'art non-courant est un ouvrage d'art répondant à des normes et des certifications précises. Le plus souvent, ces contraintes s'appliquent aux ouvrages d'art routiers. Par exemple, sera défini d'ouvrage d'art non-courant :

- Tout pont possédant au moins une travée de plus de 40 mètres de portée ;
- Tout pont dont la surface totale de l'un des tabliers est supérieure à 1200 m² ;
- Tout pont à canaux ;
- Tout pont mobile ;

En plus des caractéristiques particulières de ces infrastructures, les ouvrages non-courants doivent présenter des difficultés de conception (difficultés de terrain...) (figure I.3). (Idesir & Dece, 2010). La figure I.3 montre l'exemple du pont non courant



Figure I.3 : Exemple d'un pont non courant (Source : <https://www.ouvrages-arts.com>)

I.2.3 Classification des ponts

Une grande variété de formes de ponts existe et différentes architectures sont rencontrées. C'est ainsi qu'on distingue une variété de ponts et on les classe selon différents critères. Ces derniers sont principalement la fonction du pont, le matériau, le système porteur, (Bouziadi, 2022).

La classification des ponts peut se faire selon l'un ou plusieurs des critères suivants :

I.2.3.1 Selon la fonction du pont :

La fonction d'un pont diffère d'un ouvrage à un autre. On peut trouver des :

- Ponts route** : portant une route permettant la circulation des véhicules
- Ponts rail** : supportant les chemins de fer
- Passerelles à piétons (passerelle)** : réservées uniquement au passage des piétons
- Ponts aqueduc** : permettent le passage des canalisations d'eau
- Ponts canaux** : permettent à un cours d'eau navigable, généralement un canal, de franchir un obstacle en creux.
- Ponts pour avions** : permettent aux avions de franchir un obstacle dans les aéroports.

La figure I.4 montre des exemples des types de ponts sur cités.

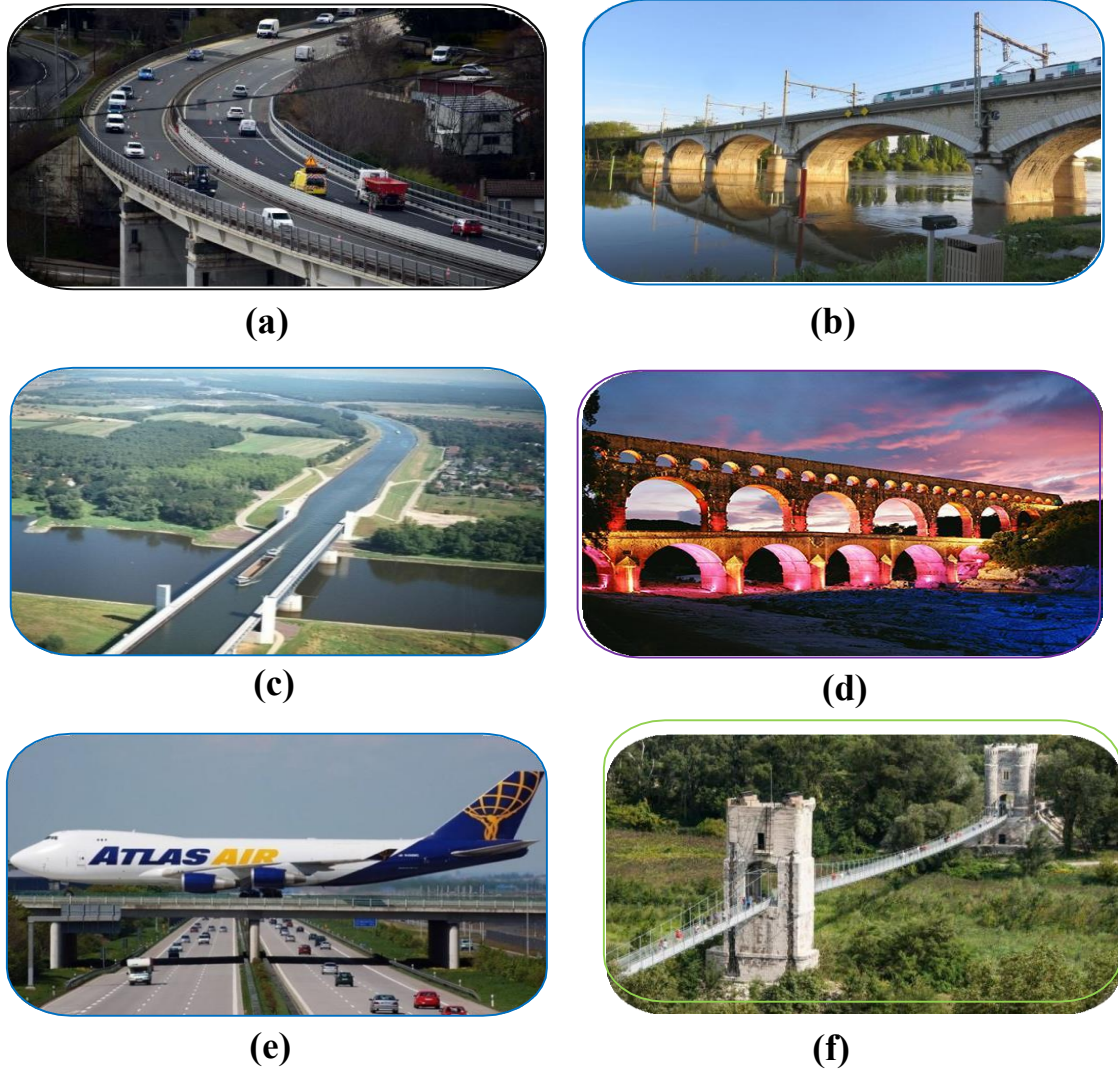


Figure I.4 : Classification des ponts selon la fonction : (a) Pont routier, (b) Pont rail, (c) Pont canal, (d) Pont aqueducs, (e) Pont passerelle, (f) Pont spécial. (Jean-Marie, 2006)

I.2.3.2 Selon les matériaux de construction :

Selon le matériau de construction, les ponts peuvent être classés en plusieurs types et cela en fonction de l'évolution des matériaux de construction au cours du temps. On distingue :

- Pont en bois,
- Pont en maçonnerie,
- Pont en béton armé,
- Pont en béton précontraint,

- Pont métallique,
- Pont mixte.

La figure I.5 montre des exemples des types de ponts sur cités.

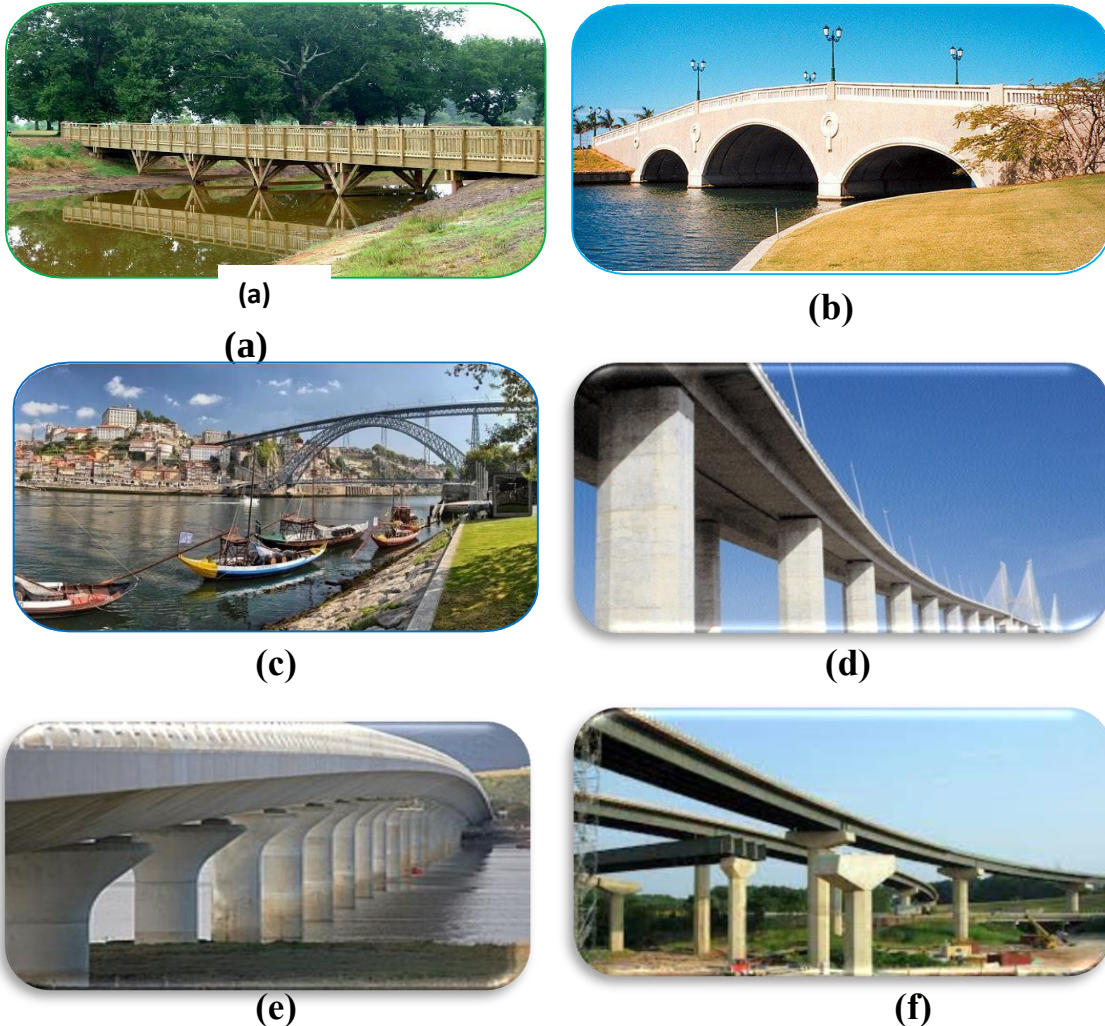


Figure I.5 : Classification des ponts selon le matériau de construction : (a) Pont en bois, (b) Pont en maçonnerie, (c) Pont métallique, (d) Pont en béton armé, (e) Pont en béton précontraint, (f) pont mixte ([Bouziadi, 2022](#))

I.2.3.3 Selon la nature des éléments porteurs :

Les éléments porteurs sont les responsables à réagir aux charges permanentes et d'exploitation du tablier en travaillant à la flexion. On peut trouver :

-Pont à poutres : les poutres peuvent être en béton armé et dans ce cas, ont une section rectangulaire simple. Les poutres peuvent être à travées continues coulées sur place ou bien préfabriquées à travées indépendantes

-**Pont dalle** : les dalles ont une section d'aspect général rectangulaire qui peut avoir un encorbellement latéral ou des nervures

-**Pont en arc** : ce type est généralement parmi les anciens ponts en acier, en maçonnerie ou, en béton armé coulé sur place

-**Pont en poutre-caisson** : c'est un pont dont le tablier est constitué par un assemblage de caissons

-**Pont à câbles** : ce type est employé dans le cas des portées importantes notamment en milieu marin. On distingue dans cette catégorie les ponts suspendus et les ponts à haubans.

La figure I.6 montre des exemples des types de pont sur cités.

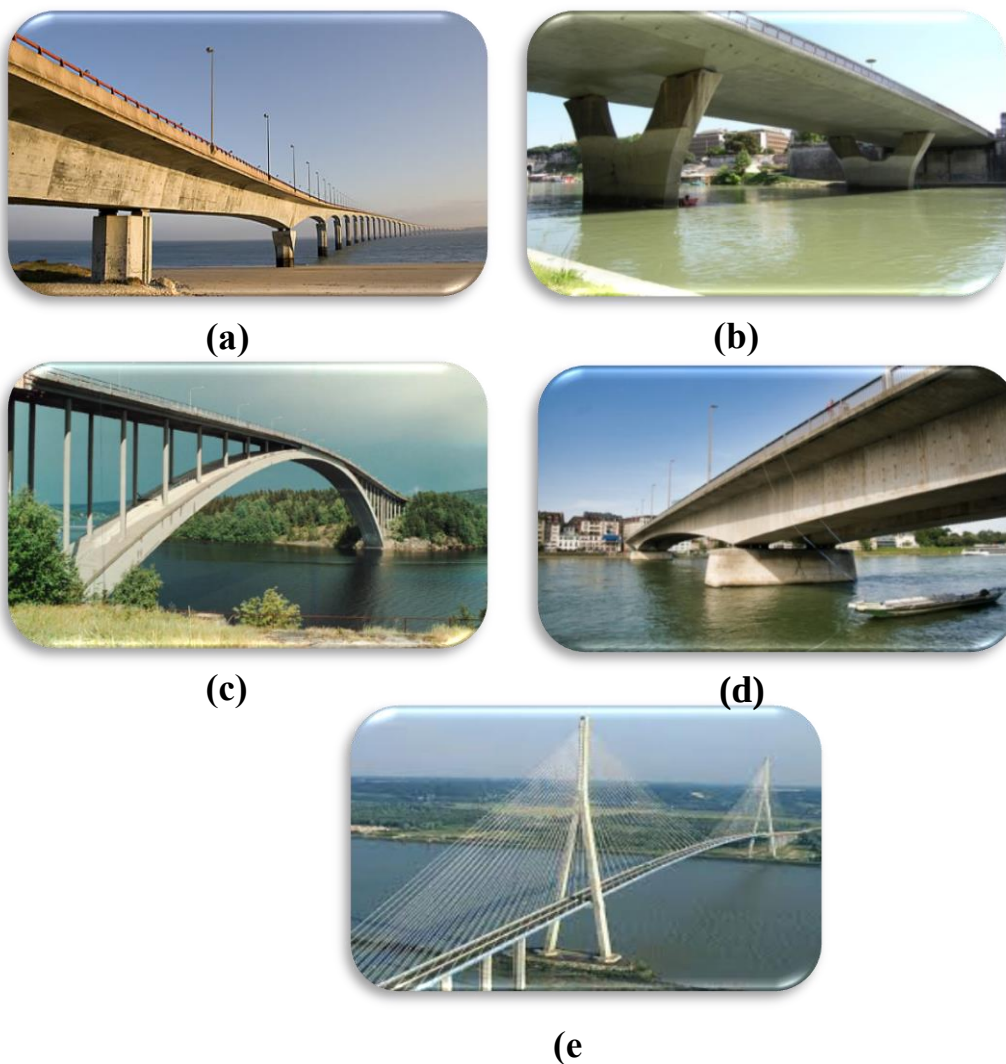


Figure I.6 : Classification des ponts selon les éléments porteurs : (a) Pont à poutre, (b) Pont dalle, (c) Pont en arc, (d) Pont en poutre-caisson, (e) Pont à câble.

(Source : <https://www.ouvrages-arts.com>)

I.2.3.4 Selon la position en plan :

Selon la position en plan est la direction des appuis par rapport à celle du tablier. On distingue des :

-**Ponts droits** : Ce sont les ponts dont les lignes d'appuis font un angle droit avec l'axe du pont

-**Ponts biais** : Ce sont les ponts dont les lignes d'appuis font un angle (différent de l'angle droit) avec l'axe du pont. Il faut limiter dans la mesure du possible l'angle de biais, il ne doit pas trop s'éloigner de l'angle droit;

-**Ponts courbes** : Ce sont les ponts dont l'axe présente une courbure. Il faut éviter ce genre de pont dans la mesure du possible. Si cela est inévitable, il faut alors adopter une courbure constante.

La figure I.7 montre des exemples des types de ponts sur cités.



(a)



(b)



(c)

Figure I.7 : Classification des ponts selon la position : (a) Pont courbe, (b) Pont biais, (c) Pont droit. (Source : <https://www.ouvrages-arts.com>)

I.3 Notions sur les séismes, la vulnérabilité et le risque sismique

I.3.1 L'aléa sismique

L'aléa, originaire du latin "le jeu de dés", est défini comme étant tout événement, phénomène ou activité humaine, imprévisible, susceptible de provoquer la perte de vies humaines, des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales ou économiques ou la dégradation de l'environnement. (Breysse, 2009; cité dans Boutaraa, 2018). L'aléa sismique définit les caractéristiques des mouvements sismiques susceptibles de s'y produire dans le futur, en tenant compte de la durée de vie des constructions concernées et des types d'activité qui y sont réalisées. (Slimani, 2013)

I.3.2 La Vulnérabilité sismique

L'origine du mot vient du latin vulnérabilisé, signifiant : être blessé ou exposé à recevoir des blessures. Plusieurs types de vulnérabilité existent dont, celle ayant trait au taux d'endommagement potentiel des éléments exposés. Il s'agit de la vulnérabilité physique ou technique (Breysse, 2009; cité dans Boutaraa, 2018).

Dans le cas où le risque encouru est le séisme, on parlera de vulnérabilité sismique. La vulnérabilité sismique d'une structure représente le comportement intrinsèque de ce dernier vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un séisme. Elle prend en compte la densité de population, la présence ou non de bâtiments calculés aux normes parasismiques, la vétusté des bâtiments et les pertes économiques probables (Boutaraa, 2013).

Le concept de vulnérabilité fait référence aux bâtiments et à d'autres ouvrages (ponts, routes, installations industrielles, réseaux de distribution de gaz, d'électricité, etc.). En plus de ces vulnérabilités physiques, on peut ajouter des vulnérabilités humaines, fonctionnelles, économiques et sociales (Duco, 2012). Il s'agit d'un paramètre intrinsèque au système étudié, indépendamment de sa situation géographique ; un bâtiment vulnérable peut ne présenter aucun risque en raison de sa situation dans une zone sans danger sismique.

I.3.3 Les Enjeux

On entend par enjeux, l'ensemble des éléments (population, bâtiments, infrastructures, patrimoine environnemental) pouvant être exposés au danger que représente l'aléa sismique dans une zone exposée à cet aléa. Ils sont définis par leur valeur et leur vulnérabilité, dont la détermination constitue une étape de l'évaluation du risque sismique (Breyse, 2009).

I.3.4 Risque sismique

Le risque, est l'estimation quantifiée des pertes des vies humaines, des blessés, des dommages aux biens, et des perturbations de l'activité économique suite à un phénomène naturel particulier (Boutaraa, 2013). On entend cependant par "**Risque Sismique**", le degré de perte, de destruction ou de dégâts sur une période de référence dans une région donnée.

Le « **risque sismique** » est donc la combinaison entre un aléa sismique, qui est une probabilité qu'un séisme se produise en un endroit donné, et la vulnérabilité du lieu étudié. On peut l'exprimer par la convolution de l'aléa sismique, de la vulnérabilité du bâti ou de l'ouvrage, et des pertes matérielles et humaines. Il faut préciser qu'un aléa important n'implique pas forcément un risque important. (Naili & Benouar, 2006)

Pour chiffrer ce risque, on utilise la relation suivante :

$$\text{Risque Sismique} = \text{Aléa sismique} \times \text{Vulnérabilité sismique} \times \text{Valeurs exposées} \quad (\text{I-1})$$

En général, le « **risque sismique** » se caractérise par sa variation dans le temps et dans l'espace. Il est fonction non seulement de la zone de sismicité mais aussi de la densité de la population, du niveau du développement économique et des moyens mis en œuvre pour résister à une crise post-sismique. Naturellement, la catastrophe sera d'autant plus grande que le séisme soit plus ou moins proche d'un centre urbain, ou bien que son intensité soit plus ou moins importante, tout comme la densité de la population et le niveau social de la ville. Cela représente donc plusieurs facteurs à considérer (Boutaraa, 2013).

I.4 Vulnérabilité sismique des ponts

L'étude des dommages subis par les ponts lors des récents événements sismiques a permis de mieux comprendre la nature des mouvements sismiques et d'identifier certaines défaillances observées. Parmi Ces défaillances on peut citer les déplacements importants des appareils d'appui (perte d'appuis), la Rupture fragile des piles par cisaillement, les dommages

observés dans les fondations profondes et les dommages causés par le glissement des culées. Par ailleurs, la nature du sol et les effets de sites qui en résultent contribuent grandement à la vulnérabilité sismique des ponts. Dans le cadre d'études de vulnérabilité, les dommages potentiels aux ponts sont généralement considérés selon leur importance relative, allant d'aucun dommage à l'effondrement. (Djemai, 2010). La figure I.8 présente un schéma de classification des dommages observés sur des ponts à la suite du séisme de Northridge en 1994.

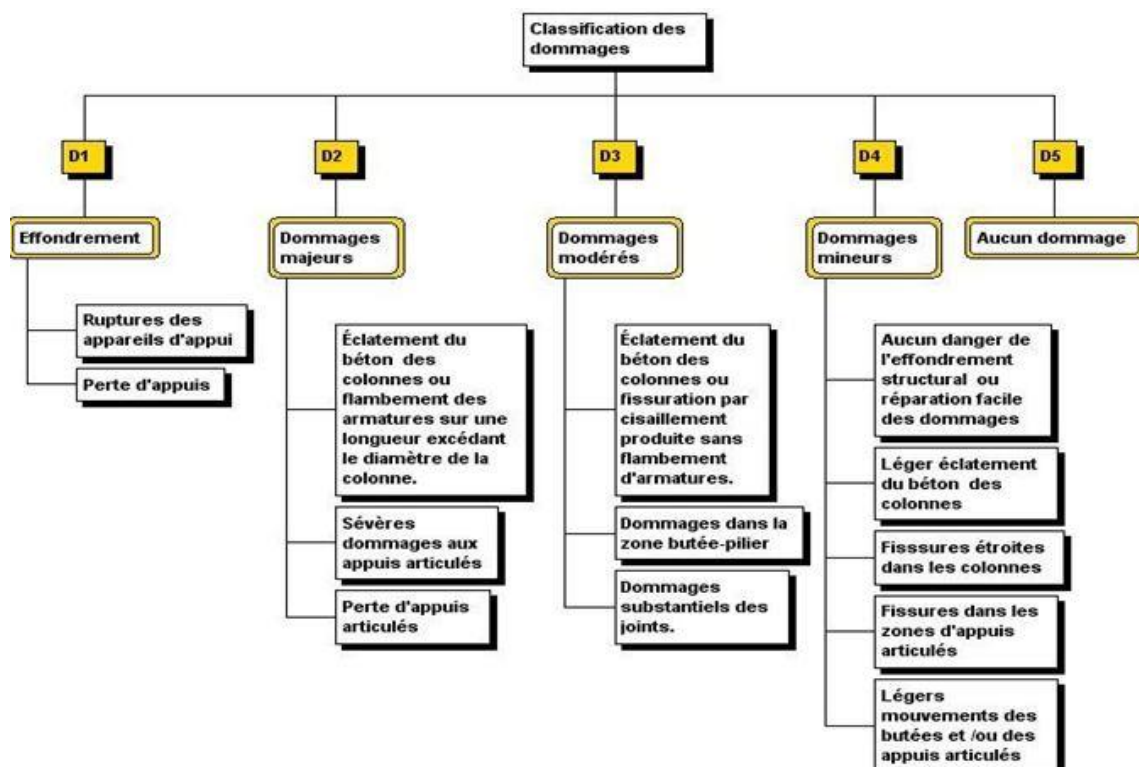


Figure I.8 : Classification des dommages (Boutaraa, 2013)

Sur la base des dommages observés on peut identifier, sans égard aux matériaux, quatre systèmes qui peuvent affecter la réponse sismique des ponts : (1) le système du tablier caractérisé par la présence de la dalle et/ou des poutres, (2) le système d'appuis, (3) le système de fondation composé d'éléments d'assises (semelles, pieux, caissons, etc.) et de la portion du sol l'entourant, et (4) le système général qui prend en considération l'âge, le type de la structure et la présence de services publics. La Figure I.9 illustre un schéma type de ces systèmes.

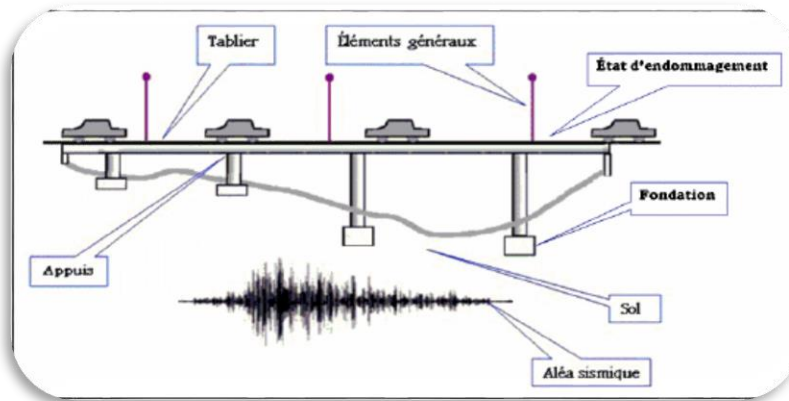


Figure I.9 : Schéma des systèmes d'un pont soumis à l'action sismique (Boutaraa, 2013)

I.4.1 Facteurs influençant la vulnérabilité sismique des ponts

Il existe de nombreux facteurs influençant la vulnérabilité sismique des ponts qui seront détaillés dans les paragraphes suivants.

I.4.1.1 Condition de site

Les études de risque de liquéfaction et d'affaissement sont différentes pour les ponts ; car on n'a généralement pas le choix de l'emplacement contrairement aux bâtiments. Par exemple pour les dislocations, on a pu mesurer des déplacements permanents du sol de l'ordre de 2.5m.

Après des événements sismiques. Il faudrait par conséquent, dans la mesure du possible, concevoir les structures pour qu'elles résistent à ce type de rupture. Il arrive que des ponts soient construits sur des failles actives comme c'est le cas à Boumerdes, en Algérie. Par ailleurs, il a été remarqué que les ouvrages situés sur des sols meubles ont été plus touchés par le séisme que celle situées sur le roc, et ce quelle que soit la distance à l'épicentre. Donc les conditions de sol influent sur la réponse sismique en causant des dégâts. (Galy, 2009).

La figure suivante montre les effets macrosismiques sur la zone touchée par le séisme de Boumerdes 2003.

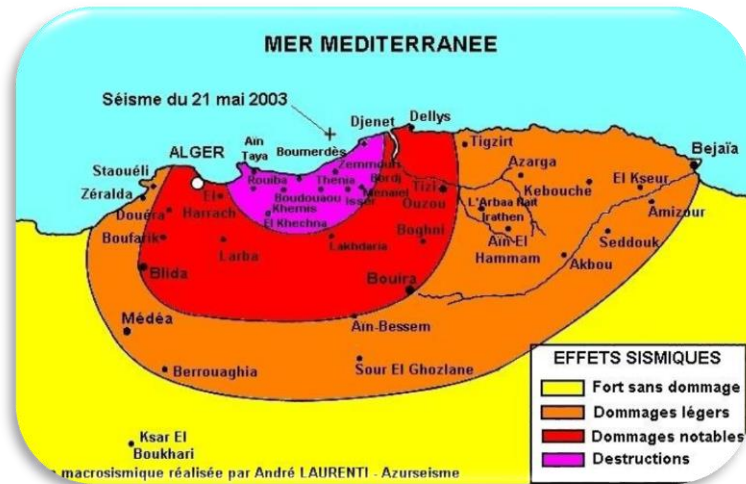


Figure I.10 : Répartition des dégâts de Boumerdes (Source : <http://azurseisme.free.fr>)

I.4.1.2 L'application des codes parasismiques

Plusieurs exemples dans la littérature tendent à montrer une corrélation entre le niveau de dommage et l'année de construction d'un ouvrage. Un exemple illustrant parfaitement cette théorie est donné dans l'ouvrage de Chen (2003) ; deux ponts approximativement parallèles respectivement construits en 1965 et 1990 ont été touchés lors du séisme de 1995 à Kobe. C'est le pont le plus ancien qui a été le plus durement touché, bien qu'il soit situé sur un sol de meilleure qualité. Cet état de fait est dû aux progrès réalisés dans la dynamique des structures et dans les théories des déformations inélastiques au cours des dernières années. Les avancées scientifiques ont conduit à une évolution des normes et codes qui sont plus sécuritaires de nos jours. (Galy, 2009)

I.4.1.3 Matériaux de construction

La nature du matériau de construction est considérée parmi les paramètres qui peuvent influencer la réponse sismique des ponts. Chaque matériau de construction offre son propre comportement ; c'est-à-dire une rigidité et une ductilité différentes (Fema, 2003). Les ponts métalliques sont en général un peu moins vulnérables que leurs homologues en béton mais ne sont pas épargnés par les séismes pour autant. En moyenne, un pont métallique est 30% plus léger qu'un équivalent en béton ce qui permet de réduire les charges sismiques. (Travares, 2012)

I.4.1.4 Angle de biais

Il a été observé que le déplacement du tablier des ponts avec un biais ou une courbure est supérieur à celui des ponts standard. Le biais d'un pont représente l'angle entre l'axe central de l'appui et la ligne perpendiculaire à l'axe principal longitudinal du pont. Les ponts en biais peuvent subir un mouvement de rotation, entraînant des déplacements importants du tablier (Figure I.11). Ceci causé très probablement une perte d'appui, notamment pour les ponts simplement appuyés soit, à travée unique ou travées multiples. (Hida,2009)



Figure I.11 : Chute de tablier d'un pont sous l'action sismique (Source : <https://www.lepoint.fr>)

I.4.2 Dégâts typiques causés par les séismes sur les ponts

L'observation et l'interprétation des dégâts causés par les séismes récents sur les ponts ont permis d'une part de mieux comprendre la nature des sollicitations de type sismique sur les ouvrages et d'autre part d'identifier un certain nombre de causes de fragilité classiques et récurrentes liées à des défauts de conception.(Davi & Schmitt, 2003) Les pathologies dues au séisme dans les ouvrages d'art se présentent généralement par :

- L'échappement du tablier des appuis,
- Instabilité de barres ou de sections (cisaillement des pieds des colonnes),
- Mauvais comportement d'ancrages (déplacement de pieds de colonnes),
- Rupture dans les assemblages,
- Insuffisance d'armatures transversales (empêchant la formation de rotules plastiques et induisant des ruptures par cisaillement des piles),

- Éclatement de piles par effort tranchant,
- Rupture simultanée de toutes les piles d'un pont par flexion et cisaillement,
- Renversement de piles de pont par arrachement des armatures longitudinales
- Insuffisamment ancrées dans le massif de fondation,
- Dégradation de piles de ponts par flambement des armatures longitudinales,
- Rupture en zone de recouvrement (recouvrement à proscrire en zones potentielles des rotules plastiques),
- Endommagement de zones nodales (dispositions constructives)

Au cours d'un séisme, les efforts induits dans une structure sont essentiellement liés aux forces inertielles horizontales qui résultent de la mise en mouvement des masses.

La figure schématise les sollicitations sismiques agissant dans les deux sens du pont.

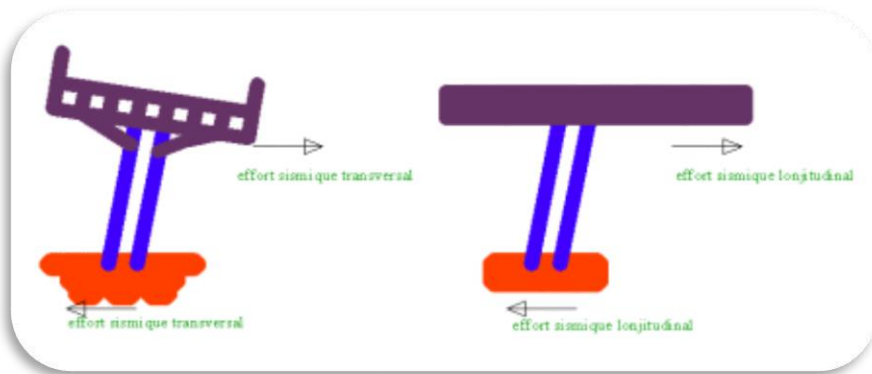


Figure I.12 : Sollicitations sismiques agissant sur un pont. (Davi & Schmitt, 2003)

I.4.2.1 Chute du tablier (Échappement du tablier de ses appuis)

Lorsque les distances de repos d'appui sont insuffisantes, le déplacement relatif entre le tablier et ses appuis peut entraîner un échappement. Ce phénomène, peut se produire selon la direction longitudinale ou transversale, concerne plus particulièrement les ponts à travées indépendantes. Selon la direction transversale, le risque peut être accentué par un biais ou une courbure importante sur les ponts biais, les chocs des culées sur le tablier créent un moment de rotation d'axe vertical dans la structure qui a pour conséquence de pousser le tablier hors de ses appuis.



Figure I.13 : Echappement longitudinal (Kobé, 1995). (Setra, 2003)

I.4.2.2 Endommagement aux joints du tablier (martèlement)

Il s'agit d'un dégât frappant la partie extrême du pont dans la jonction entre le tablier et le remblai d'accès derrière la culée. Une ouverture verticale apparaît dans cet endroit (Figure I.14)



Figure I.14 : Exemple de Martèlement au niveau de la culée (Source : www.univ-chlef.dz)

I.4.2.3 Endommagement des piles (rupture fragile des piles)

La présence de butées latérales supprime généralement le risque d'échappement transversal. Il faut toutefois bien noter que les butées, comme toute autre connexion rigide du tablier sur ses appuis peut conduire à une forte augmentation des efforts dans ce dernier. Cette augmentation est alors susceptible de provoquer des ruptures fragiles notamment dans les piles si leur résistance est insuffisante (manque de ductilité ou de confinement du béton, rupture par effort tranchant, insuffisance d'ancrage ou de recouvrement des aciers passifs...)



Figure I.15 : (a) Rupture des piles du pont par effort tranchant, (b) Flambement des armatures longitudinales + éclatement des armatures transversales de la pile, (c) Endommagement de la pile par flexion effort tranchant. (Setra, 2003)

I.4.2.4 Endommagement des culées

L'opposition des forces de poussée dynamique des terres et de chocs du tablier sur les culées peut provoquer un endommagement de celles-ci (figure a et b).

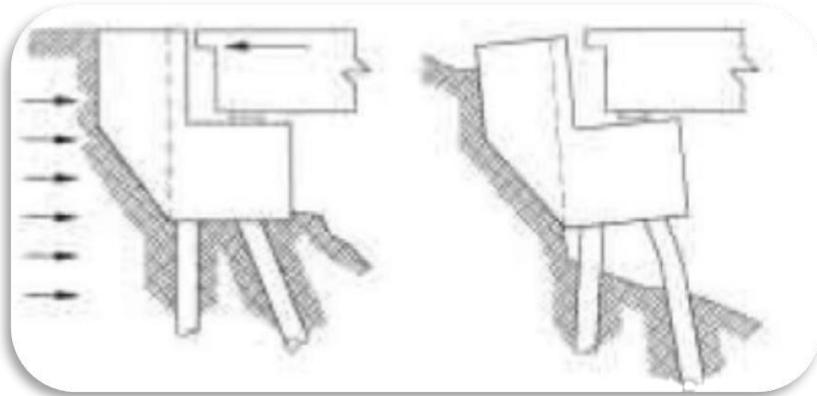


Figure I.16 : Endommagement des culées :(a) avant endommagement et (b) après endommagement. (Kibboua, 2007)

I.4.2.5 Dommages observés sur les fondations profondes (les pieux)

Les fondations profondes sont considérées comme des éléments porteurs apparentés à des colonnes et des semelles. Elles permettent de transmettre les charges d'un ouvrage en profondeur lorsque les couches superficielles du sol n'offrent pas une capacité portante suffisante. Lors d'un événement sismique majeur, les fondations profondes absorbent presque toute l'énergie causée par les mouvements sismiques ; ces éléments structuraux peuvent avoir une augmentation des sollicitations dues à la réduction de la capacité portante du sol. Cela met en évidence l'intérêt pour ces éléments structuraux capables de supporter plusieurs cycles de déformations. (Belmouden & Lestuzzi, 2006)

La figure.I.17 montre une tête de pieux endommagée suite à des efforts sismiques très importants. Ce type de rupture peut être dû à une insuffisance de résistance en cisaillement, ou à un ancrage inadéquat, entraînant une diminution de la capacité en traction des pieux.



Figure I.17 : Dommages observés sur une tête de pieux. (Belmudes & Lestuzzi, 2006)

I.4.3 Dommages observés sur les dalles sous séisme vertical (poinçonnement)

Les superstructures sont conçues pour supporter à l'état de service des charges verticales (gravité) de manière élastique. Dans les zones sismiques, elles sont généralement conçues pour avoir un système adéquat de résistance aux séismes. En conséquence, les superstructures ont tendance à être suffisamment fortes pour résister essentiellement à l'état élastique lors des séismes. En général, les dommages de la superstructure sont susceptibles d'être la principale cause de l'effondrement d'un pont. Dans la suite, on expose un exemple concernant les dommages que peuvent subir les superstructures. La Figure 1.18 montre les dommages dus à un joint de dilatation en milieu du pont de la rivière Santa Clara pendant le séisme de Northridge 1994.(Boutaraa,2022)



Figure I.18 : Dommages de la superstructure du pont de Santa Clara durant le séisme de Northridge en 1994. (Boutaraa, 2022)

I.5 Evaluation de la vulnérabilité sismique des ponts

A l'instar des pays à forte sismicité, l'Algérie possède un patrimoine non loin d'être négligeable d'ouvrages de génie civil, particulièrement de ponts dont la période d'exploitation date de plusieurs années. La plupart de ces ouvrages ont été construits avant l'avènement des règles de calcul et de conception vis-à-vis des sollicitations sismiques. De plus, particulièrement dans le nord de l'Algérie, le niveau des sollicitations sismiques dont il faut tenir compte pour des fins d'évaluation a considérablement augmenté au cours des dernières années. Or, l'Algérie n'est pas un territoire à l'abri de séismes majeurs. Depuis trois siècles, on y a dénombré plusieurs séismes importants, dont le plus récent est celui qui a frappé les régions d'Alger et de Boumerdes le 21 mai 2003.

Dans l'éventualité d'un autre séisme majeur en Algérie, l'intégrité structurale de plusieurs ponts ne pourrait être assurée, d'autant plus que ces ouvrages d'un certain âge présentent des configurations géométriques et mécaniques très similaires à ceux qui ont subi des dommages lors de séismes en Californie (San Fernando, 1971, San Francisco, 1989, et Northridge, 1994). On doit toutefois reconnaître que la situation californienne ne peut être transposée directement au nord de l'Algérie, à cause des différences relatives aux conditions géologiques et aux mouvements des sols.

Les gestionnaires des grandes villes d'Algérie expriment certaines inquiétudes concernant le maintien en service des ponts situés sur des axes routiers critiques après une catastrophe majeure causée par un séisme. La circulation des véhicules d'urgence devrait en effet être assurée. De plus, dans le cas d'une telle situation, il serait souhaitable de disposer d'une technique fiable pour réparer et rétablir la fonction des piles de ponts endommagés.

En Algérie, peu d'études sur la vulnérabilité aux séismes des ponts ont été entreprises et plusieurs ponts peuvent présenter des déficiences vis-à-vis des sollicitations sismiques importantes (Kibboua & al., 2013). De ce fait, l'évaluation de la vulnérabilité parasismique des ponts constitue aujourd'hui une préoccupation majeure pour les maîtres d'ouvrages.

I.5.1 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Pour pouvoir quantifier les pertes dues aux dommages des ponts, des fonctions de vulnérabilité empiriques et analytiques ont été développées pour différents types de ponts dans les pays tels que le Japon, l'Amérique, la Nouvelle - Zélande... etc. Pour l'ensemble de ces travaux, l'hypothèse adoptée consiste à supposer que la vulnérabilité des piles de pont est

équivalente à celle du système entier. Deux paramètres de fonction de distribution log normale ont été traditionnellement utilisés pour le développement des fonctions de vulnérabilité.

Ces deux paramètres, désignés sous le nom de paramètres de vulnérabilité, sont estimés par deux méthodes distinctes. La première, emploie le procédé de probabilité maximale de vraisemblance qui consiste à traiter chaque événement d'état de dommages au niveau du pont comme étant une réalisation d'expérience de Bernoulli. La deuxième méthode quant à elle, permet d'évaluer simultanément les paramètres de vulnérabilité d'une famille de fonctions de vulnérabilité où chacune représente un état de dommages particulier lié à une population de ponts- (Setra, 2003)

I.5.1.1 Méthodes empiriques

Les méthodes basées sur une approche empirique sont utilisées pour développer les fonctions de vulnérabilité en utilisant les observations post-sismiques des séismes passés. Ces méthodes peuvent servir à calibrer les fonctions de vulnérabilité développées analytiquement ou même expérimentalement. (Shinozuka, 2000)

La Figure I.19 montrent à titre de comparaison, les fonctions de vulnérabilité développées par Karim et Yamazaki (2001) selon une approche analytique basée sur des simulations numériques et celles développées par Yamazaki et al (2000), construites selon une approche empirique, pour le cas des piles de ponts en béton armé pour l'état de dommages étendus en fonction du PGA à partir des enregistrements du séisme de Kobe. On remarque une légère similitude des deux courbes, cependant l'approche empirique augmente la probabilité du début de la vulnérabilité à partir d'une valeur du PGA de $0,3 \text{ m/s}^2$, alors que l'approche analytique suppose un PGA de $0,45 \text{ m/s}^2$ pour le début de la fonction de vulnérabilité. Toutefois, l'approche empirique diminue la probabilité d'atteindre les dommages étendus pour des valeurs du PGA supérieures à $0,8 \text{ m/s}^2$

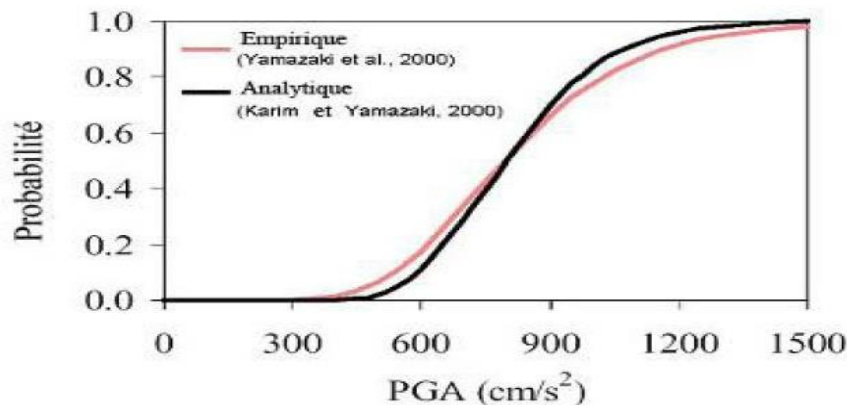


Figure I.19 : Comparaison des fonctions de vulnérabilité empirique et analytique des piles de pont en béton armé (KARIM & YAMAZAKI, 2000)

I.5.1.2 Méthodes analytiques

Parallèlement à l'approche empirique, l'approche numérique être utilisée pour générer les fonctions de vulnérabilité des structures lorsque les données sur les enregistrements de séismes n'existent pas, ou lorsque l'expérimentation serait d'un coût excessif. Les analyses peuvent être répétées pour différents mouvements de sol et de configurations structurales pour des prix relativement peu coûteux. SETRA ont présenté une approche sur l'évaluation de la vulnérabilité des ponts chemisés avec gainage métallique au niveau des colonnes qui possèdent des caractéristiques sismiques en deçà des exigences réglementaires.

A cet effet, la méthode des simulations de Monte Carlo a été utilisée pour développer les fonctions de vulnérabilité représentées par des fonctions de distribution log-normale avec deux paramètres (paramètres de fragilité définis par la moyenne et le log de l'écart type) fonction du pic d'accélération du sol (PGA). La pile de pont est modélisée comme une zone élastique avec deux zones plastiques situées à son extrémité et modélisées par un ressort de rotation non-linéaire et d'un élément rigide. La rotule plastique est supposée avoir des caractéristiques hystérétiques bilinéaires.

Pour l'évaluation de la performance sismique des systèmes de réseau d'autoroute urbaine ont développé des fonctions de vulnérabilité analytique via une méthode de simulation numérique de la réponse sismique basée sur une analyse dynamiques structurale. A cet égard, une procédure statistique appropriée exprimant les fonctions de vulnérabilité en fonction de deux paramètres de distribution log-normale et désignés sous le nom de paramètres de fragilité a été mise au point. A travers cette approche, des fonctions de vulnérabilité analytiques ont été

développées pour des ponts typiques dans la région de Memphis (Tennessee, USA) sur la base d'une analyse dynamique non-linéaire. (Setra, 2003)

Les fonctions de vulnérabilité sont établies pour un pont représentatif en considérant deux types de condition locale de sol (Setra, 2003) :

- Tous les appuis structuraux possèdent la même condition locale de sol.
- Les différents appuis structuraux sont sur différentes conditions locales de sol.

Comme décrit précédemment, une fonction de vulnérabilité est une probabilité conditionnelle (Eq I-2) qui traduit la probabilité d'une structure ou d'un composant structurel à atteindre ou dépasser un état de dommages pour une intensité de mouvement du sol spécifiée

$$\text{Vulnérabilité} = p[S > LS / IM = Y] \quad (\text{I-2})$$

Dès l'instant où les états de dommage sont liés à la capacité structurelle, et le paramètre d'intensité de mouvement du sol est lié à la demande structurelle, la fonction de vulnérabilité peut être décrite comme étant la probabilité pour que la demande sismique dépasse la capacité structurelle. Cette probabilité de ruine ou de rupture est représentée par l'équation I-3.

$$p_f = p \left[\frac{S_d}{S_c} \geq 1 \right] \quad (\text{I-3})$$

Où :

p_f : La probabilité de dépasser un état spécifique de dommage,

S_d : La demande structurelle,

S_c : La capacité structurelle.

En utilisant une fonction de distribution cumulative log-normale, cette expression peut être présentée comme suit :

$$p_f = \Phi \left[\frac{\ln(\frac{S_d}{S_c})}{\sqrt{S_d^2 + S_c^2}} \right] \quad (\text{I-4})$$

Où

Sc : La valeur moyenne de la capacité structurelle définie pour l'état de dommage, est la dispersion ou l'écart type log-normale de la capacité structurelle

Sd : la demande sismique en termes de paramètre de l'intensité de mouvement du sol choisi est l'écart type logarithmique pour la demande et est la fonction standard de distribution normale.

I.6 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts

L'évaluation de la vulnérabilité sismique des ouvrages d'art se basent sur certains critères, sous cités :

- La visite et l'expertise des structures.
- L'observation des pathologies avant et après un séisme.
- L'identification des caractéristiques principales influençant la réponse sismique.
- Le choix de la bonne méthode d'estimation de cette vulnérabilité

Parmi ces méthodes les plus connues dans le monde, nous avons :

I.6.1 Méthode du "IQA" : (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art)

L'évaluation d'un ouvrage résulte d'une analyse de son état, faite soit à partir du dossier de l'ouvrage si celui-ci contient un rapport d'inspection détaillée périodique faite dans l'année, soit à l'issue d'une visite sommaire réalisée conformément au guide de visite IQA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) élaboré par l'organisme français SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes). Ce guide permet de procéder à l'évaluation de l'état de l'ouvrage, en parcourant une liste des défauts les plus courants, en notant leur existence éventuelle, et en déduisant une cotation ; la cotation de l'ouvrage résulte alors d'une synthèse des cotations des différentes parties d'ouvrage. La visite puis la cotation doivent être effectuées par un spécialiste des ouvrages d'art ou par une personne qualifiée.

I.6.2 Méthode du "MTQ" : (Ministère des Transports du Québec)

La méthode du Ministère des Transports du Québec, modifiée pour tenir compte des nouvelles dispositions du CNBC 2005 (Code national du bâtiment - Canada 2005) en matière de sismicité (MTQ modifiée). La méthode MTQ s'appuie sur l'aléa sismique régional, les conditions de sol et des caractéristiques structurales et non structurales d'un pont ou d'un viaduc (MTQ 2007b). À noter que cette méthode a été élaborée sur la base des travaux de recherche réalisés à l'École Polytechnique de Montréal et que sa version officielle n'est pas encore disponible. (Marie-José & al, 2007)

Comme il est noté avant, la méthode du MTQ a été modifiée afin d'être conforme aux nouvelles données d'aléa sismique régional et à la nouvelle catégorisation sismique des sites du CNBC 2005. Elle permet de calculer un indice de vulnérabilités numérique désigné **IVS**. Cet indice **IVS** varie entre 0 et 100, 100 représentant le plus haut niveau de vulnérabilité par exemple pour la ville de Québec la valeur minimale de l'**IVS** est de 40. L'**IVS** est donné par l'expression suivante :

$$\text{IVS} = 100 - [\text{RS} \times \text{FF} \times \text{FA} \times \sum_{i=1}^{i=8} w_i \times c_i] \quad (\text{I-5})$$

Les valeurs attribuées aux différents facteurs et coefficients d'influence sismique servant à calculer l'indice de vulnérabilité sismique dépendent de leur contribution relative à la vulnérabilité sismique générale de l'ouvrage. Le facteur de risque sismique **RS** représente un élément clé pour le calcul de la vulnérabilité sismique des ponts puisqu'il représente la probabilité d'occurrence d'un événement sismique majeur en un lieu donné, pour une intensité donnée. Cependant, lorsqu'on considère les ouvrages situés sur un même territoire, par exemple sur le territoire de la ville de Québec, l'aléa sismique régional est le même et ne constitue donc pas un facteur discriminant. La prise en compte des conditions du sol local par le biais du facteur **FF** permet d'évaluer la vulnérabilité des ponts en relation avec l'effet d'amplification des mouvements sismiques (aléa sismique local). (Djemai, 2010)

I.6.3 Méthode du "NYDOT": (New York Department of Transportation)

La méthode NYDOT a été développée par le "New York Département of Transportation" (NYDOT 1995). Cette méthode ne considère pas l'aléa sismique régional ou local et utilise un algorithme de classification des ponts et viaducs pour regrouper les ouvrages selon leurs

caractéristiques structurales (travées simples ou multiples, appuis à rotules, biais, nombre de poutres, etc.) et les fondations (pieux) (voir figure I.20). À chaque groupe d'ouvrage, la méthode associe une classe de vulnérabilité sismique à laquelle correspond un niveau de priorité d'intervention, tel que présenté au Tableau suivant (Marie-josé & al, 2007)

Tableau I.1 : Classement de la vulnérabilité sismique selon le NYDOT (Marie-José & al, 2009).

GROUPE DE PONTS	CLASSE DE VULNÉRABILITÉ	NIVEAU DE PRIORITÉ D'INTERVENTION
Groupe 1	Classe 1	Très élevé
Groupe 2	Classe 2	Modérée à élevée
Groupe 3	Classe 3	Faible à modéré
Groupe 4	Classe 4	Faible

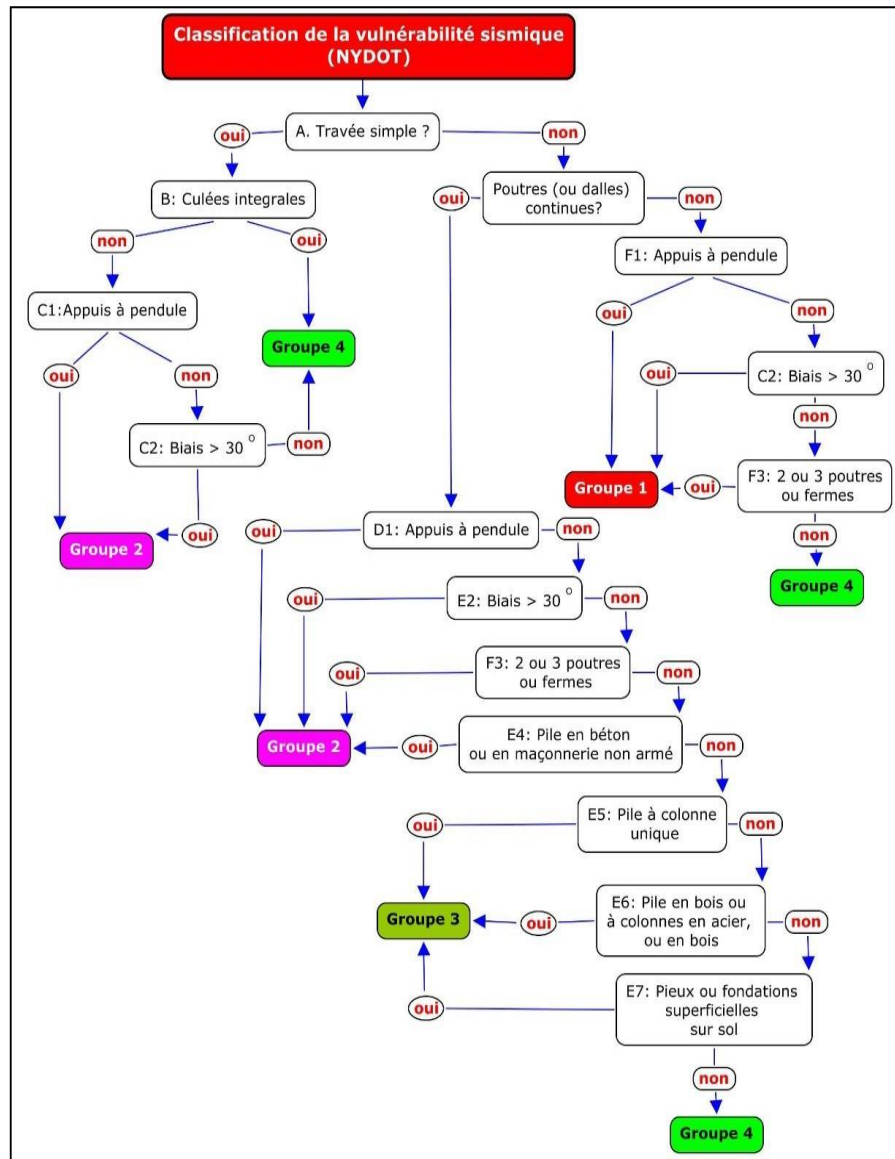


Figure I.20 : Procédure de classement selon la méthode NYDOT. (Hida, 2009)

I.6.4 La méthode des courbes de fragilité

Il est possible de prévoir de manière déterministe l'excitation sismique nécessaire afin d'atteindre un niveau de réponse ou/et d'endommagement pour un pont donné. En plus les propriétés des matériaux et des caractéristiques structurales qui affectent la capacité d'un pont, il est nécessaire de donner le mouvement sismique (MMI, PGA,) ainsi que les conditions du sol qui affectent la demande sismique. La fragilité se définit comme la probabilité conditionnelle de dépassement d'un état limite pour un niveau d'intensité sismique donné. Des courbes de fragilité analytique pour différents types de ponts aux Etats-Unis ont

été validées par rapport aux courbes empiriques obtenues à partir des données enregistrées lors des séismes de Northridge 1994 et Loma Prieta 1989. (Mander.B, 1999)

I.6.5 La méthode "SISMOA"

La procédure SISMOA détermine empiriquement le risque sismique sur un ouvrage d'art. A l'échelle d'un itinéraire, les résultats permettent de hiérarchiser les ponts par ordre de sensibilité, en vue d'une analyse socio-économique des risques par rapport aux enjeux.

La méthode aboutit, pour l'ouvrage étudié, au calcul de l'indice de vulnérabilité "V", représentatif de sa sensibilité propre aux mouvements dynamiques de type sismique. Couplé à l'aléa sismique "A" (représentatif de l'agression sismique prévisible dans sa région d'implantation), l'indice de vulnérabilité permet de calculer le risque sismique "R" qui définit l'espérance mathématique d'endommagement du pont au cours d'une période de référence. Enfin, la combinaison de l'indice de risque "R" avec le critère d'importance "I", représentatif du caractère plus ou moins essentiel de l'ouvrage pour la société en cas de crise (desserte des hôpitaux, acheminement des secours, reprise rapide de l'activité économique...), permet d'établir le niveau de priorité "P". De façon plus synthétique, on peut noter (Setra, 2003) :

$$P = R \times I = (V \times A) \times I \quad (I-5)$$

Le logiciel SISMOA se présente sous la forme d'une feuille Excel sophistiquée. Il a été réalisé par le Laboratoire Régional de Nice du "CETE Méditerranée" sous le pilotage du SETRA (service d'étude technique des routes et d'autoroutes). A partir d'un certain nombre de critères géométriques et typologiques, le logiciel permet une évaluation qualitative de la vulnérabilité des différents éléments structurels de l'ouvrage (tablier, culées, piles, fondations). La combinaison de ces indices de vulnérabilité spécifiques conduit au calcul de l'indice de vulnérabilité global, compris entre 0 et 1 (Setra, 2003).

La présentation des résultats a fait l'objet d'une procédure automatique afin d'en permettre ultérieurement une exploitation à l'échelle d'un itinéraire sous support SIG (Système d'Information Géographique). Cette fonctionnalité permet une représentation visuelle et efficace des résultats et autorise un croisement immédiat entre des données concernant le site (équipements stratégiques, itinéraires, géologie, sismicité...) et celles directement relatives aux ouvrages (typologie, photographie, vulnérabilité et risque sismique).

Grâce à l'interactivité de l'outil SIG, SISMOA constitue non seulement un outil d'aide à la définition des programmes de confortement mais pourrait aussi évoluer à terme vers des fonctions d'élaboration de stratégies de prévention des risques sismiques voire d'aide à la prise de décision en période de crise. De plus cette méthode à plusieurs perspectives de développement.

I.6.6 La méthode de "Katayama"

La méthodologie proposée par les deux japonais K Kubo et T Katayama (1977) est efficace pour évaluer les dommages des ponts, et pour observer les points vulnérables de ces systèmes structurels. Dans la méthode de Katayama il y a onze paramètres qui sont très attachés à la probabilité de l'effondrement des ponts. Ces paramètres sont faciles à identifier sur site. Chaque paramètre est classé en quelques catégories avec une valeur numérique pour chaque classe. Le résultat final obtenu après un calcul simple permet de classer les ponts étudiés selon le degré de la probabilité d'effondrement. **(Kubo & Katayama, 1977)**

Les paramètres proposés par Kubo et Katayama sont les suivants :

- Intensité sismique.
- Système antisismique.
- Type de poutre.
- Le potentiel de liquéfaction.
- Nombre de travée.
- Hauteur maximum de la culée / la pile.
- Matériau de construction de la culée / la pile.
- Type de fondation.
- Type de sol.
- La largeur de la pile / la culée du pont.
- Type d'appui.

I.7 Conclusion

L'étude de la vulnérabilité sismique est nécessaire pour permettre la pérennité des ponts et des viaducs et réduire les pertes et les dommages provoqués par les séismes, cette étude est basée sur plusieurs méthodes qui sont citées dans ce chapitre

Après avoir passé en revue les méthodes d'estimation de la vulnérabilité sismique des ponts dans le monde, et afin de pouvoir estimer cette vulnérabilité sismique en Algérie, on a opté pour la méthode japonaise de « Katayama » validée et appliquée au Japon. Elle s'appuie sur des critères typologiques simples, faciles à appréhender par une personne qualifiée sans obligation de disposer de matériels et/ou de technologie développée contrairement aux autres méthodes.

CHAPITRE II :
MÉTHODOLOGIE DE
TRAVAIL

II.1 Introduction

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts, dont quelques-unes ont été citées dans le chapitre précédent. Parmi ces méthodes nous avons opté pour la méthode basée sur le calcul d'un indice permettant la classification de la structure. Cette méthode a été développée en 1977 par les deux professeurs japonais « Keizaburo Kubo » « Tsuneo Katayama », et beaucoup plus connue sous le nom de la méthode *Katayama*.

La dite méthode a été appliquée à de nombreux ponts au Japon et dans d'autres pays du monde. Le choix de l'usage de cette méthode dans ce travail se justifie par la possibilité de son application aux ponts en Algérie, car les typologies de ponts réalisés en Algérie sont rencontrées dans la nomenclature des typologies de ponts Japonais, et aussi par le fait qu'elle ne nécessite pas un calcul fastidieux. Par conséquent, ce second chapitre du mémoire, est consacré à présenter cette méthode.

II.2 Présentation de la méthode Katayama

La méthode Katayama adoptée dans ce travail se base sur l'approche développée par Kubo- Katayama (Kubo et Katayama, 1977). Cette méthode permet d'évaluer la vulnérabilité sismique des ponts à poutres ou cadres, dont le mode de rupture prépondérant des premiers est induit par la chute des poutres et donc du tablier. (Kibboua, 2012).

La figure II.1 schématise cette pathologie pouvant se produire sous l'effet de l'action sismique

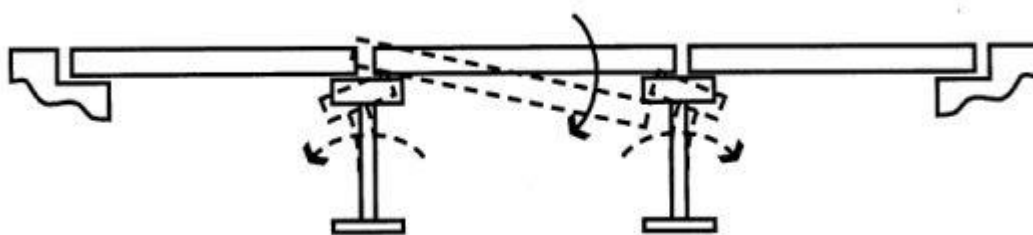


Figure II.1 : Chute des poutres de ponts isostatiques (modifié de Kibboua, 2012)

II.2.1 Principe de la méthode

Cette méthode d'estimation de la vulnérabilité sismique des ponts est basée sur l'indice de vulnérabilité, qui est un indicateur de l'état de la structure qui peut être estimé avant comme

après l'occurrence de l'évènement sismique. Il nous permet de connaître l'état des ouvrages d'art d'une région et de les classer selon leur vulnérabilité, donc il offre la possibilité d'une mise à jour pratiquement continue de la qualité sismique des ponts d'une région. Le principe de cette méthode est illustré dans l'organigramme ci- dessous (**Figure II.2**)

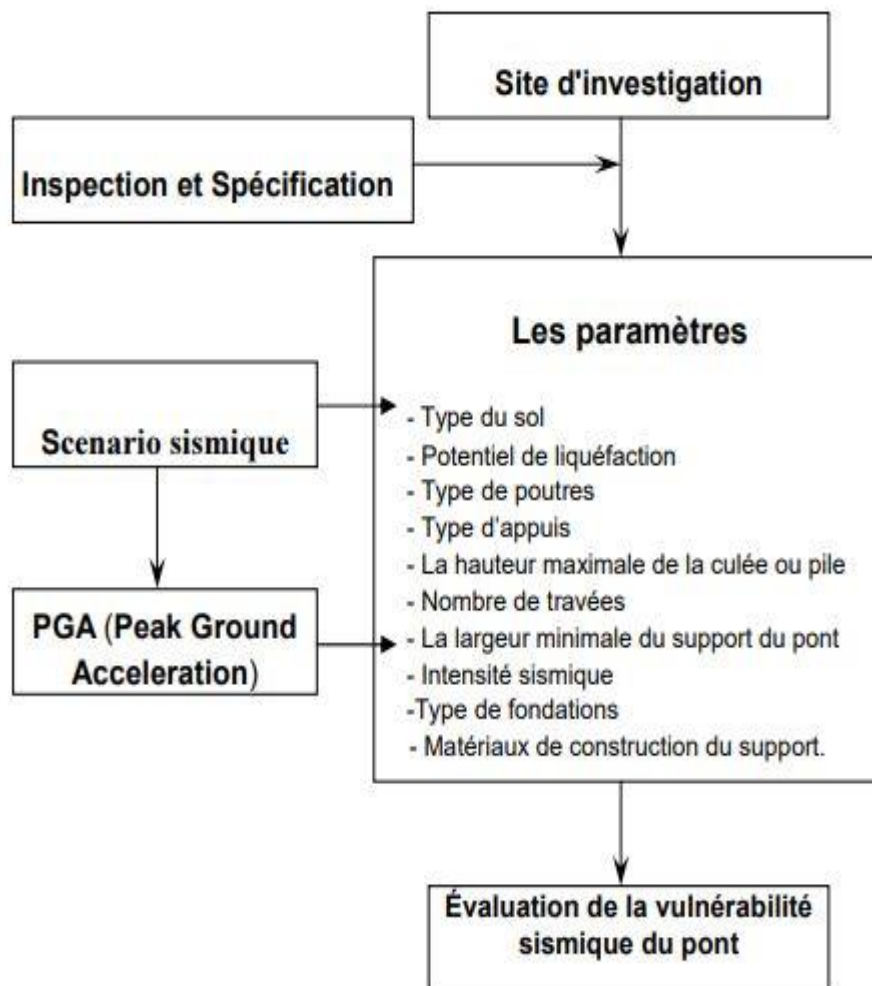


Figure II.2 : Organigramme général de l'analyse de la vulnérabilité sismique des ponts à poutres isostatiques par la méthode Katayama (**Kubo & Katayama, 1977**)

II.2.2 Paramètres de la vulnérabilité des ponts

Dans la méthode de Katayama, onze (11) rubriques susceptibles d'affecter la probabilité de chute des poutres, et par conséquent celle des tabliers sont examinées. Chaque rubrique consiste en un nombre de catégories sélectionnées, selon le cas du pont étudié

Tableau II.1 : Rubriques entrant dans de l'analyse de la vulnérabilité sismique des ponts a poutres isostatiques par la méthode Katayama.

Rubriques	Categories	Appreciation par categories
Type de sol	Dur : roche légèrement / non détériorée	0,5
	Moyen : roche détériorée / modérément détériorée	1,0
	Meuble: sol / diluvial sédimentaire	1,5
	Très meuble : sol / Alluvial sédimentaire	1,8
Potentiel de liquéfaction	Non liquéfiable	1,0
	Liquéfaction possible: $0 \leq P_L < 15$	1,5
	Liquéfaction: $15 \leq P_L$	2,0
Type de poutre	Arc	1,0
	Continue	2,0
	Simple	3,0
Type d'appui	Avec un appareillage spécifique	0,6
	Appuis (Avec une bonne conception)	1,0
	Mobiles	1,15
	Autres (sans support, etc.)	1,1
Système antisismique	Système de prévention contre la chute des poutres	0,6
	Appui parasismique	0,9
Hauteur max. de culée/pile	Inférieure à 5 m	1,0
	5 à 10 m	1,35
	Supérieure à 10m	1,7
Nombre de travées	1 travée	1,0
	2 travées ou plus	1,75
Largeur min.	Largeur: 70 cm ou plus	0,8
	Étroite: Inférieure à 70 cm	1,2

de l'assise du tablier de pont	Sans assise: 0 cm	1,1
Echelle d'intensité sismique (MSK)	$MSK < 7,885$	1,0
	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,1
	$8,680 \leq MSK < 9,475$	2,4
	$9,475 \leq MSK < 10,270$	3,0
	$10,270 \leq MSK$	3,5
Type de foundation	Pieux	1,4
	Autres	1,0
Matériaux de la culée / pile	Béton non armé ou maçonnerie	1,4
	Béton armé ou autre	1,0

Les paramètres de la méthode de Katayama sont de type descriptif ou typologique (comme Type de poutres, Type d'appuis, etc.), ou bien de type quantitatif (Intensité sismique, Potentiel de liquéfaction, etc.). Ils se présentent comme suit ([Kubo & Katayama, 1977](#)) :

II.2.2.1 Type du sol

Selon le guide "SERDHB" (Spécification for Earthquakes Résistant Design of Highway Bridges) élaboré par "JRA" (Japan Road Association) en 1971, le type du sol est classé en quatre catégories :

Type 1 : Dans ce premier type on a soit un sol de l'ère tertiaire ou plus, définie comme une roche mère ou substratum, ou une couche de diluvien avec une profondeur de moins de 10m au-dessus de la roche mère. Ce type est noté comme sol rigide.

Type 2 : Ce type regroupe les sols composés d'une couche de diluvien avec une profondeur de plus de 10m au-dessus de substratum, et les sols constitués d'une couche d'alluvion avec une profondeur de moins de 10m au-dessus de la roche mère. Ce type est mentionné comme sol moyen.

Type 3 : Couche en Alluvion avec une profondeur de moins de 25m composé d'une couche liquéfiable de moins de 5m de profondeur, ou un sol avec une contrainte de compression inférieur a 0,2 kg/cm². Il est noté comme sol mou.

Type 4 : Dans ce dernier on trouve les types non classés dans les autres types (I, II, III), ce type est considéré comme sol très mou.

II.2.2.2 Potentiel de liquéfaction

La liquéfaction est un phénomène qui se produit sous sollicitation sismique. Le passage d'une onde sismique provoque dans certaines formations géologiques, la perte de résistance d'un matériau sableux saturé en eau, liée à une augmentation de la pression interstitielle engendrée par les déformations cycliques. Des méthodes d'évaluation du potentiel de liquéfaction sont données par la bibliographie (Youd et al. 2001). La classification de ce paramètre repose sur la valeur du potentiel de liquéfaction. Selon le guide sur cite on a trois catégories de sol selon le potentiel de liquéfaction existent:

Classe A : Sol non liquéfiable avec un potentiel de liquéfaction nul.

Classe B : la valeur du potentiel de liquéfaction est entre 0 et 15.

Classe C : Le potentiel de liquéfaction est supérieur ou égal à 15 ($PL \geq 15$).

II.2.2.3 Type de poutres

La poutre dans un pont étant un élément structurel très important, la méthode Katayama propose trois catégories pour ce paramètre :

Catégorie A : Sont classés, dans cette catégorie, les ponts avec un arc ou portique rigide.

Catégorie B : Dans cette catégorie, sont classés les ponts à poutre continue.

Catégorie C : Cette catégorie regroupe les ponts à poutre simple.

II 2.3.4 Type d'appuis

Ce paramètre est divisé en quatre classes, qui sont :

Classe A : Dans cette classe, on trouve les ponts qui ont des appuis avec un appareillage spécifique.

Classe B : On trouve dans cette catégorie, les ponts avec des appuis d'une bonne conception.

Classe C : Sont classés, dans cette catégorie, les ponts à appuis mobiles.

Classe D : Cette catégorie regroupe les ponts qui n'ont pas d'appuis, ou qui ont un autre type non cité ci-dessus.

Après avoir choisis la catégorie correspond au paramètre type d'appuis, ce dernier sera traité selon deux critères : système de prévention et système d'isolation afin de déterminer son propre coefficient de pondération. Ces deux critères qui sont associés à deux nouveaux coefficients de pondération, peuvent être définis comme suit :

- Le système de prévention regroupe tous les travaux d'entretien et de réparation des éléments d'un pont, particulièrement les appareils d'appuis qui nécessitent une permanente surveillance durant la vie de l'ouvrage afin de permettre les préventions et les interventions nécessaires.

- La présence du système d'isolation sismique ou de résistance sismique, ce système influe sur le comportement sismique de l'ouvrage et il consiste à ajouter des différents dispositifs pour assurer une bonne résistance sismique, à savoir les butées, les attelages sismiques, les appareils d'appuis spécifiques et les amortisseurs.

II.2.2.5 Hauteur maximale de la culée ou pile

La classification de ce paramètre, se fait comme suit :

Classe A : Dans cette classe, la hauteur maximale de la culée ou de la pile est inférieure à 5 mètres.

Classe B : Sont classés dans cette classe, les ponts qui ont une hauteur maximale de leurs culées ou piles entre 5 et 10 mètres.

Classe C : On trouve dans cette catégorie, les ponts avec une hauteur maximale qui dépasse les 10 mètres.

II.2.2.6 Nombre de travées

Pour ce paramètre on a deux classes :

Classe A : Cette classe regroupe les ponts à une seule travée.

Classe B : Dans cette classe, sont regroupés les ponts à deux ou plusieurs travées.

II.2.2.7 Largeur minimale du support du pont

Ce paramètre a une grande importance pour éviter les dégâts sismiques, en particulier l'échappement du tablier de ses appuis. Cette largeur signifie la distance minimale entre la fin d'appui et le bord du sommet du support (culée ou pile), telle que montrée dans la figure II.3.

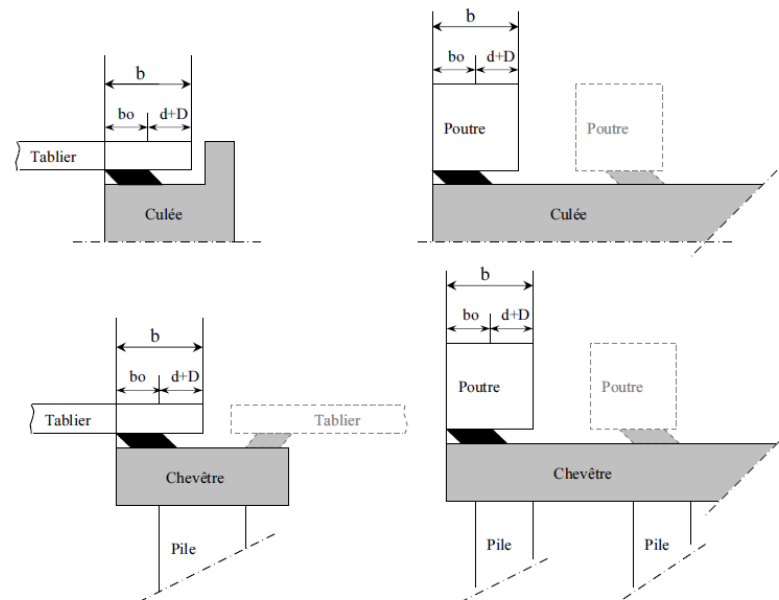


Figure II.3 : Repos d'appuis (RPOA, 2008)

Les trois classes de ce paramètre sont :

Classe A : C'est la classe des ponts qui ont une large largeur d'appuis, "L" supérieur à 70 cm ;

Classe B : Dans cette classe on trouve les ponts ayant une largeur d'appui étroite : "L" < 70 cm ;

Classe C : Cette classe regroupe les ponts qui n'ont pas une largeur d'assise, "L" égale à zéro. Par exemple le cas d'un portique rigide.

II.2.2.8 Intensité sismique

L'intensité sismique estime les dégâts causés à la surface par un séisme, ces dégâts dépendent de la nature des sols, de la profondeur focale du séisme et du type de la structure. La classification de ce paramètre repose sur le degré de cette intensité sur l'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik). Cette est une échelle de mesure de l'intensité d'un tremblement de terre. Elle a été très utilisée en Europe et en Inde à partir de 1964, souvent sous la désignation MSK64.

La méthode originale de Katayama est basée sur l'échelle MSK qui a été modifiée pour être adapté à l'échelle JMA nouvellement adoptée au Japon. En Algérie, l'échelle d'intensité sismique utilisée est l'accélération maximale au sol (Peak Ground Accélération : PGA), d'où la nécessité d'une relation entre le PGA et l'échelle MSK afin de pouvoir utiliser la méthodologie adoptée pour cette étude. La relation entre le PGA et l'échelle MSK est montré dans la Figure II.4 (CGS, 2006). Sur cette figure le PGA est donne en unité « gal », qui est une unité dérivée de mesure de l'accélération égale à : 1 cm/s^2 . Il est à noter que dans le système international d'unité, 1 Gal est égal à 0.01 m/s^2 (Barry, 1995) d'où d'après la figure II.4, pour une intensité de VI et demie sur l'échelle MSK, la valeur du PGA correspond à 1 gal .

D'autre part, l'échelle MSK n'étant plus utilisée notamment en Algérie, ce domaine est substitué par l'échelle de Mercalli (MMI)

L'échelle de Mercalli est une échelle de mesure de l'intensité d'un séisme, qui se fonde sur observation des effets et des conséquences du séisme en un lieu donné.

Il est important de distinguer intensité d'un séisme de sa magnitude, laquelle mesure l'énergie libérée par le séisme à son foyer.

Pour effectuer ce changement de la représentation de l'effet sismique nous avons utilisé la loi de " Murphy " pour exprimer le PGA (Peak Ground Accélération) en fonction de MSK puis le MMI en fonction du PGA, ce qui est montré ci-dessous.

La loi du Murphy :

$$MSK = \frac{\ln\left(\frac{PGA}{0,8103}\right)}{0,7433} \rightarrow PGA = 0,8103e^{(0,7433 \cdot MSK)} \quad (\text{II} - 1)$$

$$PGA = 1,7787 e^{(0,5756 \cdot MMI)} \rightarrow MMI = \frac{\ln(\frac{PGA}{1,7787})}{0,5756} \quad (\text{II} - 2)$$

Tableau II.2 : Transformation de MMI en PGA en fonction de MSK (Djemai, 2010)

MMI	PGA (m/s ²)	MSK
8.816	0.2844	7.8850
9.843	0.5136	8.6800
10.869	0.9274	9.4750
11.896	1.6746	10.270

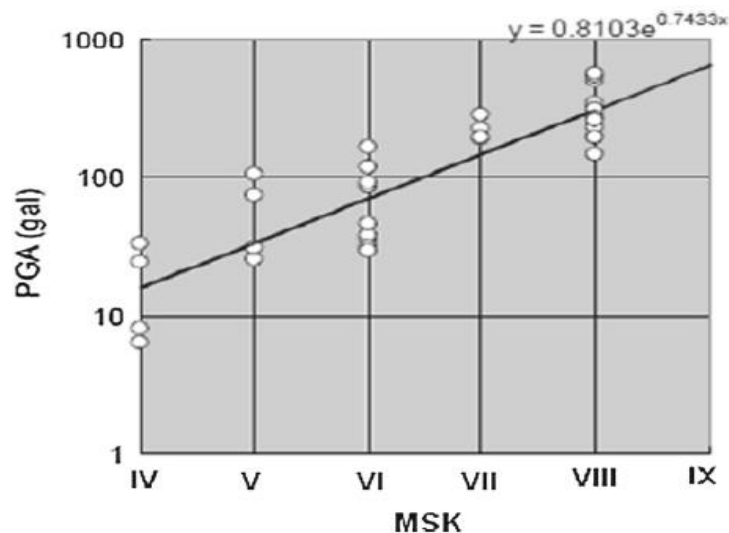


Figure II.4 : Relation empirique entre le PGA et l'intensité sismique à l'échelle MSK. (Kibboua & all, 2013)

La classification adoptée dans la méthode est la suivante :

Classe A : Dans cette classe, l'intensité sismique MSK est inférieure à 7,885. ($MSK < 7,885$) ;

Classe B : Sont classées les intensités sismiques entre 7,885 et 8,680 ($7,885 \leq MSK < 8,680$) ;

Classe C : Cette classe regroupe les intensités sismiques entre 8,680 et 9,475.

$(8,680 \leq \text{MSK} < 9,475)$;

Classe D : Dans la catégorie suivante, on trouve les intensités sismiques entre 9,475 et 10,270.
 $(9,475 \leq \text{MSK} < 10,270)$;

Classe E : Les intensités sismiques supérieur ou égale à 10,270 se trouvent dans ce groupe.
 $(\text{MSK} \geq 10,270)$.

II.2.2.9 Type de fondations

Le rôle des fondations ne se limite pas à transmettre les charges verticales de la superstructure au sol, elles permettent aussi de prolonger les ondes sismiques à la superstructure, ce qui donne une importance particulière à ce paramètre. La classification de ce paramètre se fait comme suit :

Catégorie A : Cette catégorie regroupe les ponts qui ont des fondations en pieux battu ;

Catégorie B : Les ponts avec d'autres types de pieux sont regroupés dans cette classe ;

II.2.2.10 Matériaux de construction des appuis (pile, culée)

Le développement et la variation des matériaux de construction ont une influence sur le comportement des ponts. De même ces matériaux affectent la durabilité de ces derniers, notamment leurs supports (piles, culées). Ce paramètre est classé comme suit :

Classe A : Dans cette classe on trouve les ponts avec des appuis en béton armé ;

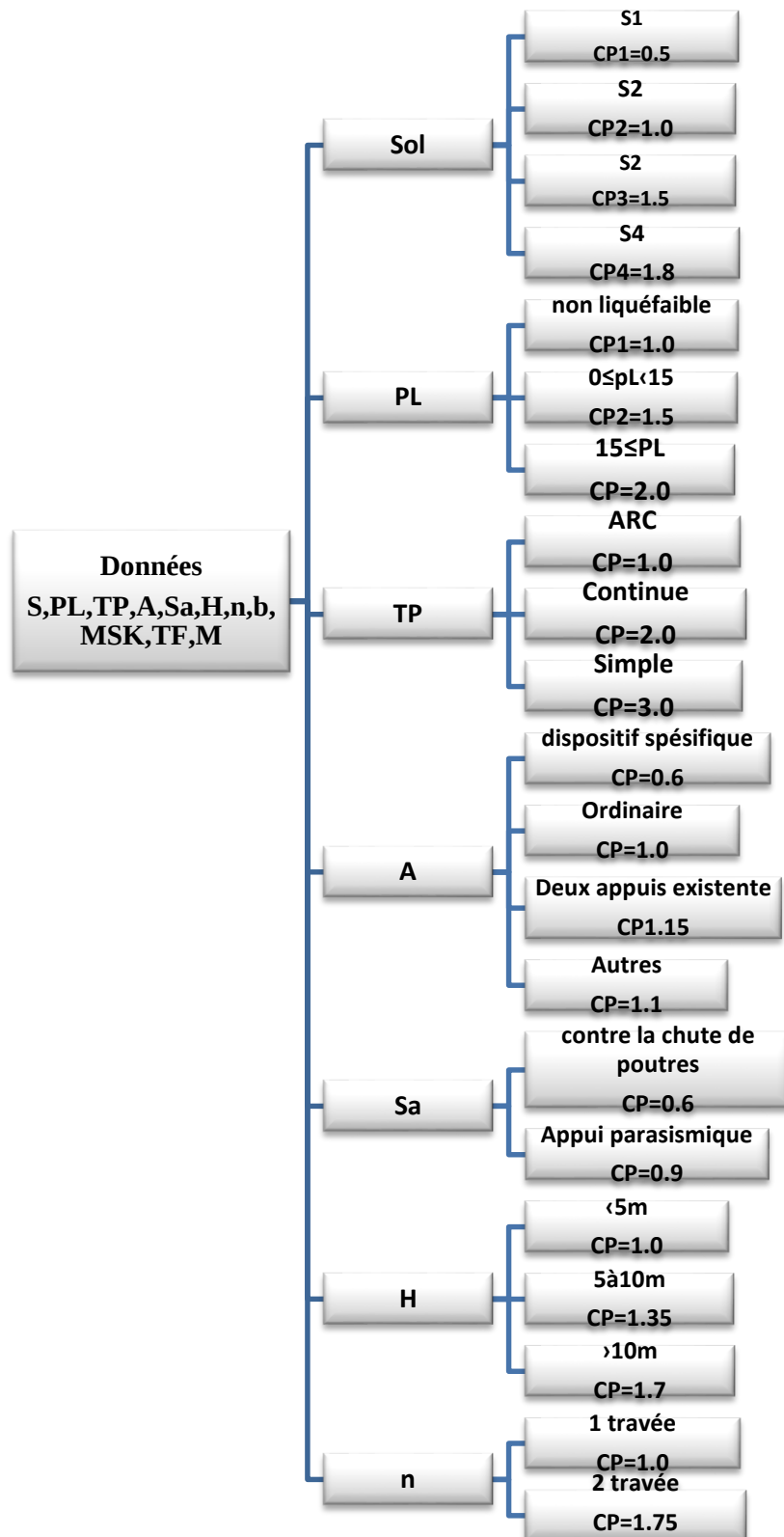
Classe B : Les ponts avec des appuis métalliques sont classés dans cette catégorie ;

Classe C : Cette classe regroupe les ponts dont les appuis sont en maçonnerie ;

Classe D : Les ponts dont les appuis sont construits avec d'autres matériaux que ceux cités ci-dessus, sont classés dans cette dernière classe

II.2.3 Organigramme récapitulatif de la méthode Katayamaa

L'organigramme représenté dans la figure II.5 récapitule la méthode utilisée dans ce mémoire.



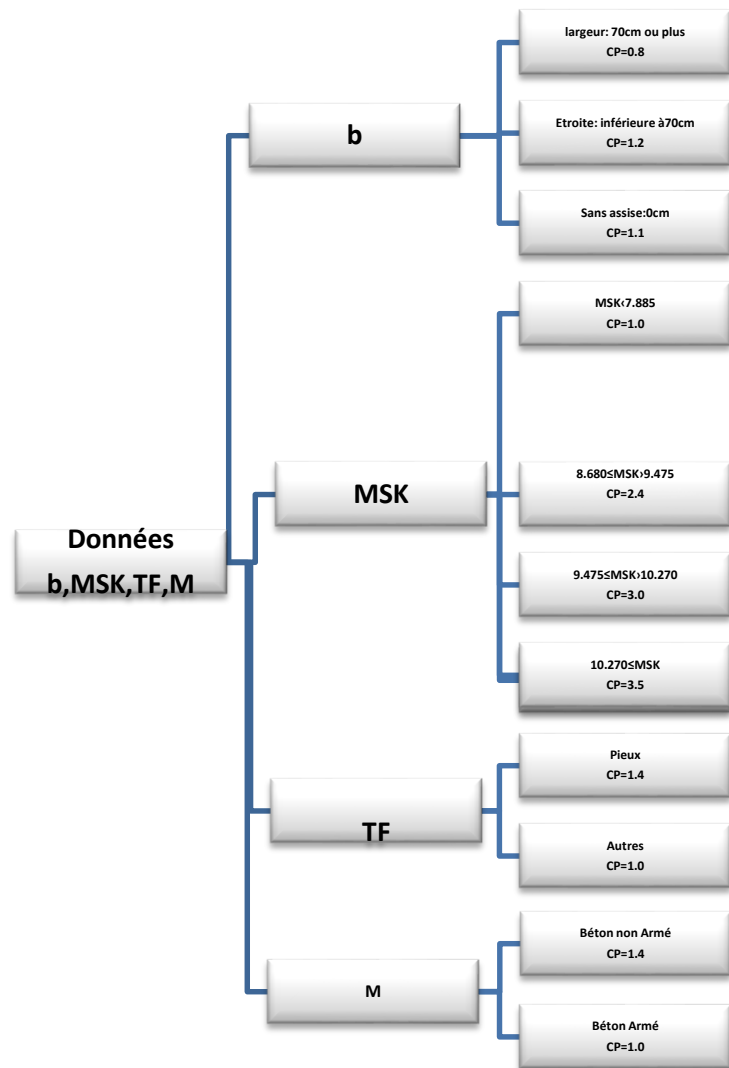


Figure II.5 : L'organigramme récapitule la méthode Katayama

II.2.4 Calcul de l'indice de vulnérabilité

L'indice de vulnérabilité « I_v » se calcule comme étant le produit des coefficients de pondération qui représentent la classe des paramètres du pont, comme il est noté dans l'équation II.3. (Kubo & Katayama, 1977)

$$I_v = \prod_{j=1}^n \prod_{k=1}^{m_j} w_{jk}^{x_{ijk}} \quad (\text{II-3})$$

Avec :

n : Le nombre de tous les paramètres.

m_j : Le nombre de classes du paramètre j .

x_{ijk} : Correspondant à la classe k du paramètre j de l'échantillon (pont) i . Cette variable prend la valeur 1 (un) si les propriétés de l'échantillon i correspondent à la classe k pour le paramètre j , et 0 (zéro) autrement.

w_{jk} : Le coefficient de pondération de la classe k du paramètre j .

II.2.5 Classification de l'indice de vulnérabilité

Le classement de l'indice de vulnérabilité est établi suivant trois classes de probabilité d'endommagement qui sont indiquées dans le tableau II.3. (Kubo & Katayama, 1977)

Tableau II.3 : Tableaux des classes d'endommagement en fonction de " I_v ". (Kubo & Katayama, 1977)

Classes de probabilité d'endommagement	I_v
Foible probabilité d'endommagement	$0 < I_v < 22$
Moyenne probabilité d'endommagement	$22 \leq I_v < 30$
Forte probabilité d'endommagement	$I_v \geq 30$

II.3 conclusion

Le présent chapitre a été dédié à l'expose de la méthodologie utilisée dans ce mémoire pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique d'un échantillon de ponts a poutres en béton arme. La méthode Katayama a été exposée en détail, Ce qui permet une compréhension approfondie des paramètres retenus par la méthode.

CHAPITRE III :
PRÉSENTATION DES
CAS D'ÉTUDE

III.1 Introduction

Après avoir exposé dans le chapitre précédent la méthode adoptée dans ce travail pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts, nous entamons la présentation des ponts pris comme cas d'étude. Il est à noter que les ponts choisis, sont tous situés dans des zones à haute sismicité, selon la classification du règlement parasismique Algérien (RPOA 2010). Ce chapitre présentera la situation géographique des ouvrages étudiés et leurs caractéristiques géométriques, les données géotechniques, notamment se rattachant au potentiel de liquéfaction du sol d'assise, et les données sismiques.

III.2 Présentation des cas d'études

L'échantillon des ouvrages étudiés est constitué de dix ponts, dont le choix a été subordonné à la disponibilité des données géotechniques et des enregistrements sismiques y afférents. Dans ce qui suit, nous présentons en détail les données relatives à chacun des dix ouvrages.

Pour chaque pont étudié, les données sont collectées de sources bibliographiques (recherches antérieures) et des archives administratives, si disponibles au niveau de l'organisme responsable de la gestion des ouvrages d'art (DTP). Cependant dans le cas de non disponibilité d'archive, l'avis d'un expert dans le domaine a été sollicité. Les ponts sélectionnés sont les suivants :

- **Cinq ponts situés sur le littoral de la wilaya de Chlef, à savoir :** pont sur Oued Mellah, pont sur Oued Rib El Hamra, pont sur Oued Outar et le pont sur Oued Tarzoult, et Pont sur Oued ALLALA, tous situés dans la wilaya de Chlef, d'où la zone de sismicité est III selon le RPOA (2010). Le séisme de scénario considéré pour l'évaluation de vulnérabilité sismique de ces ouvrages est celui d'El Asnam 1980, de magnitude sismique (M_s) égale à 7,3 et d'accélération pic au rocher (PGA) égale à une valeur comprise entre 0,4 à 0,5 selon les avis des experts ayant effectué la mission post-sismique (Bertero & Shah 1983). D'où, pour les ponts situés à Chlef on adoptera une valeur moyenne du PGA égale à 0,45.

- **Cinq ponts situés hors la wilaya de Chlef, à savoir dans les wilayas de Tipaza, Boumerdes et Ain DEFLA :**

Pont de Harbil, pont de Meurad et pont de Boukadir situés dans la wilaya de Tipaza d'où la zone de sismicité est III. Le scénario considéré pour l'évaluation de vulnérabilité sismique de

ces ouvrages est celui de Chenoua 1989 de magnitude sismique M_s égale à 6 et de PGA égale à 0,41 (Bensaïbi & Djemai, 2015). D'où, pour les ponts situés à Tipaza on adoptera une valeur du PGA égale 0,41.

-Pont de Sebaou situé dans la wilaya de Boumerdes d'où la zone de sismicité III. Le scénario considéré pour l'évaluation de vulnérabilité sismique de l'ouvrage est celui de Boumerdes 2003, de magnitude sismique M_s égale à 6,8 et un PGA égale à 0,52 (Japanese Reconnaissance Team, 2004)

- Pont M'khadria situé dans la wilaya d'Ain Defla d'où dans la zone de sismicité III. On considère ici deux scénarios sismiques pour l'évaluation de vulnérabilité de l'ouvrage : celui d'El Asnam 1980 Et celui de El Abadiya 1934 de magnitude sismique M_s égale à 5,1 (Ambraseys, 1981)

Vue que le PGA n'est pas connu pour cet événement sismique, on fera recours à une formule permettant son calcul à partir des données disponibles. On utilisera la loi d'atténuation d'Ambraseys et al. (2005), dont la forme est la suivante :

$$\log y = a_1 + a_2 M_w + (a_3 + a_4 M_w) \log \sqrt{(d^2 + a_5^2)} + a_6 S_s + a_7 S_a + a_8 F_n + a_9 F_t + a_{10} F \quad (\text{III-1})$$

Avec :

- M_w : Magnitude du séisme = 5,1

- d : distance à la projection de la faille en surface (km) = 1 km

$a_1=2.522$, $a_2= -0.142$, $a_3= -3.184$, $a_4=0.314$, $a_5=7.6$, $a_6=0.137$, $a_7=0.050$, $a_8= -0.084$,

$a_9=0.062$,

$a_{10}= -0.044$

$SS = 1$, $SA = 0$ pour sol meuble, $180 < V_s \leq 360\text{m/s}$.

$SS = 0$, $SA = 1$ pour sol ferme, $360 < V_s \leq 750\text{m/s}$.

$SS = 0$, $SA = 0$ pour rocher, $V_s > 750\text{m/s}$.

$FT= 0$, $FN= 0$, $FO= 1$

*Donc pour pont M'khadria PGA égale 0,296

Il a noté que la conversion du PGA en une intensité sismique MSK est faite selon les équations (Voir § 2.2.8 chapitre II)

III.2.1 Pont sur Oued Mellah (Ténès)

➤ Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage est un pont routier, construit en 1978 faisant partie de la route nationale RN11 et franchit Oued Mellah au point kilomètre 52. Il s'agit d'un pont isostatique à trois travées. Le tablier a une longueur de 80 m et une largeur de 9 m.

➤ Situation géographique

Le pont est situé dans la localité dite Oued Mellah à la commune de Ténès, wilaya de Chlef sur la route nationale n°11. La figure III.1 montre la situation géographique de l'ouvrage.

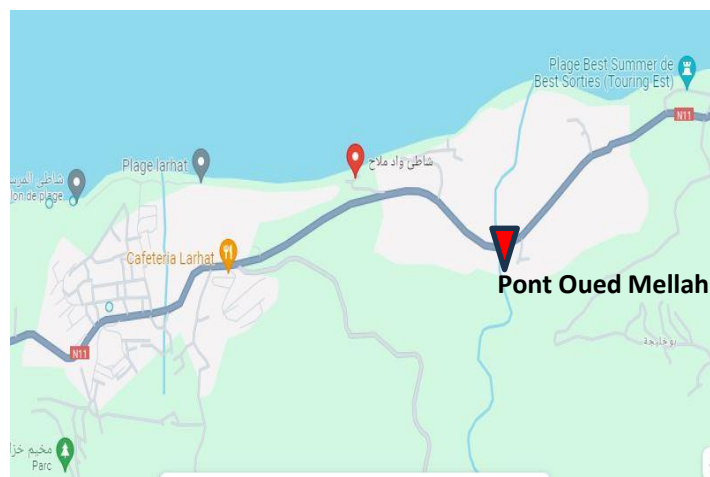


Figure III.1 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Donnée géotechniques

Vue la non disponibilité d'archive de ce pont, l'avis des experts consultés révèlent que le sol est meuble. De plus, du fait que le pont franchit un oued, le degré de saturation en eau du sol est assez important. Par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est probable.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scénario est celui d'El Asnam 1980, la valeur du PGA est 0,45, correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq MSK < 8,680$ ([Voir § 2.2.8 chapitre II](#))

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec bonne conception et le système antisismique adopté est celui d'appui parasismiques (existence de butée sismiques). La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton armé est supérieure à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est supérieure à 70 cm.

III.2.2 Pont sur Oued RIB EL HAMRA (Sidi Abderrahmane)

➤ Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage est un pont routier, construit en 1978 faisant partie de la RN11, il franchit Oued RIB EL HAMRA au point kilomètre 72, il s'agit d'un pont isostatique à cinq travées. Le tablier a une longueur de 135 m et une largeur de 9 m.

➤ Situation géographique

Le pont est situé sur la route nationale n°11 à Sidi Abderrahmane à 72 km au Nord-Ouest de la ville de Chlef. La figure III.2 montre la situation géographique de l'ouvrage.

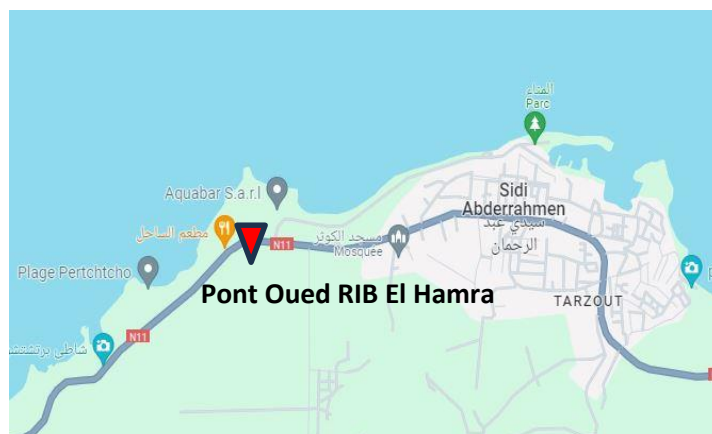


Figure III.2 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Données géotechniques

Vue la non disponibilité d'archive de ce pont au niveau de l'organisme chargé de la gestion des ouvrages d'art en raison de son Age, l'avis des experts consultés révèle que le sol est meuble du fait que le pont franchit un oued. Le degré de saturation en eau du sol est

donc assez important. Par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est possible.

➤ **Données sismiques du site**

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scénario est celui d'El Asnam 1980, la valeur du PGA est 0,45 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$ (**Voir § 2.2.8 chapitre II**)

➤ **Donnée géométriques de l'ouvrage**

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles, dont les recherches antérieures réalisées sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique du parc d'ouvrages de la wilaya de Chlef (Boutaraa, 2010). Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopté est celui d'appui parasismiques (existence de butée sismiques). La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton armé est supérieure à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est supérieure à 70 cm.

III.2.3 Pont sur oued OUTAR (Beni Haoua)

➤ **Présentation de l'ouvrage**

L'ouvrage faisant partie de la RN11 est construit en 2005 et franchit Oued OUTAR. Il s'agit d'un pont isostatique à cinq travées. Le tablier a une longueur de 120 m et une largeur de 14,5 m. La figure III.3 montre l'ancien pont d'Oued OUTAR.

➤ **Situation géographique**

Le Pont sur Oued OUTAR est situé sur la route nationale n°11 à la sortie de Beni-Haoua au nord Est de la wilaya de Chlef. La figure III.4 montre la situation géographique de l'ouvrage.

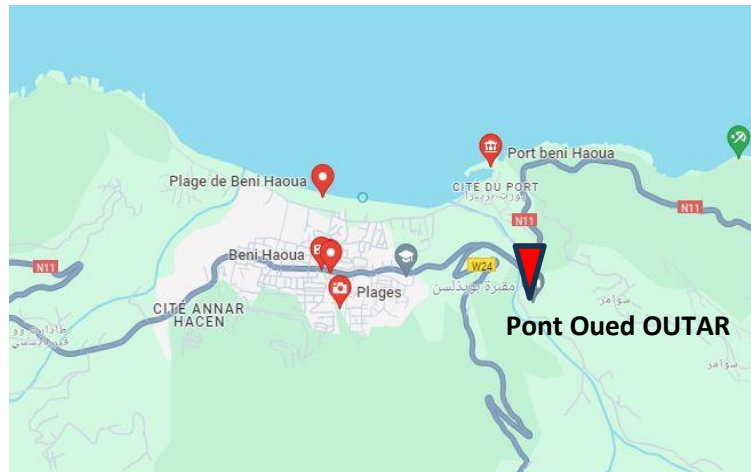


Figure III.3 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Données géotechniques

Vue la non disponibilité d'archive de ce pont, l'avis des experts consultés révèle que le sol est meuble du fait que le pont franchit un oued. Le degré de saturation en eau du sol est donc également assez important. Par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est probable.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scenario est le même que pour les deux ponts précédents, c'est-à-dire celui d'El Asnam 1980, la valeur du PGA est ,45 correspondants à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq MSK < 8,680$ ([Voir § 2.2.8 chapitre II](#))

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles (Boutaraa, 2010). Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopte est celui d'un système d'appui parasismiques (existence de butée sismiques). La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton arme est supérieure à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est supérieure à 70 cm.

III.2.4 Pont sur Oued TARZOULT

➤ Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage faisant partie de la RN11 est construit en 1990, il franchit oued TARZOULT, il s'agit d'un pont isostatique à deux travées. Le tablier a une longueur de 58 m et une largeur de 9 m.

➤ Situation géographique

Le Pont sur oued TARZOULT est situé sur la route nationale n°11 à la daïra de Marssaâ 90 km au Nord-Ouest de la ville de Chlef. La figure III.5 montre la situation géographique de pont sur Oued TARZOULT.



Figure III.4 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : **Google MAP**)

➤ Données géotechniques

D'après les données géotechniques de l'ouvrage prise de la documentation bibliographique disponible est l'avis des experts, le sol du site est meuble du fait que le pont franchit d'un oued. Le degré de saturation en eau du sol est important, et étant que les fondations de l'ouvrage sont de type profond, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est très probable.

➤ **Données sismiques du site**

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scenario est celui d'El Asnam 1980, la valeur du PGA est 0,45 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$ (Voir § 2.2.8 chapitre II)

➤ **Données géométriques de l'ouvrage**

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopté est celui d'appui parasismiques (existence de butée sismiques). La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton armé est 5 à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est supérieure à 70 cm.

III.2.5 Pont sur oued ALLALA

➤ **Présentation de l'ouvrage**

L'ouvrage faisant partie de la RN11 est construit en 2015, il franchit oued ALLALA, il s'agit d'un pont isostatique en béton précontraint à deux travées. Le tablier a une longueur de 105,86 m et une largeur de 12 m. La figure III.6 montre le pont d'Oued ALLALA.

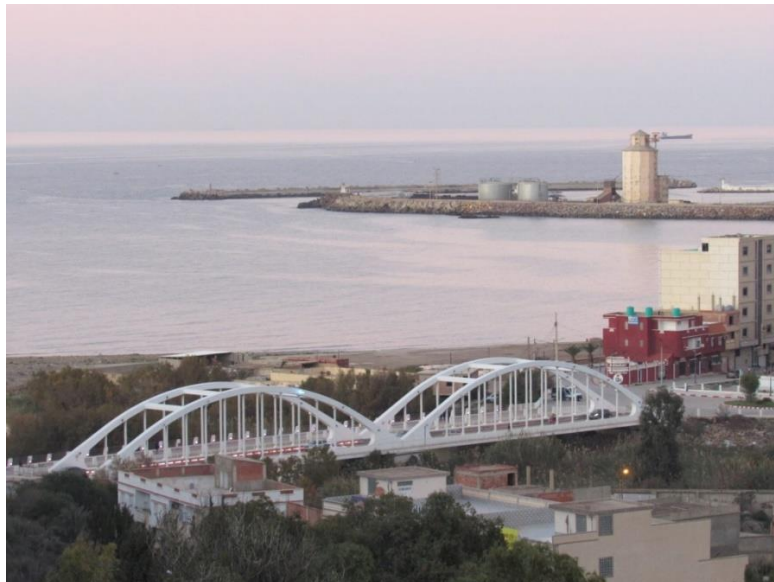


Figure III.5 : Vue de pont d'Oued ALLALA. (Source : <https://web.facebook.com/photo>)

➤ Situation géographique

Le pont sur Oued ALLALA est situé à la route nationale n°11 à Ténès à 50 km au Nord-Ouest de la ville de Chlef. La figure III.7 montre la situation de pont d'Oued ALLALA.



Figure III.6 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Données géotechniques

D'après les données géotechniques de l'ouvrage prise des sources bibliographiques disponibles, le sol du site est très meuble constitué essentiellement par des alluvions qui reposent sur une couche d'argile marneuse altérée par des bancs de schiste ardoisé très dur. Le degré de saturation en eau du sol est très important, voir complet (100%), et étant que les fondations de l'ouvrage sont de type profond, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est probable.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone a haute sismicité (zone III) selon le règlement parasismique Algérien (RPOA, 2010). Le séisme de scénario est celui d'El Asnam 1980, d'où la valeur du PGA est 0,45 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq MSK < 8,680$ (**Voir § 2.2.8 chapitre II**)

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec dispositif spécifique (prévention contre la chute des poutres) et le système antisismique adopté

est celui de prévention contre la chute des poutres. La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton armé est 5 à 10 mètres. (DTP, Chlef)

III.2.6 Pont de HARBIL (Damous)

➤ Présentation de l'ouvrage

Le pont de Harbil, localisé dans la commune de Damous wilaya de Tipaza, a été construit en 2002. Le pont franchit Oued HARBIL, il s'agit d'un pont isostatique à béton précontrainte à neuf travées. Le tablier a une longueur de 300 m et une largeur de 10 m. La figure III.8 montre le pont de HARBIL.



Figure III.7 : Vue de pont de HARBIL. (Source de l'image : DTP, Tipaza)

➤ Situation géographique

Le pont de Harbil est localisé dans la commune de Damous (wilaya de Tipaza) au point kilomètre 3 sur la route nationale n° 11. La figure III.9 la situation géographique de l'ouvrage.

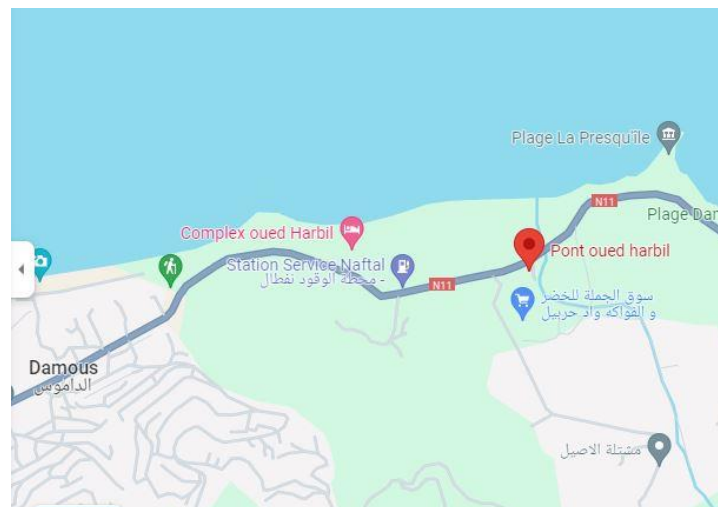


Figure III.8 : Situation géographique de l'ouvrage. (Source de l'image : Google MAP)

➤ Données géotechniques

D'après les données géotechniques de l'ouvrage prise de bibliographique disponible le sol du site est meuble du fait que le pont il franchit oued. Le degré de saturation en eau du sol est fort, et étant que les fondations de l'ouvrage sont de type superficiel, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est probable.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scenario est celui Chenoua 1989, la valeur du PGA est 0,41 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$ (Voir § 2.2.8 chapitre II)

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont les suivantes : Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopte est celui système d'appui parasismique. La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton arme est supérieure à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est inférieure à 70 cm.

III.2.7 Pont de MEURAD (Hadjout - Tipaza)

➤ Présentation de l'ouvrage

Le pont de MEURAD a été construit en 2005 et localisé dans la commune de Hadjout dans la wilaya de Tipaza, il s'agit d'un pont isostatique en béton armé à une seule travée. Le tablier a une longueur de 25 m et une largeur de 12 m. La figure III.10 montre le pont de MEURAD.



Figure III.9 : Vue de pont MEURAD. (Source de l'image : DTP, Tipaza)

➤ Situation géographique

Cet ouvrage est situé dans la commune de Hadjout à 15 km au sud de la wilaya de Tipaza. La figure III.11 montre la situation géographique de pont Meurad.

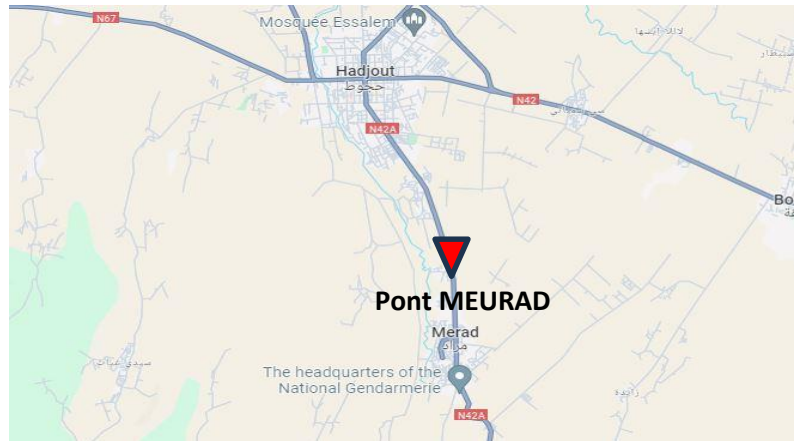


Figure III.10 : Situation géographique de l'ouvrage. (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Données géotechniques

D'après les données géotechniques de l'ouvrage, prise de bibliographie disponible, le sol du site est meuble du fait que le pont traverse un oued. Le degré de saturation en eau du sol est important, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est possible.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scénario est celui Chenoua 1989, la valeur du PGA est 0,41 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$ ([Voir § 2.2.8 chapitre II](#))

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopté est celui d'un appui parasismique (insistance de butée sismiques). La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton armé est supérieure à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est inférieure à 70 cm.

III.2.8 Pont de BOUKADIR (Menaceur – Tipaza)

➤ Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage franchit Oued BOUKADIR est construit en 1993, il s'agit d'un pont isostatique à béton armé à une seule travée. Le tablier a une longueur de 20,40 m et une largeur de 9,50 m. La figure III.12 montra le pont de BOUKADIR.



Figure III.11 : Vue de pont de BOUKADIR (Source de l'image : [DTP, Tipaza](#))

➤ Situation géographique

Le pont est situé dans la commune de Menaceur à Tipaza sur le chemin wilaya n°6. La figure III.13 montre la situation géographique de l'ouvrage.

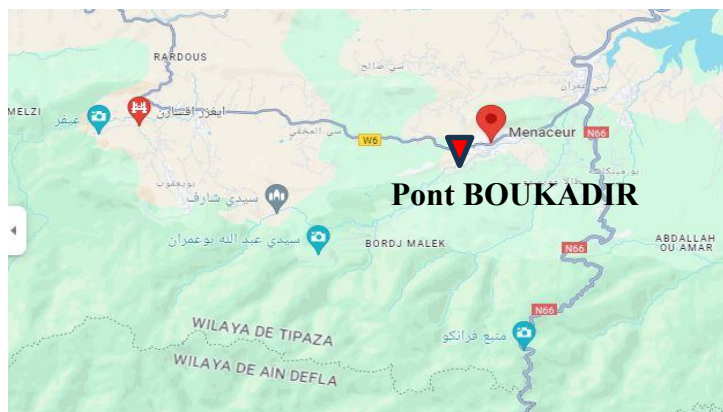


Figure III.12 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Données géotechniques

D'après les données géotechniques de l'ouvrage prise de bibliographique disponible le sol du site est meuble. Le degré de saturation en eau du sol est important, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est probable.

➤ Donnée sismique de site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scenario est celui Chenoua 1989, la valeur du PGA est 0,41 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq \text{MSK} < 8,680$ (Voir § 2.2.8 chapitre II)

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopté est celui d'appui parasismique. La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton armé est 5 à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est inférieure à 70 cm.

III.2.9 Pont M'KHADRIA (wilaya d'Ain Defla)

➤ Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage franchit oued M'khadria, il s'agit d'un pont isostatique en béton armé à trois travées. Le tablier a une longueur de 80 m et une largeur de 9 m. La figure III.14 montre le pont de M'KHADRIA.



Figure III.13 : Vue de pont M'KHADRIA. (Source de l'image : [Kibboua, 2012](#))

➤ Situation géographique

Le pont est situé sur le chemin de wilaya n°3 à M'khadria au nord-est de la wilaya de Ain Defla. La figure III.15 montre la situation géographique de pont M'KHADRIA.



Figure III.14 : Situation géographique de l'ouvrage (Source de l'image : [Google MAP](#))

➤ Donnée géotechnique

D'après les données géotechniques de l'ouvrage prise de sources bibliographiques disponibles, le sol du site est très meuble du fait que le pont traverse un oued. Le degré de saturation en eau du sol est fort, et étant que les fondations de l'ouvrage sont de type profond, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est possible qui est estimé à plus de 15.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scenario est celui de El Abadiya 1934, la valeur du PGA est 0,296 correspondant à une valeur MSK comprise entre $7,885 \leq MSK < 8,680$ ([Voir § 2.2.8 chapitre II](#))

➤ Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec dispositif spécifique et le système antisismique adopté est celui de prévention contre la chute des poutres système d'appui parasismique. La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton arme est 5 à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est supérieure à 70 cm.

III.2.10 Pont Sebaou (wilaya de Boumerdes)

➤ Présentation de l'ouvrage

Le pont de Sabaou localisé dans la wilaya de Boumerdes, il franchit oued Sabaou, il s'agit d'un pont isostatique en béton précontrainte à 7 travées. Le tablier a une longueur de 180 m et une largeur de 12 m. La figure III.16 montra le pont de SEBAOU.



Figure III.15 : Vue du pont SEBAOU. (Source de l'image : [Kibboua, 2012](#))

➤ Situation géographique

Le pont est situé à la wilaya de Boumerdes à l'ouest de Dellys au nord-est de la wilaya de Boumerdes. La figure III.17 montre la situation géographique de l'ouvrage.



Figure III.16 : Situation géographique de l'ouvrage. ([Google MAP](#))

➤ Données géotechniques

D'après les données géotechniques de l'ouvrage prise de sources bibliographiques disponible le sol du site est très meuble du fait que le pont traverse un oued. Le degré de Saturation en eau du sol est considérable, et étant que les fondations de l'ouvrage sont de type profond, par conséquent on considère que le potentiel de liquéfaction est très probable.

➤ Données sismiques du site

Le pont est situé dans une zone de sismicité III (RPOA, 2010), le séisme de scenario est celui de Boumerdes 2003, la valeur du PGA est 0,52 correspondant à une valeur MSK comprise entre $8,680 \leq \text{MSK} < 9,475$ ([Voir § 2.2.8 chapitre II](#))

III.2.10.5 Données géométriques de l'ouvrage

Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont prises des données bibliographiques disponibles. Il s'agit de poutres simples (isostatiques), d'un type d'appui avec une bonne conception et le système antisismique adopté est celui d'appui parasismique. La hauteur maximale des appuis (piles et culées) qui sont en béton arme est 5 à 10 mètres. Enfin, la largeur minimale de l'assise des poutres est supérieure à 70.

III.3 Conclusion

Ce troisième chapitre de notre mémoire de fin d'étude a été consacré à la présentation des ponts pris comme cas d'étude. L'échantillon des ouvrages étudiés est constitué de dix ponts, dont cinq sont situés sur le littoral de la wilaya de Chlef, trois sont situés à la wilaya de Tipaza, un a la wilaya de Boumerdes et un dernier pont est situé dans la wilaya de Ain Defla. Les dix cas de ponts étudiés sont situés dans des zones à haute sismicité (zone III) selon la classification du règlement parasismique Algérien (RPOA, 2010). Cependant, quatre scenarios sismiques ont été pris en considération en fonction de la localisation des ponts, ce qui nous a permis de considérer différentes intensités sismiques sur l'échelle MSK.

CHAPITRE IV:
RÉSULTATS ET
DISCUSSION

IV.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus suite à l'évaluation de la vulnérabilité sismique de l'échantillon de ponts considérés dans ce mémoire et discute ces résultats. L'évaluation est faite en suivant la méthodologie exposée en chapitre II, la méthode japonaise Katayama, qui permet le classement des degrés d'endommagement (faible probabilité, moyenne probabilité et forte probabilité d'endommagement).

Deux cas de figure sont comparés ; le premier cas aborde les ponts conçus avec l'ancienne conception parasismique, c'est-à-dire avant l'application du règlement RPOA 2010. Le second cas est celui d'une conception avec l'application du règlement RPOA 2010, qui s'applique aux ponts réalisés après la date d'application de ce règlement. Pour fins de comparaison, les résultats de ces deux cas sont exposés et discutés dans ce chapitre

IV.2 Présentation des résultats

Après avoir attribué à chacun des onze paramètres rentrant dans l'évaluation de la probabilité d'endommagement des dix ponts étudiés, et après avoir fait tous les calculs nécessaires à cette évaluation, les résultats trouvés sont présentés dans les sous titres suivants.

L'appréciation par catégorie montrée au tableau est donnée à chaque catégorie en tant que facteur de poids statistique (coefficient de pondération)

IV.2.1 Résultats d'Évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts situés dans la wilaya de *Chlef*

➤ Pour pont de Oued *Mellah*

Le tableau IV.1 expose les résultats du calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Oued *Mellah* selon les données collectées et exposées dans le chapitre précédent. Les valeurs attribuées permettent d'apprécier l'indice de vulnérabilité sismique 'Iv' de ce pont. Ce dernier étant calculé par l'équation (II-3).

Tableau IV.1 Résultats d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Mellah.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appui (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	Supérieure à 10 m	1,70
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Autres superficiel	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	30,36

➤ **Pour pont de Oued Rib El Hamra**

Selon les données collectées et exposées dans le chapitre précédent, les critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Oued Rib El Hamra donnent les résultats résumés dans le tableau IV.2. Ces valeurs permettent d'estimer l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont en traitant l'équation (II-3).

Tableau IV.2 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont de Oued Rib El Hamra.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appui (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	Supérieure à 10 m	1,70
Nombre de travées	2travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Autres superficiel	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	30,36

➤ Pour pont de Oued *Outar*

Le tableau IV.3 précédant montre les résultats du calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Oued Outar suivant les données collectées et exposées dans le chapitre précédent. Et par les valeurs attribuées, on peut apprécier de l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont calculé par l'équation I-3.

Tableau IV.3 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued *Outar*.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appuis (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	Supérieure à 10 m	1,70
Nombre de travées	2travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Autres	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	30 ,36

➤ **Pour pont de Oued Tarzoult**

A partir des données collectées et exposées dans le chapitre précédent, le calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Oued Tarzoult est illustré dans le tableau IV.4, et par conséquent, les valeurs attribuées sont susceptibles de juger l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont, qui est calculé par l'équation II-3.

Tableau IV.4 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued Tarzoult

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / alluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL < 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Ordinaire (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Pieux	1,40
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	33,75

➤ **Pour pont de Oued *Allala***

Le tableau IV.5 expose les résultats du calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Oued *Allala* selon les données collectées et exposées dans le chapitre précédent. Les valeurs attribuées permettent d'apprécier l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont. Ce dernier étant calculé par l'équation (II-3).

Tableau IV.5 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont d'Oued *Allala*.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol très meuble : sol / alluvial sédimentaire	1,80
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction : $15 \leq PL$	2,00
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Avec dispositif spécifique (prévention contre la chute des poutres)	0,60
Système antisismique	Système de prévention contre la chute des poutres	0,60
Hauteur max. de culée/pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Pieux	1,40
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	l'indice de vulnérabilité	21,60

IV.2.2 Résultats d'Évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts situés dans la wilaya de Tipaza

➤ Pour pont de *Harbil (Damous)*

A partir des données collectées et exposées dans le chapitre précédent, le calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Harbil est illustré dans le tableau IV.6, et par conséquent, les valeurs attribuées sont susceptibles de juger l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont, qui est calculé par l'équation II-3.

Tableau IV.6 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont de *Harbil (Damous)*

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appuis (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	Supérieure à 10 m	1,70
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,00
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Etroite : inférieur à 70 cm	1,20
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Autres	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	26,02

➤ **Pour pont de Meurad (Hadjout)**

Selon les données collectées et exposées dans le chapitre précédent, les critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de Meurad donnent les résultats résumés dans le tableau IV.7. Ces valeurs permettent d'estimer l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont en traitant l'équation (II-3).

Tableau IV.7 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité pont de *Meurad* (Hadjout).

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appuis (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	Supérieur à 10 m	1,35
Nombre de travées	1 travée	1,00
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Etroite : inférieur à 70 cm	1,20
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Autres	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	20,66

➤ **Pour pont de *Boukadir (Menaceur)***

Le tableau IV.8, expose les résultats du calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de *Boukadir* selon les données collectées et exposées dans le chapitre précédent. Les valeurs attribuées permettent d'apprécier l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont. Ce dernier étant calculé par l'équation (II-3).

Tableau IV.8 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité de pont de *Boukadir (Menaceur)*.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,50
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appuis (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,00
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Étroite Inférieure à 70 cm	1,20
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Autres	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	20,66

IV.2.3 Évaluation de la vulnérabilité sismique de pont *M'khadria (Ain Defla)*

A partir des données collectées et exposées dans le chapitre précédent, le calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de M'khadria est illustré dans le tableau IV.9, et par conséquent, les valeurs attribuées sont susceptibles de juger l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont, qui est calculé par l'équation II-3.

Tableau IV.9 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité de pont *M'khadria*.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol très meuble : sol / Alluvial sédimentaire	1,80
Potentiel de liquéfaction	Liquéfaction : $15 \leq PL$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Avec dispositif spécifique (prévention contre la chute des poutres)	1,00
Système antisismique	Système de prévention contre la chute des poutres	0,60
Hauteur max. de culée/pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$7,885 \leq MSK < 8,680$	2,10
Type de fondation	Pieux	1,40
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	27,00

IV.2.4 Évaluation de la vulnérabilité sismique de pont *Sebaou (Boumerdes)*

A partir des données collectées et exposées dans le chapitre précédent, le calcul des critères d'appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité sismique du pont de *Sebaou* est illustré dans le tableau IV.10, et par conséquent, les valeurs attribuées sont susceptibles de juger l'indice de vulnérabilité sismique "Iv" de ce pont, qui est calculé par l'équation II-3.

Tableau IV.10 Appréciation des paramètres d'évaluation de la vulnérabilité de pont *Sebaou*.

Rubriques	Catégories	Appréciation par catégorie
Type de sol	Sol meuble : sol / diluvial sédimentaire	1,5
Potential de liquéfaction	Liquéfaction possible : $0 \leq PL \leq 15$	1,50
Type de poutre	Simple	3,00
Type d'appui	Appuis (avec une bonne conception)	1,00
Système antisismique	Appui parasismique	0,90
Hauteur max. de culée/pile	5 à 10 m	1,35
Nombre de travées	2 travées ou plus	1,75
Largeur min. de l'assise du tablier de pont	Largeur : 70 cm ou plus	0,80
Échelle d'intensité sismique (MSK)	$8.680 \leq MSK < 9.475$	2,4
Type de fondation	Autres	1,00
Matériaux de la culée / pile	Béton armé	1,00
	L'indice de vulnérabilité	27,55

IV.3 Discussion des Résultats

Afin d'appréhender et de faciliter la lecture des résultats du calcul de l'indice de vulnérabilité sismique calculé, les ponts considérés sont répertoriés selon leurs localisation géographique.

IV.3.1 Ponts situés dans a wilaya de Chlef

Concernant l'échantillon de ponts situés dans la wilaya de Chlef, les résultats trouvés sont récapitulés et présentés sous la forme de l'histogramme de la figure IV.1.

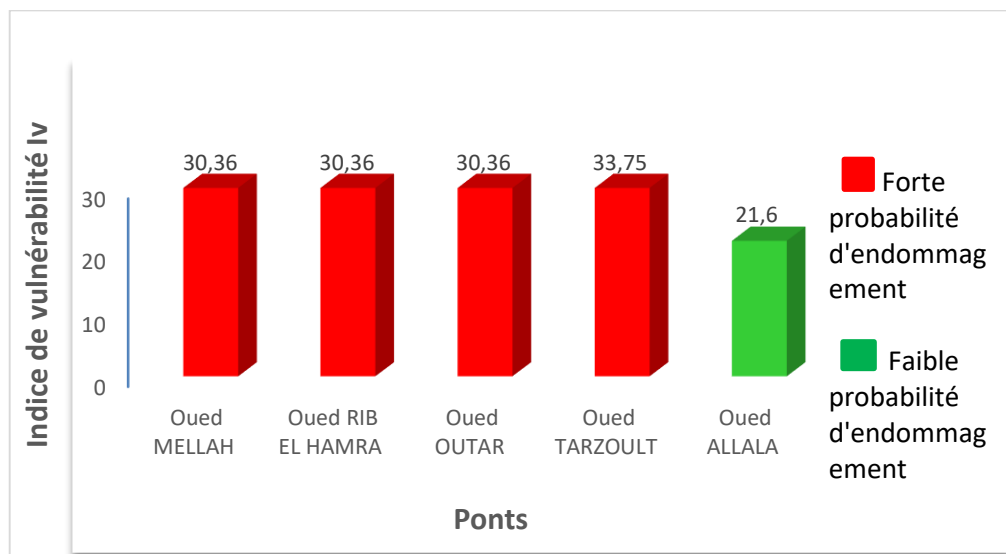


Figure IV.1 : Résultats de l'évaluation de l'indice Iv des ponts situés dans la wilaya de *Chlef*

A travers la figure IV.1 ci-dessus, on peut lire les valeurs trouvées de l'indice de vulnérabilité sismique « Iv » des ponts situés dans la wilaya de Chlef. Il est à noter que quatre sur les cinq ponts constituant l'échantillon de ponts considérés ont un indice de vulnérabilité supérieure à trente. D'où, 80% de ces ponts sont classés dans la classe dite « Forte probabilité d'endommagement ». Il s'agit notamment des ponts construits avant la date d'apparition, et donc, d'application du règlement parasismique algériens (RPOA 2010). A l'opposé, l'unique pont réalisé après cette date, celui d'Oued ALLALA, a un indice Iv inférieure à 22, ce qui classe ce pont dans une faible classe d'endommagement selon la méthode *Katayama* adoptée dans ce travail.

IV.3.2 Ponts situés dans a wilaya de Tipaza

L'histogramme de la figure IV.2, présente les résultats du calcul de l'indice de vulnérabilité sismique I_v calculé pour l'échantillon de ponts situés dans la wilaya de Tipaza.

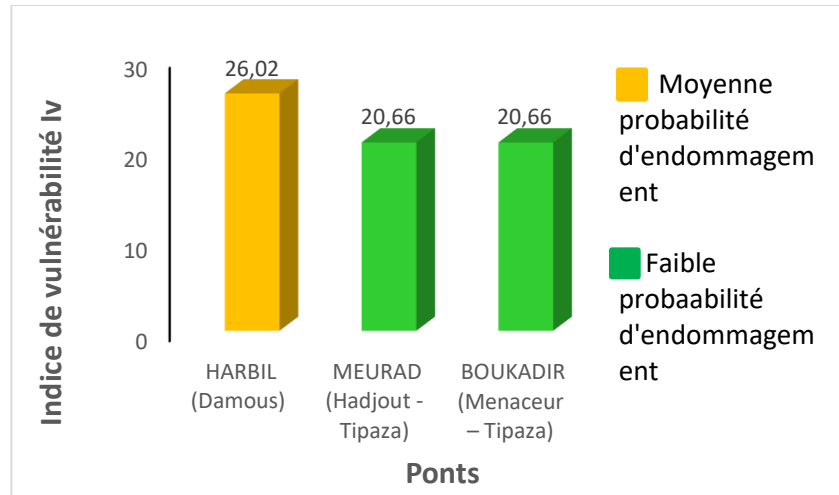


Figure IV.2 : Résultats de l'évaluation de l'indice I_v des ponts situés dans la wilaya de *Tipaza*

A travers la figure IV.2 ci-dessus, on peut lire les valeurs trouvées de l'indice de la vulnérabilité sismique « I_v » des ponts situés dans la wilaya de *Tipaza*. Il est à noter que deux sur les trois ponts constituant l'échantillon de ponts considérés ont un indice de vulnérabilité inférieure à 22. D'où, 66% de ces ponts sont classés dans la classe « Faible probabilité d'endommagement ». A l'opposé, l'unique pont celui de *Boukadir* a un indice I_v de valeur comprise entre vingt-deux et trente ($22 \leq I_v < 30$), ce qui classe ce pont dans une classe de « Moyenne probabilité d'endommagement » selon la méthode *Katayama* adopté dans ce travail.

IV.3.3 Ponts situés dans a wilaya de *Ain defla*

L'histogramme de la figure IV.3, présente les résultats du calcul de l'indice de vulnérabilité sismique I_v calculé pour l'échantillon de pont situés dans la wilaya d'Aine Defla

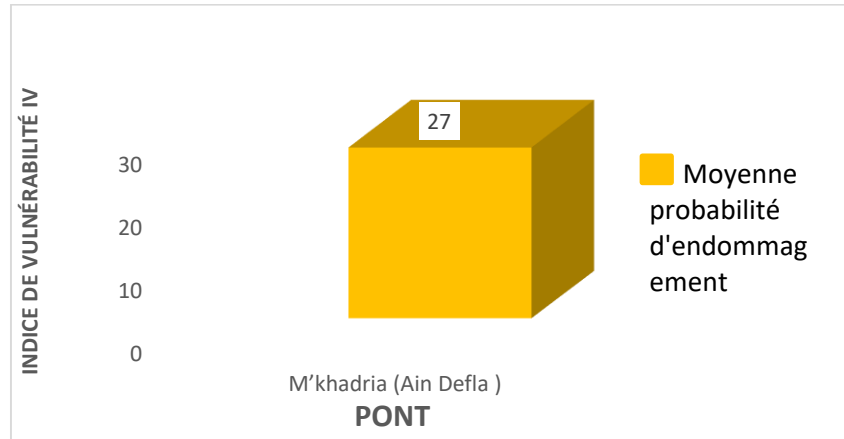


Figure IV.3 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV du pont situé dans la wilaya d'Aine Defla

A travers le résultat obtenu ci-dessus. Il est à noter que, le pont *M'khadria* a un indice I_v entre vingt-deux et trente ($22 \leq I_v < 30$), ce qui classe ce pont dans une classe dite « Moyenne probabilité d'endommagement » selon la méthode *Katayama* adopté dans ce travail.

IV.3.4 Ponts situés dans a wilaya de sebaou (*Boumerdes*)

L'histogramme de la figure IV.4, présente les résultats du calcul de l'indice de vulnérabilité sismique I_v calculé pour l'échantillon de pont situés dans la wilaya de Boumerdes.

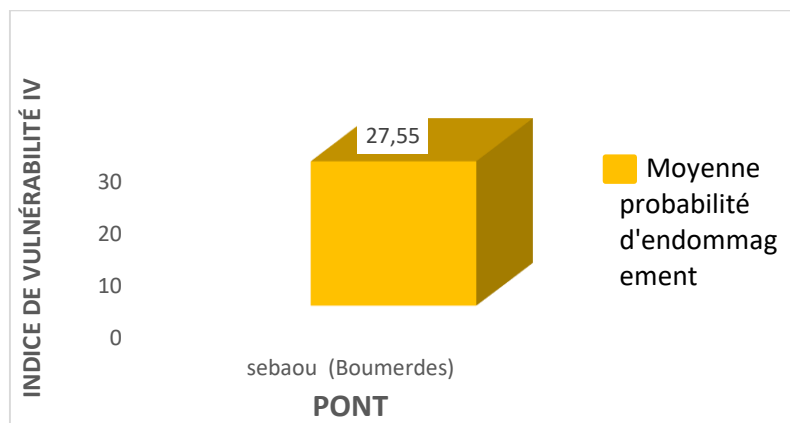


Figure IV.4 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV du pont situé dans la wilaya de Boumerdes

A travers le résultat obtenu ci-dessus. Il est à noter que, le pont *Sebaou* a un indice I_v entre vent deux et trente ($22 \leq I_v < 30$), ce qui classe ce pont dans une classe dite « Moyenne probabilité d'endommagement » selon la méthode *Katayama* adopté dans ce travail

IV.4 Récapitulatif des résultats trouvés pour les dix ponts étudiés

Tous les résultats des calculs trouvés pour l'évaluation de l'indice de vulnérabilité I_v pour les dix ponts considérés dans ce travail de fin d'étude, sont récapitulés dans la section ci-dessous.

IV.4.1 Moyenne de l'indice de vulnérabilité I_v

Afin d'apprécier la valeur moyenne de l'indice de vulnérabilité I_v des dix ponts considérés dans ce travail, la moyenne de cet indice est calculée pour chaque échantillon de ponts localisé dans l'une des quatre wilayas (Chlef, Tipaza, Boumerdes et Ain Defla). A titre d'exemple, pour les cinq ponts situés dans la wilaya de Chlef, la moyenne de l'indice I_v est calculée par l'équation (IV.1) :

$$M = \sum_{i=1}^5 I_{vi} / 5 \quad (\text{IV-1})$$

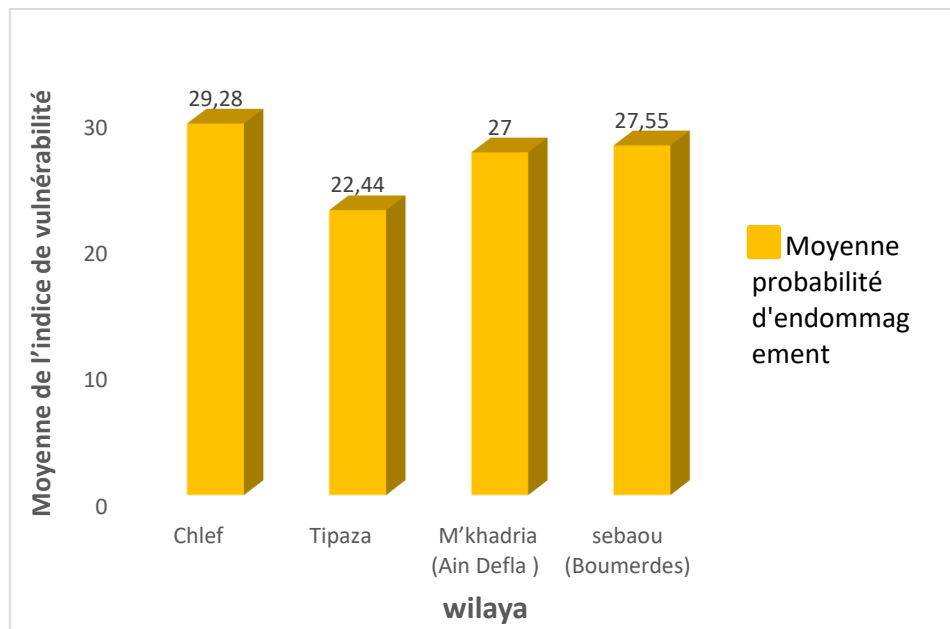


Figure IV.5 : Résultats de moyenne d'indice de vulnérabilité I_v des dix ponts étudiés

A travers la figure IV.5 ci-dessus, on peut lire les valeurs trouvées de l'indice de vulnérabilité sismique « Iv » des dix cas étudié. Il est à noter que les cinq ponts situés dans la wilaya de *Chlef* ont une moyenne d'indice de vulnérabilité de 29,28 reste inférieure à trente, ce qui indique qu'en moyenne la probabilité d'endommagement de ces ponts est de classe moyenne.

De même, pour les ponts situés dans la wilaya de *Tipaza*, la moyenne de l'indice de vulnérabilité Iv est de 22,44 et reste inférieure à trente, ce qui montre qu'en moyenne la probabilité d'endommagement de ces ponts est de classe moyenne.

Enfin, pour les deux ponts de *Ain-defla* et de *Boumerdes* ayant des indices de vulnérabilité Iv de 27 Et 27,55 respectivement, et par conséquent sont également classés dans la classe dite « Moyenne probabilité d'endommagement »

IV.4.2 Résultats de l'évaluation de l'indice IV des dix ponts étudiés

Afin d'appréhender et de faciliter la lecture des résultats du calcul de l'indice de vulnérabilité sismique calculé pour l'échantillon des dix ponts étudiés, présentés ci-dessus, ces derniers sont récapitulés et présentés sous la forme de graphique circulaire de la figure IV.6

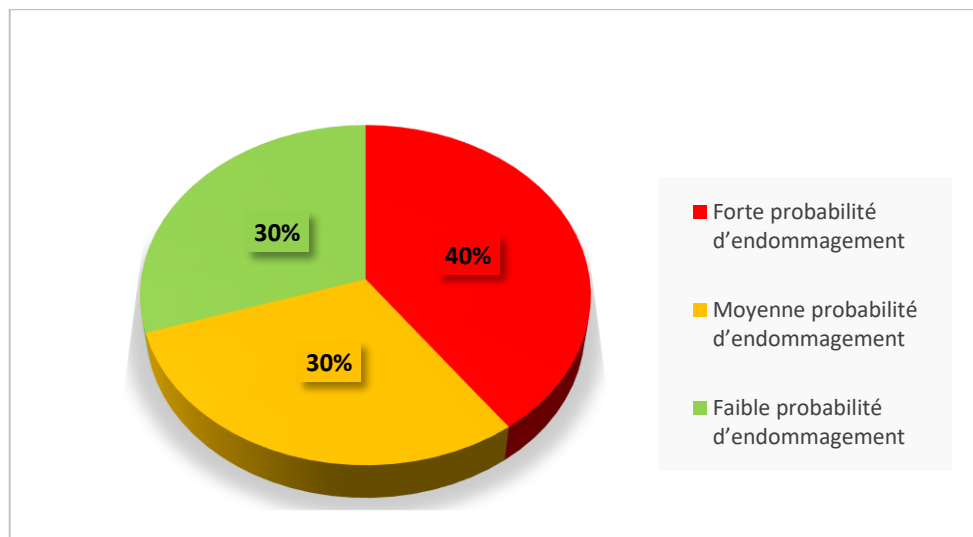


Figure IV.6 : Résultats de l'évaluation de l'indice IV des dix ponts étudiés

Nous constatons que :

- 40% des ponts évalués ont une forte probabilité d'endommagement.
- 30% des ponts évalués ont une moyenne probabilité d'endommagement.
- 30% des ponts évalués ont une faible probabilité d'endommagement.

Après la comparaison entre les résultats obtenus des dix cas étudiés nous constatons que le pourcentage des ponts à moyenne et faible probabilité d'endommagement est un cas qui s'applique aux ponts ayant une conception parasismique, c'est à dire avec l'application du règlement RPOA 2010. Le second cas, qui est celui des ponts à forte probabilité d'endommagement, est retrouvé pour les ponts non conçu avec selon le règlement RPOA 2010.

IV.3 Conclusion

Ce dernier chapitre du mémoire a présenté et discuté les résultats d'évaluation l'indice de vulnérabilité des dix ponts situés dans quatre wilayas du pays, à savoir wilaya de Chlef, wilaya de Tipaza, wilaya de Boumerdes et la wilaya d'Ain-defla, en utilisant la méthode de Katayama.

Après la comparaison des résultats obtenus de l'application faites sur les ponts étudiés, on a remarqué que les ponts situés dans la wilaya de Chlef sont classés dans la classe de forte probabilité d'endommagement, il s'agit notamment des ponts construits avant la date d'apparition, et donc, d'application du règlement parasismique algériens (RPOA 2010), par contre les autres wilayas ont une classe de moyenne probabilité d'endommagement.

COCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Les ponts sont des ouvrages d'art dont la conception, l'étude et la réalisation nécessitent du temps et de l'argent. Aussi leurs pérennité doit être assurées étant donné leur rôle dans la vie économique et leur coût. Cette pérennité est sans cesse remise en question vu les conditions du trafic et les aléas naturels, dont le séisme qui est l'un des plus dévastateurs. D'où, afin de se prévenir de ses effets néfastes, des études de vulnérabilité doivent être menées.

L'évaluation de la vulnérabilité sismique des ouvrages est une étude essentielle dans le procédé de gestion du risque sismique. En utilisant la méthode Japonaise "KATAYAMA" on a pu évaluer la vulnérabilité sismique des 10 ponts situés dans la wilaya de Chlef, Tipaza, Boumerdes et Ain Defla. Cette évaluation a été faite en adoptant quatre différents scénarios sismiques : celui d'El Asnam 1980, celui de Chenoua 1989, celui de Boumerdes 2003 et finalement celui de El Abadiya 1934.

Le travail effectué dans cette investigation, nous a menés aux principales conclusions suivantes :

- 40% des ponts évalués ont une forte probabilité d'endommagement.
- 30% des ponts évalués ont une moyenne probabilité d'endommagement.
- 30% des ponts évalués ont une faible probabilité d'endommagement.

Après l'analyse et la comparaison des résultats obtenus pour les dix cas de ponts étudiés, il est constaté que le pourcentage des ponts à moyenne et faible probabilité d'endommagement est un cas qui s'applique aux ponts ayant une conception parasismique, c'est à dire avec l'utilisation du règlement RPOA 2010. Le second cas, qui est celui des ponts à forte probabilité d'endommagement, est retrouvé pour les ponts non conçus selon le règlement RPOA 2010, c'est-à-dire ceux réalisés avant 2010.

D'autre part, en comparant les résultats de l'application présentée dans ce mémoire, on a déduit que la classe des ponts situés dans la wilaya de Chlef et dont le nombre s'élève à cinq ponts est celle d'une forte probabilité d'endommagement. Par contre, les ponts situés dans les autres wilayas ont tous une classe moyenne de probabilité d'endommagement.

En outre, il est à souligner que trois paramètres rentrant dans l'évaluation de l'indice d'endommagement proposé par la méthode, ont un fort impact sur le résultat de l'évaluation. Ces paramètres concernent d'abord le niveau de l'intensité MSK du séisme considéré, le niveau

de la conception parasismique structurelle du pont en question et le potentiel de liquéfaction du sol d'assise de l'ouvrage étudié, qui est une donnée rarement disponible car nécessitant une investigation et une évaluation géotechnique. Enfin, afin de faciliter l'utilisation de la méthode KATAYAMA dans des contextes géographiques autres que le Japon, il est recommandé aux prochaines promotions d'étudiants en Master VOA d'entamer une étude visant la mise au point d'une nouvelle version de cette méthode, qui utilisera d'autres paramètres sismiques, tels que le PGA, la magnitude ou l'intensité EMS, beaucoup plus utilisés et disponibles en Algérie que l'intensité MSK qui reste utilisée au Japon.

Références Bibliographique

- Ambraseys NN** (1981). "The El Asnam (Algeria) Earthquake of October 10, 1980: Conclusions Drawn from a Field Study. " *Quarterly Journal of Engineering Geology* 14:143-148. Doi: 10.1144/GSL.QJEG.1981.014.02.05
- Ambraseys NN, Douglas J, Sarama SK, Smit PM** (2005). "Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration". *Bulletin of Earthquake Engineering* 3 :1–53
- Belmouden Y & LestuzziS P.** " Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en suisse ". Ecole Polytechnique Fédérale De Lausanne -EPFL, Informatique Et Mécanique Appliquées A La Construction –IMAC, Lausanne, 28 Avril, 2006.
- Bensaïbi M & Djemai M C,** "Scenario sismique pour les ponts de la région de Tipaza". AFPS, 2015
- Bertero V& Shah H (1983).** " El-Asnam, Algeria Earthquake of October 10, 1980. A Reconnaissance and Engineering Report ". Earthquake Engineering Research Institute, 1983, p 210.
- Boutaraa Z** " La gestion du risque sismique dans la ville de Chlef -Algérie- " Mémoire de Projet Professionnel CES,2013
- Boutaraa Z.** " Evaluation De La Vulnérabilité Sismique Des Ponts De La Wilaya De Chlef " Mémoire de Magister, 2010
- Boutaraa Z.** " Evaluation de la Vulnérabilité Sismique Urbaine et Renforcement de Sol comme Outils de Gestion du Risque Sismique dans la Ville de Chlef (Algérie) ". Thèse de doctorat, Université UHBC Chlef, 2018.
- Boutaraa Z.** " Cours de génie parasismique " Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 2022
- Bouziadi F.** "Cours de Conception des ponts", Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 2023
- Breyse D.**(2009a). "Maitrise des Risques en Génie Civil", Volume 1. Ed, Hermès- Lavoisier, p 222
- CGS (2006).** A study of Seismic Micro zoning of the Wilaya of Algiers in the People's Democratic Republic of Algeria, final report
- Davi D. & Schmitt P.** (2003). " Une méthode d'estimation rapide de la vulnérabilité des ponts aux séismes". *Bulletin Ouvrages d'art du Service d'études techniques des routes et autoroutes*, vol. 43, p. 22-29.
- Djemai M C** " Estimation de l'indice de vulnérabilité sismique pour les ponts " Mémoire de magister, Université de Saad Dahleb Blida, 2010.

- Duco F** (2012). "Méthodologies d'Evaluation de la Vulnérabilité Sismique de Bâtiments Existants à partir d'une Instrumentation in situ". Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, p 164.
- Fema H M.** (2003). Mr3 technical manual Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model. NormeFEMA. Washington, DC.
- Galy B.** " Effets de la catégorisation sismique des sites sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts de la ville de Québec". Thèse de M. ING, Ecole De Technologie Supérieure, Université Du Québec, 2009
- Hida H.** " Evaluation de la vulnérabilité sismique des ponts et viaducs "M. ING, école de technologie supérieure université du Québec, 2009
- Idesir C & Dece F.** Cours : Ouvrage d'art, Construction d'un pont. Université de lumière, Haïti, 2010
- Jean-marie S,** "Les ponts d'hier et d'aujourd'hui", Editions Maé, 2006.
- John B. Mander,** " Fragility Curve Development for Assessing the Seismic Vulnerability of Highway Bridges " University at Buffalo, State University of New York, 1999
- Karim K R & Yamazaki F** "Comparison of empirical and analytical fragility curves for PC bridge piers in Japan", 8th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, ASCE, 2000, Paper N°. PMC 2000-050, 2000.
- Kibboua A,** "Analyse Dynamique sous Vibration Ambiante d'un Pont a Haubans Sur Oued Dib Mila ". Mémoire de Magistère. Entp. 2007.
- Kibboua A, Mehani Y, Naili M.** " Vulnerability assessment of reinforced concrete bridge structures in Algiers using scenario earthquakes ". Bull Earthquake Eng., vol. 12, 2013, p. 807-827.
- Kibboua A, Naili M, Benouar DJ** "Méthode d'estimation de la vulnérabilité sismique des ponts à poutres isostatiques en béton armé". AFPS, 2015
- Kibboua A.** "Développement d'une méthodologie d'analyse pour la vulnérabilité sismique des piles de ponts algériens «. Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, 2012
- Ksouri M & Lassoued J.** "Pont à poutres en BA sur Oued Béja ". Mémoire de master, Ecole Nationale d'Ingénieurs de SFAX, Tunisie ,2013

Kubo K & Katayama T " A simple method for evaluating seismic safety of existing bridge structures ". Proceedings of the Sixth World Conference on Earthquake Engineering, India: Sarita Prakashan, 1977.

Marie-José, Amar, Khaled, Denis, " Microzonage et vulnérabilité sismique des ponts de la Ville de Québec ". Département de génie de la construction, École de technologie supérieure, Département de génie civil, Université Laval, mai 2007.

Naili M & Benouar D. "Contribution à L'évaluation de L'aléa Sismique du Site d'Alger et ses environs". Vies de Villes n°4, Février 2006, p. 60-64.

RPOA-2010. " Règles parasismiques applicables au domaine des Ouvrages d'Art". Document Technique Réglementaire, MTP, Alger, 2010

SETRA, "Image de la Qualité des Ouvrages d'Art (IQOA) ". Classification des ouvrages, Mai 2003.

SETRA. (2003). " Ouvrages d'art ", Bulletin n°43.

Shinouzuka M H. "Nonlinear static procedure for fragility curve development". Journal of Engineering Mechanics, 126(12), 1287-1296, 2000.

Sites Internet :

SLIMANI.D. "Analyse du risque sismique des réservoirs surélevés par la méthode de l'indice de vulnérabilité " Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 2013

Tavares H. "Évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts routiers au Québec à l'aide des courbes de fragilité". Thèse de doctorat, Université de Sherbrook, 2012

Taylor N, Guide for the Use of International system of Units (SI), 1995, NIST Special Publication 811, [Appendix B](#). accessible de:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Gal_\(unit\)\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gal_(unit)))

Sites Internet:

<http://azurseisme.free.fr>

<https://www.cerema.fr/ponts-courants>

<https://www.lepoint.fr>

<https://www.ouvrages-arts.com>

<https://www.stantec.com/bridges>

www.univ-chlef.dz