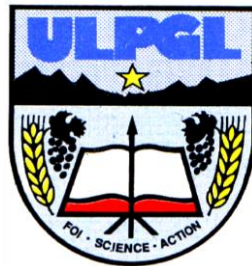


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

FACULTE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE
L'EFICACITE DES FONDATIONS DANS
LES ZONES SISMIQUES.**

Par : **KULONDWA LWIGULIRA Anselme**

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention du
Diplôme de Bachelor en Sciences de l'ingénieur

Option : Génie Civil

Directeur : Prof Dr AMBOKO MUHIWA

Encadreur : CT. Ir Ally ALINABIWE

ANNÉE ACADÉMIQUE 2022 - 2023

Epigraphe

« Les fondations solides sont les bases sur lesquelles s'élèvent les réalisations durables. »

Ralph Waldo Emerson

Dédicaces

A nos parents, Célestin BANYWESIZE et Jeannine NABINTU

A NYAKURA BANYWESIZE et MUNYERENKANA MAROY

KULONDWA LWIGULIRA Anselme

Remerciements

La mise au point du présent travail est fruit d'un effort combiné de plusieurs personnes qui méritent bel et bien nos reconnaissances.

Nos remerciements les plus profonds s'adressent en premier lieu à l'Éternel Dieu de grâce qui est la source et le maître non seulement de notre vie mais également de toute bonne œuvre que nous puissions accomplir.

Nos sentiments de pleine gratitude au Dr AMBOKO qui a accepté de diriger ce travail en dépit de ses multiples occupations et au Chef des Travaux Ingénieur Ally ALINABIWE pour son encadrement rigoureux.

Nos distinguées reconnaissances se méritent aux autorités académiques de l'ULPGL, de manière particulière à celles de la Faculté des Sciences et des Technologies Appliquées pour la formation de qualité qu'elles nous ont assuré.

Nos remerciements de gratitude restent dignes à nos frères et sœurs Anatole Amato, Aristote BONANE, Alliance MUSIMWA, Adeline RHUSHENGE, Alice NYENYEZI, ZIRINGA Inès, TWALI Isaac, AMPIRE Jean, NTAYOLIKAMUNGU René, BINJA Marie reine, BINTU Gift, ZIRUKA Chancy, Fabien ILUNGA, Abigaël EKAME, Armand SAFARI, Daniel SAFARI, Benjamin RIO, DIEMERCI SHAMAMBA et Samuel, qui nous ont aidé d'une manière ou d'une autre à arriver au terme de ce travail.

Il serait une erreur de terminer cette section sans remercier tous nos camarades étudiants et aînés pour leur impeccable soutien, entre autres : MALUNGA KATSUKWA Alife, Georges SAFARI, BARIBUTSA BARAKA etc...

KULONDWA LWIGULIRA Anselme

Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'analyse de l'efficacité des fondations dans les zones sismiques. Cette étude bibliographique vise à examiner et à évaluer les différentes techniques de fondations utilisées dans les zones sismiques, en se basant sur des recherches antérieures et des études de cas.

Le mémoire se penchera sur les principaux aspects liés à l'efficacité des fondations, tels que leur capacité à résister aux forces sismiques, leur comportement en termes de déformation et de stabilité, ainsi que leur influence sur la réponse dynamique des structures. Il examinera également les facteurs de conception et les considérations géotechniques spécifiques aux zones sismiques.

L'objectif final de cette étude bibliographique est de fournir une synthèse des connaissances actuelles sur l'efficacité des fondations dans les zones sismiques, en mettant en évidence les meilleures pratiques et les recommandations pour une meilleure efficacité et une construction optimales des fondations dans ces contextes.

Mots Clés :

- Fondation
- Zones sismiques
- Efficacité
- Etude bibliographique

Abstract

This dissertation focuses on the analysis of the effectiveness of foundations in seismic zones. This literature review aims to examine and evaluate the various foundation techniques used in seismic zones, based on previous research and case studies. The dissertation will delve into key aspects related to foundation effectiveness, such as their ability to withstand seismic forces, their behavior in terms of deformation and stability, as well as their influence on the dynamic response of structures. It will also explore design factors and specific geotechnical considerations in seismic zones. The ultimate goal of this literature review is to provide a synthesis of current knowledge on the effectiveness of foundations in seismic zones, highlighting best practices and recommendations for high efficiency and construction of foundations in these contexts.

Key Words :

- Foundations
- Seismic Zones
- Efficiency
- Literature Review

Table des matières

Epigraphe	ii
Dédicaces	iii
Remerciements.....	iv
Résumé.....	v
Abstract	vi
. Introduction générale	1
1. Contexte	1
2. Problématique	2
3. Questions de recherche	2
4. Formulation des hypothèses.....	2
5. Justification du choix du sujet et motivations.....	3
6. Énoncé des objectifs de recherche	3
7. Méthodologie	3
8. Subdivision du travail	4
Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique	5
1.1 INTRODUCTION	5
1.2 LES SEISMES	5
I.2.1 Origine [2]	5
I.2.2 Quantification	7
I.2.3 Magnitude [8]	7
I.2.4 Intensité.....	8
1.3 LES FONDATIONS DANS LES ZONES SISMIQUES [10]	9
I.3.1 Connaissance du comportement des constructions [11].....	9
I.3.2 Les forces à équilibrer dans un bâtiment pendant un séisme [11].....	9
I.3.3 Les force d'inertie [11]	10
1.4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES	12

I.4.1 Conception parasismique [12]	12
I.4.2 Principes de conception parasismique [13]	12
I.4.3 Conception en performance [13]	12
I.5 OBSERVATIONS POST-SISMIQUES [11]	13
I.6 CONCLUSION PARTIELLE	16
Chapitre 2 : PROBLEMES DES CONSTRUCTIONS DANS LES ZONES SISMIQUES	17
2.1 INTRODUCTION	17
2.2 ENJEUX ET VULNERABILITES SISMIQUES [8]	17
2.2.1 Aléa sismique [8]	18
2.2.2 Vulnérabilités sismiques [8].....	18
2.3 EFFET INDUIT PAR LE SEISME	19
II.3.1 Tassement [14]	19
2.3.2 Déformation des fondations [15]	19
2.3.3 Influence de la hauteur [16]	20
2.4 CONCLUSION PARTIELLE.....	20
CHAPITRE 3 : ANALYSES APPROFONDIES DES FONDATIONS DANS LES ZONES SISMIQUES	21
3.1 INTRODUCTION	21
3.2 CHOIX DES MATERIAUX	21
3.2.1 Critères pour le Choix des Matériaux :	21
3.2.2 Exemples de Matériaux Adaptés aux Zones Sismiques.....	22
3.3 CONCEPTION DE FONDATIONS EFFICACES DANS LES ZONES SISMIQUES	23
3.4 INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES EN CAS DE SEISME	24
3.5 RENFORCEMENT DES FONDATIONS DANS LES ZONES SISMIQUES [30].....	26
3.5.1 Utilisation d'Amortisseurs Sismiques :	26
3.5.1.1 Les amortisseurs passifs.....	26

3.5.1.2 Les amortisseurs Actifs	26
3.5.2 Micropieux et Pieux Renforcés :	27
3.5.3 Renforcement par Injection de Résine [33] :	27
3.5.4 Renforcement du Sol :	27
3.6 CHOIX DU SITE [31]	27
3.7 DISPOSITIONS STRUCTURALES	28
3.7.1 CHOIX DE TYPE DE FONDATION [27]	28
3.7.2 CHOIX DE SEMELLE [12]	29
3.7.3 CHOIX DE SOCLE	30
Conclusion générale	32
Bibliographie.....	33

Liste des abréviations

- EMS : Echelle de Medvedev, Sponheuer et Karnik
EMS-98 : Echelle macrosismique européenne
EN 1998 : Normes Européennes Eurocodes 8
FSTA : Faculté des Sciences et Technologies Appliquées
g : accélération
RD Congo : République Démocratique du Congo
ULPGL : Université Libre des Pays des Grands Lacs
ZS : Zone sismique

Liste des figures

Figure 1. Origine des tremblements de terre.....	6
Figure 2. Coupes schématiques sur le globe terrestre	7
Figure 3. Quantification des séismes	8
Figure 4. Action subie par un bâtiment pendant un séisme	10
Figure 5. Séisme de Taiwan	14
Figure 6. Séisme de Chili 1960.....	15
Figure 7. Phénomène induit par les secousses	15
Figure 8. Paramètre influençant le risque sismique	17
Figure 9. Résultat de l'interaction entre l'aléa, vulnérabilité et les enjeux	19

Introduction générale

1. Contexte

La tenue des structures de génie civil face aux différentes sollicitations reste une problématique majeure à la fois pour la sécurité des personnes mais aussi pour la pérennité des ouvrages. Les questions touchant les dispositions constructives comptent parmi les plus complexes auxquelles doivent répondre les ingénieurs [1]. Ainsi, la compréhension des dispositions constructives parasismiques nécessite des connaissances de base en sismologie appliquée à la construction et en conception des structures. La résistance des matériaux utilisés, leur mise en œuvre et leurs caractéristiques diverses définies par l'ingénieur doivent permettre à la construction de répondre aux sollicitations d'origine sismique [2].

Il est nécessaire de prévoir les modes de déformation des constructions sous l'effet des secousses et de maîtriser l'importance de ces déformations et contraintes sur l'ensemble de la structure porteuse et sur chacun des éléments qui la composent. Le non-respect de ces dispositions a été, en 1960 à l'origine de l'effondrement d'un immeuble qui a occasionné d'importants dégâts tant humains que matériels lors d'un séisme en Chili [3], en 1989 au graben de Dobi où plusieurs ponts sur la route reliant le port d'Assab à Addis-Abeba ont été détruit [4], à Goma en mai 2021 où plusieurs immeubles se sont effondrés laissant la ville en deuil [5].

Le monde, très souvent victime des phénomènes naturels tel que le séisme provoqué par une rupture de la roche dans le sous-sol, sur des distances qui peuvent aller de quelques centaines de mètres à des centaines de kilomètres d'un coup. Ces ruptures peuvent être très superficielles et se voir en surface, ou profondes de dizaines, voire de centaines de kilomètres. Leur localisation aura une large influence sur leurs effets en surface qui seront très variables d'un séisme à l'autre, la sismologie décrit les séismes possibles et leurs effets avant leur arrivée afin de s'en protéger au mieux avec des solutions envisageables comme le choix des matériaux, la conception, le choix du site, le choix structural [2].

2. Problématique

En république démocratique du Congo en particulier dans la province du Nord-Kivu, ville de Goma, qui est une zone sismique, elle est exposée à des risques élevés de tremblement de terre, ce qui peut entraîner des dommages importants aux structures si les fondations ne sont pas conçues pour résister à ces forces sismiques. La variabilité des caractéristiques du sol dans les zones sismiques rend la conception des fondations plus complexe, nécessitant une compréhension approfondie de la géotechnique pour assurer la qualité de la structure.

3. Questions de recherche

Ainsi donc, quelques préoccupations deviennent indépassables

Quels sont les principaux défis liés à la conception de fondations efficaces dans les zones sismiques ?

Comment les caractéristiques géologiques et géotechniques influent-elles sur le comportement des fondations en cas de séisme ?

Quelles sont les méthodes de renforcement des fondations les plus efficaces pour améliorer leur résistance sismique ?

4. Formulation des hypothèses

Pour répondre provisoirement à ces questions nous nous sommes fixés comme hypothèses : La variabilité des caractéristiques du sol, les charges sismiques élevées, le comportement non linéaire du sol, l'intégration de technologies parasismiques, la durabilité et couts, l'interface sol-structure complexes, sont là les défis auxquels les ingénieurs sont confrontés.

Les sols meubles comme les argiles et les limons amplifient souvent les vibrations sismiques, ce qui peut entraîner une amplification des déformations et des contraintes sur les fondations. La résistance au cisaillement du sol influence la capacité de la fondation à résister aux forces horizontales générées par un séisme. La profondeur de la nappe phréatique et l'hétérogénéité du sol.

Il existe plusieurs méthodes efficaces de renforcement des fondations pour renforcer leur capacité à résister aux forces sismiques dont : l'utilisation d'amortisseurs sismiques, l'isolation de la fondation, le renforcement par injection de Résine et le renforcement du sol.

5. Justification du choix du sujet et motivations

Étudier l'efficacité des fondations dans les zones sismiques est crucial en raison des risques élevés de dommages structurels lors de séismes. Comprendre comment les fondations peuvent être optimisées pour résister aux forces sismiques peut contribuer à renforcer la résilience des bâtiments et à assurer la sécurité de la population du Nord-Kivu mais aussi du monde entier.

6. Énoncé des objectifs de recherche

6.1. L'objectif général

L'objectif du présent travail consiste à évaluer l'efficacité des différentes stratégies de fondations utilisées dans les zones sismiques en termes de résistance structurale et de capacité à atténuer les effets des tremblements de terre.

6.2. Les objectifs opérationnels/spécifiques

- Analyser l'impact des caractéristiques géologiques et géotechniques locales sur le comportement des fondations en cas de séisme.
- Étudier les normes parasismiques actuelles et leur application dans la conception et la mise en œuvre de fondations résilientes aux séismes.
- Examiner les technologies émergentes et les approches innovantes pour renforcer les fondations existantes et concevoir de nouvelles fondations avec une efficacité sismique accrue.

7. Méthodologie

Pour y arriver, nous allons faire une analyse approfondie des études existantes sur l'efficacité des fondations dans les zones sismiques. Une analyse des performances des fondations dans des zones sismiques en se basant sur des cas réels, mais aussi nous allons faire une acquisition et analyse des données géotechniques pertinentes pour évaluer l'interaction sol-fondation en cas de séisme.

8. Subdivision du travail

A la lumière de ce qui précède, hormis l'introduction et la conclusion générale, ce travail comprend trois (03) chapitres avec différents points,

Chapitre I. Synthèse Bibliographique

Dans ce chapitre nous allons essayer de présenter d'une manière générale les éléments en rapport avec le sujet

Chapitre II. Problèmes des constructions dans les zones sismiques

Dans ce chapitre nous allons parler de problèmes rencontrés lorsque le séisme produit les effets sur les fondations.

Chapitre III. Analyses approfondies des fondations dans les zones sismiques

Dans ce chapitre nous allons énoncer l'analyse approfondie des fondations dans les zones sismiques

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

1.1 INTRODUCTION

Les phénomènes possibles dans les zones sismiques peuvent bien être décrits, mais on ne sait pas encore dire quand ils surviendront. L'avancée des connaissances a permis de cerner avec une bonne précision les facteurs d'endommagement des constructions ainsi que la nature des dommages en fonction des choix réalisés sur un site donné [6]. Dans ce chapitre sera présenté d'une manière générale les séismes, les fondations dans les zones sismiques, les dispositions constructives et les observations post sismiques.

1.2 LES SEISMES

Cette section présente l'origine et la quantification des séismes. Les séismes ou tremblements de terre les plus importants sont localisés au bord des plaques tectoniques qui couvrent la surface du globe. Ces plaques ont tendance à se déplacer les unes par rapport aux autres, mais en sont empêchées par le frottement jusqu'à ce que les contraintes entre plaques à l'endroit de « l'épicentre » deviennent si élevées qu'un mouvement relatif se produit : c'est un tremblement de terre [7].

1.2.1 Origine [2]

Le séisme est provoqué par une rupture de la roche dans le sous-sol, sur des distances qui peuvent aller de quelques centaines de mètres (à peine ressenti si on est très proche) à des centaines de kilomètres d'un coup (grandes catastrophes). Ces ruptures peuvent être très superficielles et se voir en surface, ou profondes de dizaines, voire de centaines de kilomètres. Leur localisation aura une large influence sur leurs effets en surface qui seront très variables D'un séisme à l'autre. Le but de la sismologie est de « décrire » les séismes possibles et leurs effets avant leur arrivée afin de s'en protéger au mieux. La Magnitude représente la quantité totale d'énergie libérée par le séisme. Le foyer est le point de la faille où commence la rupture, alors que l'épicentre désigne le point de la surface terrestre à la verticale du foyer.

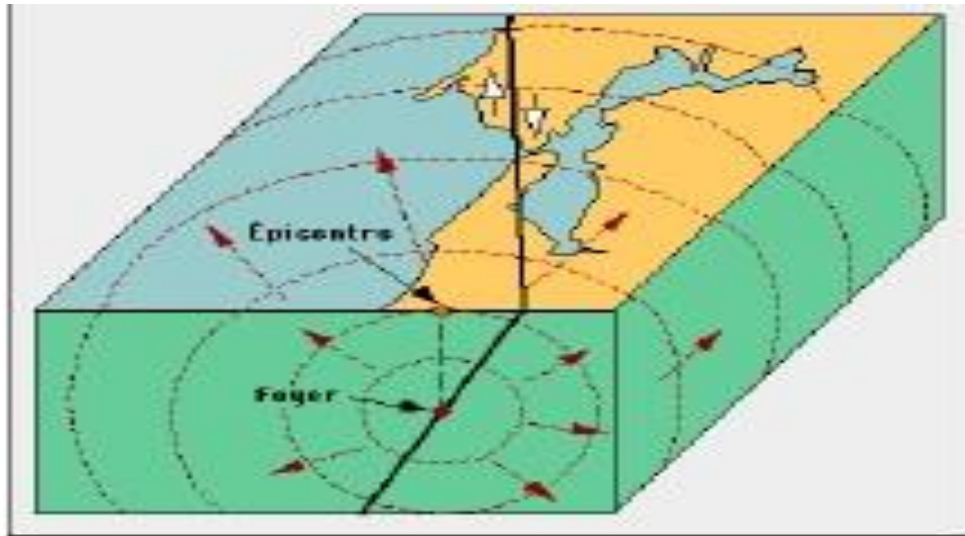


Figure 1 Origine des tremblements de terre [2]

A l'échelle de la planète la croûte terrestre est comme une coquille d'œuf rigide à la surface d'une grande épaisseur de magma dans le « manteau supérieur ».

Le noyau, au centre de la planète est extrêmement chaud (plus de 4000°). Sous l'effet de cette chaleur le magma est agité de mouvements lents, Il provoque des poussées sous la croûte qui se déforme. La croûte est divisée en « plaques tectoniques », les continents, les fonds marins, qui se déplacent très lentement les unes par rapport aux autres sous l'effet des mouvements du magma. Ce sont ces poussées du magma sous les plaques qui font « craquer la planète » lorsque la roche arrive au point de rupture et occasionne le séisme. La figure I.2 présente les coupes schématiques sur le globe terrestre.

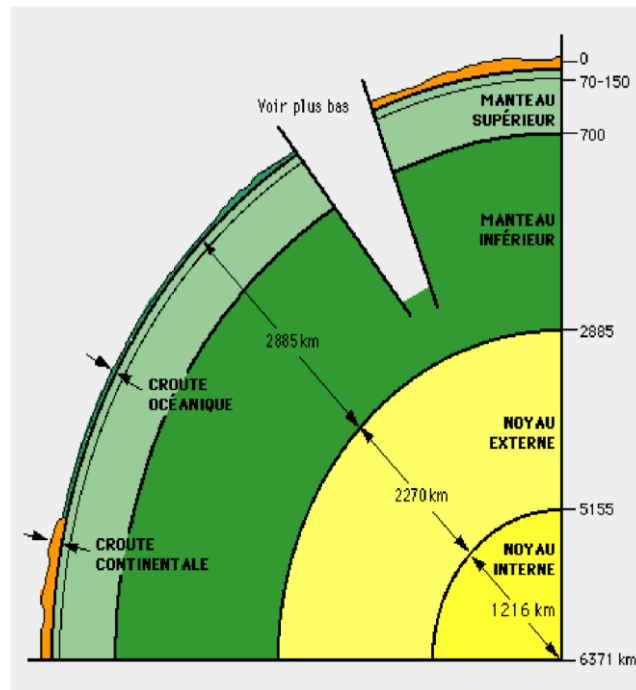


Figure 2 Coupes schématisiques sur le globe terrestre [2]

I.2.2 Quantification

En 1925 que le premier tremblement de terre a été mesuré à l'aide d'instruments, donnant ainsi à la science des paramètres exacts, bases d'études approfondies des séismes et de leurs effets sur les infrastructures de génie civil. Deux niveaux de mesure sont généralement utilisés : la magnitude et l'intensité [8].

I.2.3 Magnitude [8]

La magnitude d'un séisme est une valeur intrinsèque du phénomène qui ne dépend pas du point d'observation. C'est en 1935, que l'Américain Charles Francis Richter introduit une méthode qui permet d'estimer l'énergie libérée au foyer d'un tremblement de terre il s'agit de **l'échelle de Richter** utilisée partout dans le monde, c'est une échelle logarithmique calculée à partir de l'amplitude des enregistrements de sismographes. Elle peut être négative ou positive et, en principe, a une limite supérieure de 10. Lorsque la magnitude d'un séisme varie d'un facteur 1, l'amplitude du mouvement varie d'un facteur 10. Par exemple, un séisme de

magnitude 7 est dix fois plus fort qu'un séisme de magnitude 6 et mille fois plus fort qu'un séisme de magnitude 4.

I.2.4 Intensité

L'intensité sismique mesure la force d'un tremblement de terre et l'effet qu'il produit sur une région donnée, les objets, les êtres humains et les infrastructures [8]. Elle peut décrire la distribution probable des dommages et est dans ce cas appelée intensité macrosismique [8]. Avec l'intensité comme paramètre d'entrée, il est possible de regrouper les structures caractérisées par un comportement sismique similaire et de définir des matrices de dommages appropriées. Selon les spécificités des régions, plusieurs échelles de mesure de l'intensité ont été développées : au Canada, l'échelle **Mercalli** modifiée (**MMI**) qui compte douze niveaux est utilisée depuis 1960 et l'échelle macrosismique européenne (**EMS-98**), de six classes décroissantes de vulnérabilité (A à F) est utilisée en Europe [8]. Cette dernière se présente comme un standard pour les études d'évaluation du risque ou de la vulnérabilité sismique [8].

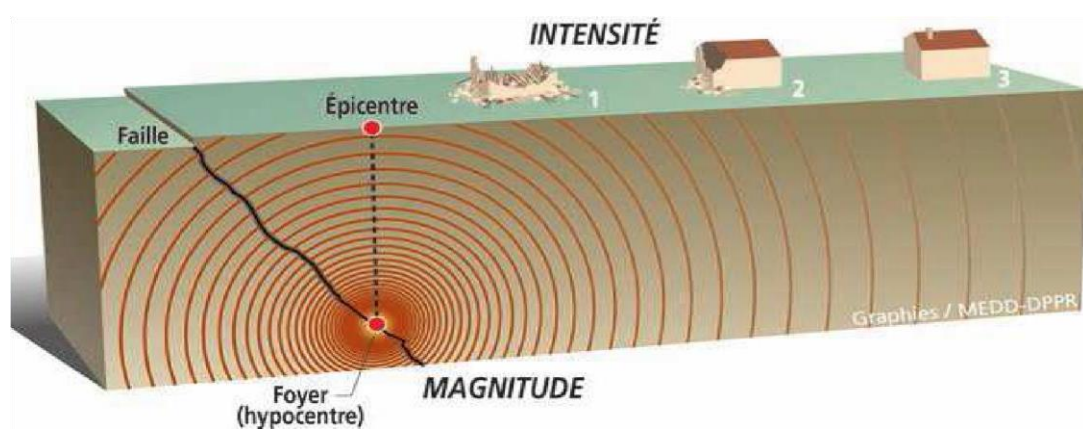


Figure 3 Quantification des séismes [9]

1.3 LES FONDATIONS DANS LES ZONES SISMIQUES [10]

Les fondations dans les zones sismiques jouent un rôle crucial dans la stabilité et la résilience des structures contre les séismes. Ces fondations doivent être conçues pour résister aux forces sismiques qui peuvent causer des déformations et des dégâts structurels importants.

I.3.1 Connaissance du comportement des constructions [11]

Les connaissances sismiques et géotechniques permettent d'identifier les types de constructions à éviter ou à renforcer en fonction du site. Les secousses d'un même séisme peuvent être très différentes d'un site à l'autre : plus ou moins fortes, plus ou moins longues, mais aussi avoir des caractéristiques fréquentielles très variables. Chaque construction doit être appropriée aux caractéristiques des secousses et aux déformations des sols possibles sur son site d'implantation. Sa conception doit permettre d'éviter les déformations trop irrégulières ou excessives et sa réalisation doit permettre un endommagement qui ne porte pas atteinte à sa stabilité.

Il est établi des règles de construction et des plans d'urbanisme efficaces à partir de ces connaissances. La réglementation vise un arbitrage économiquement raisonnable à partir des connaissances scientifiques et techniques. Les marges d'incertitude décroissent rapidement avec l'avancée des études scientifiques. La réglementation évolue en en tenant compte.

I.3.2 Les forces à équilibrer dans un bâtiment pendant un séisme [11]

L'attraction terrestre, pesanteur ou gravité (g) exerce en permanence une action vers le bas qui empêche aux êtres vivants de « flotter dans les airs », mais il ne se remarque pas qu'il s'agit d'une accélération, pourtant la vitesse de chute des objets augmente avec la distance parcourue, c'est-à-dire avec le temps qui s'écoule. Il y a bien accélération. Les variations de la pesanteur sur la terre sont très faibles, pour la construction on la considère constante. Une fondation subit l'accélération avant, pendant et après le séisme. La figure I.4 illustre l'action subie par une fondation pendant un séisme

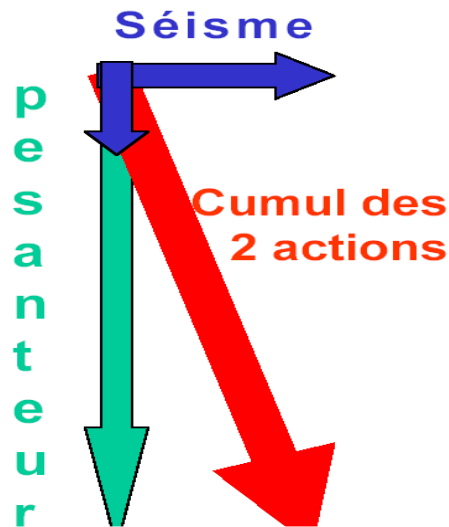


Figure 4 Action subie par un bâtiment pendant un séisme [11]

Représentation schématique de l'action subie par un bâtiment pendant un séisme à un instant donné, où les accélérations (verticales et horizontales) dues aux secousses peuvent être représentées par les flèches bleues. L'action sismique (en bleu) est combinée avec la pesanteur (en vert). A l'instant représenté la fondation subit en fait une action résultant du cumul et qui est orientée comme la flèche rouge.

I.3.3 Les force d'inertie [11]

Les forces d'inertie jouent un rôle crucial dans la réponse d'une structure aux séismes. Lorsqu'un séisme se produit, il crée des accélérations du sol qui entraînent des forces d'inertie au sein de la structure.

Les forces d'inertie peuvent être définies comme la force résultante qui agit sur un corps en raison de ses accélérations linéaires et angulaires. Lorsque le sol tremble, la structure sur celui-ci est soumise à des accélérations brutales dans différentes directions. Ces accélérations entraînent la mise en mouvement de la structure, ce qui génère des forces d'inertie. Les forces d'inertie peuvent être catégorisées en deux types principaux : les forces d'inertie masse et les forces d'inertie rotationnelle. Les forces d'inertie masse résultent des mouvements linéaires provoqués par une accélération du sol, tandis que les forces d'inertie rotationnelle sont liées aux moments de torsion produits par les accélérations angulaires. Ces forces d'inertie peuvent causer des contraintes et des déformations importantes dans les éléments structuraux, ce qui peut potentiellement entraîner des défaillances. Lors de la conception d'une structure

résistante aux séismes, il est donc essentiel de considérer les forces d'inertie et de les équilibrer efficacement. **Pour contrer les forces d'inertie pendant un séisme, différentes stratégies sont utilisées, telles que :**

La conception de systèmes de résistance sismique : Il s'agit de concevoir des systèmes structuraux capables de résister aux forces d'inertie en absorbant l'énergie générée par les séismes. Des éléments tels que les murs de cisaillement, les cadres contreventés et les systèmes de contreventement contribuent à réduire les déplacements et les déformations de la structure.

L'utilisation de dispositifs d'amortissement : Ces dispositifs, tels que les amortisseurs de masse, les isolateurs sismiques et les amortisseurs visqueux, sont utilisés pour absorber ou dissiper l'énergie sismique. Ils contribuent à réduire les forces d'inertie et à protéger la structure contre les dommages.

La redistribution des charges : La structure doit être conçue pour redistribuer les charges sismiques dans toute la structure de manière équilibrée. Cela permet de minimiser les concentrations de forces et de réduire les déformations excessives. Il convient de noter que l'analyse des forces d'inertie et la conception des structures résistantes aux séismes sont des domaines spécialisés du génie parasismique. Les experts en la matière utilisent des logiciels de simulation avancés et des approches basées sur les principes de la dynamique des structures pour évaluer et équilibrer les forces d'inertie dans la conception des bâtiments et des infrastructures.

I.4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Cette partie parle de la conception parasismique, des principes de conception parasismique, de la Conception en performance, du choix des matériaux et des observations post-sismiques.

I.4.1 Conception parasismique [12]

Une conception parasismique permet de minimiser les effets des charges sismiques, d'assurer la résistance, d'abaisser le cout de la protection parasismique. Les bases de ladite conception, prend en considération l'implantation de l'ouvrage, intègre une architecture favorable à la résistance aux séismes respectant les dispositions parasismiques des normes, anticipe les effets destructeurs et assure la reprise des efforts.

I.4.2 Principes de conception parasismique [13]

Dans le contexte sismique, les meilleurs projets en termes de sécurité sont obtenus en respectant les principes qui s'appuient sur la simplicité, la continuité, la régularité en plan, la régularité en élévation, la raideur et la résistance à la torsion, des éléments structuraux verticaux surdimensionnés, la largeur et la longueur des contreventements, la largeur des fondations et la fixation des éléments non structurels

I.4.3 Conception en performance [13]

La procédure de conception des structures qui se base en multi niveau n'est pas nouvelle. La conception aux états limites considère les niveaux de service et ultime. Dans le cas du chargement sismique, le but déclaré des codes de construction est de produire des constructions capables d'achever les objectifs de performances suivantes : résister à des séismes mineurs sans dommages significatifs, résister à des séismes modérés avec des dommages réparables et résister à des séismes majeurs sans effondrement.

Les séismes dans l'espace urbains ont montré que l'impact économique est très considérable, dont le contrôle des dommages doit être mieux explicite en termes de considération à prendre en compte durant la conception.

Le choix des matériaux [12]

En ce qui concerne les fondations dans les zones sismiques, il est important de choisir des matériaux capables de résister aux forces sismiques et de maintenir l'intégrité de la fondation. Voici quelques points clés à considérer lors du choix des matériaux :

Résistance à la compression : Les matériaux utilisés dans les fondations doivent être capables de supporter les charges verticales et de résister à la compression. Les matériaux couramment utilisés incluent le béton, qui est robuste et capable de supporter des charges élevées.

Résistance à la traction : Les matériaux doivent également avoir une bonne résistance à la traction pour résister aux forces de traction générées pendant les séismes. Les armatures en acier sont souvent intégrées au béton pour renforcer sa résistance à la traction.

Rigidité : La rigidité des matériaux est également importante pour assurer la stabilité de la fondation. Des matériaux comme l'acier peuvent offrir une rigidité supplémentaire à la structure.

Comportement sismique : Certains matériaux, comme les composites à base de fibres, peuvent présenter des comportements sismiques améliorés en raison de leur capacité à absorber et dissiper l'énergie sismique. Par exemple, l'utilisation de fibres de carbone dans les éléments de fondation peut augmenter leur capacité à résister aux forces sismiques.

Durabilité : Les matériaux doivent être durables et capables de résister à des conditions environnementales difficiles au fil du temps. Ils doivent également être résistants à la corrosion, en particulier lorsque des matériaux métalliques sont utilisés. Il est important de noter que le choix des matériaux ne se limite pas seulement aux aspects techniques, mais peut également être influencé par des facteurs économiques, écologiques et logistiques. Il est donc essentiel de trouver un équilibre entre les performances requises et les contraintes du projet.

I.5 OBSERVATIONS POST-SISMIQUES [11]

Les constructions en béton armé, et plus particulièrement les ossatures (poteaux-poutres), ont payé une lourde tribu lors des destructions dues aux séismes majeurs. Les audaces de géométrie (et de descentes de charges) permises par les qualités du matériau sous charges

statiques et le manque de recul sur le comportement et la dégradation de ce matériau exposé aux charges horizontales cycliques des séismes ont été les facteurs cumulés d'un véritable drame humain et économique. La problématique a été aggravée par le non-respect des règles élémentaires d'exécution et les tricheries sur les matériaux, dont les effets visibles sont généralement différés. Ainsi le manque de résistance mécanique est venu en aggravation du manque de ductilité originel décès structures lourdes ayant un mode de ruine menant très souvent à l'effondrement total. Torsion du ré-de chaussée d'un immeuble porté à l'avant par des poteaux et à l'arrière par des murs. La figure I.8 cette torsion par le séisme de Taiwan en 2001.



Figure 5 Séisme de Taiwan [11]

Mode de ruine d'une construction en bois. S'il n'y a pas d'arrachement des liaisons entre les éléments, même suite à des déformations très importantes, l'endommagement du bâtiment est progressif. La figure I.9 du séisme de Chili en 1960 montre ce mode de ruine.



Figure 6 Séisme de chili 1960 [3]

Cet immeuble a été « victime » d'un phénomène induit par les secousses : la liquéfaction du sol. La connaissance de la violence des séismes de cette région, les études de sol et l'application des règles de construction parasismique auraient permis de traiter le problème par des fondations appropriées.

La figure I.10 illustre ce qui s'est passé en Turquie en 1999



Figure 7 Phénomène induit par les secousses [2]

I.6 CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre présente les généralités sur les séismes, les fondations dans les zones sismiques et comme ce travail porte sur l'efficacité de fondations dans les zones sismiques, il a été question de présenter de façon sommaire les dispositions constructives ainsi que observations post-sismique.

CHAPITRE 2 : PROBLEMES DES CONSTRUCTIONS DANS LES ZONES SISMIQUES

2.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre s'articule sur les problèmes rencontrés lorsque le séisme produit les effets sur les fondations. Ce chapitre présente enjeux et vulnérabilités sismiques ainsi que des effets induits par le séisme.

2.2 ENJEUX ET VULNERABILITES SISMIQUES [8]

Le risque sismique est donc la combinaison entre l'aléa sismique en un point donné et la vulnérabilité des enjeux qui s'y trouvent exposés (personnes, bâtiments, infrastructures...). L'importance des dommages subis dépend ainsi très fortement de la vulnérabilité des enjeux à cet aléa.

La figure II.1 représente les deux paramètres qui influencent les risques sismiques

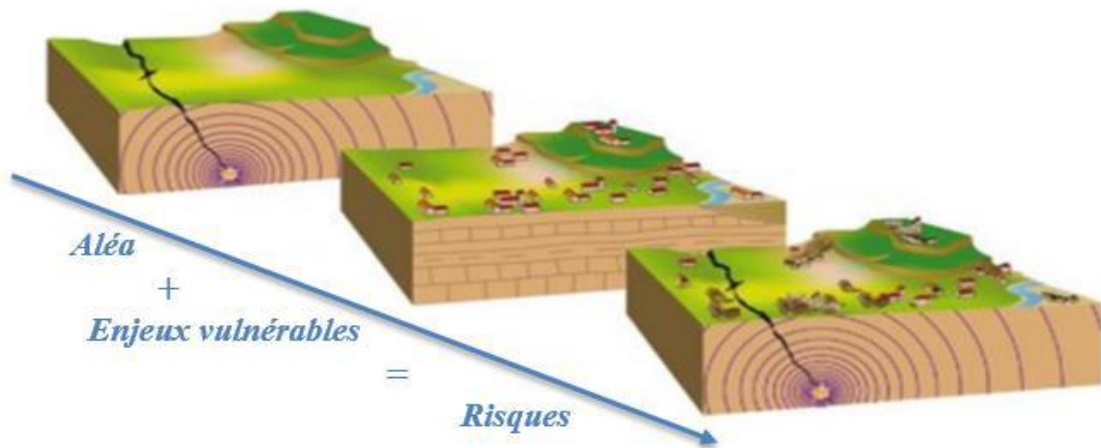


Figure 8 Paramètre influençant le risque sismique

2.2.1 Aléa sismique [8]

L'aléa sismique représente la probabilité pour un lieu géographique donné d'occurrence d'un événement sismique d'une intensité donnée. Par définition, l'aléa sismique est donc présent partout à la surface du globe, mais il est plus ou moins marqué selon les régions.

En pratique, il est distingué généralement l'aléa dit « **régional** », qui représente le niveau d'aléa pour un sol dur (ou « au rocher ») sans topographie marquée, et l'aléa dit « **local** » qui prend en compte les modulations des mouvements du sol lié aux « effets de site » ainsi que les « effets induits ».

Les principes d'évaluation de l'aléa sismique sont les suivants :

Identification des sources sismiques et réalisation d'un zonage sismotectonique. Cela consiste à localiser les failles actives, évaluer leur potentiel sismique puis à établir un zonage sismotectonique, soit une délimitation de surfaces géographiques au sein desquelles la probabilité d'occurrence d'un séisme de caractéristiques données (magnitude ou intensité, profondeur, période de retour) peut être considérée homogène en tout point.

Calcul du mouvement sismique de référence, dit « au rocher » : le mouvement sismique (ou vibration) du sol considéré « au rocher » est évalué selon une méthode déterministe ou probabiliste. Ce mouvement sismique au rocher dépend à la fois des paramètres du séisme de référence (déduit du zonage sismotectonique) et de l'atténuation des mouvements du sol avec la distance. Ce sont ces mouvements sismiques « au rocher » qui sont présentés dans le cadre de l'outil cartographique.

Prise en compte des effets de site, des effets induits.

2.2.2 Vulnérabilités sismiques [8]

On définit la Vulnérabilité sismique par le degré d'endommagement pour différents événements. La vulnérabilité dépend des caractéristiques physiques et géométriques des fondations. La vulnérabilité représente le comportement intrinsèque de la structure vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un séisme. Pour mesurer les dégâts possibles que pourrait

souffrir la fondation en cas de séismes, une échelle des dommages serait considérée variable de 0 pour un dommage nul à 1 pour la destruction complète de la structure.

La figure II.2 représente le résultat de l'interaction entre l'aléa, la vulnérabilité et les enjeux sismiques.

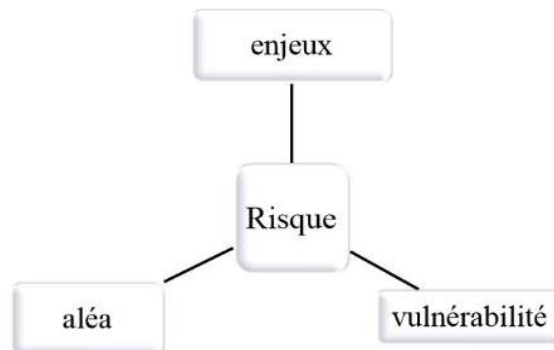


Figure 9 Résultat de l'interaction entre l'aléa, vulnérabilité et les enjeux [8]

2.3 EFFET INDUIT PAR LE SEISME

II.3.1 Tassement [14]

Les sables secs soumis à des vibrations peuvent subir des tassements importants qui peuvent être estimés par des mesures des vides du sable. Ces tassements peuvent atteindre quelques dizaines de centimètres. Différentiels ou non, ils peuvent être suffisants pour rendre une construction inutilisable.

2.3.2 Déformation des fondations [15]

En situation de séisme, les différents éléments d'une fondation sont tous soumis à une force identique, la « poussée » des secousses à un moment donné. Cependant, ils se déforment de manière différente, en fonction de plusieurs facteurs : leurs formes, leurs matériaux, leurs masses (qui engendrent des forces d'inertie différentes) et la nature des liaisons entre les éléments. Les secousses d'un séisme génèrent des forces alternées dans toutes les directions, forces qui déforment la fondation de façon aléatoire.

Les déformations peuvent être de deux sortes. Premièrement, il y a les déformations élastiques, sensiblement proportionnelles à la force qui les provoque. Ces dernières sont réversibles, c'est à dire qu'elles disparaissent après la suppression des charges qui les ont

provoquées. Ces déformations n'auront donc pas les conséquences les plus graves. Mais pour chaque sollicitation et chaque corps, il existe une force limite fixée ; au-delà de celle-ci, les déformations cessent d'être élastiques : c'est la limite d'élasticité. Lorsque la force appliquée dépasse cette limite, une partie de la déformation subsiste après l'arrêt de l'action extérieure : on parle alors d'une déformation plastique (ou post-élastique), qui elle sera permanente. On distingue plusieurs types de déformations, selon si elles se font sous l'effet de contraintes normales (traction ou compression, qui suivent une loi linéaire) ou composées (flexion, c'est-à-dire des efforts de traction et de compression dans le sens longitudinal de l'élément, cisaillement, dans le sens diagonal, ou torsion, où les contraintes ne sont pas homogènes). Vis à vis des mouvements du sol, les structures se comportent comme des oscillateurs dont les modes propres d'oscillation dépendent notamment de la raideur (ou rigidité) des éléments de la structure. Cette raideur dépend de quatre paramètres modifiables par le constructeur : la nature des liaisons de l'élément, la nature de son matériau, sa section et son élancement.

2.3.3 Influence de la hauteur [16]

Un autre élément important à prendre en compte est la hauteur de la fondation. En effet, comme dit précédemment, lors d'un séisme, les structures vont avoir tendance à se comporter, d'une certaine manière, comme des oscillateurs.

2.4 CONCLUSION PARTIELLE

La délimitation des surfaces géographiques en localisant les failles est nécessaire pour énumérer le degré d'endommagement des fondations à travers la résonance des matériaux. Plus le matériau est flexible, plus la fondation résiste au séisme.

CHAPITRE 3 : ANALYSES APPROFONDIES DES FONDATIONS DANS LES ZONES SISMIQUES

3.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre énonce l'analyse approfondie des fondations dans les zones sismiques. Ce chapitre présente le choix des matériaux, la conception des fondations efficaces dans les ZS, l'influence des caractéristiques géologiques et géotechniques en cas de séisme, le renforcement des fondations dans les ZS, le choix du site et les dispositions structurales.

3.2 CHOIX DES MATERIAUX

Le choix des matériaux pour les fondations dans les zones sismiques est crucial pour assurer la robustesse, la durabilité et la résistance aux tremblements de terre [17]. Voici quelques considérations importantes à prendre en compte lors du choix des matériaux pour les fondations dans de telles zones

3.2.1 Critères pour le Choix des Matériaux :

Résistance et Durabilité :

Sélectionner des matériaux offrant une résistance élevée aux charges et une durabilité à long terme pour garantir la stabilité des fondations dans des conditions sismiques [18].

Comportement en Situation Sismique :

Choisir des matériaux capables de résister aux déformations et aux forces sismiques, tout en conservant leur intégrité structurelle [19].

Compatibilité avec le Sol :

Opter pour des matériaux qui s'adaptent aux caractéristiques géotechniques spécifiques du sol pour assurer une interaction efficace entre la fondation et le sol en cas de séisme [20].

Facilité de Mise en Œuvre :

Considérer des matériaux qui sont faciles à mettre en place et à manipuler sur le chantier, optimisant ainsi la construction des fondations [20].

3.2.2 Exemples de Matériaux Adaptés aux Zones Sismiques

Béton Armé :

Le béton armé est couramment utilisé pour les fondations en raison de sa résistance élevée, de sa polyvalence et de sa capacité à absorber les forces sismiques [10].

Acier :

L'acier est souvent utilisé pour renforcer les fondations et améliorer leur résistance aux contraintes sismiques, en particulier dans les fondations profondes et les structures plus grandes [21].

Géotextiles et Géogrilles :

Les géotextiles et les géogrilles peuvent être utilisés pour renforcer les sols et les fondations, améliorant ainsi leur capacité à résister aux charges sismiques.

Matériaux Composites :

Les matériaux composites offrent des propriétés avancées de résistance et de légèreté, ce qui peut être avantageux pour les fondations dans les zones sismiques.

3.3 CONCEPTION DE FONDATIONS EFFICACES DANS LES ZONES SISMIQUES

La conception de fondations efficaces dans les zones sismiques présente des défis uniques qui nécessitent une attention particulière pour garantir la résilience des structures face aux tremblements de terre [21]. Voici quelques-uns des principaux défis auxquels les ingénieurs sont confrontés dans ce domaine

Variabilité des Caractéristiques du Sol [22] :

Les zones sismiques présentent une grande diversité de conditions géotechniques, ce qui exige une compréhension approfondie des propriétés du sol pour concevoir des fondations adaptées à ces variations.

Charges Sismiques Élevées [23] :

Les forces sismiques générées lors d'un tremblement de terre peuvent être significatives, imposant aux fondations la nécessité de supporter ces charges dynamiques tout en maintenant l'intégrité structurelle.

Comportement Non Linéaire [12] :

Le comportement non linéaire du sol et des structures sous l'effet des séismes rend la modélisation et la conception des fondations plus complexes, nécessitant des analyses détaillées pour prédire leur réponse de manière précise.

Intégration de Technologies Parasismiques [21] :

L'incorporation d'amortisseurs sismiques, de systèmes d'isolation ou d'autres technologies parasismiques innovantes dans la conception des fondations nécessite une expertise spécifique et une coordination afin d'optimiser leur efficacité.

Durabilité et Coûts :

Concilier la durabilité des fondations dans des conditions sismiques avec des coûts de construction raisonnables peut représenter un défi, car il est essentiel de garantir la qualité et la longévité des fondations sans compromettre leur performance [6].

Interfaces Sol-Structure Complexes :

Les interactions complexes entre le sol et la structure, en particulier lors de charges sismiques, nécessitent une analyse approfondie pour assurer une réponse cohérente et sécurisée des fondations.

Pour voir comment insérer des entrées des entrées dans une bibliographie il faut consulter le document fourni avec celui-ci.

3.4 INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES EN CAS DE SEISME

Les caractéristiques géologiques et géotechniques jouent un rôle crucial dans le comportement des fondations lors d'un séisme. Le sol sur lequel une fondation est construite peut significativement influencer sa réponse aux forces sismiques [24]. Voici comment ces caractéristiques impactent le comportement des fondations :

Type de Sol [26] :

- Les sols meubles comme les argiles et les limons amplifient souvent les vibrations sismiques, ce qui peut entraîner une amplification des déformations et des contraintes sur les fondations.
- Les sols rocheux peuvent offrir une meilleure stabilité et résistance aux charges sismiques, mais la présence de fractures ou de discontinuités peut poser des défis.

Caractéristiques Géotechniques [27] :

- La résistance au cisaillement du sol influence la capacité de la fondation à résister aux forces horizontales générées par un séisme.
- La capacité portante du sol détermine la charge maximale qu'une fondation peut supporter sans défaillance.

Profondeur de la Nappe Phréatique :

Une nappe phréatique proche de la surface peut augmenter les effets de liquéfaction, un phénomène où un sol saturé se comporte temporairement comme un liquide lors d'un séisme, compromettant la stabilité des fondations.

Hétérogénéité du Sol :

Les variations de composition du sol à différentes profondeurs peuvent entraîner des différences de comportement des fondations en cas de séisme, nécessitant une analyse approfondie pour prévoir ces variations [28].

Effets de Site :

Les effets de site, tels que l'amplification sismique due à des conditions géologiques spécifiques, peuvent modifier significativement les forces sismiques transmises aux fondations, influençant ainsi leur comportement.

En comprenant ces caractéristiques géologiques et géotechniques spécifiques d'un site donné, les ingénieurs peuvent adapter la conception des fondations pour optimiser leur résilience sismique. Des études géotechniques approfondies, des analyses de stabilité et des modélisations sismiques précises sont essentielles pour anticiper et atténuer les effets des séismes sur les fondations, garantissant ainsi la sécurité et la durabilité des structures dans des environnements sismiques [29].

3.5 RENFORCEMENT DES FONDATIONS DANS LES ZONES SISMIQUES [30]

Renforcer les fondations pour améliorer leur résistance sismique est essentiel pour garantir la stabilité des structures en cas de séisme. Il existe plusieurs méthodes efficaces de renforcement des fondations pour renforcer leur capacité à résister aux forces sismiques. Voici quelques-unes des approches les plus couramment utilisées

3.5.1 Utilisation d'Amortisseurs Sismiques :

L'amortisseur d'une voiture réduit les secousses pour le confort du conducteur, de même l'amortisseur parasismique réduit les vibrations et les déplacements dus aux séismes, ou autres catastrophes naturelles, pour assurer d'une part la sécurité et le confort des habitants et d'autre part la maintenance des structures [31].

3.5.1.1 Les amortisseurs passifs

Ces amortisseurs se catégorisent en trois systèmes. Comme indique leurs noms, les amortisseurs passifs ne se dotent pas d'une intelligence mais se basent sur une force matérielle. Ces amortisseurs reçoivent l'action et peuvent la supporter à cause de leur immense rigidité qui est capable de réduire l'action du séisme. L'isolation de base, système à dissipation directe et indirecte.

3.5.1.2 Les amortisseurs Actifs

Si les systèmes passifs sont très populaires à cause de leur simplicité d'installation et leur faible coût, ils ne peuvent fonctionner que sous certaines conditions précises et ne peuvent adapter leurs réponses au type de contrainte appliquée. Ainsi, les systèmes actifs, qui fournissent une réponse adaptée à chaque contrainte appliquée, sont développés, et permettent d'adapter leur comportement en fonction des changements de leur environnement. Des systèmes de capteurs hydrauliques ou électromécaniques mesurent les vibrations du bâtiment et les excitations appliquées au bâtiment. Les informations sont ensuite interprétées par les algorithmes de contrôle qui déterminent la réponse la plus adaptée à appliquer avec le système de retour. Parmi les amortisseurs actifs il existe : les amortisseurs inertiels actifs, les systèmes à rigidité variables, les systèmes hybrides [32]

3.5.2 Micropieux et Pieux Renforcés :

Micropieux : Renforcent la capacité portante des fondations existantes en les rattachant à des couches de sol plus stables en profondeur.

Pieux Renforcés : Améliorent la résistance sismique des fondations en les enracinant dans des strates de sol plus solides.

3.5.3 Renforcement par Injection de Résine [33] :

L'injection de résine expansive ou de matériaux cimentaires dans le sol peut consolider les terrains affaiblis et renforcer la capacité portante des fondations.

3.5.4 Renforcement du Sol :

Compactage du Sol : Consiste à compacter le sol pour améliorer sa densité et sa capacité à résister aux charges dynamiques.

Inclusion de Géotextiles : Utilisés pour renforcer le sol en augmentant sa résistance et sa cohésion.

Ces méthodes de renforcement des fondations peuvent être appliquées en fonction des besoins spécifiques de chaque structure et des caractéristiques géotechniques du site pour améliorer de manière significative la résistance sismique des fondations et augmenter la sécurité des bâtiments lors d'événements sismiques.

3.6 CHOIX DU SITE [31]

Toute construction des fondations doit être interdite au voisinage des failles actives ou passives. Les études du sol du site des fondations sont obligatoires et conduites de la même manière que dans le cas des situations non sismiques. Elles doivent notamment permettre le classement du site par rapport aux différents types prescrits par le règlement.

Une attention particulière doit être portée aux conditions des sites à risque telles que : la présence des remblais non compacté ou sol de reconstitution, la présence d'une nappe peu profonde susceptible de donner lieu à une liquéfaction en cas de séisme, le risque de glissement de terrain. Le fontis modifie localement le sol non seulement sous la fondation mais également dans les zones voisines. Il est donc important de veiller aux conditions d'implantation et de voisinage lorsque l'on examine les conditions de sécurité d'une fondation située en zone d'aléa fontis. La construction ne doit pas être trop près d'un rebord

de crête et d'un pied d'un talus dont la pente est supérieure à 50%. La distance minimale à respecter est deux fois la hauteur du talus si la fondation est située en amont du talus et une fois la hauteur si la fondation est située en aval.

3.7 DISPOSITIONS STRUCTURALES

Cette section s'articule sur le choix de type de fondation, le choix de semelle et le choix de socle.

3.7.1 CHOIX DE TYPE DE FONDATION [27]

Le choix de la fondation pour une structure dans une zone sismique est crucial pour assurer sa stabilité et sa résistance aux tremblements de terre. Voici quelques considérations importantes à prendre en compte lors du choix de fondation dans une telle zone :

Types de Fondations Adaptées aux Zones Sismiques :

1. Fondations à Semelles Superficielles :

Les semelles superficielles comme les semelles filantes ou les radier sont appropriées pour les sols stables et peu sujets à des liquéfactions lors de séismes légers à modérés.

2. Fondations Profondes :

Les pieux et les micropieux peuvent être préférables dans des sols instables ou sujets à la liquéfaction en cas de séismes plus intenses pour assurer une meilleure stabilité.

3. Fondations Isolées ou Amorties :

Les fondations isolées ou amorties, telles que les isolateurs de base ou les dispositifs d'amortissement sismique, peuvent être utilisées pour réduire les forces sismiques transmises à la structure.

Les Facteurs à Considérer :

1. Caractéristiques du Sol :

La nature du sol, sa stabilité et sa sensibilité aux liquéfactions sont des facteurs clés à évaluer pour déterminer le type de fondation le plus adapté.

2. Normes Parasismiques :

Respecter les normes parasismiques en vigueur pour la conception et la mise en place des fondations afin d'assurer une performance adéquate en cas de séisme.

3. Contraintes du Site :

Les contraintes locales telles que la topographie, la proximité de failles sismiques ou d'autres éléments géologiques doivent être prises en compte dans le choix de fondation.

4. Type de Structure :

La nature et la hauteur de la structure influencent le choix de fondation. Les structures légères peuvent nécessiter des fondations différentes par rapport aux bâtiments plus lourds et massifs.

3.7.2 CHOIX DE SEMELLE [12]

Le choix de la semelle pour une fondation dans une zone sismique est crucial pour assurer la stabilité et la résistance de la structure aux tremblements de terre. Voici quelques considérations importantes à prendre en compte lors du choix de la semelle pour une fondation dans une telle zone :

Critères de Choix de la Semelle de Fondation :

1. Type de Charge et Contraintes Sismiques :

Le type de charge supporté par la structure et les contraintes sismiques attendues influenceront le choix entre une semelle filante, isolée, ou une autre configuration de semelle.

2. Caractéristiques du Sol :

La nature et la capacité portante du sol devraient guider le dimensionnement et la profondeur de la semelle pour assurer une répartition efficace des charges et une stabilité adéquate.

3. Profondeur de la Semelle :

La profondeur de la semelle devrait être déterminée en fonction de la nature du sol, de la profondeur de gel, et des charges sismiques pour assurer une fondation solide et résiliente.

4. Distribution des Charges :

Assurer une répartition uniforme des charges sur la semelle pour optimiser sa capacité portante et minimiser les risques de tassement différentiel.

Types de Semelles Adaptées aux Zones Sismiques :

1. Semelle Filante :

Adaptée aux charges uniformément réparties et aux sols stables, offrant une large base pour une bonne dissipation des forces sismiques.

2. Semelle Isolée :

Utilisée pour réduire les contraintes sismiques transmises à la structure en permettant une déformation indépendante de la semelle par rapport au sol.

3. Semelle Radier :

Idéale pour les sols de faible portance et les structures légères pour une répartition uniforme des charges et une résistance aux forces sismiques.

3.7.3 CHOIX DE SOCLE

Le choix du socle pour une fondation dans une zone sismique est important pour assurer la stabilité et la résistance de la structure aux tremblements de terre [12]. Voici quelques considérations importantes à prendre en compte lors du choix du socle pour une fondation dans de telles zones :

Critères de Choix du Socle de Fondation :

1. Stabilité et Résistance :

Le socle doit être capable de supporter les charges verticales et horizontales de la structure, tout en offrant une base solide et stable pour la fondation.

2. Capacité d'Isolation Sismique :

Le socle peut être conçu pour fournir une isolation sismique en réduisant les forces sismiques transmises à la structure, protégeant ainsi la fondation contre les contraintes excessives.

3. Adaptabilité au Sol :

Le socle doit être adapté aux caractéristiques du sol du site pour assurer une bonne transmission des charges, une dissipation efficace des forces et une résistance aux mouvements du sol lors d'un séisme.

4. Compatibilité avec la Structure :

Le socle doit être conçu pour s'intégrer harmonieusement à la structure globale, en assurant une répartition homogène des charges et une résistance uniforme aux contraintes sismiques.

Types de Socles Adaptés aux Zones Sismiques :

1. Socles Rigides :

- Les socles en béton armé sont couramment utilisés pour leur rigidité et leur capacité à supporter des charges lourdes, offrant une résistance structurelle accrue aux contraintes Sismiques.

2. Socles Élastiques :

- Les socles en caoutchouc ou en matériaux élastiques peuvent être utilisés pour offrir une isolation sismique en absorbant les vibrations et en réduisant les forces transmises à la structure.

3. Socles Isolants :

- Les socles isolants tels que les dispositifs d'amortissement sismique peuvent être intégrés pour limiter les déformations sismiques et protéger la fondation et la structure des dommages en cas de séisme.

Conclusion générale

Ce mémoire a porté sur l'étude bibliographique de l'efficacité des fondations dans les zones sismiques.

Cette étude de fin d'études nous a été bénéfique en ce sens qu'il nous a permis de passer en revue de différents ouvrages qui parlent de séismes et des fondations dans des zones sismiques. Et cela nous permet d'avoir une idée des situations auxquelles devons faire face en cas de séisme.

La variabilité des caractéristiques du sol, les charges sismiques élevées, le comportement non linéaire du sol, l'intégration de technologies parasismiques, la durabilité et couts, l'interface sol-structure complexes, sont là les défis auxquels les ingénieurs sont confrontés.

Les sols meubles comme les argiles et les limons amplifient souvent les vibrations sismiques, ce qui peut entraîner une amplification des déformations et des contraintes sur les fondations. La résistance au cisaillement du sol influence la capacité de la fondation à résister aux forces horizontales générées par un séisme. La profondeur de la nappe phréatique et l'hétérogénéité du sol.

Il existe plusieurs méthodes efficaces de renforcement des fondations pour renforcer leur capacité à résister aux forces sismiques dont : l'utilisation d'amortisseurs sismiques, l'isolation de la fondation, le renforcement par injection de Résine et le renforcement du sol. En définitive, cette étude a mis en lumière l'importance vitale d'une approche intégrée et proactive dans la conception et la construction des fondations pour garantir la sécurité, la durabilité et la résilience des structures dans des environnements soumis aux risques sismiques.

La présente étude étant une œuvre humaine nous ne pouvons pas prétendre avoir épluché toute la matière dans ce domaine. Nous suggérons donc aux futurs chercheurs de combler les lacunes et imperfections laissées par ce présent travail.

Bibliographie

- [1] G. Lebon, Analyse de l'endommagement des structures de genie civil: technique de sous-structuration hybride couplés à un model d'endommagement anisotrope, Ecole normale superieure de Cachan: HAL, 2011.
- [2] P. BALANDRIER, Les seismes et les cites constructibles, SECQUIP, juillet 2001.
- [3] P. BALANDRIER, Les seismes et les constructions en bois et en metal, SECQUIP, 2007.
- [4] B. H. e. B. Roussel, LE RIFT EST-AFRICAIN, Marseille , 2009.
- [5] AFP, Volcan Nyiragongo: poursuite de très forts seismes, Goma, 2021.
- [6] M. M. Alpha, Etude des dispositions constructives d'un batiment dans une region sismique, ULPGL: Goma, 2020.
- [7] ArcelorMittal, construction parasismques en acier, LUXEMBOURG: arcelormittal, 2014.
- [8] P. BALANDRIER, Element de sismologie appliquée à la construction à usage des techniciens en batiment, Paris: Eyrolles, juillet 2001.
- [9] r. Directiongeneraldeslapreventiondesrisques, Les Seismes, Cedex: Grande Arche, 2011.
- [10] P. BALANDRIER, Les Seismes et les batiments, 2010.
- [11] B. e. DIREN, Module de construction parasismique pour les artisans du batiment, DIREN Martinique, 2009.

- [12] M. R. e. Sandrine, La construction face au risque sismique, Toulouse: CETE du sud-ouest , 2012.
- [13] A. B. Justin, Etude de l'influence des voiles sur une structure en béton armé dans une region sismique, ULPGL Goma, 2019.
- [14] BADOUX, Genie parasismique: conception et dimensionnement, 2008.
- [15] I. FIQUET, Etude des mouvements d'une structure lors d'un séisme, Rouen: institut national des sciences Appliquées de Rouen, 2015.
- [16] G. K. Djibril, Etude de l'influence des actions dynamiques du séisme sur les batiments de la ville de Bukavu en fonction de leurs hauteurs, ULPGL Goma, 2020.
- [17] B. D. Marinique, Module de construction parasismique pour les artisans du batiment, 2009.
- [18] B.Roussel, LE RIFT EST-AFRICAN, Marseille, 2009.
- [19] M.Alpha, Etude des dispositions constructives d'un batimentdans une région sismique, Goma, 2020.
- [20] BALANDRIER, Element de sismologie appliquée à la construction, Paris: Eyrolles, 2001.
- [21] ArcelorMittal, Construction parasismiques en acier, LUXEMBOURG, 2014.
- [22] Sandrine, La construction face au risque sismique, Toulouse, 2012.
- [23] I. l'habitat, reglement de construction parasismique, Rabat, 2011.
- [24] I.D, La construction parasismique, Paris, 2011.
- [25] I. FIQUET, Etude des mouvements d'une structure lors d'un séisme, Rouen, 2016.

- [26] BADOUX, Genie parasismique, 2008.
- [27] F. C. Stéphane Brulé, Pratique de l'interaction sol-structure sous séisme, AFNOR Editions, 2010.
- [28] V. Davidovic, Fondations et procédés d'amélioration du sol-Guide d'application de l'Eurocode 8, Eryrolles, 2008.
- [29] V. Davidovic, Conception-construction parasismique ou la construction en zone sismique, AFNOR Edition , 2012.
- [30] J. Betbeder-Matibet, Génie parasismique, Tec et Doc, 2001.
- [31] I. F. Pierino Lestuzzi, Dynamique des structures-Bases et applications pour le Génie civil, Presses Polytechniques, 1998.
- [32] V. Davidovici, Batiment sur isolation sismique, 2008.
- [33] M. S. R. e. a. Kelly, «Travaux pionnier sur les dispositions dissipatifs,» 1970 et 1980.
- [34] G.K.Djibril, Etude de l'influence des actions dynamiques du séism sur les batiments de la ville de Bukavu en fonction de leurs hauteurs, Goma, 2020.
- [35] P. BALANDIER, Element de sismologie appliquée à la construction à usage des techniciens en batiment, Paris: Eyrolles, juillet 2001.