

MASTER II
FILIERE: GENIE CIVIL
Option: structure

THEME

**Influence du type de sol (prise en compte
dans la détermination du spectre de réponse)
sur le comportement structurel d'un
bâtiment**

Encadre par:
GUERRAACHE AMAR

Réaliser par:
• Elgharbi Ahmed Zouhir
• Refice Mohamed

Promotion : 2021/2022

DEDICACE

قال تعالى: " و ما توفيقى إلا بالله عليه توكلت و إليه أنيب "

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination, après cinq ans d'étude et d'assiduité et en fin de ce cycle et le commencement d'un nouveau départ Je

dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents (Elhadi et Mebarka), que Allah les garde et les protège pour leur soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés toutes ces années.

A toute ma famille sans exception de près ou de loin. A mon binôme et Mon frère Mohamed. Aux toutes mes très chères amies avec lesquelles j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur. A tous les amis d'études surtout promotion de master 2 génie civil 2022. À tous nos enseignants: à travers toute l'étude. À tous ceux qui se sont tenus à nos côtés, même si nous vous offrons mille salutations et gratitude. Les mots me manquent encore pour vous témoigner reconnaissance car un proverbe dit « Quelle que soit la valeur du présent fait à l'homme ; il n'y a qu'un seul mot pour exprimer la reconnaissance inspirée par la libéralité, ce mot c'est Merci ».

Enfin à tous ceux qui sont chers, merci et mille merci.

ELGHARBI AHMED ZOUHIR

DEDICACE

Je remercie dieu qui m'a donné la force de faire ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

A tous mes frères, mes sœurs et toute ma famille sans exception

A mon cher ami Ahmed Zouhir

A toutes mes amies avec lesquelles j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur,

A tous les amis d'études surtout promotion de master 2 génie civil 2022.

A que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

REFICE MOHAMED

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire GUERRACHE AMAR, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de M'sila et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique et Salutations de ma part au peuple palestinien, en particulier le secteur de Bash Jarrah et le secteur occupé, nous demandons à Dieu leur ténacité, et nous comptons leurs morts comme des martyrs avec Dieu

ملخص

اعتمادًا على خصائص بنية وحركة التربة، يمكن أن يكون لتفاعل بنية التربة تأثير على حجم القوى الناتجة عن الهيكل المعني. ترتبط الاستجابة الزلزالية للهيكل دائمًا بالشكل الذي تنتقل به الحركات الزلزالية للأرض من خلال أساساتها إلى نظام الأساس الهيكلي. يكمن تعقيد مشكلة تفاعل بنية التربة في تكامل واقتران العنصرين، التربة والبنية. يمكن لهذه الظاهرة أن تصف التأثيرات التي تحدث في مستوى ملامسة التربة/الهيكل، بحيث، في تحليل الاستجابة الديناميكية، لا يتم تضمين الخصائص الهيكلية فحسب، بل أيضًا خصائص التربة الأساسية. لذلك يمكن أن يساعد تفاعل بنية التربة في تضخيم أو تقليل الاستجابة الديناميكية للبنية.

تتم دراسة تأثير تفاعل هيكل التربة على المباني الخرسانية المسلحة. تحليل الاستجابة الزلزالية للهياكل، أي إزاحة وتطور قوة القص التي تطورت في قاعدة الهياكل مع التفاعل وبدونه، كما رأى البرلمان الأوروبي أن دور البرلمان الأوروبي في هذا المجال ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار.

الكلمات الرئيسية :

تفاعل بنية التربة والزلازل والأساس والأطراف المتصلة

RESUME

Selon les caractéristiques de la structure et le mouvement du sol, l'interaction sol structure peut avoir un effet sur la magnitude des forces induites à la structure en question. La réponse sismique d'une structure se trouve toujours liée à la forme avec laquelle les mouvements sismiques du sol sont transmis à travers ses fondations au système fondation structure. La complexité du problème d'interaction sol structure réside dans l'intégration et le couplage des deux éléments, le sol et la structure. Ce phénomène peut décrire les effets qui se produisent dans le plan du contact sol/structure, de sorte que, dans l'analyse de la réponse dynamique, non seulement les propriétés structurelles soient incluses mais également les propriétés du sol sous-jacent. L'interaction sol structure peut donc contribuer à amplifier ou à diminuer la réponse dynamique de la structure.

L'influence de l'interaction sol structure sur les bâtiments en béton armé est étudiée. L'analyse de la réponse sismique des structures à savoir le déplacement et l'évolution de l'effort tranchant développé à la base des structures avec et sans interaction montre l'importance de la prise en compte de ce phénomène au stade de la conception du projet pour différents types de sol comme préconisé par la réglementation en vigueur.

Mots –clefs :

Interaction sol structure, séisme, fondation, spectres de raiponce

ABSTRACT

According to the characteristics of the structure and movement of soil, soil-structure interaction can affect the magnitude of the forces induced on the structure in question. The seismic response of a structure is always linked to the form in which the seismic ground motions are transmitted through its foundations and foundation-structure system. The complexity of soil-structure interaction problem lies in the integration and coupling of two elements, the soil and structure. This can describe the effects that occur in the plane of the contact soil-structure, so that in the analysis of dynamic response, not only structural properties but also included are the properties of the underlying soil. The soil-structure interaction can serve to amplify or reduce the dynamic response of the structure. The influence of soil-structure interaction on the reinforced concrete buildings is investigated. Analysis of seismic response of structures, namely the movement and evolution of shear developed at the base of the structures with and without interaction demonstrates the importance of taking into account this phenomenon in the design stage of project for different types of soil as recommended by the regulations.

Keys words:

Soil-structure, seism, foundation, response spectrums.

TABLE DES NOTATIONS

Nous donnons ci-dessous les principales notations utilisées dans ce mémoire

C_i	: Amortissement généralisée.
$d(t)$: Déplacement de la masse m .
E	: Module d'élasticité dynamique.
f_r	: Fréquence de résonance.
F_1	: Force de rappel.
F_2	: Force de freinage.
F_i	: Force latérale.
f	: Fréquence.
G	: Module de cisaillement dynamique.
G_s	: Module sécant.
g	: Accélération de la pesanteur.
H	: Epaisseur de la couche de sol
I	: Moment d'inertie.
K_s	: Raideur statique.
<u>K</u>	: Matrice de raideur du système ; représente la matrice d'impédance de la fondation rigide.
K_0	: Coefficient de poussée des terres au repos.
K_h	: Raideur horizontal.
K_v	: Raideur vertical.
K_ϕ	: Raideur de basculement.
K_R	: Raideur de rotation.
<u>M</u>	: Matrice de masse.
m	: La masse.
N	: Nombre de niveaux ; nombre de degrés de liberté.
P	: Les ondes longitudinales.
$P_F(w)$: La réaction du sol.
P_0	: Forces et moments appliqués à la fondation en son centre.
Q_f	: Le vecteur de charge sur la frontière extérieure du modèle.
Q_i	: Le vecteur de charge en champ libre.
q_i	: Facteur de la participation du mode « i » dans la direction « j » du séisme.
R	: Réaction du sol exercée sur la fondation.

S	: Les ondes de cisaillement.
S_F	: Matrice d'impédance de la fondation.
T	: Période; effort tranchant; l'énergie cinétique.
T_s	: Période fondamentale du sol.
$T_1; T_2$: Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site.
T_i	: Période du mode «i».
U_t	: Déplacement absolu de la masse m.
U_0	: Le déplacement de la fondation.
U	: Le déplacement relatif de la masse par rapport à A.
\sim	: Déplacement harmonique.
U_g	
U_i^*	: Représente le déplacement d'interaction cinématique.
U_0	: Le vecteur des déplacements et rotations du centre de la fondation.
U_1	: Déplacement suivant l'axe x.
U_3	: Déplacement suivant l'axe z.
U''	: L'accélération verticale au sol.
\dot{U}	: La vitesse.
V_p	: La vitesse des ondes P.
V_s	: La vitesse des ondes S de cisaillement.
V	: L'énergie potentielle, effort tranchant.
W	: L'énergie de déformation équivalente.
ΔW	: L'énergie dissipée durant le cycle.
Δ_r	: Déplacement relatif.
Φ_i	: Vecteur propre associé à ω_i .
Φ_j	: Déplacement modale.
B	: Coefficient d'amortissement.
γ	: Déformation de cisaillement (distorsion).
γ_c	: L'amplitude des déformations cyclique de cisaillement.
γ_j	: Facteur de participation.
δ	: Déplacement absolu (déflexion).
ε	: Déformation dans la direction perpendiculaire du séisme.
ε_L	: Déformation dans la même direction du séisme.
η	: Coefficient de perte d'énergie.

θ	: La rotation de la fondation.
λ	: Constante de lamé (module d'incompressibilité).
ν	: Coefficient de poisson.
ξ	: Pourcentage d'amortissement.
ξ_{eq}	: Amortissement visqueux équivalent.
ρ	: Densité du sol; densité du milieu.
σ	: Contrainte normale dans une direction.
σ_h	: Contrainte effective horizontale.
σ_v	: Contrainte effective verticale.
τ	: Contrainte de cisaillement; variable d'intégration.
$\gamma(\mathbf{t})$: l'accélération du sol.
$\Gamma(\mathbf{t})$: Vecteur correspondant à l'accélération du sol.
ω	: Pulsation du système.
ω_D	: Pseudo pulsation des oscillations libres amortis.
ω_i	: valeur propre associée au mode «i».

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I

Notion de base sur les séismes

I.1.Introduction.....	2
I.2.Définition.....	2
I.3. Origine et actions des séismes.....	2
I.4. Caractéristiques d'un séisme.....	3
I.5. Nature et mode de propagation des ondes sismiques.....	3
I.5.1.Ondes de volume.....	4
I.5.2. Ondes de surface.....	5
I.6. Mesure des ondes sismiques.....	6
I.6.1. Sismographes	6
I.6.2. Sismogramme.....	7
I.7. Echelles d'évaluation d'un séisme	8
I.7.1. Echelle de mercalli	8
I.7.2. Echelle De Richter	8
I.8.Zonage du risque sismique (aléas sismiques)	8
I.9. Conclusion.....	11

CHAPITRE II

EFFETS DU SEISME SUR LES BATIMENTS

II.1.Introduction.....	11
II.2.Différents type de structures en béton armé.....	11
II.2.1. Voiles en béton armé.....	11
II.2.2.Structure en portique (poteau-poutre.....	11
II.2.3.Structure mixte (portique + voile.....	12

II.3. Comportement dynamique des ouvrages	12
II.4. Types de déformation	13
II.5. Effet des séismes sur les bâtiments.....	13
II.5.1. Effets directs	13
II.5.1.1. Etage souple	14
II.5.1.2. Martèlement	14
II.5.1.3. Colonne captive et colonne courte	15
II.5.1.4. Fissures en croix.....	15
II.5.1.5. Effondrement en galette.....	16
II.5.1.6. Dommages dus aux détails d'armature.....	16
II.5.2. Effets indirects	17
II.5.2.1. Mouvements gravitaires (glissements).....	17
II.5.2.2. Liquéfaction.....	18
II.6. Conclusion.....	18

CHAPITRE II

MODELISATION DE L'INTERACTION SOL STRUCTURE

III.1 Introduction.....	19
III.2. Présentation et caractéristiques des structures.....	19
III.2.1. Présentation des structures.....	19
III.2.2. Caractéristiques géométriques.....	19
III.2.3. Caractéristiques mécaniques du béton	22
III.2.4. Dimensionnement de la structure.....	23
III.2.4.1. Planchers.....	23
III.2.4.2. Poteaux et Poutres.....	23
III.2.5. Charges appliquées.....	23

III.2.5.1.Charges gravitaires.....	23
III.2.5.2.Charges sismiques.....	24
III.3.Méthode de l'analyse modale spectrale.....	24
III.4.Spectre de réponse selon le RPA 99 (ver 2003).....	24
III.5.Présentation du logiciel ROBOT	26
III.7.Résultats et interprétation sur les structures en béton arme.....	34
III.7.1.Calcul des déplacements.....	36
III.7.1.1 Déplacement maximal.....	36
III.7.2.Effort tranchant.....	37
IV.7.2.1.Effort tranchant à la base.....	40
IV.7.3.Moment.....	41

CHAPTRE IV

Conclusions.....	43
Conclusions générales.....	43
Recommandation futures.....	44
Références bibliographique.....	45

INTRODUCTION GENERALE

L'interaction sol-structure est une discipline de la mécanique appliquée s'intéressant au développement et à l'investigation des méthodes théoriques et pratiques pour l'analyse des structures soumises à des charges dynamiques en tenant compte du comportement du sol de la fondation. Les effets de l'interaction sol-structure (ISS) sur la réponse sismique n'ont pas été sérieusement pris en considération que jusqu'au tremblement de terre de 1971 à San Fernando et au début de la construction nucléaire en Californie. Les conséquences catastrophiques de plusieurs récents tremblements de terre dans différentes régions du monde ont posé un problème sérieux aux ingénieurs de structures de génie civil des bureaux d'études. Ce Problème s'est focalisé dans la façon de tenir compte de l'effet de l'interaction sol-structure (ISS) sur le comportement sismique final des structures lorsqu'un tremblement de terre survient.

D'après la géotechnique, l'interaction sol-structure (ISS) se produit quand l'onde sismique se propage à travers le système sol-structure. Ce phénomène comprend la dispersion des ondes incidentes par la fondation, transmission d'onde incidente à la structure, et la radiation de l'énergie structurale de vibration de nouveau au sol, ainsi que l'effet d'ISS modifie la réponse du système qui dépend de la plupart du temps de la rigidité du sol et de la structure. Depuis le séisme d'El Asnam de 1980, de nombreux travaux de recherche ont été menés dans le but d'atténuer les effets des séismes sur les constructions. Selon les règles RPA99 les sites sont classés en quatre catégories en fonction des propriétés des sols qui les constituent. A chaque type de sol est associé un spectre de réponse élastique calculé en fonction des caractéristiques du site considéré et de celle de la structure étudiée.

Problématique:

La méthode spectrale largement utilisée pour le calcul de la force sismique est basée essentiellement sur le spectre de calcul proposé par les règles parasismiques algériennes qui est unique pour tout le territoire algérien.

Le but est de participer à l'élaboration de spectre de calcul qui soient plus réalistes et plus représentatif s des conditions de site, l'idéal pour le concepteur serait de disposer de spectre spécifique à chaque région du pays et pourquoi pas à chaque ville !

L'objectif :

La détermination des propriétés dynamique des sols est nécessaire pour l'étude et la caractérisation de la réponse du sol aux charges extérieures. Les paramètres les plus utilisés dans le calcul des vibrations de fondations sont : le module de déformation d'Young E , le module de déformation par glissement G , le degré d'amortissement ζ et le coefficient de Poisson ν . Ces variables sont fortement dépendantes de la vitesse de chargement, des amplitudes des déformations et de la fréquence.

Les déformations générées dans le sol dépendent de plusieurs facteurs, dont les propriétés du sol lui-même et sa composition, la nature des sollicitations agissantes, et le type de fondations (souples, ou rigides).

Chapitre I

Notion de base sur les séismes

I.1. Introduction

Un séisme, ou tremblement de terre, se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur. Cette fracturation est due à une grande accumulation d'énergie qui se libère, en créant ou en faisant rejouer des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint.

La croûte terrestre est constituée de plusieurs grandes plaques qui évoluent les unes par rapport aux autres : certaines s'écartent, d'autres convergent, et d'autres coulisent. Environ 90% des séismes sont localisés au voisinage des limites de ces plaques.

I.2. Définition

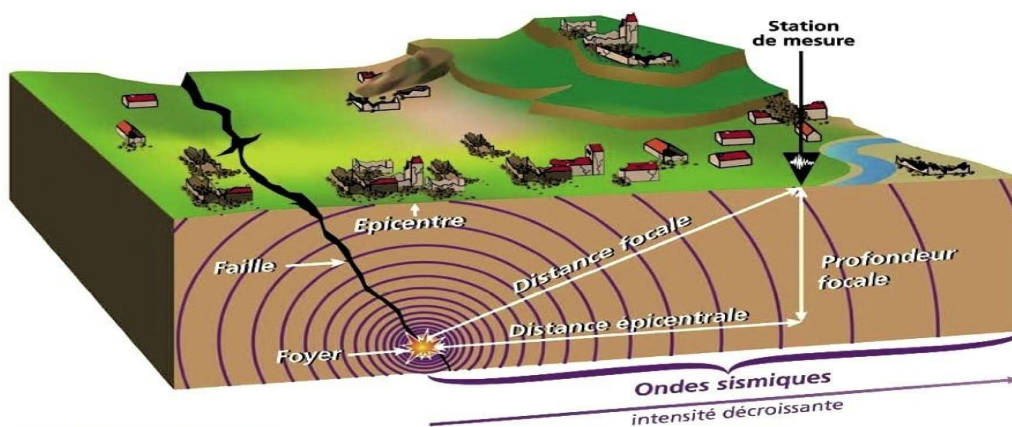
Un tremblement de terre est un ensemble de secousses et de déformations brusques de l'écorce terrestre qui découle de la libération brusque d'énergie accumulée par les déplacements des plaques tectoniques de la terre.

Les séismes ne sont pas la plupart du temps ressentis par les humains parce qu'ils sont trop faibles mais parfois, ils peuvent être dévastateurs.

I.3. Origine et actions des séismes

Un séisme est un glissement brutal le long d'une faille sismique. C'est ce glissement brutal qui va comprimer (ou dilater) et cisailer les roches environnantes. Ces compressions/cisaillements vont se propager de proche en proche dans les roches. C'est ce que l'on appelle les ondes sismiques. Donc, schématiquement, les failles sismiques sont à l'origine des séismes, qui eux-mêmes engendrent les ondes sismiques. [1].

Figure 1-1 : L'origine et la distribution des ondes sismiques



Source: Préfecture des Hautes-Alpes

I.4. Caractéristiques d'un séisme

- **Un foyer** : Point d'amorce de rupture en profondeur au niveau d'une faille.
- **Des ondes** :
 - Les ondes de fond
 - Les ondes de surface
- **Un épicentre** : Lieu d'intensité maximale à la verticale du foyer.
- **Une magnitude** : Quantification de l'énergie libérée au foyer.
- **Une intensité** : Importance des dégâts en surface [2].

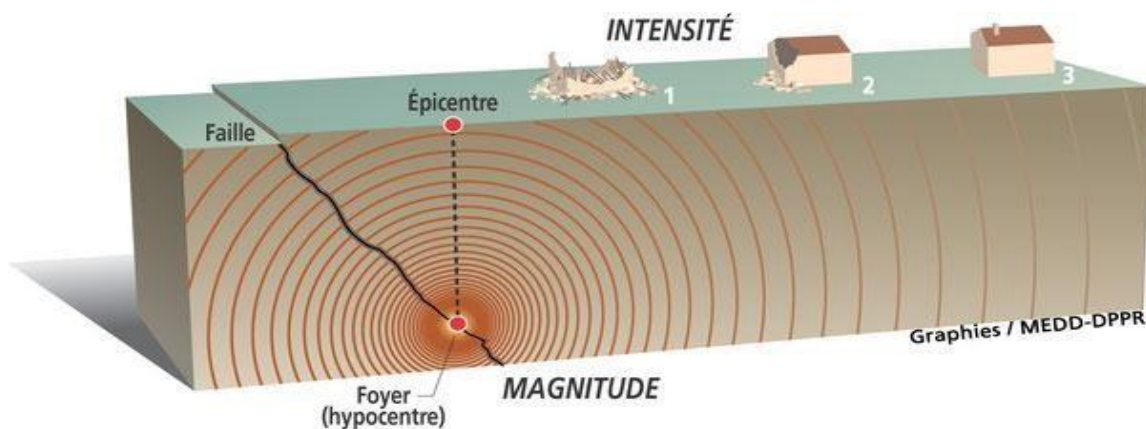


Figure 1-2 : Mouvement et caractéristiques d'un séisme

I.5. Nature et mode de propagation des ondes sismiques

Les propriétés élastiques des roches et des sols permettent à l'énergie libérée par la rupture des roches déformées de se propager à partir du foyer dans toutes les directions sous forme d'ondes. Dont le front forme idéalement une surface sphérique. Et qui traversent le globe de part en part. Il s'agit d'ondes de volume.

Comme lors de toute impulsion dans un milieu infini deux trains d'ondes se propageant à des vitesses différentes sont formés : Ondes de compression et ondes de distorsion. Les premières appelées ondes longitudinales compriment et dilatent successivement le milieu parcouru. Les secondes ondes transversales, font osciller les particules du sol perpendiculairement à la direction de la propagation. En un point, celle-ci est normale au front d'ondes ; on l'appelle rai sismique. On peut distinguer deux principaux types d'ondes sismiques [3] :

I.5.1. Ondes de volume

Celles qui se propagent à l'intérieur de la terre et qui comprennent les ondes s et les ondes p

- **Ondes primaires ou ondes longitudinales (P)**

Les ondes P (primaires) qui progressent en animant les sols traversés en compression / dilatation comme les spires d'un ressort. Les ondes P sont des ondes de compression assimilables aux ondes sonores et qui se propagent dans tous les états de la matière (gazeux, liquide et solide). Les ondes P se déplacent en créant successivement des zones de compression et des zones de dilatation. Les particules se déplacent localement selon un mouvement " avant-arrière " dans la direction de la propagation de l'onde (figure 1-3).

- a) Vitesse : de l'ordre de 4 à 6 km/s Plus rapides que l'onde S, ce sont les premières enregistrées par les appareils, d'où leur dénomination.
- b) Périodes : de l'ordre de la seconde (de la fraction de seconde à quelques secondes)
- c) Longueur d'onde : de l'ordre de 4 à 6 km.

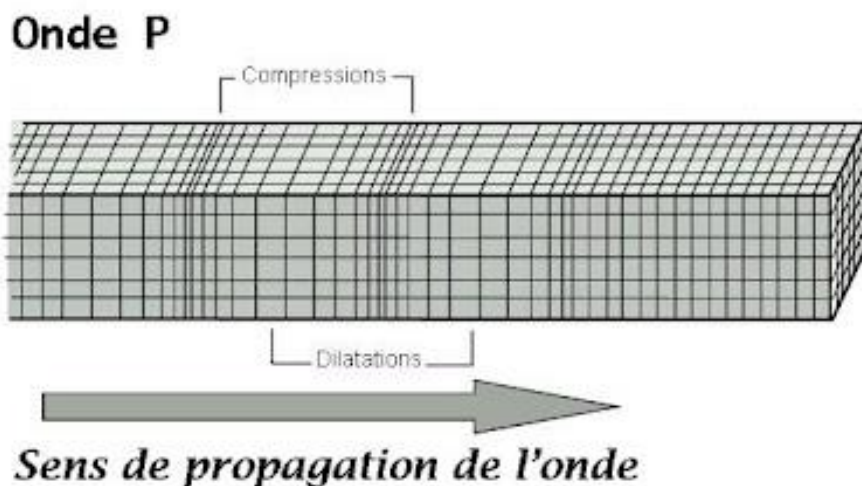


Figure 1-3 : Mouvement des particules au passage d'une onde P

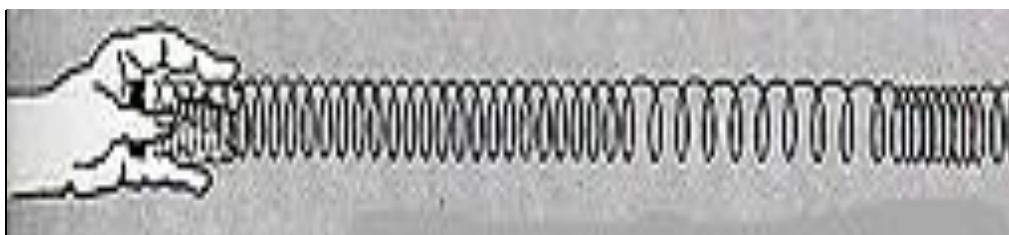


Figure 1-4 : Modélisation des ondes P

- **Onde secondaire ou ondes de cisaillements (S)**

Les ondes S sont des ondes de cisaillement qui ne se propagent que dans les solides. Les particules oscillent localement dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (figure 1-5).

- Vitesse : 60% de celle des ondes P
- Périodes : de l'ordre de la seconde (de la fraction de seconde à quelques secondes)
- Longueur d'onde : de l'ordre de 4 à 6 km

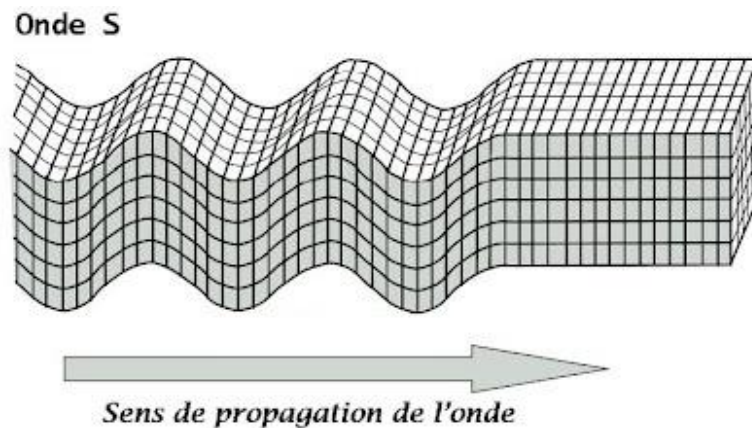


Figure 1-5 : Mouvement des particules au passage d'une onde S

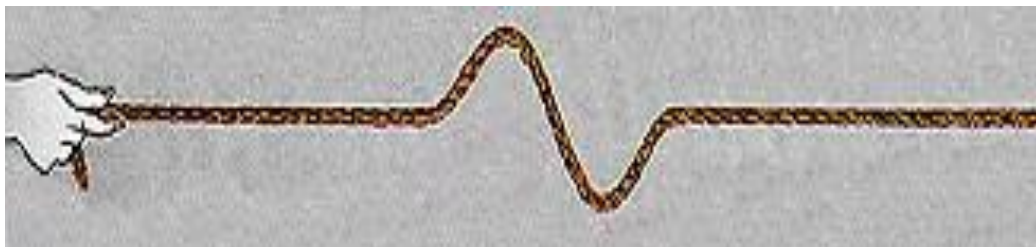


Figure 1-6 : Modélisation de l'onde S

I.5.2. Ondes de surface

Elles sont générées par l'arrivée des ondes de volume à la surface du globe. Plus le séisme est profond, moins elles sont puissantes. Elles concernent les couches superficielles des sols. Les ondes de love et de rayleigh ont un contenu fréquentiel qui concerne certaines structures, mais leur influence sur les constructions courantes est négligeable :

- Vitesse : de l'ordre de 1 à 2 km/s
- Périodes : de l'ordre de 20 s
- Longueur d'onde : de l'ordre de 20 à 40 km

- **Ondes sismiques de love**

Les ondes de love ou ondes L sont des ondes de cisaillement, comme les ondes S, mais qui oscillent dans un plan horizontal. Elles impriment au sol un mouvement de vibration latéral (figure 1.7).

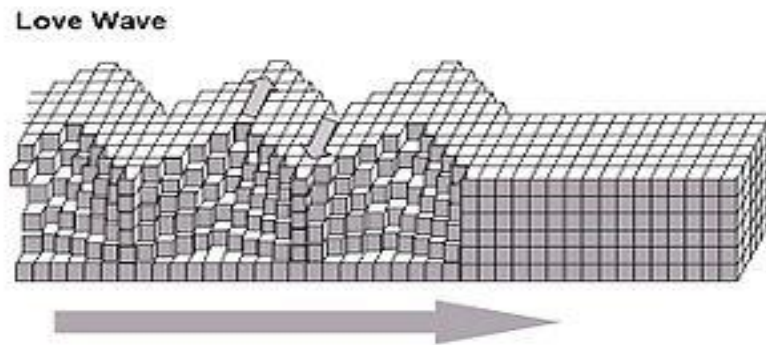


Figure 1-7 : Mouvement des particules au passage d'une onde love

- **Ondes sismiques rayleigh**

Les ondes de Rayleigh sont assimilables à une vague ; les particules du sol se déplacent selon une ellipse dans le plan vertical, créant une véritable vague qui affecte le sol lors des grands tremblements de terre (figure 1.8) [3].

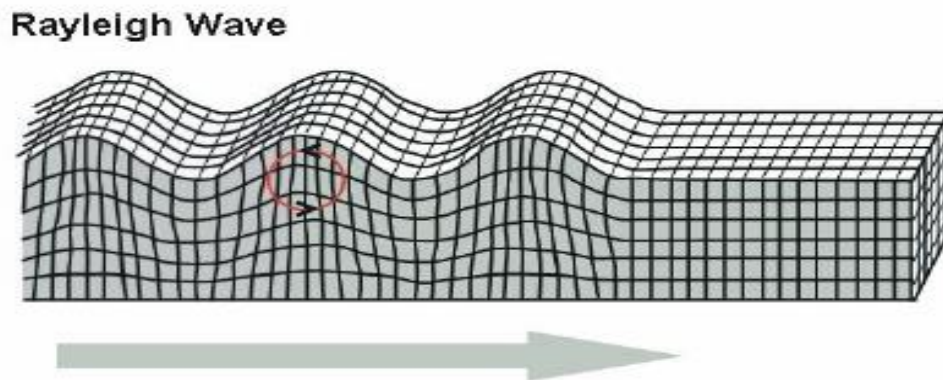


Figure 1-8 : Mouvement des particules au passage d'une onde rayleigh

I.6. Mesure des ondes sismiques

I.6.1. Sismographes

Le sismographe est un appareil très sensible. Lors d'un séisme, le mouvement enregistré est très simplifié par rapport au mouvement réel du sol. Pour connaître le mouvement sismique il faut enregistrer ses deux composantes horizontales et sa composante verticale.

Pour cela on utilise des sismographes à inertie dits « horizontaux » et des sismographes à inertie dits « verticaux » (figure 1.9) :

- Le sismographe horizontal est construit de telle sorte qu'il ne peut enregistrer le mouvement du sol que dans une seule direction horizontale.
- Le sismographe vertical est conçu de telle sorte qu'il ne peut enregistrer le mouvement que dans la direction vertical.

Dans des stations d'observation sismographiques ,il faut au minimum, trois sismographes : 2 horizontaux et 1 vertical.

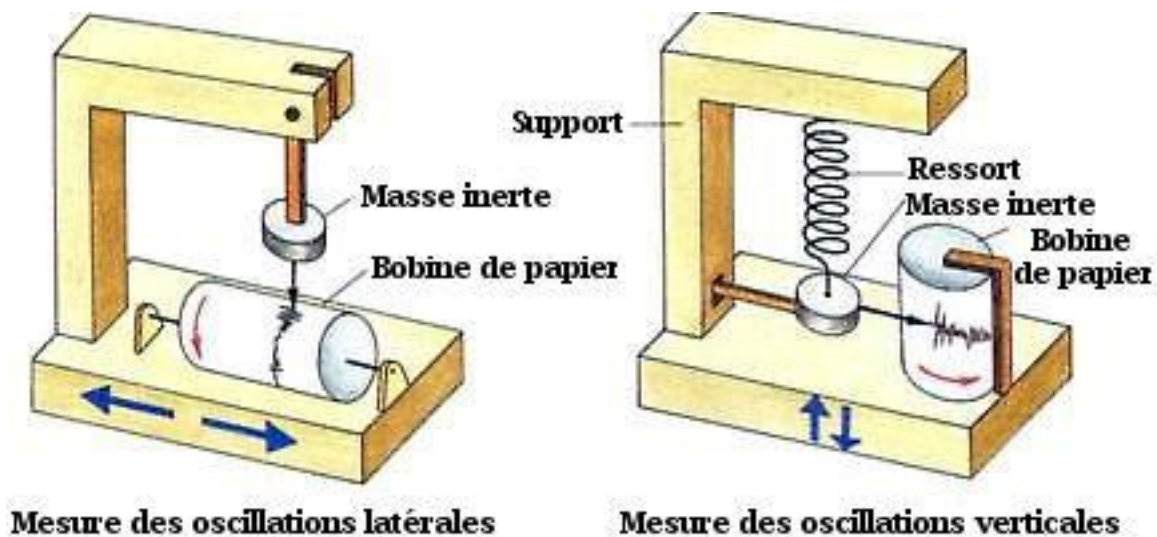


Figure 1-9 : Fonctionnement d'un sismographe.

I.6.2. Sismogramme

Un sismogramme est l'enregistrement obtenu à partir des sismographes. C'est une courbe qui varie en fonction de l'énergie libérée au foyer sous la forme d'ondes sismiques, de la distance foyer station sismographique, de la nature et la structure du milieu traversé par les ondes et enfin, du type de sismographe utilisé. Le fait que les ondes sismiques arrivent aux stations d'enregistrement comprend non seulement les ondes qui ont suivi le chemin le plus direct entre le foyer et la station mais aussi des ondes qui n'y sont parvenues qu'après une série [4].

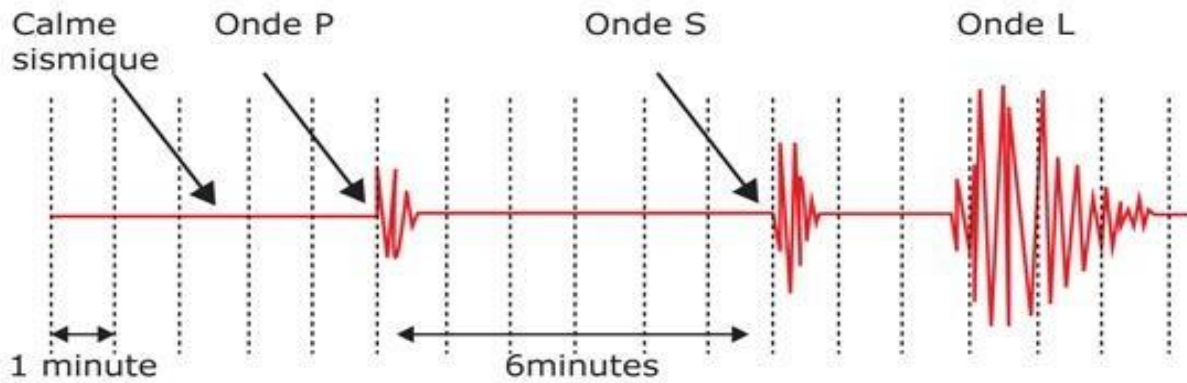


Figure 1-10 : Enregistrement sismographique

I.7. Echelles d'évaluation d'un séisme

Nous disposons de deux échelles pour évaluer les tremblements de terre :

I.7.1. Echelle de mercalli

A été développée en 1902 et modifiée en 1931. Elle indique l'intensité d'un séisme sur une échelle de I à XII. Cette intensité est déterminée par deux choses : l'ampleur des dégâts causés par un séisme et la perception qu'a eue la population du séisme. Il s'agit d'une évaluation qui fait appel à une bonne dose de subjectivité. De plus, la perception de la population et l'ampleur des dégâts vont varier en fonction de la distance à l'épicentre. On a donc avec cette échelle, une échelle variable géographiquement.

I.7.2. Echelle De Richter

A été instaurée en 1935. Elle nous fournit ce qu'on appelle la magnitude d'un séisme sur une échelle de 1 à 9 plus, calculée à partir de la quantité d'énergie dégagée au foyer. Elle se mesure sur une échelle logarithmique ouverte ; à ce jour, le plus fort séisme a atteint 9,5 sur l'échelle de richter (survenu le 22 mai 1960 au chili) [4].

I.8. Zonage du risque sismique (aléas sismiques)

Le zonage du risque sismique. C'est-à-dire la division du territoire en «zones de sismicité» à l'intérieur desquelles l'aléa sismique peut être considéré comme uniforme. Constitue une base essentielle pour la définition de règles régissant les constructions résistantes aux séismes ; l'aléa sismique étant défini en site donné par la probabilité qu'au cours d'une période de référence (par exemple : probabilité annuelle), une secousse sismique atterrage ou intensité.

Les critères de classifications selon le « RPA 99, version 2003 » sont : les zones sismiques, l'importance des ouvrages, les sites, les systèmes de contreventement et la régularité des ouvrages. Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante et dont la figure ci-dessous représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas. L'annexe I du « RPA 99, version 2003 » donne la classification sismique par wilaya et par commune lorsque la wilaya est partagée entre deux zones sismiques différentes ou plus.

Zone0 : Sismicité négligeable.

Zone1 : Sismicité faible.

Zone2 : «a» et «b» : Sismicité moyenne.

Zone3 : Sismicité élevée.

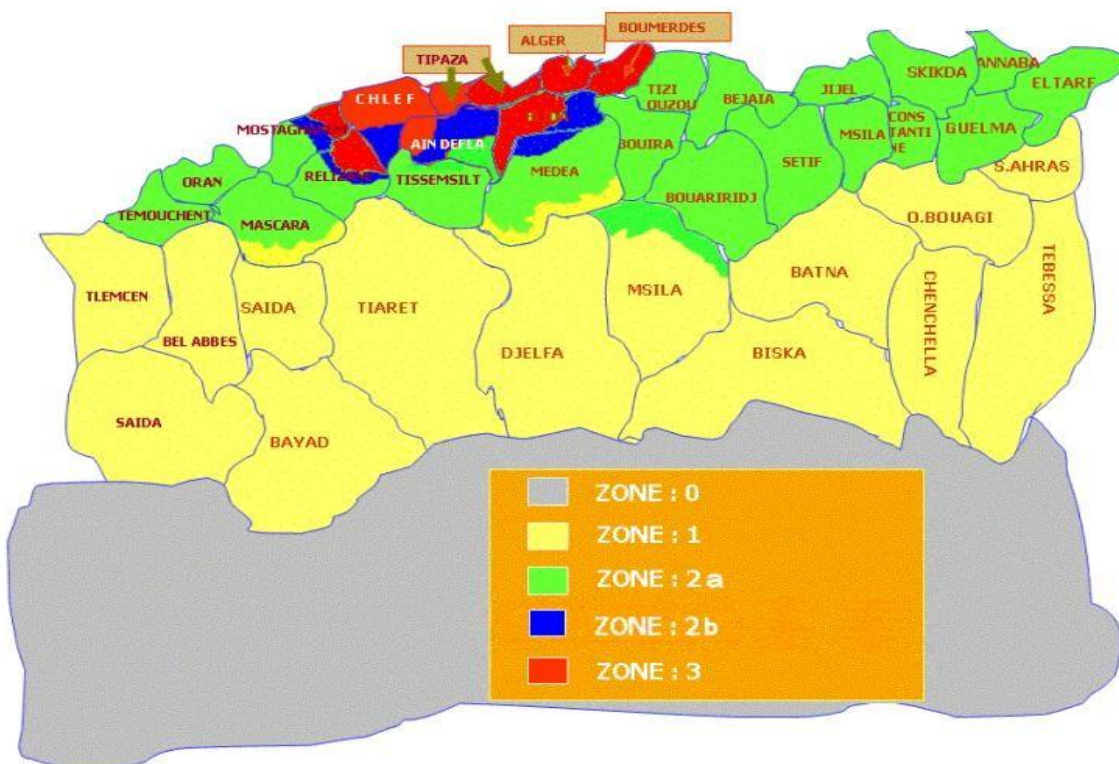


Figure 1-11 : Zone sismique du territoire national

Tableau 1-1 : Coefficient d'accélération de zone sismique (RPA-version 2003)

Groupe	Les zones				Classification des ouvrages selon leur importance
	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III	
1A	0.15	0.25	0.3	0.4	Ouvrages d'importance vitale : sécurité - hôpitaux
1B	0.12	0.2	0.25	0.3	Ouvrages de grande importance : scolaire et culte
2	0.1	0.15	0.2	0.25	Ouvrages courants : habitations- bureaux
3	0.07	0.1	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance : hangars

- **Classification des ouvrages selon leur importance**

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa destination et de son importance vis à vis des objectifs de protection fixés par la collectivité, le « RPA 99 version 2003 » préconise 4 groupes :

Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale : sécurité-hôpitaux.

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance : scolaire et culte.

Groupe 2 : Ouvrages courants : habitation-bureaux.

Groupe 3 : Ouvrages de faible importance : hangars.

- **Classification des sites**

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

Catégorie S1 (site rocheux) : Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement (v_s) à 800m/s.

Catégorie S2 (site ferme) : Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 m à 20 m d'épaisseur avec v_s 400 m/s à partir de 10 m de profondeur.

Catégorie S3 (site meuble) : Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec $v_s > 200$ m/s à partir de 10 m de profondeur.

Catégorie S4 (site très meuble) : Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $v_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.

Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec $v_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres [5].

Tableau 1-2 : Classification des sites (RPA/version 2003).

Site	Type de sol	q_c (mpa)	PL (Mpa)	E_p (Mpa)	q_u (Mpa)
S1	Rocheux(a)	-	>5	>100	>10
S2	Ferme	>15	>2	>20	>0.4
S3	Meuble	1.5-15	2-Jan	20-May	01 - 0.4
S4	Très Meuble	<1.5	<1	<5	<0.1

q_c : résistance de pointe pénitrométrique.

PL : pression limite pressiométrique.

E_p : module pressiométrique.

q_u : contrainte ultime.

v_s : vitesse des ondes sismiques de cisaillement.

I.9. Conclusion

Ce chapitre a pour but de mettre en évidence le phénomène sismique et l'importance des zones sujettes à des séismes d'importance moyenne à grande est également mise en avant afin de parvenir à une démarche cohérente pour la conception d'un ouvrage stable.

Chapitre II
EFFETS DU SEISME SUR LES
BATIMENTS

II.1.Introduction

Un séisme est un glissement brutal le long d'une faille sismique. C'est ce glissement brutal qui va comprimer (ou dilater) et cisailer les roches environnantes. Ces compressions/cisaillements vont se propager de proche en proche dans les roches. C'est ce que l'on appelle les ondes sismiques. Donc, schématiquement, les failles sismiques sont à l'origine des séismes, qui eux-mêmes engendrent les ondes sismiques.

II.2 Différents type de structures en béton armé

II.2.1. Voiles en béton armé

Le voile béton est une paroi, obtenue par coulage d'un béton, dans un coffrage vertical. Il peut être réalisé en béton décoratif : coloré, avec relief. Conseil et info sur cet élément de maçonnerie .Le voile en béton désigne une paroi verticale en béton armé, réalisée avec un béton banché. [7]



Figure II.1 : Construction en voile de béton armé

II.2.2. Structure en portique (poteau-poutre)

Les structures en portique sont des structures pour les quelles charges dynamiques horizontales passent par les mêmes éléments de la structure que les charges statiques verticales. [8]



Figure II.2 : Eclatement de zones critiques (extrémités des poteaux et poutres)

II.2.3. Structure mixte (portique + voile)

La meilleure façon de rendre les bâtiments en poteaux-poutres parasismiques est de les contreventer par des voiles en béton armé. Les voiles deviennent ainsi la structure principale, dont le rôle est de résister aux forces horizontales. [9]



Figure II.3 : Voile en béton armé

II.3. Comportement dynamique des ouvrages

Lors des tremblements de terre, les constructions subissent des oscillations horizontales, verticales et de torsion provoquées par des mouvements du sol d'assise qui génèrent des efforts en flexion et en cisaillement dans leurs éléments constructifs (figure II.4).

Il n'existe pas de "charges sismiques" à proprement parler bien que pour les besoins du calcul des forces d'inertie soient associées aux déformations imposées à l'ouvrage. [10]

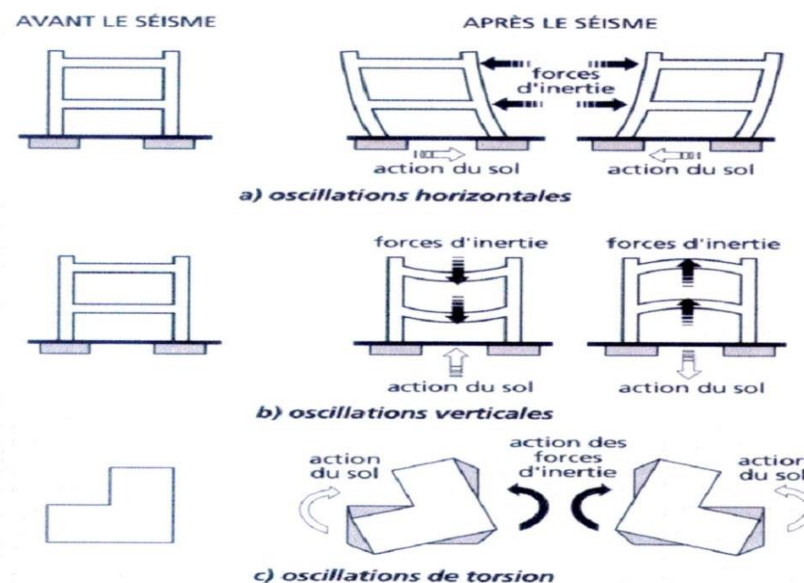


Figure II.4 : Oscillations des constructions par les vibrations du sol

II.4. Types de déformation

On distingue plusieurs types de déformations selon les contraintes exercées

- **Traction** : les matériaux sont soumis à deux forces opposées et s'étirent
- **Flexion** : les matériaux sont soumis à deux forces opposées ; un côté s'allonge sous l'effet d'une traction et l'autre côté se raccourcit sous l'effet d'une compression
- **Cisaillement** : les matériaux sont soumis à deux forces opposées ; une diagonale s'allonge sous l'effet d'une traction et l'autre se raccourcit sous l'effet d'une compression [11].
- **Torsion** : La torsion est l'état de déformation d'un matériau qui a été tordu par un couple appliqué. Elle se produit chaque fois qu'un élément structural est soumis à une force de torsion.

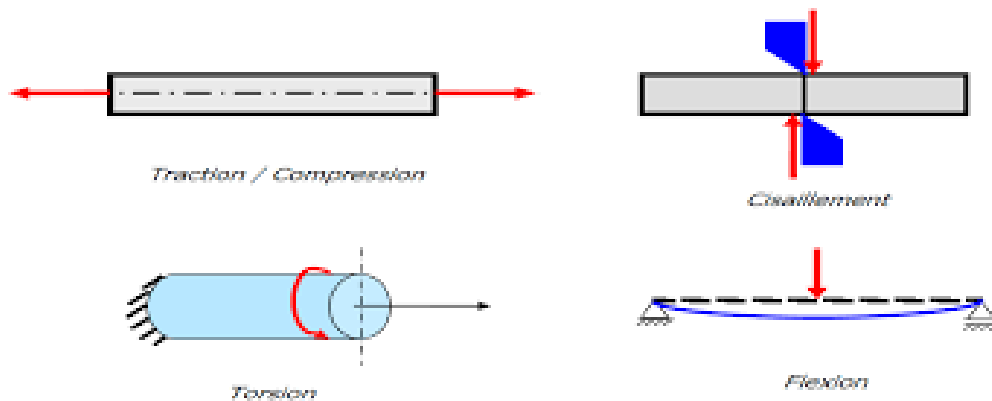


Figure II.5 : Différents types de déformation d'un bâtiment

II.5. Effet des séismes sur les bâtiments

II.5.1. Effets directs

II.5.1.1. Etage souple

C'est le dégât sismique le plus répandu. Seulement un étage est concerné par l'effondrement, contrairement à l'effondrement en galette qui concerne plusieurs étages.

Ceci se produit lorsque les éléments de stabilisation sont interrompus à un étage. Très souvent, le rez-de-chaussée des bâtiments est réservé à des commerces et doit donc offrir un espace maximal. Pour cette raison, l'architecte renonce aux murs porteurs et les remplace par de simples colonnes. L'étage devient alors trop flexible. [12]

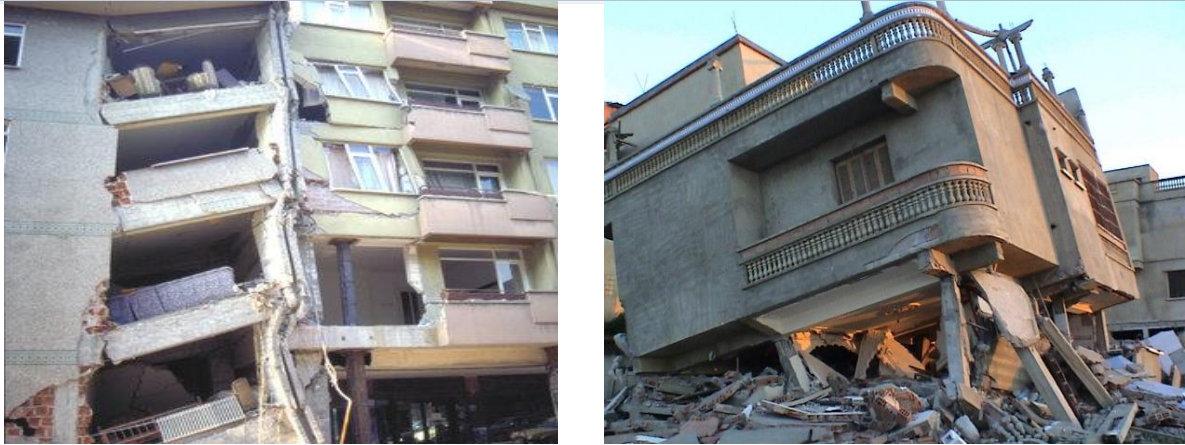


Figure II.6 : Etage souple

II.5.1.2. Martèlement

Les bâtiments sont soumis à des sollicitations horizontales importantes. Deux bâtiments voisins peuvent donc entrer en collision si l'espace qui les sépare n'est pas suffisant. Le martèlement ou entrechoquement des bâtiments constitue donc une cause de dégâts lors de séismes dans les zones urbaines.

Le danger est particulièrement important si les bâtiments n'ont pas la même hauteur ou que les étages ne coïncident pas. [12]

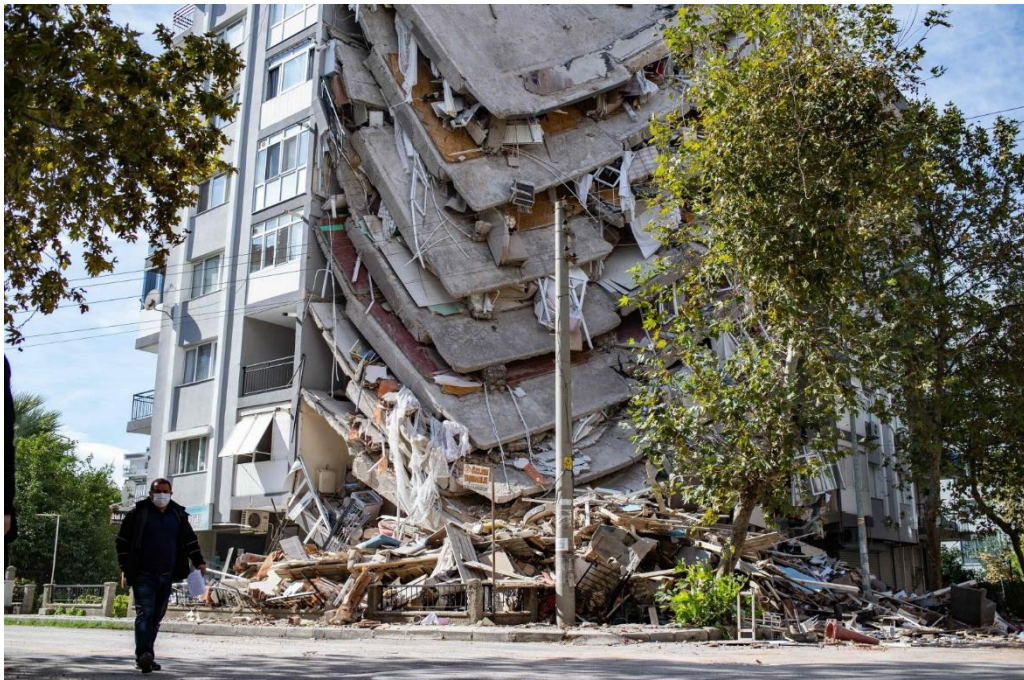


Figure II.7 : Martèlement

II.5.1.3. Colonne captive et colonne courte

Des dégâts se produisent également en cas de colonne captive ou de colonne courte. Comme la montre la figure ci-dessous, la colonne qui fait partie d'un cadre est entravée dans une partie de sa hauteur par des éléments de maçonnerie. On voit qu'elle s'est déformée à un endroit qui n'était pas prévu (en dehors de la zone où les étriers du béton sont resserrés). [12]



Figure II.8 : Colonne captive et colonne courte

II.5.1.4. Fissures en croix

Elles montrent le caractère cyclique (mouvement de va-et-vient) et la direction principalement horizontale des sollicitations sismiques.

Les mouvements horizontaux entraînent une rupture oblique (45°) dans les murs verticaux fragiles. On parle de traction diagonale perpendiculaire à la compression principale issue du cisaillement. La forme en croix provient du fait que l'action sismique ne s'exerce pas uniquement dans une seule direction, mais qu'elle s'inverse plusieurs fois. [12]

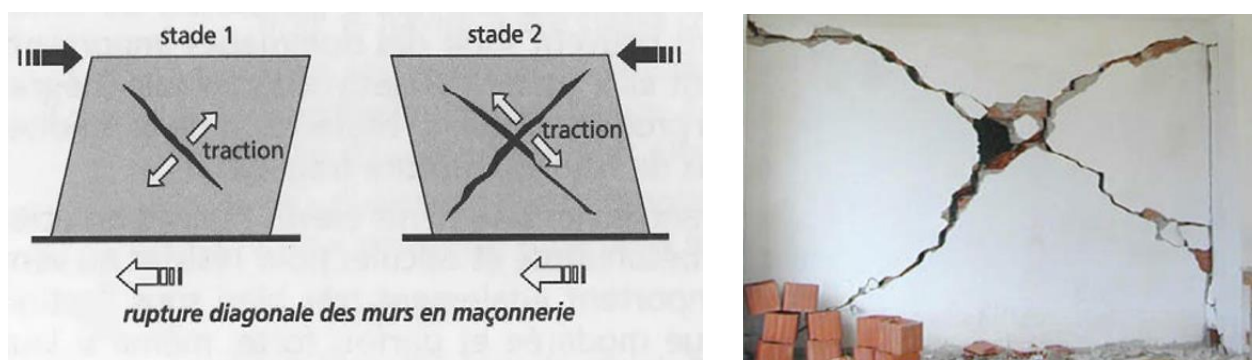


Figure II.9 : Fissures en croix

II.5.1.5. Effondrement en galette

Ce type d'effondrement se produit lorsque la stabilisation latérale est insuffisante. Les étages s'effondrent alors les uns sur les autres. On parle d'effondrement en galette.[12]



Figure II.10 : Effondrement en galette

II.5.1.6. Dommages dus aux détails d'armature

Pour les éléments en béton armé. Quelques lacunes récurrentes dans la conception ou la réalisation des détails d'armature provoquent des dégâts sismiques typiques. Ces erreurs classiques sont les suivantes :

- Ancrage déficient de l'armature transversale
- Espacement excessif de l'armature de stabilisation
- Recouvrement dans les zones sensibles de fortes déformations plastiques

Dans les éléments en béton armé, des détails constructifs sont souvent déficients. Les crochets d'angle des étriers à 90° ne sont pas suffisamment ancrés lorsque le béton de couverture a éclaté, les recouvrements fragilisent les zones sensibles où de fortes déformations plastiques vont se concentrer (figure II.11), les étriers trop espacés n'empêchent pas le flambage de l'armature longitudinale à la base de voile et on dans les colonnes (figure II.12). [13]



Figure II.11 : Ancrage déficient de l'armature transversale et recouvrement dans les zones sensibles



Figure II.12 : Flambage de l'armature longitudinale a la base de voile et dans les colonnes

II.5.2.Effets indirects

II.5.2.1 Mouvements gravitaires (glissements)

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent (de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables : quelques mètres cubes dans le cas du simple glissement de talus ponctuel à quelques millions de mètres cubes dans le cas d'un mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant. [14]



Figure II.13 : Mouvements gravitaires

II.5.2.2. Liquéfaction

La liquéfaction est un phénomène dans lequel la résistance au cisaillement d'un sol est réduite par les secousses d'un séisme ou d'un autre chargement rapide. La liquéfaction se produit dans les sols pulvérulents saturés d'eau ; la présence d'eau provoque une pression interstitielle sur les particules de sol, ce qui fait la diminution des contraintes effectives régnant dans le sol et donc une diminution de sa résistance au cisaillement qui, à l'état ultime, peut devenir nulle. [6]



Figure II.14 : Liquéfaction

II.6. Conclusion

Tous les problèmes de comportement dynamique inhérents aux choix architecturaux doivent être pris en charge, soit par modification de l'architecture ou soit en découplant les parties d'ouvrage et soit en trouvant des solutions au niveau de la structure.

Chapitre III

Modélisation de l'interaction sol structure

III.1 Introduction

Ce travail consiste à calculer la réponse de la structure pour différents types de sites (rocheux; ferme; meuble; très meuble), en considérant deux hypothèses relatives à la nature des appuis à la base de la structure. Les réponses sismique avec et sans interaction sol-structure seront étudiées et comparées les efforts tranchant et les moments fléchissent et les déplacements de structure.

III.2.Presentation et caractéristiques des structure

III.2.1.Présentation des structures

Les structures considérées pour l'étude sont des structures en (R+3), régulières en plan et en élévation à usage d'habitation, dans la région de Oulad addi Igbala dans la wilaya de m'sila est classée dans le groupe d'usage 2 et supposée être implantée en zone de moyenne sismicité (zone IIa).La structure repose sur des semelles superficielles en béton armé de section carrée ($a \times b = 1.4 \times 1.4$) m^2 .Le sol est supposé homogène avec un comportement élastique linéaire.

III.2.2Caractéristiques géométriques

La structure étudiée représente vue en plan. Cette vue comporte 04 travées dans le sens x-x et trois travées dans le sens y-y, elle est illustrée dans la (figure III.1) et vue en élévation (figure III.2), les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont récapitulées dans le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1 : caractéristiques géométriques de structure.

Les caractéristiques géométriques	Valeur (m)
Longueur totale	12.48
Largeur totale	10.40
Hauteur totale (sans acrotère)	14.88
Hauteur du R.D.C	3.4

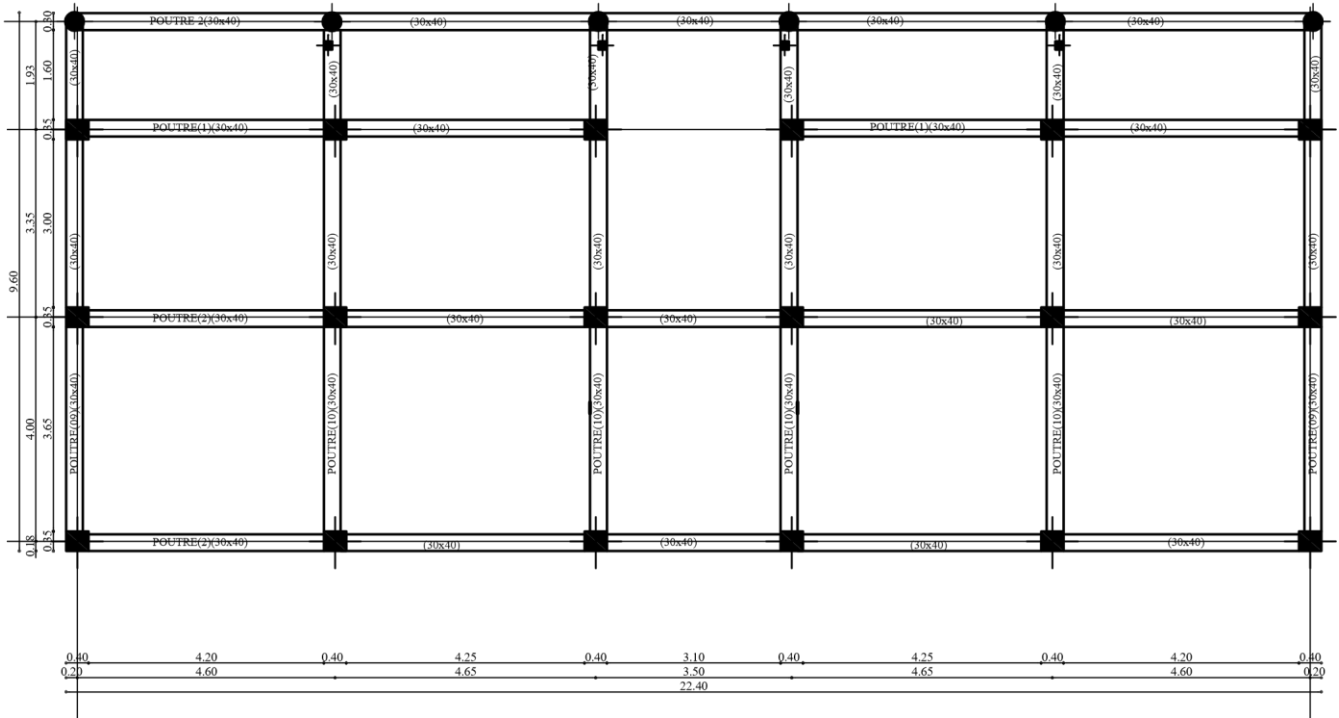
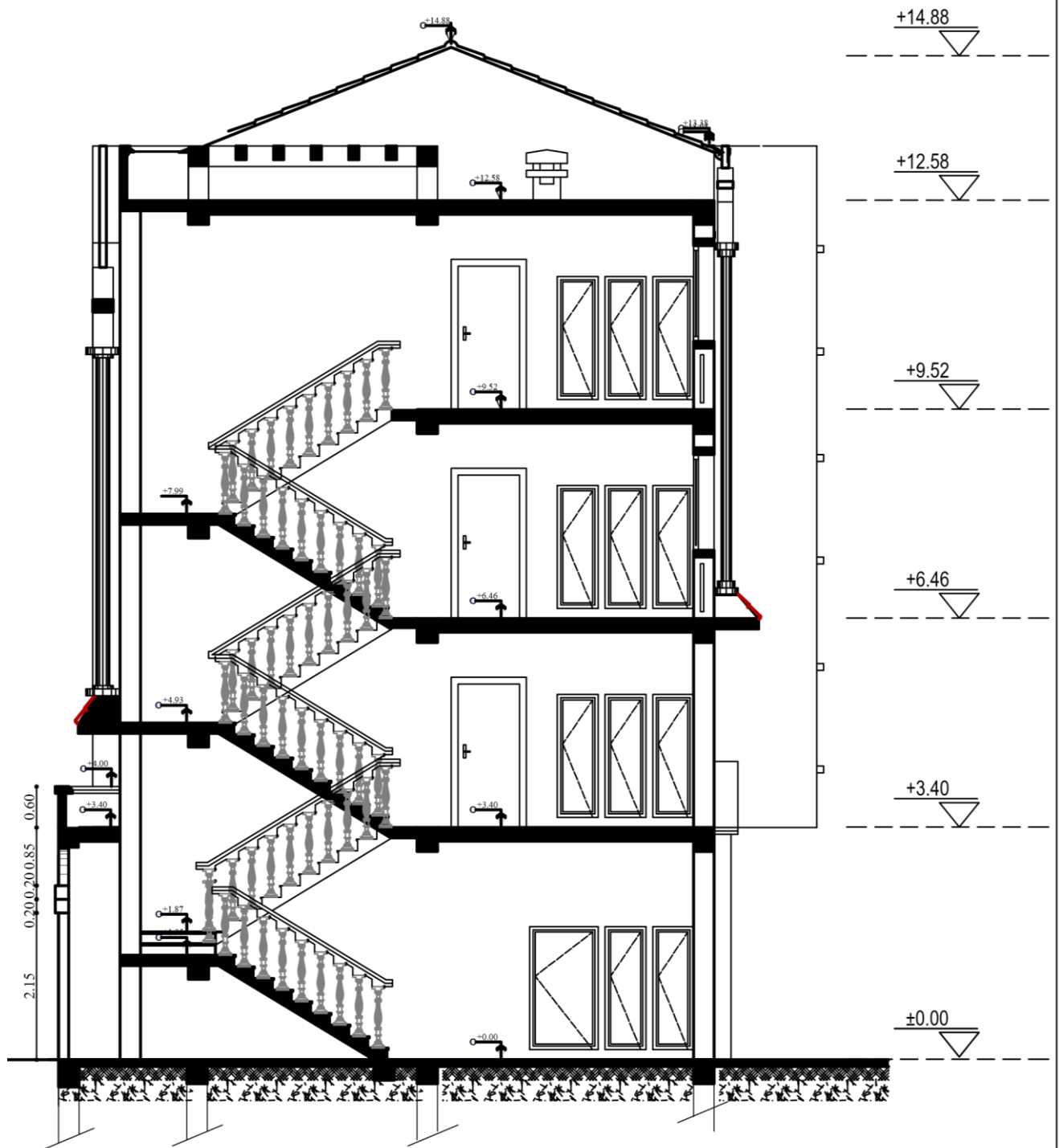


Figure III.1 : Vue en plan



Coupe A-A

Figure III.2 : Vue en élévation.

III.2.3 Caractéristiques mécaniques du béton

Le béton est un matériau obtenu par un mélange adéquat de granulats (sable, gravier) le liant hydraulique (ciment) et de l'eau. Il présente de bonne résistance en compression, de l'ordre de 20 à 40 MPA pour le béton ordinaire. Par contre, son comportement est fragile vis -à-vis de la traction.

a) Résistance caractéristique du béton à la compression

Un béton est défini par la valeur de sa résistance à la compression à l'âge 28 jours exprimé en MPA, pour le présent projet on adopte $f_{c28}=25$ MPA.

b) Module d'élasticité

C'est le rapport entre la contrainte appliquée et la déformation relative, il est définissable que dans la phase élastique où il y a proportionnalité des contraintes et déformations.

✚ Module de déformation longitudinale

- Le module de déformation longitudinal instantané E_{ij} est :

$$E_{ij}=11000 \sqrt[3]{f_{c28}} \text{ soit donc } E_{ij}= 32164.2 \text{ MPA.} \quad (4.1)$$

- Le module de déformation longitudinal différé E_{vj} est :

$$E_{vj}=3700 \sqrt[3]{f_{c28}} \text{ soit donc } E_{ij}= 10819 \text{ MPA.} \quad (4.2)$$

✚ Module de déformation transversale

La valeur du module d'élasticité transversale est donnée par :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4.3)$$

E : Module de Young

ν : Coefficient de poisson

c) Le coefficient de poisson

C'est le rapport entre la déformation relative transversale et la déformation relative longitudinale et vaut :

✚ $\nu = 0$: Le calcul des sollicitations en considérant le béton fissuré (**ELU**)

- ✚ $\nu = 0.2$: Le calcul des déformations en considérant le béton non fissuré (ELS).

III.2.2 Dimensionnement de la structure

III.2.2.1 Planchers

Sont réalisés en corps creux (16+ 4)

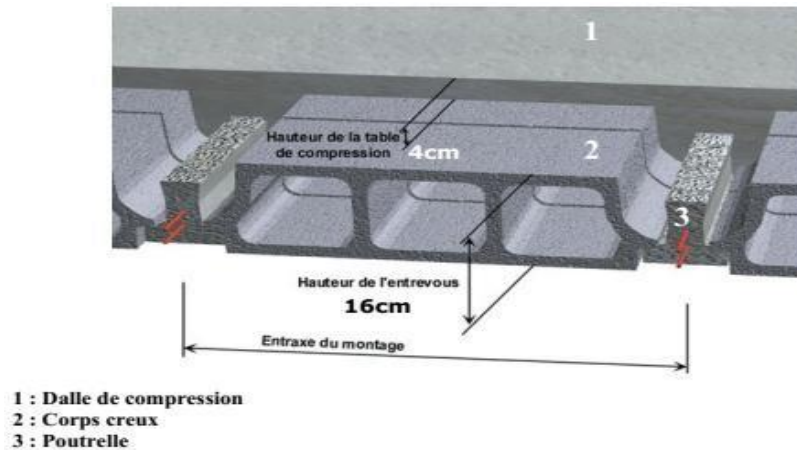


Figure III.3 : Planchers en corps creux (16+ 4).

III.2.2.2 Poteaux et Poutres

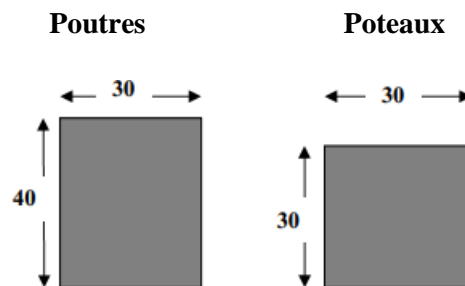


Figure III.4: Dimension des sections de béton des poutres et des poteaux de structure.

III.2.3 Charges appliquées

III.2.3.1 Charges gravitaires

On rappelle que les structures considérées sont à usage d'habitation à planchers à corps creux de type (16+4) ; les charges gravitaires sont évaluées comme suit :

- ✚ Les charges permanentes (**G**) du plancher terrasse sont évaluées à **5.6 KN/m²** et celles du plancher courant à **4.8 KN/m²**.
- ✚ Les charges d'exploitation (**Q**) du plancher terrasse sont de **1 KN/m²** et celles du plancher courant à **1.5 KN/m²**.

III.2.3.2 Charges sismiques

Les charges sismiques agissant sur les structures étudiées sont les forces latérales appliquées aux différents niveaux des structures.

Les forces sismiques globales agissant sur l'ensemble de chaque bâtiment sont calculées sur la base d'une analyse modale spectrale de ce dernier à l'aide de logiciel ROBOT STRCURAL ANALYSIS et on utilisant comme action sismique le spectre de réponse de calcul défini dans le RPA99/version2003.

III.2 Méthode de l'analyse modale spectrale

Dans la pratique, elle constitue la méthode principale de calcul la mieux adaptée aux moyens actuels; de plus, de manière plus ou moins explicite, elle se trouve à la base des méthodes simplifiées. Il s'agit de mettre en évidence les modes propres du mouvement libre (caractéristique de la structure) et d'introduire le spectre de dimensionnement qui fournit la valeur de la réponse maximale à un instant donné. Du point de vue du génie parasismique, la réponse maximale d'une structure, au cours d'un séisme, importe plus que la chronologie détaillée du mouvement dans le temps. Donc, l'analyse modale spectrale désigne la méthode de calcul des effets maximaux d'un séisme sur une structure et comporte les étapes suivantes:

- ✚ Recherches des modes propres ; ainsi que la sélection des modes utiles et prise en compte éventuellement du pseudo-mode.
- ✚ Calcul de la réponse modale.
- ✚ Combinaisons des réponses modales.
- ✚ Cumul des effets des composantes du mouvement sismique

III.2 Spectre de réponse selon le RPA 99 (ver 2003)

A chaque catégorie de site est associé un spectre de réponse en accélération, en considérant les périodes caractéristiques T_1 et T_2 de chaque catégorie de site dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : les périodes caractéristiques des sites.

Site	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T₁ (sec)	0,15	0,15	0,15	0,15
T₂ (sec)	0,30	0,40	0,50	0,70

La forme du spectre élastique normalisé en accélération en fonction de la période T se calcule à l'aide des relations suivantes:

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \left(\frac{Q}{R} \right) - 1 \right) \right] & \rightarrow 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & \rightarrow T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & \rightarrow T_2 \leq T \leq 0.3s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_3}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & \rightarrow T \geq 0.3s \end{cases}$$

S_a : Accélération spectrale associée au mode de vibration de période **T** du bâtiment.

A : Coefficient d'accélération de zone.

η : Correction d'amortissement.

ζ : Pourcentage d'amortissement critique.

R : Le coefficient de comportement.

Q : Facteur de qualité.

T₁, T₂ : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

La modification de l'action sismique est prise en compte donc par la forme du spectre de réponse, Il est indispensable alors, de connaître la nature du sol de fondation avant de choisir le spectre de réponse à utiliser dans les calculs.

La réponse de la structure est évaluée en considérant les quatre spectres de calcul associés aux différentes catégories de site (S1, S2, S3 et S4) figure III.5.

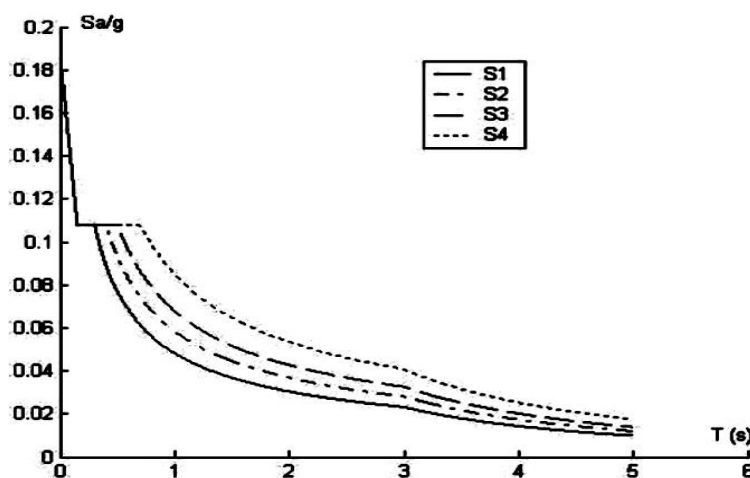


Figure III.5 : Spectre de réponse de calcul « structure auto stable » des quatre sites.

❖ Présentation du logiciel ROBOT

Logiciel Robot est un logiciel de calcul et d'analyse des structures nous permet de représenter une structure réelle par un modèle numérique que le logiciel peut le traiter et l'analyser et détermine les efforts internes (moments, efforts normaux, efforts tranchants), qui résistent les charges extérieures appliquées sur la structure, par utilisation de la méthode des éléments finis.[15]

❖ Etapes de modélisation

Nous pouvons résumer les étapes de modélisation comme suit :

- Introduction de la géométrie du modèle
- Spécification des propriétés mécaniques de l'acier et du béton
- Spécification des propriétés géométriques des éléments (poteaux, poutres, voiles,...)
- Définition des charges (G, Q) et introduction du spectre (E)
- Affectation des charges revenant aux éléments
- Introduction des combinaisons d'actions
- Définition des nœuds maitres inertie d'étages
- Spécification des conditions aux limites (appuis, diaphragmes)
- Exécution de l'analyse et visualisation des résultats.

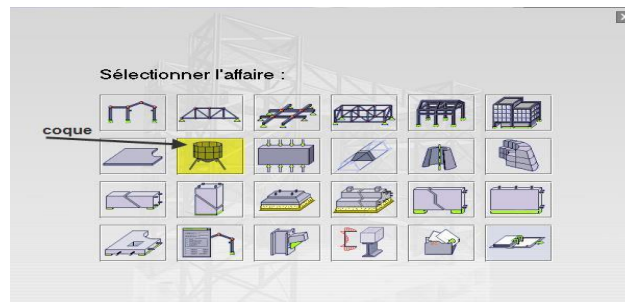


Figure III.6: choix de la structure à étudier

❖ Configuration des préférences de l'affaire

Dans le menu « outils » on choisit « préférences de l'affaire » pour définir les différents paramètres tels que les matériaux, unités et normes de l'affaire.

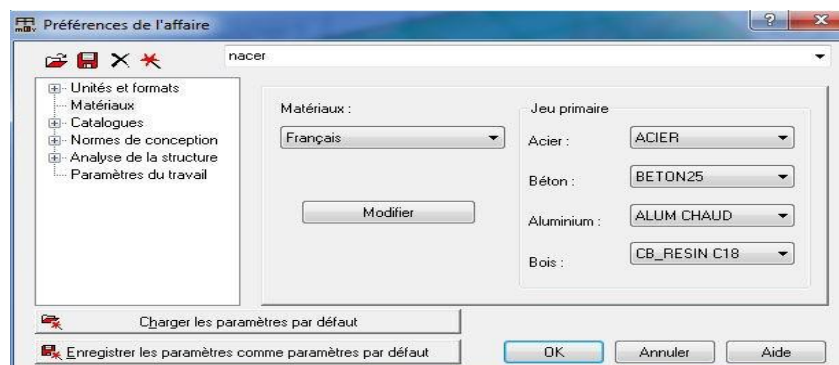


Figure III.7 : Préférences de l'affaire.

❖ **Ligne de construction**

Les lignes de construction sont d'une grande importance lors de la modélisation de la structure. Dans le menu « **Structure** », on clique sur l'icône

❖ **Lignes de construction.**

Les cotes de ces lignes seront introduites dans la fenêtre donnée à côté dans le système de coordonnées cartésiennes.

❖ **Mode d'accrochages**

Pour éviter les erreurs dans la modélisation, il faut désactiver tous les accrochages sauf les nœuds et lignes de construction : on clique sur le bouton droit dans la zone graphique, modes d'accrochage du pointeur, et mode d'accrochage du pointeur

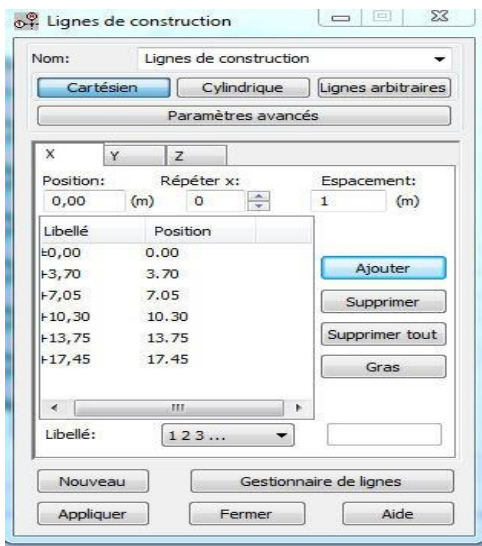


Fig.3 : Ligne de construction

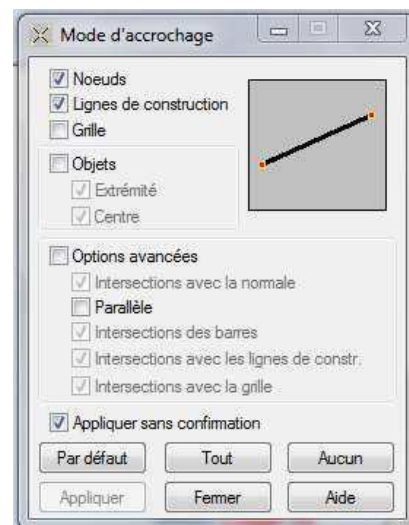
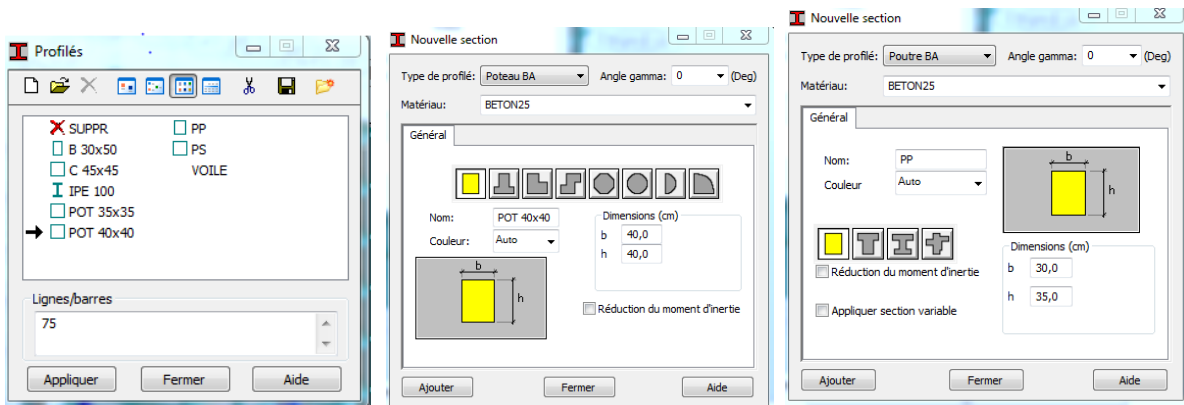



Fig.4 : Mode d'accrochage

Profils des barres

Cette étape permet de définir les différentes sections. Dans le menu « **structure-caractéristique-profils de barres** » ou dans la barre d'outils sur l'icône profilé de barres



❖ Création du modèle de la structure

Dans le menu « structure-poteau » ou avec la commande « élément de construction » on choisit l'élément de sa  section

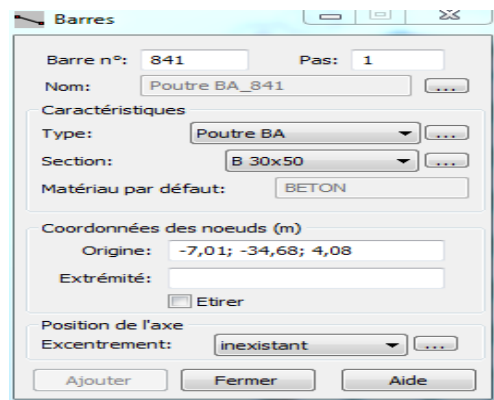
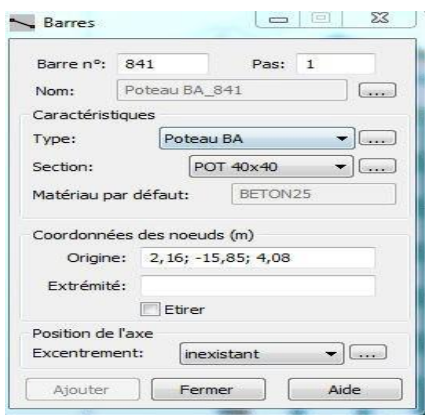
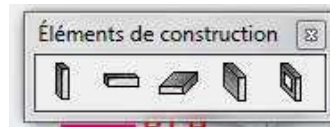


Figure 6: Modélisation des Poteaux-Poutre

Figure 7 : Affichage des attributs


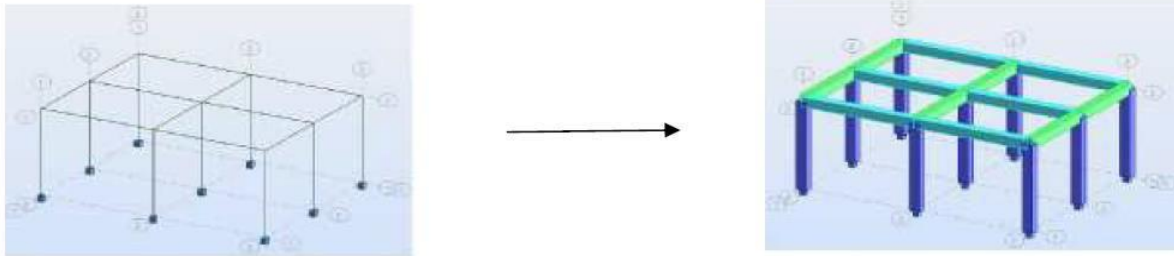

Après avoir dessiné la structure, le logiciel nous donne la possibilité d'arranger notre structure avec des attributs. Pour choisir les attributs à afficher sur l'écran, dans le menu «affichage-attributs» ou on clique sur l'icône « affichage des attributs » qui se trouve en bas et à gauche de la zone graphique  et on aura :



Figure 7 : Affichage des attributs

Exemple :**❖ Définition des éléments panneaux**

A partir du menu déroulant « **structure** », « **caractéristiques** » puis « **Épaisseur EF** », ou bien en cliquant sur l'icône  dans la barre d'outils vertical à droite de l'écran. Une boîte de dialogue apparaît, après un clic sur « **définir nouvelle épaisseur** » et sur l'onglet « **Uniforme** » on introduit le nom, l'épaisseur et sa variation ainsi que le matériau du panneau.

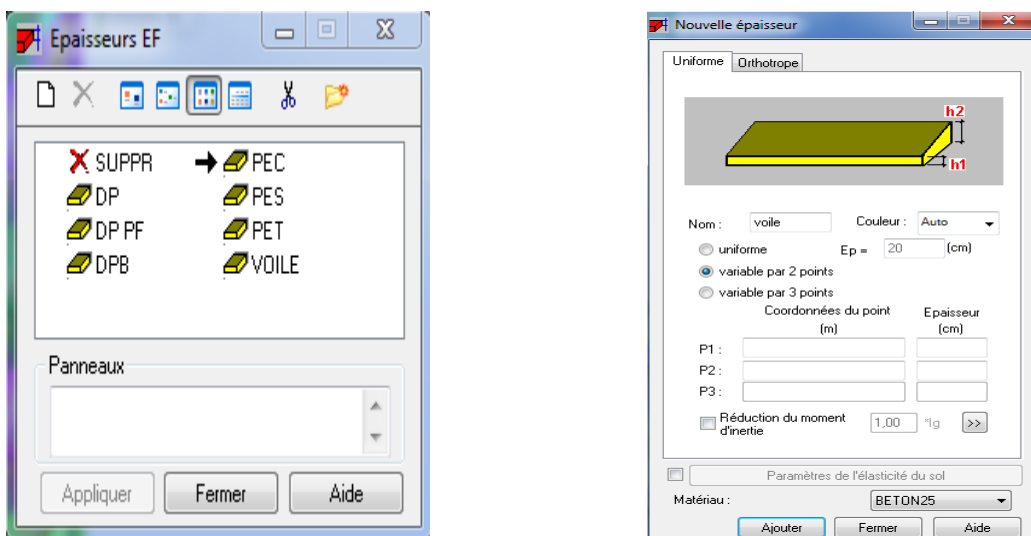



Figure 8 : définition des éléments panneaux

❖ Encastrement des nœuds a la base

Pour bloquer le mouvement des nœuds à la base de la structure, on affiche le niveau de base de la structure en 2D(XY), on clique sur appuis, encastrement, nœuds pour les barres et linéaires pour les voiles. 

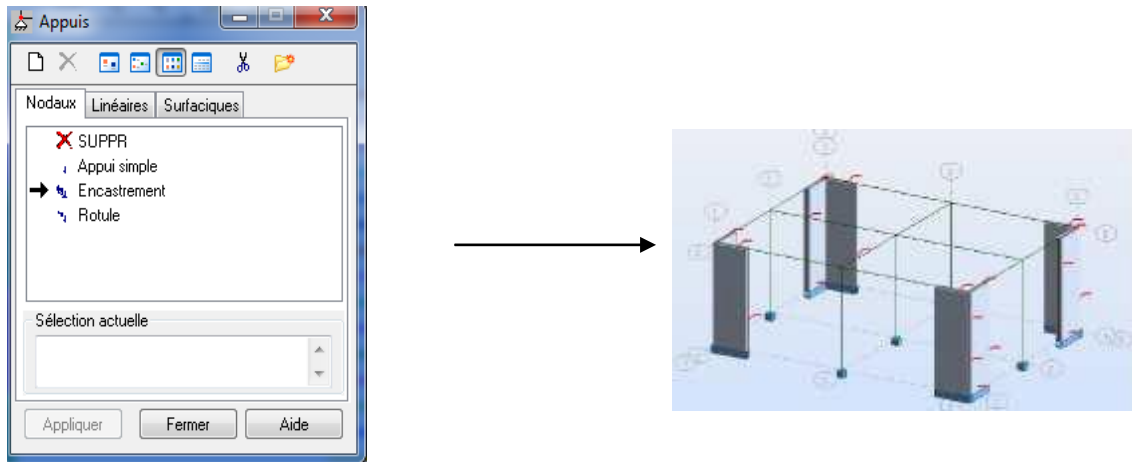


Figure 9 : Définition des appuis

❖ **Définition des cas de charges**

Pour définir les cas de charges statiques (permanentes et d'exploitation) de la structure, dans le menu « **chargements** » « **cas de charges** » on choisit la nature et le nom puis on clique sur « **Nouveau** », ou bien à droite de la zone graphique on clique sur cette icône. On peut créer les types de charges suivantes :

- G** : Charge permanente.
- Q** : Charge d'exploitation.
- E** : Charge sismique.

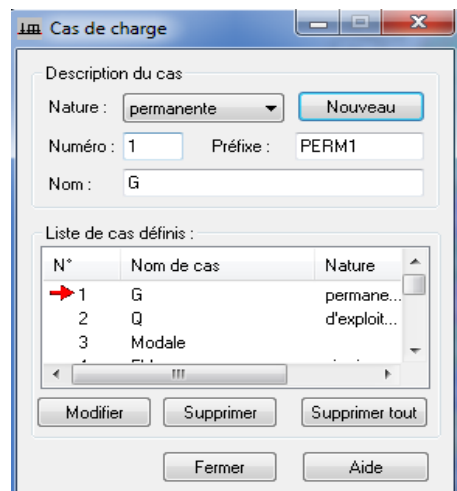


Figure 10 : Définition des cas de charges

❖ **Chargement de la structure**

Pour charger la structure on choisit le type de chargement G (permanente) ou Q (exploitation). Avant d'appliquer ces chargements sur la surface du plancher, on doit définir les bardages et pour se faire on sélectionne dans

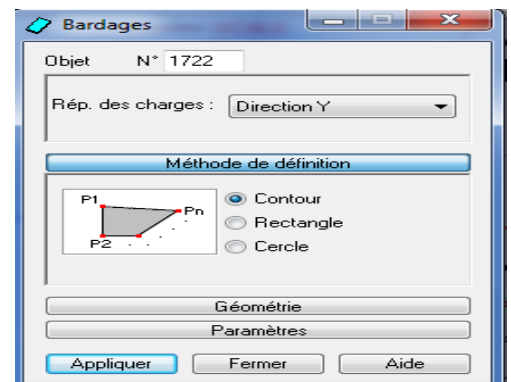


Figure 11 : Choix des bardages

le menu «**structure**», «**bardage** » Dans la boîte de dialogue ci-dessous on introduit le nom, la direction des charges(X pour nous) et la méthode de répartition des charges.

Dans le menu «**chargement**», «**définir charge**», on introduit les valeurs de **G** et **Q**

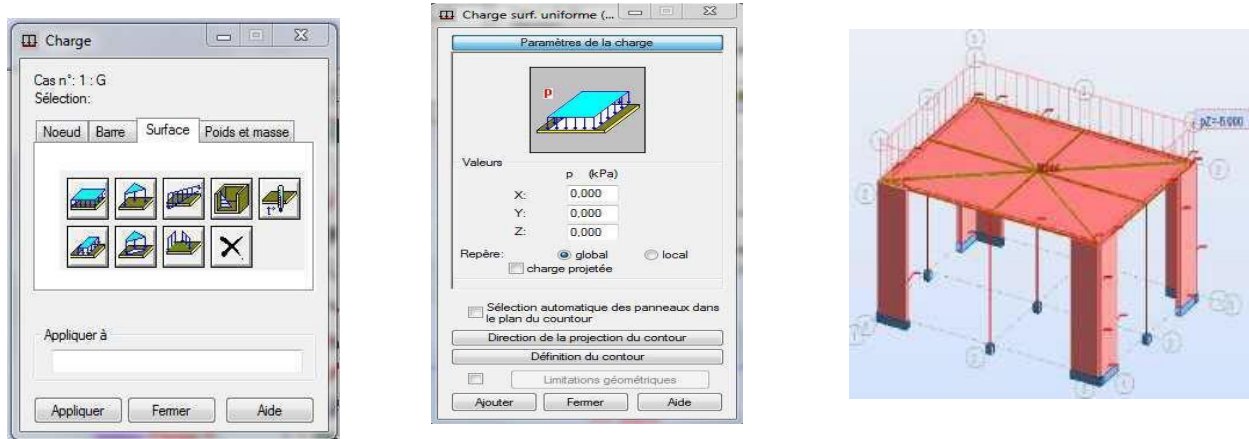


Figure 12 : Application des charges surfaciques.

❖ Définition des options de calculs (analyse statique, modale et dynamique)

Dans le menu «**analyse**», «**type d'analyse**» on choisit options de calculs à savoir le type d'analyse (modale et sismique) et la masse ou l'on introduit le nombre de modes de vibration pour l'analyse modale et les valeurs des paramètres du RPA (règlement parasismique algérien99 version 2003) pour l'analyse sismique.

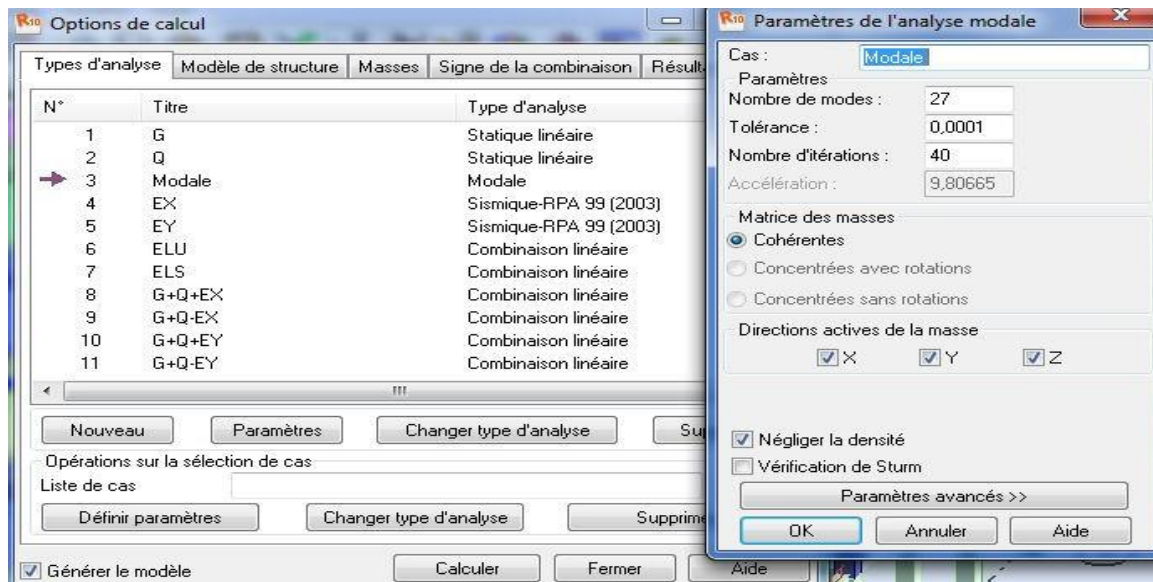


Figure 13 : Définition des charges dynamique

Alors on clique sur «**Nouveau**» et sélectionné le champ «**Modale**» les paramètres de l'analyse modale sont introduits dans la boîte de dialogue qui s'affiche à l'écran au-dessous.

Puis on clique sur l'icône «**définir l'excentrement des masse**» et on introduit les valeurs montrés sur la figure suivante :

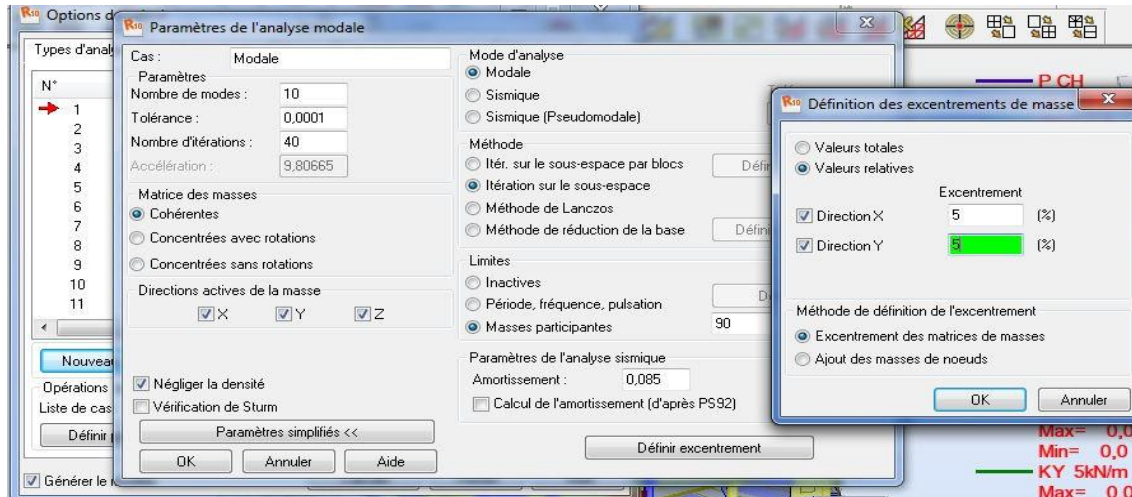


Figure 14 : Paramètres de l'analyse modale.

On clique une seconde fois sur «Nouveau», on coche la case sismique et choisir RPA 2003 et introduire ces paramètres dans le sens x puis y et valider

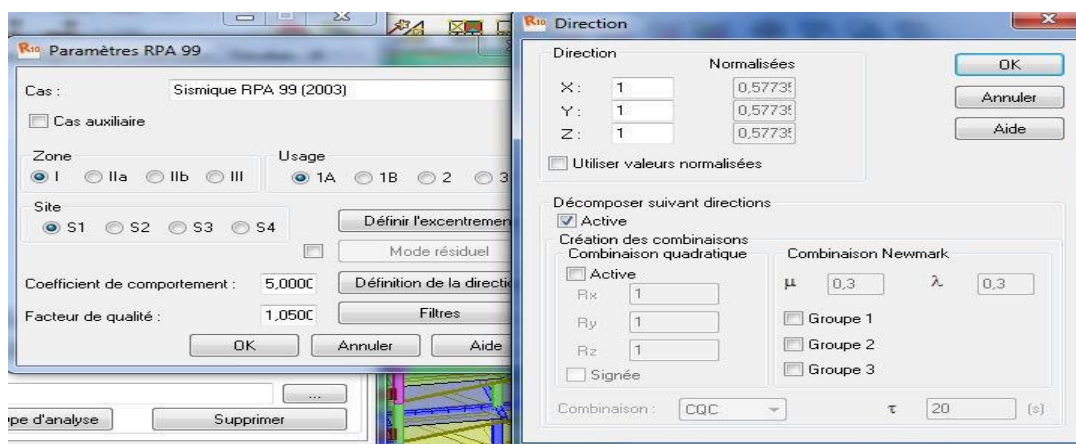


Figure 15 : Définition des paramètres du RPA

Comme ce logiciel permet de calculer la masse de la structure à partir des éléments et des charges que l'on introduit dans la boîte de dialogue «**option de calculs**» l'icône masse puis convertir les cas où on choisit la charge G puis fermer. Choisir la direction ainsi que le coefficient et ajouter ; on refait la même opération pour la charge Q.

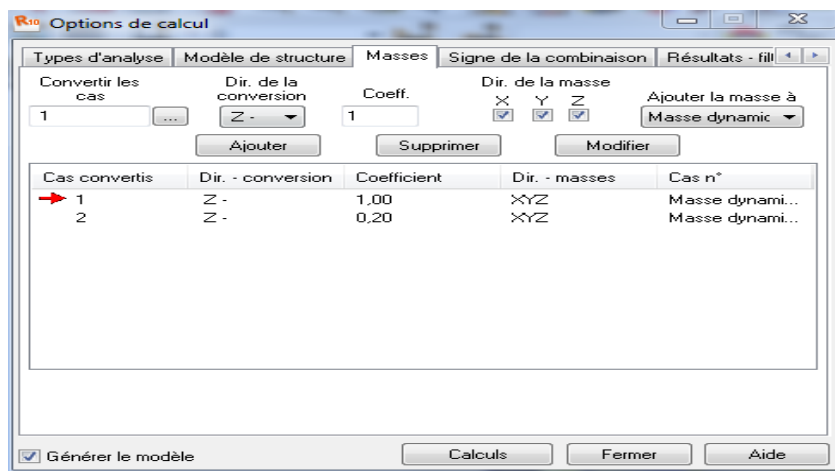


Figure 16 : Définition de la masse sismique

Et on aura les combinaisons suivantes

Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
6 (C)	ELU	Combinaison lin	ELU	permanente	$1*1.35+2*1.50$
7 (C)	ELS	Combinaison lin	ELS	permanente	$(1+2)*1.00$
8 (C) (CQC)	G+Q+EX	Combinaison lin	ACC	sismique	$(1+2+4)*1.00$
9 (C) (CQC)	G+Q-EX	Combinaison lin	ACC	sismique	$(1+2)*1.00+4*-1.00$
10 (C) (CQC)	G+Q+EY	Combinaison lin	ACC	sismique	$(1+2+5)*1.00$
11 (C) (CQC)	G+Q-EY	Combinaison lin	ACC	sismique	$(1+2)*1.00+5*-1.00$
12 (C) (CQC)	0,8G+EX	Combinaison lin	ACC	sismique	$1*0.80+4*1.00$
13 (C) (CQC)	0,8G-EX	Combinaison lin	ACC	sismique	$1*0.80+4*-1.00$
14 (C) (CQC)	0,8G+EY	Combinaison lin	ACC	sismique	$1*0.80+5*1.00$
15 (C) (CQC)	0,8G-EY	Combinaison lin	ACC	sismique	$1*0.80+5*-1.00$
16 (C)	POIDS	Combinaison lin	ACC	poids propre	$1*1.00+2*0.20$

Figure 17 : Combinaison d'action

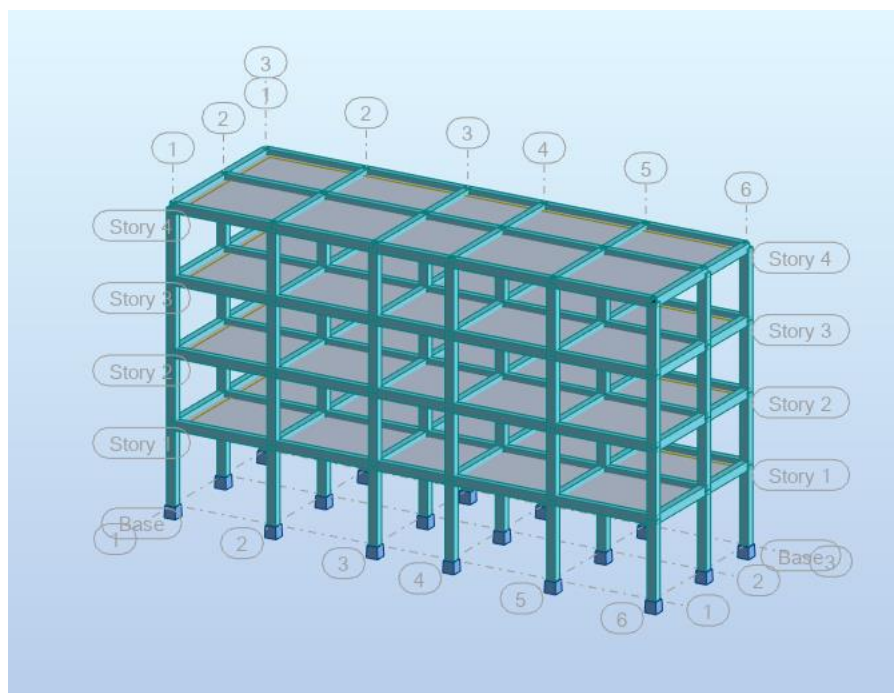


Figure 18: vue finale de la structure

III.7.Résultats et interprétation sur les structures en béton arme

Les résultats obtenus dans cette étude en termes d'efforts tranchants et les moments, déplacement latéral aux sommets des portiques pour la structure étudiée sont présenté comme suit :

III.7.1.Calcul des déplacements :

Les résultats obtenus sont calculés par **Autodesk Robot Structural Analysis**

Tableau III.4: Les déplacements

Sites	Rocheux (S1)	Ferme (S2)	Meuble (S3)	Très meuble (S4)
Hauteur(m)	(S1)	(S2)	(S3)	(S4)
0	0.004	0.015	0.053	0.204
3.4	0.178	0.271	0.423	0.818
6.46	0.351	0.483	0.663	1.143
9.52	0.48	0.639	0.839	1.393
12.58	0.549	0.727	0.945	1.576

➤ Commentaires

- Le déplacement à la base augmente en fonction de site

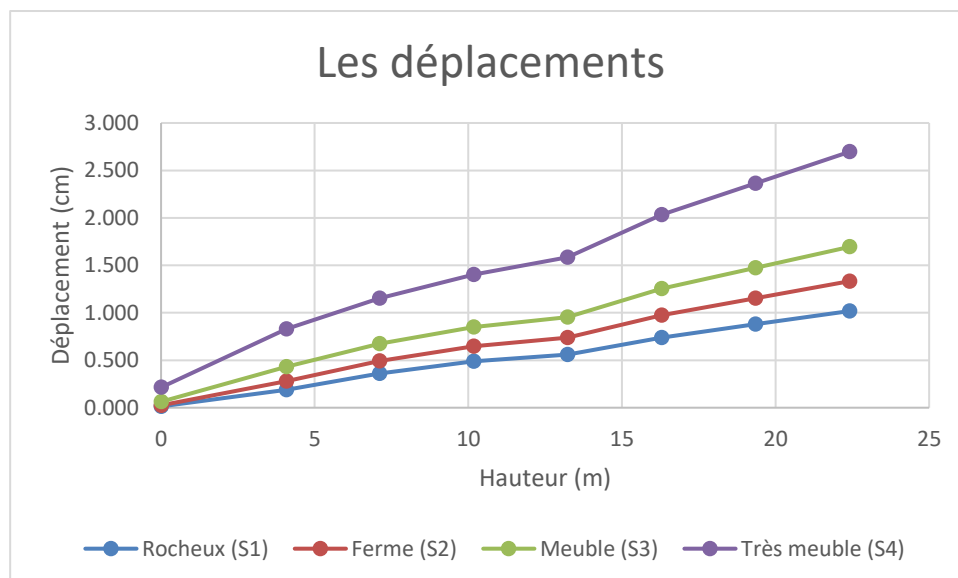


Figure 19: Déplacements horizontale de poteau de rive du quatre sites

Comparaison des résultats :

- La valeur du déplacement dans le sol rocheux est la plus faible
- La valeur du déplacement dans le sol très meuble est la plus grand

- Le sol rocheux est le meilleur par rapport au reste de l'espèce

III.7.1.1 Déplacement maximal

Tableau III.4: Les déplacements maximal

Sites	Rocheux (S1)	Ferme (S2)	Meuble (S3)	Très meuble (S4)
valeur	1.0084	1.323	1.6846	2.6863

➤ Commentaires

- le déplacement de la structure augmente en fonction de sites
- le déplacement subit une augmentation notable due à l'interaction pour les sites 3 et 4.

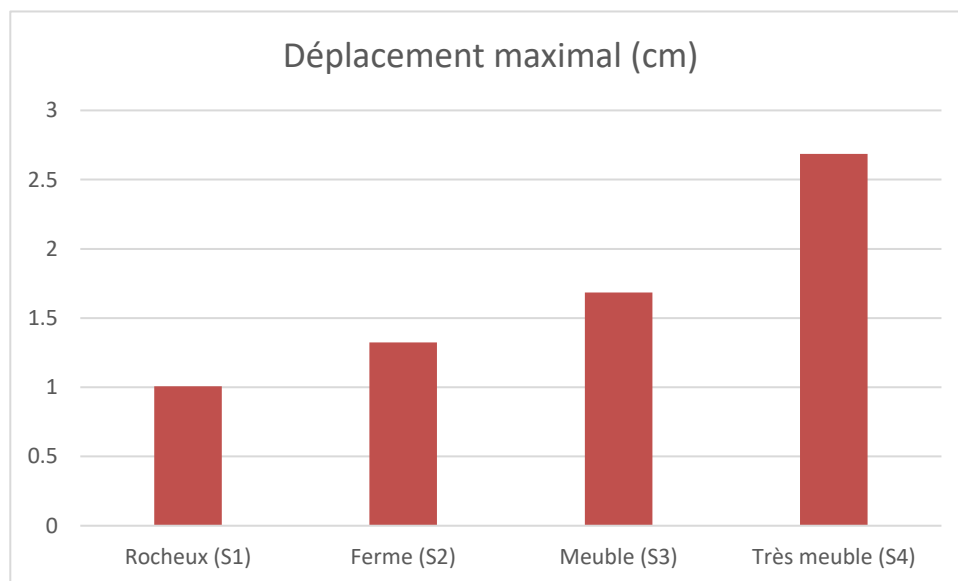


Figure III.20: Variation du déplacement en fonction du site

III.7.2.Effort tranchant

Les efforts tranchants sont donnés pour les quatre sites donne le tableau III.6:

Tableau III.6: Les efforts tranchants de poteau de rive

Sites	Rocheux (S1)	Ferme (S2)	Meuble (S3)	Très meuble (S4)
0	8.92	10.58	11.1	11.37
3.4	8.92	10.58	11.1	11.37
3.4	6.42	7.1	6.6	5.56
6.46	6.42	7.1	6.6	5.56
6.46	4.84	5.35	5.05	4.55
9.52	4.84	5.35	5.05	4.55
9.52	2.26	2.27	1.85	1.29
12.58	2.26	2.27	1.85	1.29

➤ Commentaires

- Les efforts tranchants de la structure diminuent en fonction de la hauteur dans les quatre sites

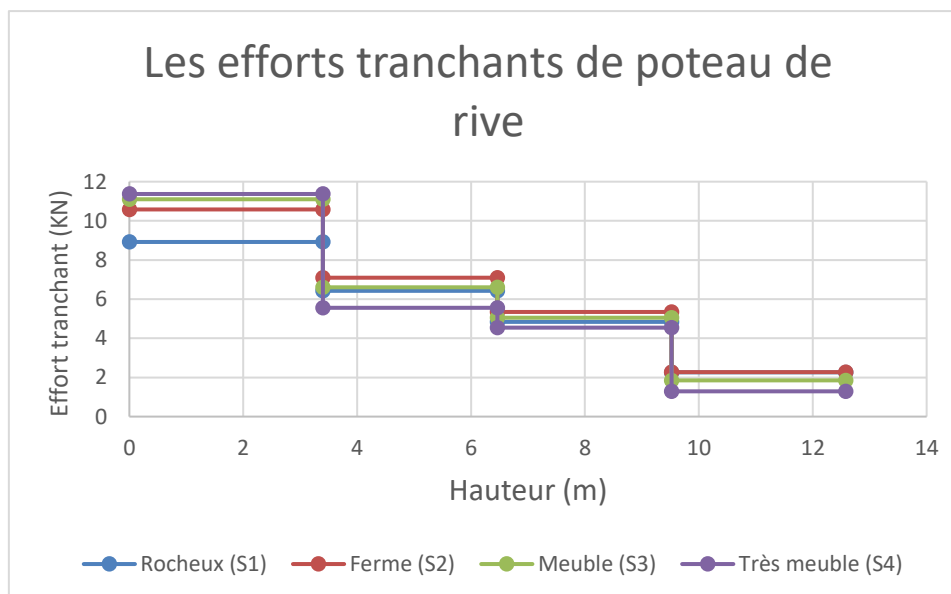


Figure 21: Effort tranchant de poteau de rive du quatre sites

Comparaison des résultats :

- La valeur des efforts tranchants dans le sol rocheux est le faible
- La valeur des efforts tranchants dans le sol très meuble est le grand
- Le sol rocheux est le meilleur par rapport au reste de l'espèce

III.7.3. Effort tranchant à la base

Les efforts tranchant à la base sont donnés dans le tableau III.7.

Tableau III.7 : Effort tranchant à la base de la structure

Sites	Rocheux (S1)	Ferme (S2)	Meuble (S3)	Très meuble (S4)
valeur	44.778	50.52	49.098	45.446

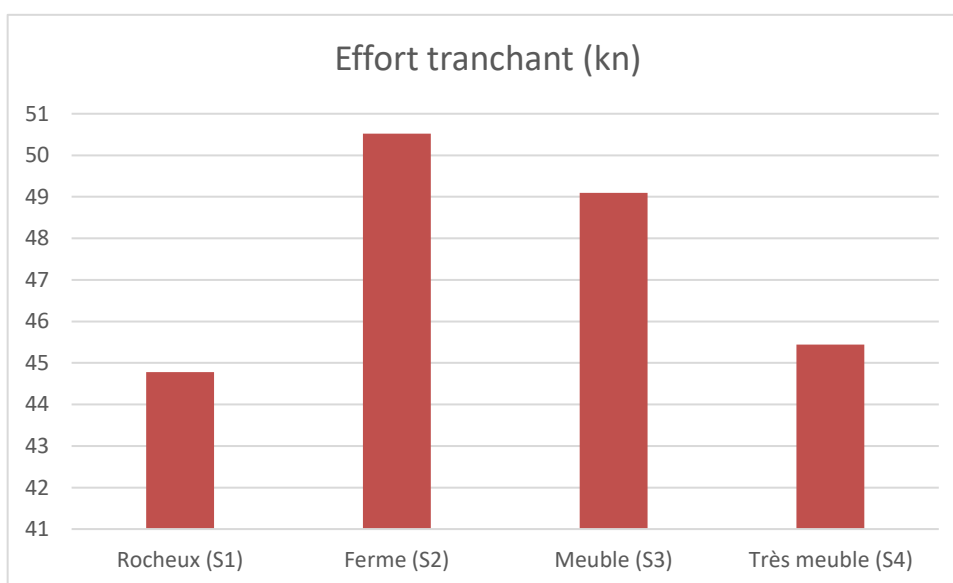


Figure III.22: Effort tranchant à la base de la structure

III.7.4.Moment

Les moments sont donnés pour les quatre sites dans le tableau III.8:

Tableau III.8: Les moments de poteau de rive

Sites	Rocheux (S1)	Ferme (S2)	Meuble (S3)	Très meuble (S4)
0	8.92	10.58	11.1	11.37
3.4	8.92	10.58	11.1	11.37
3.4	6.42	7.1	6.6	5.56
6.46	6.42	7.1	6.6	5.56
6.46	4.84	5.35	5.05	4.55
9.52	4.84	5.35	5.05	4.55
9.52	2.26	2.27	1.85	1.29
12.58	2.26	2.27	1.85	1.29

➤ Commentaires

- les moments de la structure diminuent en fonction de la hauteur dans les quatre sites

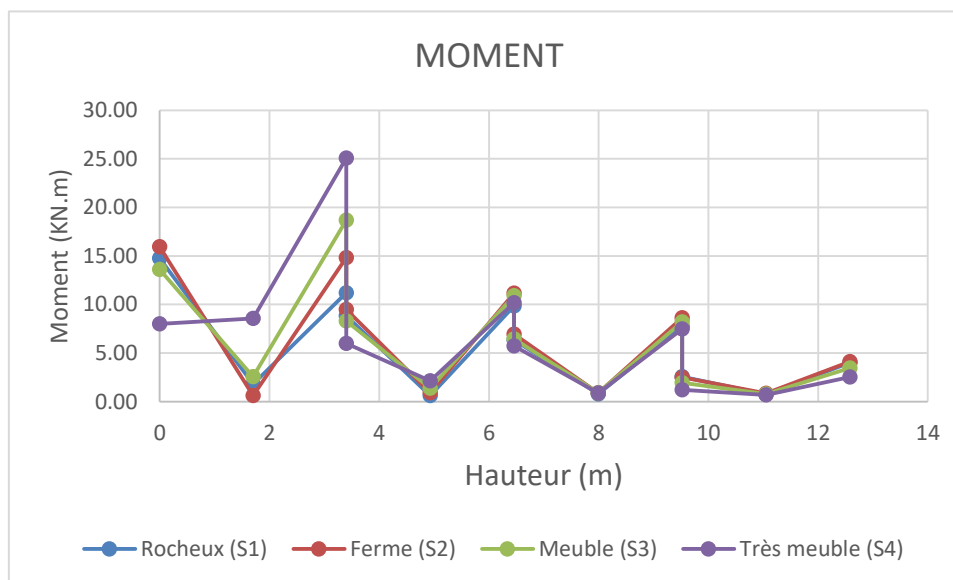


Figure 23: Moment de poteau de rive du quatre sites

Comparaison des résultats :

- La valeur du moment dans le sol rocheux est faible.
- La valeur du moment dans le sol très meuble est grande.
- Les quatre sites valeur presque le même.

Chapitre IV
CONCLUSIONS ET
RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Conclusion :

Le sol rocheux est l'un des types de sol idéaux pour la construction, bien qu'il ait besoin jusqu'à présent pour forer et égaliser sa surface pour la construction, la plupart des bâtiments sur le sol rocheux ont une grande durabilité, car le sol rocheux a une force portante jusqu'à l'appui d'un gratte-ciel

Conclusion générales

Au cours du travail élaboré dans le cadre de mon mémoire de master, nous me suis rendu compte que l'analyse de l'interaction sol-structure est très importante sur la réponse sismique d'une structure en béton armée car elle peut être nuisible comme bénéfique par rapport à l'hypothèse dominante de la base fixe (structure encastree a la base).

Il est confirmé que la réponse de la structure dépend non seulement de ses caractéristiques dynamiques, de l'excitation sismique mais aussi des caractéristiques du milieu extérieur entourant la base de la structure, autrement dit l'interaction entre la structure, la fondation et le sol.

Par conséquent, l'effet de l'action du sol sur le comportement de la structure lors d'un séisme joue un rôle primordial et ne peut être négligé ni dissocié du calcul de la réaction totale de la construction face à un séisme. Ainsi, plusieurs modèles mathématiques tenant compte de l'interaction sol-structure (ISS) ont vu le jour, chacun basé sur des hypothèses propres et bien spécifiques. L'objet de notre présent travail à consister sur la compréhension des aspects les plus importants de l'ISS en considérant des portiques représentant la structure de bâtiment implanté sur des sols rigides et élastiques dont ces derniers sont modélisés par des ressorts simples (type Newmark-Resenblueth) qui caractérisent la déformation linéaire de celui-ci selon trois directions (horizontale, vertical et balancement)

Dans l'étude élaborée on a considéré que le sol est homogène. Le sol est modélisé par des ressorts.

La démarche pour la prise en compte de l'ISS comprend les étapes :

- Le calcul de manière approchée des raideurs de sol avec les méthodes Newmark-Resenbbleuth
- Le calcul des déplacements
- Le calcul des déplacements maximal
- Le calcul de l'effort tranchant
- Le calcul de l'effort tranchant total à la base
- Le calcul de moment

Nous avons dans les quatre sites, Une légère différence de déplacement et effort tranchant et moment dans le site 1 et site 2 à partir du site 2 grand augmentation dans cette différence.

Les résultats présentés dans cette étude avec les hypothèses considérées ont montré que la modélisation d'une structure avec tenir compte l'effet ISS sont les plus fiables car leur dépendance des caractéristiques des sols est trop importante.

Alors que la modélisation d'une structure encastree (sans tenir compte l'effet ISS) n'est pas à recommander car elle donne des résultats trop conservatifs

D'un point de vue du règlement parasismique algérien l'effet de site est pris en compte à travers les spectres de réponse de dimensionnement spécifiques à chacun des sites.

Recommandations futures

Ce travail de recherche s'est voulu être un départ pour les futurs étudiants désirant entamer des recherches sur le phénomène d'interaction sol-structure. Ce phénomène étant très complexe et non couvert dans les études de graduations rend la tâche de son assimilation difficile. Mais vue son importance dans la pratique, nous avons tenté d'apporter des éclaircissements pour les futurs jeunes chercheurs d'autant plus l'actualisation de beaucoup de règlements parasismiques tient compte de plus en plus de l'ISS. Aussi, les recherches quise font ces dernières années sur ce problème visent à apporter des approches aisées à la prise en compte de l'ISS dans la pratique et même pour les structures ordinaires. Ils essayent de maintenir au minimum les complexités mathématiques pour rendre le problème plus accessible aux non-experts dans le domaine de mathématiques et propagation des ondes.

L'estimation des effets de l'interaction l'ISS sur la réponse sismique des structures a été tentée ici pour des structures à un seul degré de liberté. Il est possible que le futur chercheur étudie les effets de l'ISS et son impact sur le comportement dynamique des structures pour des structures à plusieurs degrés de liberté, pour tenir compte de l'intervention des modes supérieurs. Aussi, il est envisageable d'étudier l'interaction sol-structure non linéaire ou encore dans les milieux hétérogènes.

Références
Bibliographie

Références Bibliographie

- [1] Frank S : " les séismes "
- [2] François M « Origine et localisation des séismes »
- [3] Balandier P, Sismologie appliquée à l'usage des architectes et ingénieurs, Cahier 4, Collection Conception parasismique, 2004
- [4] [http : //bhernand.chez.com/jeunes.html](http://bhernand.chez.com/jeunes.html), consulter le : le 26/05/2022
- [5] <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s1/seismes.html>, consulter le 27/05/2022
- [6] Mohamed MEKERBI et Ismail BENABDERRAHMANE, LIQUEFACTION DES SOLS, USTHB, 2008
- [7] <https://travauxbeton.fr/voile-beton/>, consulter le : le 26/05/2022
- [8] Alem T, Influence des dimensions du bâtiment sur la valeur de la période (cas des structures auto-stable), Mémoire de magister, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Novembre 2009.
- [9] Milan Z, Conception parasismique des bâtiments, Tome 4, Septembre 2010
- [10] Hemas M, Modélisation par macro éléments du comportement non linéaire des ouvrages en béton armés sous action sismique, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, France, 2010
- [11] Balandier P, Le séisme et les bâtiments, document d'information à l'usage des constructeurs, Direction départementale de l'équipement de la Guadeloupe- Direction régionale de l'environnement de Guadeloupe, volume 3
- [12] <https://gnordhof.wixsite.com/batimentparasismique/les-effets-directs>, consulter le 27/05/2022
- [13] Pierino L, Séismes et construction : éléments pour non-spécialistes, 2008
- [14] [http : //observatoire-regional-risques-paca.fr/article/glissements](http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/glissements), consulter le 26/05/2022
- [15] https://www.tarekdata.com/FR/tutoriels/robot_presentation.html#:~:text=Logiciel%20Robot%20est%20un%20logiciel,r%C3%A9sistent%20les%20charges%20ext%C3%A9rieurs%20appliqu%C3%A9es , consulter le 26/05/2022
- Règlements Parasismiques Algériennes RPA99/version 2003 (DTR-BC2.48)
 - Charges permanente et charges d'exploitation DTR-BC2.2
 - Règles technique de conception et de calcul des ouvrages de construction en béton armé suivant la méthode des états limites BAEL 91 modifiée 99.
 - Cour de DDS, RDM, MDS, bâtiment et de béton des années précédentes.
 - Logiciel d'analyse des structures Robot.

Références Bibliographie

- Logiciel de dessin AUTO CAD 2010.
- Logiciel de ferrailage SOCOTEC.