

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences et de la Technologie



*Mémoire de fin d'étude*

*En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Génie civil.*

*Spécialité: Structure.*

**Thème :**

**Etude comparative entre la méthode statique équivalente et la méthode modale spectrale pour l'évaluation des charges sismique d'une structure en R+6.**

Devant le jury composé de :

Dr. Hichem NOURA..... Encadreur

Présenté par :

Mr. Oussama ELALIA.

Mr. Mohamed Mohcen HAMLIL.

*Année universitaire : 2019 / 2020*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Dédicace :

*Je remercie ALLAH Tout Puissant de m'avoir donné le courage et la force pour la réalisation de ce travail.*

*Je tiens sincèrement à remercier mes très chers parents et à leur exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude, eux qui se sont sacrifiés pour me voir devenir ce que je suis aujourd'hui et qui m'ont tant encouragé durant mon parcours : ma tendre mère qui m'a comblé de sa douceur, mon père qui a toujours su trouver les mots justes pour que je ne baisse jamais les bras. Qu'il me soit permis de leur dédier ce modeste travail.*

*À mes frères et mes sœurs qui m'ont encouragé depuis toujours.*

*À mon binôme oussama qui m'a toujours prêté main forte lorsque j'en avais besoin.*

*À tous mes proches et amis qui de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce mémoire.*

*Hamli med mohcen*

# DÉDICACE

*C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde, mes chers parents pour leur amour et bonté et que sans eux je n'aurais jamais pu atteindre mon objectif, que Dieu me les garde*

*Mon cher père, **BENAICHA***

*Ma chère mère, **HHAMIDA***

*⊗ Très chers proches à mon cœur que je les aime beaucoup*

*⊗ Mes chères sœurs : **NAWAIM, AMINA et CHAIMAA***

*⊗ Mes chers frères : **ABDELMONAIM ET MOHAMED***

*⊗ Mes oncles et tantes*

*⊗ Mon binôme **MOHAMED MOHCEN***

*⊗ Toutes Mes amies*

*⊗ à toute la promotion **2020***

# ELOS

# Remerciement

Avant tout, louange à "Allah", notre créateur et mètre de l'univers, de toutes ces bontés, s'avoir envoyer à nous tous le prophète "Mohamed" (I) qui doit être notre premier éducateur, puis de nous avoir donné tout de courage pour terminer ce travail de recherche.

Un très grand merci à:

- 🌸 Notre promoteur **M<sup>r</sup>Noura Fichem** pour nous avoir encadré et orienté tout au long de cette recherche.
- 🌸 nos parents qui nous ont suivis pendant nos études.
- 🌸 Nous remercions chaleureusement nos familles respectives pour toute l'aide et soutien, moral et économique, qu'ils nous ont apporté tout au long de nos études. Nous espérons être à la hauteur de leurs espérances et nous montrer dignes de leurs confiances et de leurs encouragements.
- 🌸 Nous adressons nos remerciements chaleureusement tous les professeurs qui nous ont enseignés au cours des études primaires jusqu'aux années du cursus universitaire pour l'obtention du diplôme de master.
- 🌸 Toute personne ayant contribué de près ou de loin à achever ce travail,
- 🌸 Et bien sûr, merci à tous les travailleurs de L'Université et à tous nos amis avec qui nous avons gardé des souvenirs très agréables des bons moments vécus ensemble
- 🌸 Et pour finir, un dernier remerciement à toute la promotion 2019-2020 de génie civil de l'université **Djilali Bounaama**, tout en leurs souhaitons un avenir plein de réussite.



Oussama

Med Mohcen

## الملخص:

والغرض من هذه الدراسة هو الحصول على ضغوط وعمليات تشرد هيكلية تتعرض لها قوى الزلازل. وباستخدام الأسلوب الثابت المكافئ للكود الزلزالي الجزائري RPA 99 (النسخة 2003) والتحليل الطيفي للألياف في بناء منتظم في الخطة والارتفاع، تحسب قوى القص التي تقوم بها القوات الزلزالية. إن مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من هاتين الطريقتين تجعل من الممكن تسليط الضوء على أوجه التشابه والاختلاف من حيث توزيع الضغوط (M و N و T) في هذا النوع من الهياكل. تم إجراء دراستنا في مبنى في الطابق R+6 وهو يستخدم في السكن، ويمرّه مسامات خرسانية معززة + أشرعة، وهو منتظم في التخطيط وفي الارتفاع ويقع في المنطقة IIb. فالأسلوب الثابت المكافئ والطريقة الديناميكية الطيفية المشروطة تعطي الإجهاد (فترات الانحناء، والقوى الطبيعية والقوى الحادة)، ولا تتحرك إلا قليلاً بينها وبين المباني التي تشتمل على خطة منتظمة وتكوين ارتفاع.

الكلمات الرئيسية: أسلوب ثابت مكافئ، أسلوب ديناميكي طيف مشروط، مباني خرسانية معززة بانتظام، ضغوط، تشرد.

## **Résumé :**

Le but de cette étude est d'obtenir les sollicitations et les déplacements de structure soumis à des forces sismiques.

À partir de la méthode statique équivalente du code parasismique algérien RPA 99 (version 2003) et de l'analyse modale spectrale pour un bâtiment régulier en plan et en élévation, on calcul les efforts tranchants par les forces sismiques.

La comparaison des résultats obtenus par ces deux méthodes permet de mettre en évidence les ressemblances et les différences en termes de répartitions des sollicitations (M, N, et T) dans ce type de structures.

Notre étude est faite sur un bâtiment en R+6 étages a usage d'habitation, contreventé par des portiques+voiles en béton armé, régulier en plan et en élévation et implantée en zone IIb.

La méthode statique équivalente et la méthode dynamique modale spectrale donnent des sollicitations (moments fléchissant, efforts normaux et efforts tranchants) et des déplacements peu proches entre eux pour les bâtiments qui présentent une configuration régulière en plan et en élévation.

**Mots clés :** Méthode statique équivalente, Méthode dynamique modale spectrale, Bâtiments réguliers en béton armé, Sollicitations, Déplacements.

## **Summary:**

The purpose of this study is to obtain stresses and structural displacements subjected to seismic forces.

Using the equivalent static method of the Algerian seismic code RPA 99 (version 2003) and the spectral modal analysis for a regular building in plan and elevation, the shear forces by the seismic forces are calculated.

The comparison of the results obtained by these two methods makes it possible to highlight the similarities and differences in terms of distribution of stresses (M, N, and T) in this type of structure.

Our study is done on a building in R+6 floors has residential use, braced by reinforced concrete porticoes + walls, regular in plan and in elevation and located in zone IIb.

The equivalent static method and the spectral modal dynamic method give stresses (bending moments, normal forces and sharp forces) and little movement between them for buildings that have a regular plan and elevation configuration.

**Keywords:** Equivalent static method, Spectral modal dynamic method, Regular reinforced concrete buildings, Stresses, Displacements

# Table de matières

## Introduction générale

Introduction .....	1
1. Problématique .....	2
2. Organisation du mémoire.....	2

## Chapitre I: Présentation de l'ouvrage et pré dimensionnement des éléments de la structure

1. Présentation du projet.....	3
2. Caractéristiques de la structure.....	3
3. Pré dimensionnement des éléments structuraux.....	5
4. Méthodes et règlement utilisé dans cette mémoire.....	9
5. Logiciel utilisé dans cette mémoire.....	10

## Chapitre II: Méthodologie

1. Introduction.....	12
2. définition de séisme.....	13
3. le règlement parasismique algérien.....	15
4. méthodes d'analyse dynamiques.....	15

## Chapitre III: Calcul par la méthode statique

1. Principe de la méthode statique équivalente.....	22
2. Condition d'application.....	22
3. Modélisation.....	24
4. Calcul de la force sismique totale.....	25
5. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur.....	29
6. Distribution de l'effort tranchant selon la hauteur.....	30
7. Calcul des moments fléchissant selon la hauteur.....	31
8. Distribution horizontale des forces sismiques.....	32
9. Modélisation par ETABS.....	41

## **Chapitre IV: Calcul par la méthode dynamique modale**

1. Principe de la méthode dynamique modale spectrale.....	42
2. Modélisation.....	42
3. Etapes de calcul.....	43
4. Spectre de réponse de calcul.....	49
5. Modélisation par ETABS.....	52
6. Nombre de modes à considérer.....	55
7. Combinaison des réponses modales .....	57
8. Résultante des forces sismiques de calcul .....	58
9. Calcul des déplacements.....	58
10. JUSTIFICATION VIS-A-VIS DE L'EFFET P- $\Delta$ .....	59

## **Chapitre V: Discussions des sollicitations et des déplacements**

1. Introduction.....	61
2. Réactions à la base de la structure.....	61
3. Efforts tranchants aux niveaux des étages.....	63
4. Moments fléchissant aux niveaux des étages.....	64

## **Conclusion.....67**

## **Bibliographie**

# Figures

## **Chapitre I**

Figure I.1: La vue en plan de la structure niveau d'étage.....	4
Figure I.2: La vue en plan de la structure niveau terrasse.....	4
Figure I.3: La vue en 3D de la structure.....	5
Figure I.4: démenions a respecter selon RPA99-V2003.....	7
Figure I.5: Dimensionnement d'un nœud poutre-poteau.....	8
Figure I.6: Epaisseur a respecter pour voiles selon RPA99-V2003.....	9
Figure I.7: Logiciel de l'analyse des structures ETABS.....	11

## **Chapitre II**

Figure II.1 : Algérie, Chlef-magnitude 7,3 -10 octobre 1980.....	12
Figure II.2 : Algérie, Chlef-magnitude 7,3 -10 octobre 1980.....	12
Figure II.3 : caractéristique de séisme.....	13
Figure II.4 : Model des plaques tectoniques.....	13
Figure II.5 : type des failles.....	14
Figure II.6 : Boumerdès-magnitude 6,8- 21mai2003.....	15

## **Chapitre III**

Figure III.1: Limites des décrochements en plan.....	24
Figure III.2 : Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur.....	30
Figure III.3 : Effort tranchant au niveau d'étage.....	31
Figure III.4 : Moments fléchissant au niveau d'étage.....	32
Figure III.5 : Forces sismiques sur files rives sud sens XX.....	34
Figure III.6 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX.....	35
Figure III.7 : Forces sismiques sur files rives nord sens XX.....	36
Figure III.8 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY.....	38
Figure III.9 : Forces sismiques sur files intermédiaires avec voiles sens YY.....	39
Figure III.10 : Forces sismiques sur files de rives sens YY.....	40

## Chapitre IV

Figure IV.1 : Modes propres de vibration.....	43
Figure IV.2 : Forces sismiques du mode i.....	47
Figure IV.3 : Spectre de réponse de calcul sous forme graphique.....	51
Figure IV.4 : 1 <sup>er</sup> mode de vibration $T_1=0.81\text{sec}$ Translation selon YY Avec masse modale $M_y=0.66\%M_{\text{structure}}$ et $M_x=6.13\%M_{\text{structure}}$ .....	53
Figure IV.5:2 <sup>me</sup> mode de vibration $T_2=0.75\text{sec}$ Translation selon XX Avec masse modale $M_x=0.13\%M_{\text{structure}}$ et $M_y=69.37\%M_{\text{structure}}$ .....	54
Figure IV.6 : 3 <sup>me</sup> mode de vibration $T_3=0.62\text{sec}$ Torsion d'axe vertical Avec masse modale $M_x=64.27\%M_{\text{structure}}$ et $M_y=0.018\%M_{\text{structure}}$ .....	55

## Chapitre V

Figure V.1 : Comparaison des efforts tranchants à la base de la structure.....	62
Figure V.2 : Comparaison des moments fléchissant à la base de la structure.....	62
Figure V.3 : Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens X.....	63
Figure V.4 : Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens Y.....	64
Figure V.5 : Comparaison des moments fléchissant sens X.....	65
Figure V.6 : Comparaison des moments fléchissant sens Y.....	65

# Tableaux

## Chapitre I

Tableau I.1 : Charge pour plancher terrasse (inaccessible).....	5
Tableau I.2 : Charge pour plancher courant (accessible).....	6
Tableau I.3 : Pré dimensionnement des planchers.....	6
Tableau I.4 : Pré dimensionnement des poutres.....	7
Tableau I.5 : Vérification de la rotule plastique.....	8

## Chapitre III

Tableau III.1 : Valeurs des pénalités $P_q$ .....	28
Tableau III.2 : Poids total de la structure selon ETABS.....	28
Tableau III.3 : Distribution de la résultante des forces selon la hauteur.....	29
Tableau III.4 : Effort tranchant au niveau d'étage.....	30
Tableau III.5 : Moments fléchissant au niveau d'étage.....	31
Tableau III.6 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX.....	33
Tableau III.7 : Forces sismiques sur files de rives nord sens XX.....	33
Tableau III.8 : Forces sismiques sur files de rives sud sens XX.....	33
Tableau III.9 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY.....	37
Tableau III.10 : Forces sismiques sur files intermédiaires avec voile sens YY.....	37
Tableau III.11 : Forces sismiques sur files de rives sens YY.....	37

## Chapitre IV

Tableau IV.1 : Spectre de réponse de calcul sous forme de tableau.....	51
Tableau IV.2 : Périodes et masses modales selon ETABS.....	56
Tableau IV.3 : Réaction à la base de la structure.....	58
Tableau IV.4 : Calcul des déplacements .....	59
Tableau IV.5 : JUSTIFICATION VIS-A-VIS DE L'EFFET $P-\Delta$ .....	60

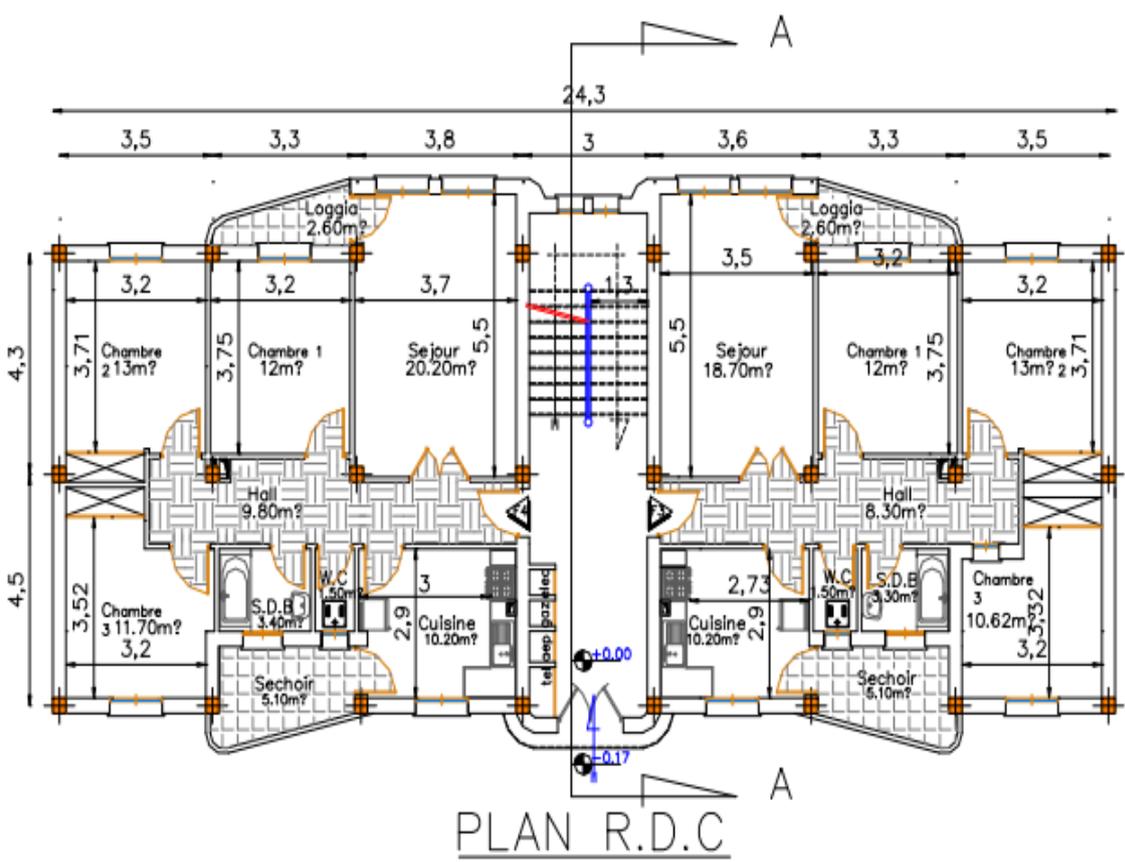
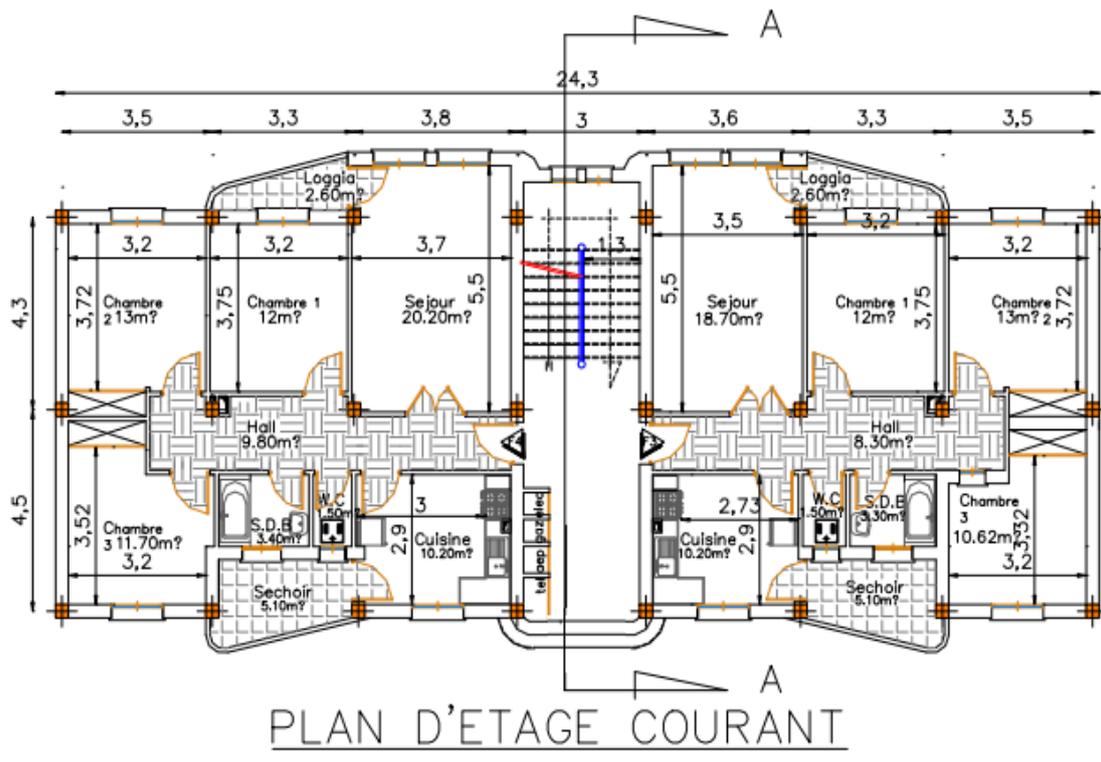
## **Chapitre V**

Tableau V.1 : Réactions à la base de la structure selon la méthode dynamique.....	61
Tableau V.2 : Réactions à la base de la structure selon la méthode statique.....	61
Tableau V.3 : Efforts tranchants aux niveaux des étages.....	63
Tableau V.4 : Moments fléchissant aux niveaux des étages.....	64

# LISTE DES SYMBOLES

- $A$  : Coefficient d'accélération de zone, Coefficient numérique en fonction de l'angle de frottement.
- $A_s$  : Aire d'une section d'acier.
- $A_t$  : Section d'armatures transversales.
- $B$  : Aire d'une section de béton.
- $\phi$  : Diamètre des armatures, mode propre.
- $\varphi$  : Angle de frottement.
- $\bar{q}$  : Capacité portante admissible.
- $Q$  : Charge d'exploitation.
- $C_d$  : Coefficient dynamique.
- $\gamma_s$  : Coefficient de sécurité dans l'acier.
- $\gamma_b$  : Coefficient de sécurité dans le béton.
- $\sigma_s$  : Contrainte de traction de l'acier.
- $\sigma_{bc}$  : Contrainte de compression du béton.
- $\bar{\sigma}_s$  : Contrainte de traction admissible de l'acier.
- $\bar{\sigma}_{bc}$  : Contrainte de compression admissible du béton.
- $\tau_u$  : Contrainte ultime de cisaillement.
- $\tau$  : Contrainte tangentielle.
- $\beta$  : Coefficient de pondération.
- $\sigma_{sol}$  : Contrainte du sol.
- $\sigma_m$  : Contrainte moyenne.
- $G$  : Charge permanente.
- $\xi$  : Déformation relative.
- $V_0$  : Effort tranchant a la base.
- $E.L.U$  : Etat limite ultime.
- $E.L.S$  : Etat limite service.
- $N_{ser}$  : Effort normal pondéré aux états limites de service.
- $N_u$  : Effort normal pondéré aux états limites ultime.
- $T_u$  : Effort tranchant ultime.
- $T$  : Effort tranchant
- $S_t$  : Espacement.
- $\lambda$  : Elancement.
- $e$  : Epaisseur
- $F$  : Force concentrée.
- $f$  : Flèche.
- $\bar{f}$  : Flèche admissible.
- $D$  : Fiche d'ancrage.
- $L$  : Longueur ou portée.
- $L_f$  : Longueur de flambement.
- $d$  : Hauteur utile.
- $F_e$  : Limite d'élasticité de l'acier.

- $M_u$  : Moment à l'état limite ultime.
- $M_{ser}$  : Moment à l'état limite de service.
- $M_t$  : Moment en travée.
- $M_a$  : Moment sur appuis.
- $M_0$  : Moment en travée d'une poutre reposant sur deux appuis libres, Moment a la base.
- $I$  : Moment d'inertie.
- $f_i$  : Flèche due aux charges instantanées.
- $f_v$  : Flèche due aux charges de longue durée.
- $I_{fi}$  : Moment d'inertie fictif pour les déformations instantanées.
- $I_{fv}$  : Moment d'inertie fictif pour les déformations différées.
- $M$  : Moment, Masse.
- $E_{ij}$  : Module d'élasticité instantané.
- $E_{vj}$  : Module d'élasticité différé.
- $E_s$  : Module d'élasticité de l'acier.
- $f_{c28}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours d'age.
- $f_{t28}$  : Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours d'age.
- $F_{cj}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à j jours d'age.
- $\delta$  : Rapport de l'aire d'acier à l'aire de béton.
- $Y$  : Position de l'axe neutre.
- $I_0$  : Moment d'inertie de la section totale homogène





# Introduction générale

---

## **Introduction :**

Le nord de l'Algérie est une partie susceptible d'être soumise à de forts tremblements de terre, et elle a été le théâtre de plusieurs séismes destructeurs et la seule prévention valable en zone à risque sismique est la construction parasismique, c'est-à-dire l'art de construire de manière telle que les bâtiments, même endommagés, ne s'effondrent pas.

Les règles parasismiques visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés, et les dégâts causés par les tremblements de terre récents ont été de bonnes leçons et ont réveillé les consciences, tel que le séisme de Chlef en 1980 et celui de Boumerdes en 2003 qui ont permis au règlement parasismique algérien d'être révisé et mis à jour, en modifiant quelques paramètres de calcul des forces sismiques.

Le RPA 99/2003 décrit en détail deux méthodes de calcul sismique, la méthode statique équivalente et la méthode modale spectrale, la première est une méthode adaptée par la plupart des codes parasismiques et s'applique seulement si la structure est classée régulière selon certains critères, ou bien irrégulière en respectant quelques conditions, la seconde méthode est applicable dans tous les cas, et en particulier, où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

Bien que l'utilisation de la méthode statique équivalente et la méthode modale spectrale soit indépendante de l'action sismique (spectre de calcul), on remarque que le RPA 99 définit deux spectres de calcul qui diffèrent d'un coefficient multiplicateur de 1.25. Ce coefficient, qui n'est pas défini, n'est pas un coefficient de site puisqu'il est constant quel que soit le site, et majore l'action sismique dans le cas de l'utilisation de la méthode modale de 25%.

Dans cette étude, nous allons comparer les résultats donnés par :

- La méthode modale ;
- La méthode statique équivalente.

## 1. Problématique :

Une étude comparative se définit comme un travail de collecte, de structuration et de comparaison d'information dans un but déterminé.

Le but de cette étude est d'obtenir les sollicitations et les déplacements de structure soumis à des forces sismiques.

À partir de la méthode statique équivalente du code parasismique algérien RPA 99 (version 2003) et de l'analyse modale spectrale pour un bâtiment régulier en plan et en élévation, on calcul les efforts tranchants par les forces sismiques.

## 2. Organisation du mémoire :

Le travail est structuré comme suit :

**Chapitre I** consiste à présenter l'ouvrage et faire un pré dimensionnement des éléments de la structure.

**Chapitre II** est consacré à une description de l'action dynamique causée par le tremblement de terre.

**Chapitre III** portera sur l'étude statique du bâtiment et la détermination de l'action sismique par cette méthode.

**Chapitre IV** portera sur l'étude dynamique du bâtiment et la détermination de l'action sismique par cette méthode.

**Chapitre V** portera une étude comparative des résultats obtenus par les deux méthodes.

# CHAPITRE I

*Présentation de l'ouvrage*

### I.1.Présentation du projet :

Notre projet consiste d'étude sismique d'une tour de R+6 étages à usage d'habitation, située en Zone IIb, contreventée par des portiques+voiles en béton armé, régulière en plan et en élévation, ce bâtiment implanté sur site considéré comme meuble 'S3', On insiste sur les sollicitations dues aux charges latérales (sismiques)

### I.2.Caractéristiques de la structure :

#### I.2.1.Dimensions en plan et en élévation :

\* Hauteur totale de bâtiment .....  $H = 21.42\text{m}$

\* Hauteur de RDC... .....  $h=3.06\text{m}$

\* Hauteur d'étage courant... .....  $h = 3.06\text{m}$

\* Longueur totale.....  $L_x = 24.3\text{m}$

\* Largeur totale... .....  $L_y = 8.80\text{m}$

#### I.2.2.Caractéristiques du site:

- Le bâtiment est implanté dans une zone classée par les règles parasismiques Algériennes 99/version 2003 comme zone de forte sismicité (zone IIb).
- L'ouvrage appartient au groupe d'usage 2
- Le site est considéré comme meuble (S3).

#### I.2.3.Caractéristiques des matériaux :

- Résistance mécanique du béton à la compression et à la traction :

$$f_{c28} = 25\text{MPa}; f_{t28} = 2.1\text{MPa}$$

- Résistance mécanique élastique d'armature à la compression et à la traction :

$$f_e = 400\text{MPa}$$

- Module de déformation longitudinal instantané du béton :  $E_{bi} = 32164,2\text{MPa}$ , calculé selon

la formule suivante :

## I. Présentation de l'ouvrage

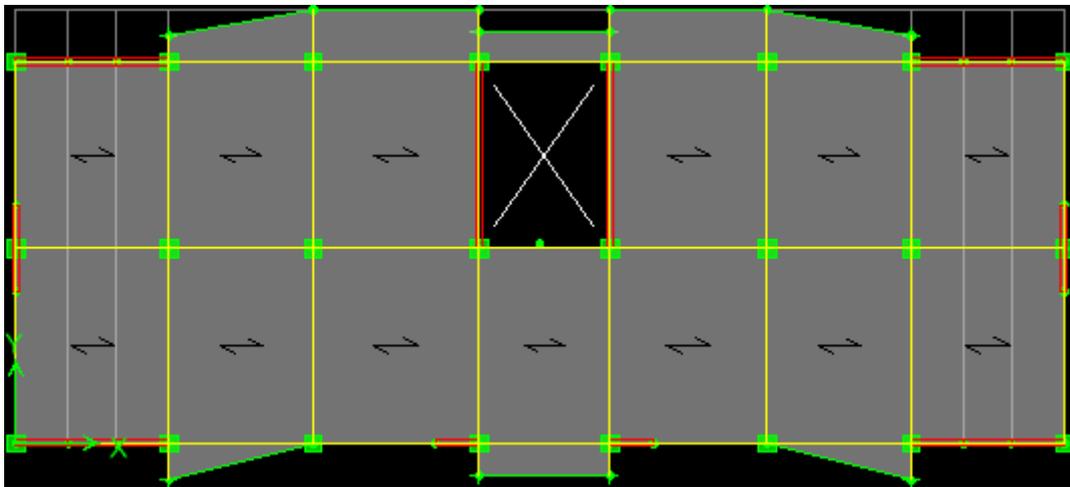
---

$$E_{bi} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}}$$

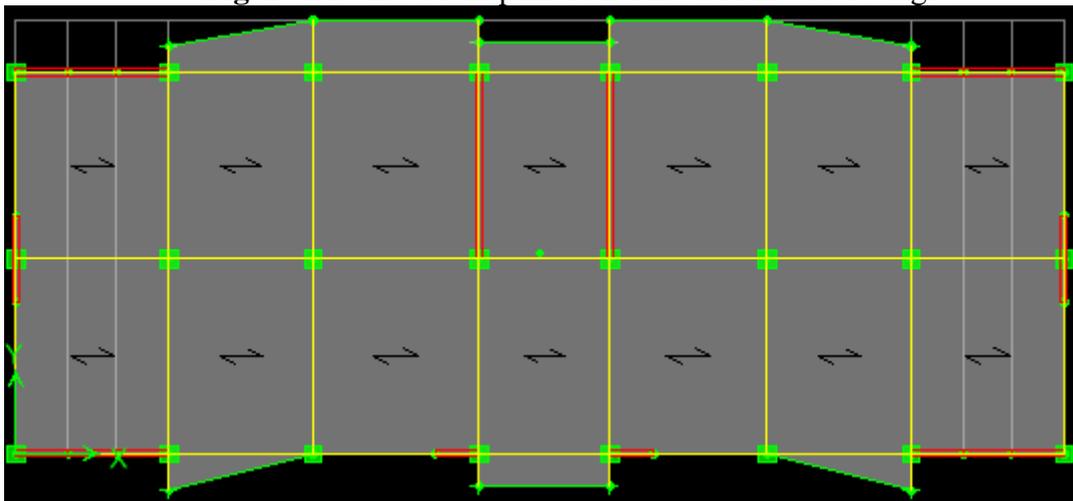
- Module de déformation longitudinal différé du béton :  $E_{bj} = 10819 \text{MPa}$ , calculé selon la formule suivante :

$$E_{bi} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}}$$

- Module de déformation longitudinal des armatures :  $E_s = 200000 \text{MPa}$
- Poids volumique du béton :  $\gamma = 25 \text{Kn/m}^3$
- $\nu = 0.2$  : dans le cas des états limitent de services.
- $\nu = 0$  : dans le cas des états limites ultime.



**Figure I.1 :** La vue en plan de la structure niveau d'étage.



**Figure I.2 :** La vue en plan de la structure niveau terrasse.

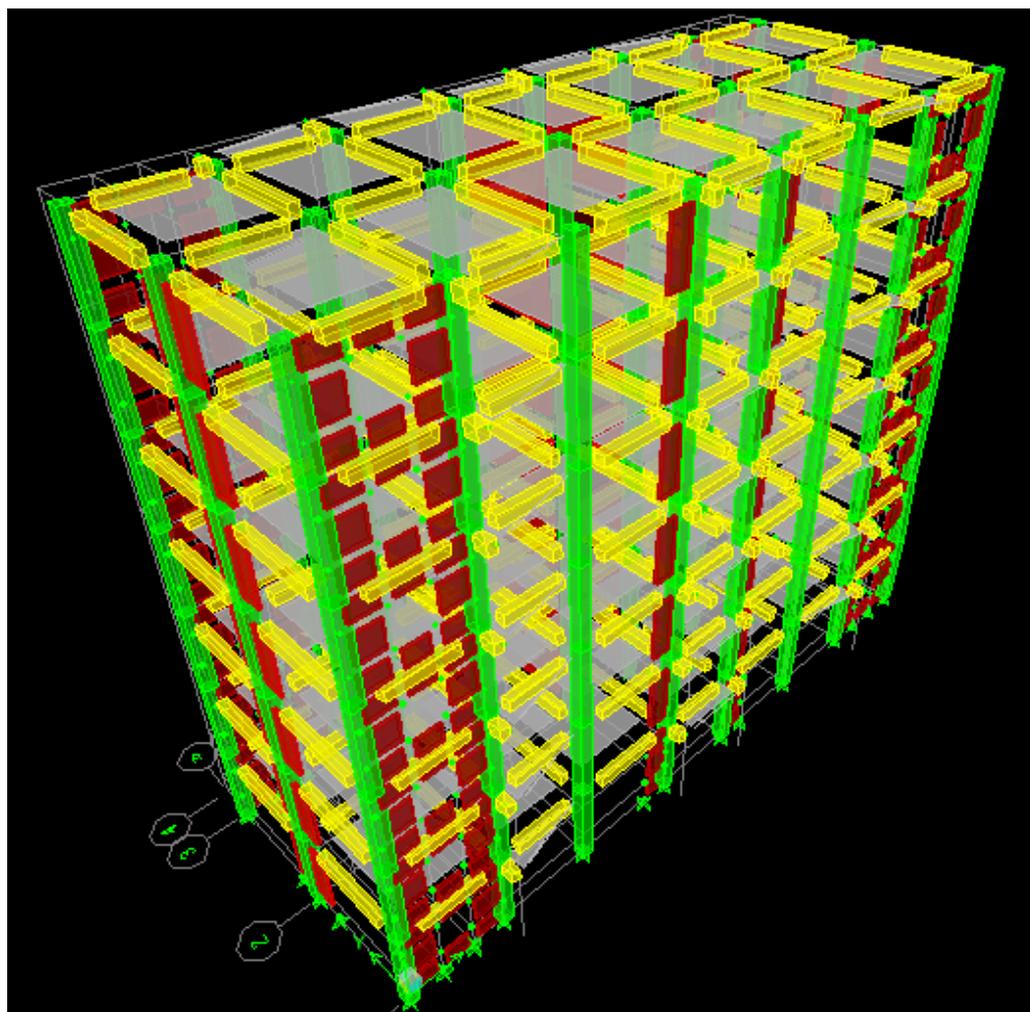


Figure I.3 : La vue en 3D de la structure.

### I.3.Pré dimensionnement des éléments structuraux :

#### I.3.1.Evaluation des charges :

Le calcul des charges et surcharges est effectué selon DTRB.C.22

- **Plancher terrasse (16+4) :**

Tableau I.1 : Charge pour plancher terrasse (inaccessible)

	G (kg/m <sup>2</sup> )	Q (kg/m <sup>2</sup> )
Gravillons roulé (5 cm)	80	
Forme de pente (1.5%)	238	
Couche d'isolation (4 cm)	16	
Plancher (16+4)	280	
Enduit en plâtre (2 cm)	26	
<b>TOTAL</b>	<b>640</b>	<b>100</b>

- **Plancher courant (16+4) :**

**Tableau I.2 :** Charge pour plancher courant (accessible).

	<b>G (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (kg/m<sup>2</sup>)</b>
Revêtement	104	
Cloisons légères	100	
Enduit	26	
Plancher (16+4)	280	
<b>TOTAL</b>	<b>510</b>	<b>150</b>

- **Murs extérieurs :** 200 Kg/m<sup>2</sup>
- **Acrotère :** 230 Kg/ml
- **Escalier :** G = 140 Kg/m<sup>2</sup> (surcharge permanente pour palier de repos) G = 300 Kg/m<sup>2</sup> (surcharge permanente pour paillasse)  
Q = 350 Kg/m<sup>2</sup>
- **Balcon :** Q = 350 Kg/m

### I.3.2.pré dimensionnement des planchers :

Dans ce projet les planchers sont en corps creux,

L'épaisseur totale des planchers doit satisfaire la condition suivant : C.B.A.93 [B.6.8.2.4]

$$\frac{h_t}{L} \geq \frac{1}{22,5}$$

Avec : 'L' plus grande portée libre dans le sens non porteur

**Tableau I.3 :** Pré dimensionnement des planchers.

<b>L (cm)</b>	<b>L (cm) 22.5</b>	<b>h<sub>t</sub>(cm)</b>
380	16.88	20=(16+4)

### I.3.3.pré dimensionnement des poutres :

Selon « R.P.A 99 version 2003 » (article 7.5) les dimensions des poutres deviennent respecter les normes suivantes :

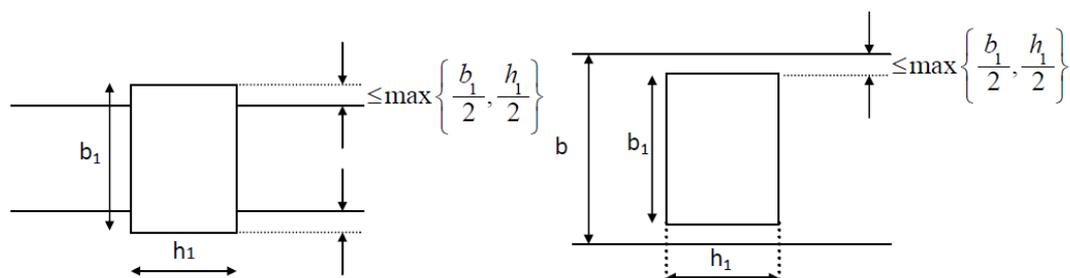
- b ≥ 20 cm
- h ≥ 30 cm

## I.Présentation de l'ouvrage

- $\frac{h}{b} \leq 4$
- $b_{\max} \leq 1.5 h + b_1$

Où  $b$  : est largeur de la poutre.

$h$  : hauteur utile de la poutre.



**Figure I.4 :** Démenions a respecter selon RPA99-V2003.

Pour le pré-dimensionnement des poutres de notre projet on utilise la condition suivante :

$$\frac{l}{15} \leq h \leq \frac{l}{10}$$

Les résultats obtenus dans le tableau suivant :

**Tableau I.4 :** Pré dimensionnement des poutres.

Type de poutre	L (cm)	h (cm)	b (cm)	Vérification (Condition minimal)	Section (bxh)
<b>Poutre principale</b>	450	40	30	vérifiée	30x40
<b>Poutre Secondaire</b>	380	35	30	vérifiée	30x35

### I.3.4.pré dimensionnement des poteaux :

Selon le RPA99-V2003 (article 7.4.1) :

$$\text{Min } (b,h) \geq 30 \text{ cm}$$

$$\text{Min } (b,h) \geq h_e/20$$

$$1/4 < b/h < 4$$

On prend section  $(40 \times 40) \text{ cm}^2$

### I.3.5.pré dimensionnement des voiles de contreventement :

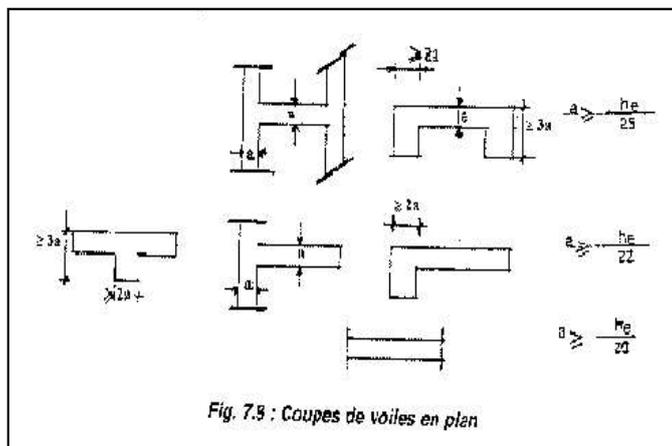
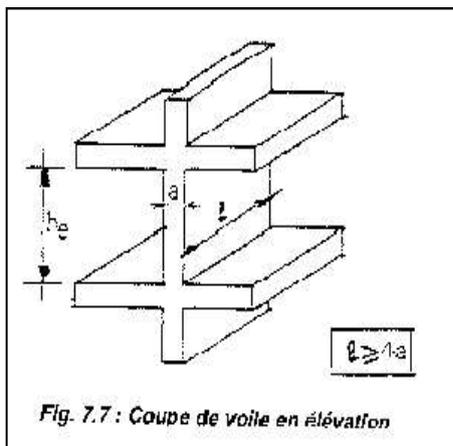


Figure I.6 : Epaisseur a respecter pour voiles selon RPA99-V2003.

$a \geq h_e/20$  Avec  $h_e$  : Hauteur libre entre deux étages.

$a \geq 266/20 = 13.3 \text{ cm}$  ..... **On prend : a = 15 cm**

### I.4.Méthodes et règlement utilisé dans ce mémoire :

On utilise deux méthodes de calcul des structures sous charges sismiques. Ces deux

Méthodes sont :

- **Méthode statique équivalente** : Analyse statique d'une structure sous l'effet d'un système de forces statiques équivalentes à celui de l'action sismique.
- **Méthode dynamique modale spectrale** : Analyse dynamique d'une structure sous l'effet d'un séisme représenté par un spectre de réponse, introduite comme méthode de calcul à adopter dans tous les cas, en particulier dans les situations où la première méthode ne s'applique pas.

Ces deux méthodes sont expliquées dans les règles parasismiques algériennes

**RPA99-V**

### **I.4.1.Les versions du Règles parasismiques algériennes :**

La réglementation parasismique est le document technique "DTR BC 2-48" dit : "REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA99" . La première version a été RPA81 qui fut suivie par le RPA81 version de 1983 après le séisme de Chlef du 10 Octobre 1980 .La troisième version RPA88 a été suivie par la version RPA99. Les règles RPA99 tiennent compte des errements des séismes tels que le tremblement de terre de Oued Djer (Algérie) en octobre 1988 et celui d'Ain Témouchent en 22.12.1999.Ainsi elle introduit 4 sites de sol au lieu des 2 sites (sol meuble et sol ferme) du RPA88.Enfin le RPA99 version 2003, est en vigueur après le séisme du 21 Mai 2003.[1]

### **I.4.2.Application du RPA99 :**

Le RPA99 est applicable à toutes les constructions courantes. Il n'est pas directement applicable aux constructions telles que les ouvrages d'art et ceux enterrés.[1]

### **I.5.Logiciel utilisé dans cette mémoire :**

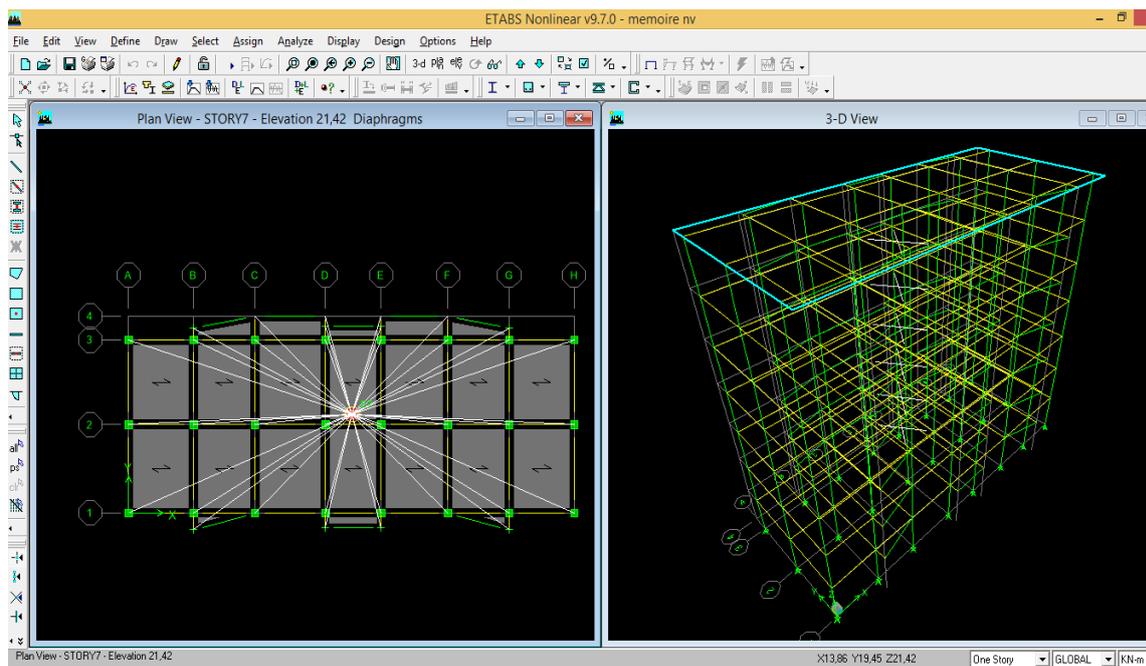
Pour plus de facilité on utilise l'utile informatique **ETABS**, pour le calcul des sollicitations (moments fléchissant M, efforts normaux N et efforts tranchants T) et des déplacements des éléments structuraux par les deux méthodes : statique et dynamique.

Le logiciel de l'analyse des structures **ETABS** basé à la méthode des éléments finis.

La modélisation sur **ETABS** consiste en les étapes suivantes :

1. Entrer la géométrie du modèle (position des nœuds, connectivité des éléments).
2. Spécifier les propriétés des éléments et les assigner aux éléments.
3. Définir les cas de charges (statique et dynamique) et assigner ces charges aux nœuds et aux éléments.
4. Spécifier les conditions aux limites (appuis, diaphragmes, ...etc).
5. Démarrer l'exécution du problème, apporter des corrections au modèle s'il y a lieu.
6. Visualiser les résultats (à l'écran, sur fichier, etc...).[5]

# I.Présentation de l'ouvrage



**Figure I.7 :** analyse de structure ETABS.

# CHAPITRE II

## *Méthodologie*

## II.Méthodologie

---

### II.1.Introduction :

Il est d'abord important de souligner que ce ne sont pas les séismes qui tuent, mais les bâtiments qui s'écroulent sur leurs occupants, la majorité des constructions a été construite sans tenir compte de l'aspect sismique ou, au mieux, avec des méthodes inadaptées. Les dernières générations des normes de construction tiennent compte des récents progrès du génie parasismique et elles incluent, par exemple, les méthodes modernes (spectral, temporelle) de dimensionnement qui assurent un comportement sismique favorable des structures.

Le présent chapitre est consacré à une description de l'action dynamique causée par le tremblement de terre. Quelques notions de sismologie sont introduites. La méthode spectrales modales et la méthode temporelle sont introduites dans le présent chapitre.[5]



**Figure II.1** : Algérie, Chlef-magnitude 7,3 -10 octobre 1980



**Figure II.2** : Algérie, Chlef-magnitude 7,3 -10 octobre 1980

## II.Méthodologie

### II.2.définition de séisme :

Un séisme ou tremblement de terre est le résultat de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Le lieu de la rupture des roches en profondeurs se nomme le foyer. Plus rares sont les séismes dus à l'activité volcanique ou d'origine artificielle (explosions par exemple). Il se produit de très nombreux séismes tous les jours, mais la plupart ne sont pas ressentis par les humains. Environ cent mille séismes sont enregistrés chaque année sur la planète. Les plus puissants d'entre eux comptent parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices.

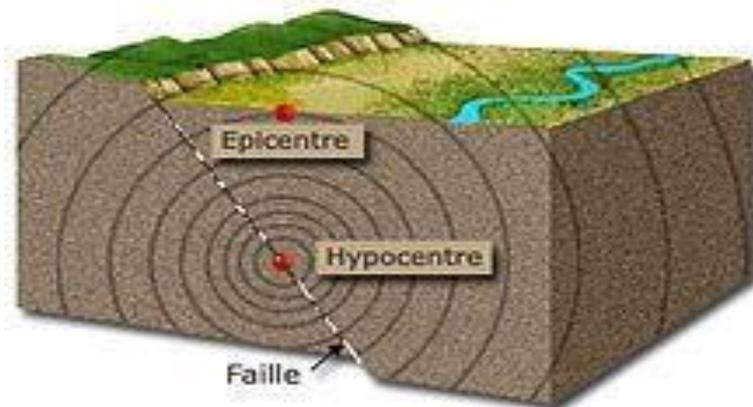


Figure II.3 : caractéristique de séisme.[12]

#### II.2.1.Séisme tectonique

Les séismes tectoniques sont de loin les plus fréquents et dévastateurs. Une grande partie des séismes tectoniques a lieu aux limites des plaques, où se produit un glissement entre deux milieux rocheux. Ce glissement, localisé sur une ou plusieurs failles, est bloqué durant les périodes inter-sismiques (entre les séismes), et l'énergie s'accule par la déformation élastique des roches. Cette énergie et le glissement sont brusquement relâchés lors des séismes.

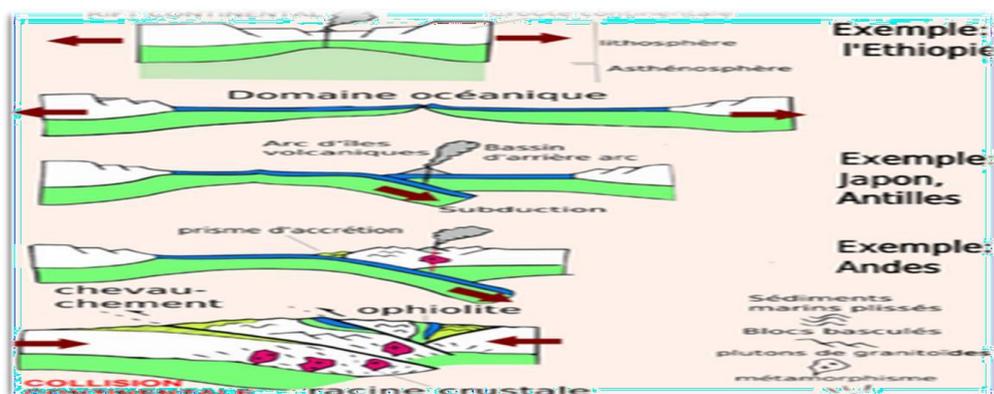


Figure II.4 : Model des plaques tectonique

## II.Méthodologie

### II.2.2.caractéristique de séisme :

- **Epicentre :**

lors d'un séisme, on désigne par épïcentre la projection à la surface de la Terre de l'hypocentre, le point où prend naissance la rupture. Pour être plus clair, l'épicentre correspond à la verticale exacte du foyer. Ainsi les ondes sismiques ont à parcourir le chemin le plus court pour atteindre l'épicentre à la surface du sol. Elles perdent, du coup, très peu d'énergie du fait du peu de roches que ces ondes traversent. Comme elles ont plus d'énergie à l'épicentre, les dégâts provoqués sont plus importants en cet endroit qu'ailleurs.

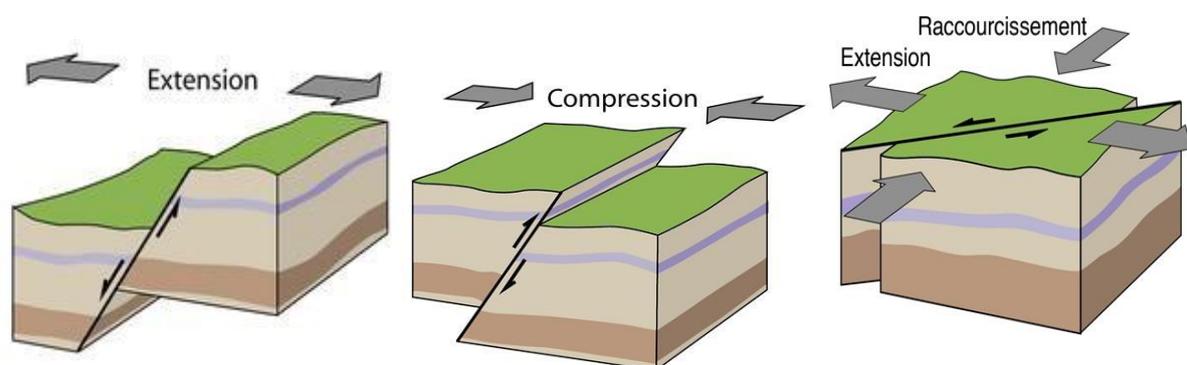
Figure (II.3)

- **Hypocentre**

Lors d'un séisme, on désigne par hypocentre (ou foyer) le point de départ de la rupture sismique sur la faille. La projection de l'hypocentre sur la surface terrestre s'appelle l'épicentre. Lors de l'explosion d'une bombe nucléaire, l'hypocentre représente la zone à l'aplomb de l'explosion (quand elle est aérienne) et donc la zone d'impact majeure Figure (II.3).

- **La faille :**

En géologie, une **faille** est une déformation consistant en un plan ou une zone de rupture le long duquel deux blocs rocheux se déplacent l'un par rapport à l'autre. Ce plan divise un volume rocheux en deux compartiments qui ont glissé l'un par rapport à l'autre. Ce déplacement et la déformation cisailant sont dus aux forces exercées par les contraintes tectoniques, qui résultent de la tectonique des plaques ou à la force gravitaire (instabilité gravitaire).



- Type des failles :

**Faille normal**

**faille inverse**

**faille décrochement**

**Figure II.5** : type des failles

## II.Méthodologie

---

- Face à ce risque et à l'impossibilité de le prévoir, la plus importante prévention est la construction parasismique. Pour l'étude dynamique des structures en Algérie sous l'effet des charges sismiques il y a des requêtes exigées par le règlement parasismique algérien.

### II.3.le règlement parasismique algérien :



**Figure II.6 :** Boumerdès-magnitude 6,8- 21mai2003

Après le séisme qui a frappé la région de Boumerdès le 21 mai 2003, le règlement parasismique algérien (RPA) a été modifié. Actuellement, toutes les constructions doivent respecter le RPA99, version 2003 qui prescrit deux méthodes d'analyse dynamique qui seront décrits ci-après.

### II.4.méthodes d'analyse dynamiques :

#### II.4.1.Concept de base :

C'est le calcul de la réponse sismique et la répartition des efforts dans les différents éléments de la structure

On distingue essentiellement deux méthodes d'analyse dynamique :

- a) La méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.
- b) La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme peut être utilisée au cas par cas par un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interprétation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire.

## II.Méthodologie

---

### II.4.2.Méthode dynamique modale spectrale :

#### II.4.2.1.Principe :

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

#### II.4.2.2.Modélisation :

Pour les structures irrégulières en plan, sujettes à la torsion et comportant des planchers rigides, elles sont représentées par un modèle tridimensionnel, encastré à la base et où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois (03) DDL (2 translations horizontales et une rotation d'axe vertical).

#### II.4.2.3.Analyse modale :

##### ➤ Nombre de modes à considérer :

Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

- ✓ la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.
- ✓ ou que tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de la structure soient retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure. Le minimum de modes à retenir est de trois (03) dans chaque direction considérée.
- ✓ les deux premières modes doit vérifier la translation selon les deux axe orthogonale (x, y), et la torsion pour le troisième mode.

#### II.4.2.4.Condition RPA :

##### a) Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représentée par le spectre suivant :

## II.Méthodologie

---

$$(S_a / g) = \begin{cases} 1,25A [1+ (T/T_1) (2,5\eta (Q/R)-1)] & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ s} \\ 2,5\eta (1,25A) (T_2/3)^{2/3} (3/T)^{3/5} (Q/R) & T \geq 3,0 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

**A** : coefficient d'accélération de zone.

$\eta$  : Facteur de correction d'amortissement

**R** : coefficient de comportement de la structure.

**T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>** : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

**Q** : facteur de qualité.

### b) Résultante des forces sismiques de calcul :

La résultante des forces sismiques à la base  $V_t$  obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente  $V$  pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée. Si  $V_t < 0.80 V$ , il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,...) dans le rapport  $0.8 V/V_t$ .

### c) Déplacement inter-étage :

Le déplacement horizontale à chaque niveau "K" de la structure est donné par :

$$\delta_K = R \times \delta_{eK} \quad (\text{II.2})$$

$\delta_{eK}$  : déplacement dû aux forces sismiques (y compris l'effet de torsion). R : coefficient de comportement.

Le déplacement relatif au niveau "K" par rapport au niveau "K-1" est égale à :

$$\Delta K = \delta_K - \delta_{K-1} \quad (\text{II.3})$$

Le **RPA99** préconise que les déplacements relatifs inter-étages ne doivent pas dépasser les **1%he**, (he est la hauteur libre de l'étage considéré).

## II.Méthodologie

---

Il faut vérifier que :  $\Delta_k \leq \delta$

$\delta$  : Déplacement admissible (égale à  $0,01h_e$ ).

### d) Justification de l'interaction voile-portique :

Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales.

Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux. Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25% de l'effort tranchant d'étage.

### II.4.3.Méthode d'analyse temporelle :

Cette méthode est indiquée pour analyser la réponse dynamique de structures soumises à des charges dynamiques prolongées (par exemple, les charges non constantes provoquées par des engins de chantier ou des mouvements sismiques). Pour des précisions mathématiques et les particularités de l'application.

En particulier la réponse temporelle obtenue par l'intégrale de Duhamel s'écrit :

$$y_j(t) = -\frac{L_j}{m_j w_{Dj}} \int_0^t \ddot{v}_s(\tau) e^{-\xi_j w_j(t-\tau)} \sin[w_{Dj}(t-\tau)] d\tau \quad (\text{II.4})$$

Posant :

$$a_j = \frac{D_j^i M \Delta}{D_j^i M D_i} \quad (\text{II.5})$$

Le déplacement  $U_j$  dans le mode  $j$  s'écrit

$$U_j = D_j Y_j(t) = a_j D_j q_j(t) \quad (\text{II.6})$$

Où  $q_i(t)$  est solution de l'équation différentielle

$$\ddot{q}_j(t) + 2\xi_j w_j \dot{q}_j(t) + w_j^2 q_j(t) = -\ddot{v}_s(t) \quad , j=1,n \quad (\text{II.7})$$

$a_j$  est appelé facteur de participation. L'équation (II.6) montre clairement que la valeur de  $a_j$  dépend de la norme adoptée pour le mode propre  $D_j$ . Le mode propre  $D_j$  étant défini à une constante multiplicative près, une multiplication de  $D_j$  par un coefficient  $\lambda$ , divise le facteur de participation par  $\lambda$ .

## II.Méthodologie

---

Une fois la réponse de chaque mode déterminée, le déplacement total s'obtient par sommation sur l'ensemble des modes :

$$U = \sum_{j=1}^n U_j = \sum_{j=1}^n a_j D_j q_j(t) \quad (\text{II.8})$$

### II.4.3.1.Calcul des efforts :

La réponse en déplacement dans le mode  $j$  étant déterminée, l'effort élastique dans le système s'obtient par :

$$F_j = K U_j = a_j K D_j q_j(t) \quad (\text{II.9})$$

Tenant compte du fait que  $D_j$  est un vecteur propre, il vient :

$$K D_j = \omega_j^2 M D_j \Rightarrow F_j = a_j \omega_j^2 M D_j q_j(t) \quad (\text{II.10})$$

Dans laquelle on reconnaît le produit de la masse du système par une quantité ayant une dimension d'accélération.

L'effort total résultant de la superposition de l'ensemble des modes s'écrit :

$$F = \sum_{j=1}^N F_j = \sum_{j=1}^N a_j \omega_j^2 M D_j q_j(t) \quad (\text{II.11})$$

### II.4.3.2.Valeurs maximales de la réponse :

#### - Valeur maximale par mode :

Dans les équations (II.10) et (II.13),  $q_j(t)$  peut être obtenue par sa variation temporelle donnée par l'intégrale de Duhamel, solution de l'équation (II.7) :

$$q_j(t) = -\frac{1}{\omega_{Dj}} \int_0^t \ddot{v}_s(\tau) e^{-\xi_j \omega_j(t-\tau)} \sin[\omega_{Dj}(t-\tau)] d\tau \quad (\text{II.12})$$

Pour le dimensionnement d'un système, la connaissance de la variation temporelle de l'effort  $F$ , donc des  $q_j(t)$ , n'est pas obligatoirement nécessaire et seule la valeur maximale est requise.

Le spectre de réponse de la sollicitation  $(t)$  permet d'accéder, pour chaque mode, à cette grandeur. On rappelle que le spectre de réponse en déplacement est pour l'ensemble des couples  $(\omega_j, \xi_j)$ .

## II.Méthodologie

---

$$S_D(w_j, \xi_j) = \text{MAX} \left[ -\frac{1}{w_{Dj}} \int_0^t \ddot{v}_s(\tau) e^{-\xi_j w_j(t-\tau)} \sin[w_{Dj}(t-\tau)] d\tau \right] \quad (\text{II.13})$$

Introduisant la pseudo-accélération définie par :

$$S_D(w_j, \xi_j) = w_j^2 S_a(w_j, \xi_j) \quad (\text{II.14})$$

Le déplacement maximal et l'effort maximal dans le mode j sont alors donnés par :

$$\begin{aligned} U_{jmax} &= a_j D_j S_D(w_j, \xi_j) \\ F_{jmax} &= a_j M D_j S_a(w_j, \xi_j) \end{aligned} \quad (\text{II.15})$$

On rappelle que la pseudo-accélération est en général différente de l'accélération absolue ; les deux quantités ne sont égales que pour un système non amorti. La force s'obtient à partir de la pseudo-accélération et non de l'accélération absolue.

### II.4.3.3.Valeur maximale de la réponse totale :

Dans chaque mode. Ces maxima ne se produisent pas tous au même instant et se pose alors le problème du cumul des réponses modales.

Désignant par  $\mathbf{R}$  le vecteur contenant les réponses modales maximales d'une quantité donnée (déplacement en un point, effort, contrainte dans un élément....), de composantes  $r_j$ , une enveloppe de la réponse maximale pour l'ensemble des modes est évidemment obtenue en effectuant la somme des valeurs maximales des réponses modales

$$r \leq \sum_{j=1}^N r_j \quad (\text{II.16})$$

Toutefois cette approche est trop conservatrice et peut conduire à une surestimation importante de la réponse. On lui préfère la règle de cumul, dite quadratique complète CQC (Complete Quadratic Combination), qui exprime la réponse maximale sous la forme :

$$R = \sqrt{\mathbf{R}^T \mathbf{P} \mathbf{R}} = \sqrt{\sum_{j=1}^N \rho_{ij} r_j r_i} \quad (\text{II.17})$$

Où  $\rho_{ij}$ , élément de la matrice  $\mathbf{P}$ , représente le coefficient de corrélation entre les modes i et j. Il dépend des pulsations propres ( $\omega_i, \omega_j$ ) et des pourcentages d'amortissement critique ( $\xi_i, \xi_j$ ) des deux modes.

## II.Méthodologie

---

### **Conclusion :**

Le présent chapitre a été consacré à une description de l'action dynamique causée par le tremblement de terre. Quelques notions de sismologie ont été introduites. La méthode spectrale modale et la méthode temporelle ont été introduites dans le présent chapitre.

Ces deux méthodes seront utilisées dans les chapitres suivants pour analyser le comportement dynamique des structures.

# CHAPITRE III

*Calcul par la méthode  
statique équivalente*

#### **III.1.Principe de la méthode statique équivalente :**

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales X et Y.

L'utilisation de cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure:

- Une ductilité suffisante
- La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures

#### **III.2.Condition d'application :**

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

- a) Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrites au chapitre III, paragraphe 3.5 du RPA avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et II et à 30m en zones III
- b) Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outre les conditions de hauteur énoncées en a), des conditions complémentaires (voir RPA-page 33)

#### **III.2.1.Régularité en plan :**

- Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses ..... C.V
- A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.

#### **- Centre de gravité des masses :**

Pour simplifier le calcul on propose que le CDG est coïncide au CDG du plancher :

$$X_G = L_x/2 = 12.15 \text{ m}$$

$$Y_G = L_y/2 = 4.55 \text{ m}$$

### III. Calcul par la méthode statique

---

#### - Centre de rigidités :

Le centre de rigidité est calculé comme suit :

$$X_e = \frac{\sum X_i \cdot R_{it}}{\sum R_{it}} = \frac{\sum X_i \cdot I_{it}}{\sum I_{it}} \quad Y_e = \frac{\sum Y_i \cdot R_{il}}{\sum R_{il}} = \frac{\sum Y_i \cdot I_{il}}{\sum I_{il}}$$

Avec :  $I_i$  : moment d'inertie du file 'i'

$R_i$  : rigidité du file 'i'

$$X_c = \frac{(-1,45 + 1,55)0,99}{0,041 \times 3 + 0,99 \times 2} = 0,047$$

$$X_y = \frac{-4,4(0,0125 \times 2)}{2 \times 0,0125 + 4 \times 0,53} = 0,051$$

$$X = 12,225 + 0,047 = 12,27$$

$$Y = 4,63 + 0,051 = 4,68$$

Donc on peut calculer l'excentricité :

$$e_x = |X_G - X_c| = |12,15 - 12,27| = 0,12m \leq 15\%L_x \quad (\text{Symétrie})$$

$$e_y = |y_G - y_c| = |4,55 - 4,68| = 0,13m \leq 15\%L_y$$

Donc la condition de l'excentricité du RPA est vérifiée (régularité structurelle) **C.V**

- La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4  
 $L_x/L_y = 24.30/9.1 = 2.67 \leq 4$  ..... **C.V**
- La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction (pas de décrochement)..... **C.V**
- Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan. Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier. Dans se cas pas des ouvertures sur plancher...**C.V**
- La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 (cf Fig 3.2)

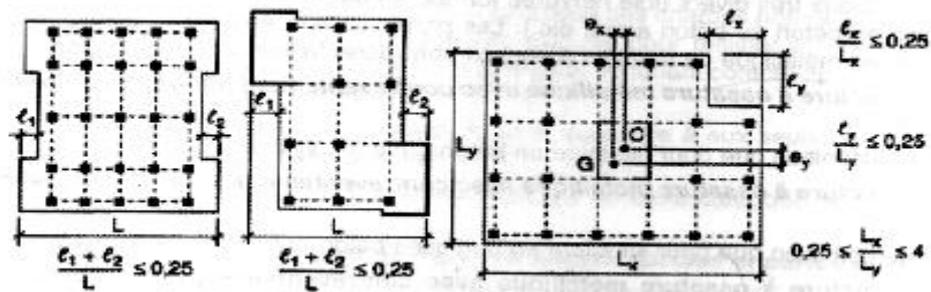


Figure III.1: Limites des décrochements en plan.

#### III.2.2. Régularité en élévation :

- Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.  
.....C.V
- Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment..... C.V
- Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension. Dans se cas pas de décrochement en élévation C.V

Donc, cette structure est régulière en plan et et en élévation avec  $H_{totale} = 21,42 \leq 30m$  ;pour cela on peut utiliser la méthode statique équivalente.

#### III.3.Modélisation :

- Le modèle du bâtiment à utiliser dans chacune des deux directions de calcul est plan avec les masses concentrées au centre de gravité des planchers et un seul degré de liberté en translation horizontale par niveau sous réserve que les systèmes de contreventement dans les deux (2) directions puissent être découplés.
- La rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculée à partir de sections non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.

### III. Calcul par la méthode statique

---

- c) La rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculée à partir de sections non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.
- d) Seul le mode fondamental de vibration de la structure est à considérer dans le calcul de la force sismique totale

#### III.4. Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale  $V$ , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = (A \cdot D \cdot Q/R)W$$

$A$  : coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau 4.1 du RPA suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment :

**$A=0.20$**  (zone IIb, et groupe d'usage 2)

$D$  : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement ( $\xi$ ) et de la période fondamentale de la structure ( $T$ ).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

$T_2$  : période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le tableau 4.7 du RPA :  **$T_2=0.50s$**  (Site S3)

$\eta$  : facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

où  $\xi$  (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

**$\xi=10\%$**  (Portiques en Béton armé avec Remplissage Dense)

donc  **$\eta=0.76$**

#### \* Estimation de la période fondamentale de la structure :

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

2. La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante :  $T = C_T h_N^{3/4}$   $h_N$  : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau

(N).  $h_N = 21.42\text{m}$

$C_T$  : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau 4.6 du RPA ;  $C_T = 0.05$  (contreventement mixte voiles+portiques)

$$T = 0.05 * 21.42^{3/4} = 0.49 \text{ sec}$$

On peut également utiliser aussi la formule :  $T = 0.09 h_N / \sqrt{D}$

Où D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée. Dans ce cas de figure il y a lieu de retenir dans chaque directions considérée la plus petite des deux valeurs données respectivement par les deux formules.

$$T_x = 0.09 * 21.42 / 24.30^{1/2} = 0.39 \text{ sec} \quad T_y = 0.09 * 21.42 / 9.10^{1/2} = 0.63 \text{ sec}$$

$$\text{Donc : } T_x = \min(0.49 ; 0.39) = 0.39 \text{ sec} \quad T_y = \min(0.49 ; 0.63) = 0.49 \text{ sec}$$

$$T_x(T_y) \leq T_2 \dots \dots \dots D = 2.5 \quad \eta = 1.90$$

R : coefficient de comportement global de la structure sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3 en fonction du système de contreventement tel que défini en 3.4 (voir RPA).

#### 4a. Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles

Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales.

Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux;

Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25% de l'effort tranchant d'étage.

### III. Calcul par la méthode statique

---

#### Q : facteur de qualité :

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_{1}^6 P_q$$

$P_q$  est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité  $q$  " est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau 4.4 du RPA

Les critères de qualité "q" à vérifier sont :

1. Conditions minimales sur les files de contreventement :

- système de portiques : chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au moins trois (03) travées dont le rapport des portées n'excède pas 1,5. Les travées de portique peuvent être constituées de voiles de contreventement.

(02 travées dans le sens Y)..... **C.N.V**

2. Redondance en plan :

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5. (03 files dans le sens X) ..... **C.N.V**

3. Régularité en plan :

La structure est classée régulière en plan..... **C.V**

4. Régularité en élévation. .... **C.V**

5. Contrôle de la qualité des matériaux :

Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.  
.....**C.V**

6. Contrôle de la qualité de l'exécution :

Il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier. Cette mission doit comprendre notamment une supervision des essais effectués sur les matériaux. .  
.....**C.V**

### III. Calcul par la méthode statique

**Tableau III.1 : Valeurs des pénalités P<sub>q</sub>. [1]**

Critère q	P <sub>q</sub>	
	Observé	N/ Observé
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0.05
2. Redondance en plan	0	0.05
3. Régularité en plan	0	0.05
4. Régularité en élévation	0	0.05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0.05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0.10

Donc :  $Q_x = Q_y = 1 + 0.05 \cdot 3 + 0.1 = 1.25$

**W : poids total de la structure :**

W est égal à la somme des poids W<sub>i</sub>, calculés à chaque niveau (i) :

n

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

W<sub>Gi</sub> : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W<sub>Qi</sub> : charges d'exploitation

β: coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 du RPA.

Bâtiments d'habitation..... **β=0.2**

**W= 14655.39KN** (calculé manuelle ou par ETABS)

**Tableau III.2 : Poids total de la structure selon ETABS.**

Combinaison	Poids (W)
Text	KN
G+0.2Q	14655.39

La force sismique totale V, appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = (A \cdot D \cdot Q / R) W = (0.20 \cdot 1.9 \cdot 1.25 / 5) \cdot 14655.39$$

Donc : **V<sub>x</sub> = V<sub>y</sub> = 1392.26 KN (D<sub>x</sub> = D<sub>y</sub>)**

### III. Calcul par la méthode statique

---

#### III.5. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base  $V$  doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum F_i$$

La force concentrée  $F_t$  au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration.

La valeur de  $F_t$  sera prise égale à 0 quand  $T$  est plus petit ou égale à 0,7 secondes.....

$$F_t = 0 \quad (T_x \text{ et } T_y \leq 0.7s)$$

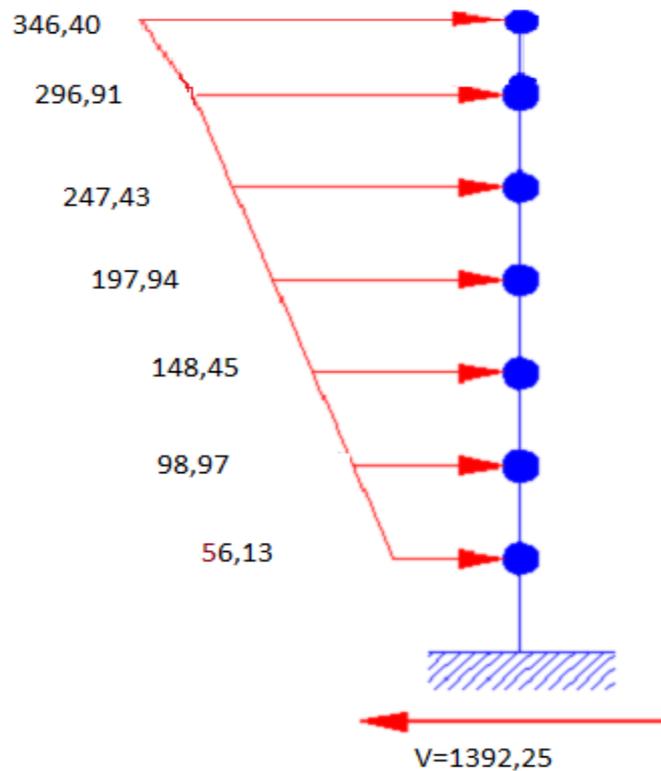
La partie restante de  $V$  soit  $(V - F_t)$  doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :  $F_i = (V - F_t) W_i \cdot h_i / \sum (W_j \cdot h_j)$

Les résultats représentés dans ce tableau :

**Tableau III.3 :** Distribution de la résultante des forces selon la hauteur

Niveaux	(V-Ft) (kn)	Wi (kn)	hi (m)	Wi*hi	$\sum W_j h_j$	Fi (kn)
Niveau 01	1392.26	2330,27	3,06	7130,62	176847,52	56,13
Niveau 02	1392.26	2054,18	6,12	12571,62	176847,52	98,97
Niveau 03	1392.26	2054,18	9,18	18857,43	176847,52	148,45
Niveau 04	1392.26	2054,18	12,24	25143,24	176847,52	197,94
Niveau 05	1392.26	2054,18	15,30	31429,05	176847,52	247,43
Niveau 06	1392.26	2054,18	18,36	37714,86	176847,52	296,91
Niveau 07	1392.26	2054,18	21,42	44000,67	176847,52	346,40
$\Sigma$				176847,52		1392,25

### III. Calcul par la méthode statique



**Figure III.2 :** Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur.

#### III.6. Distribution de l'effort tranchant selon la hauteur :

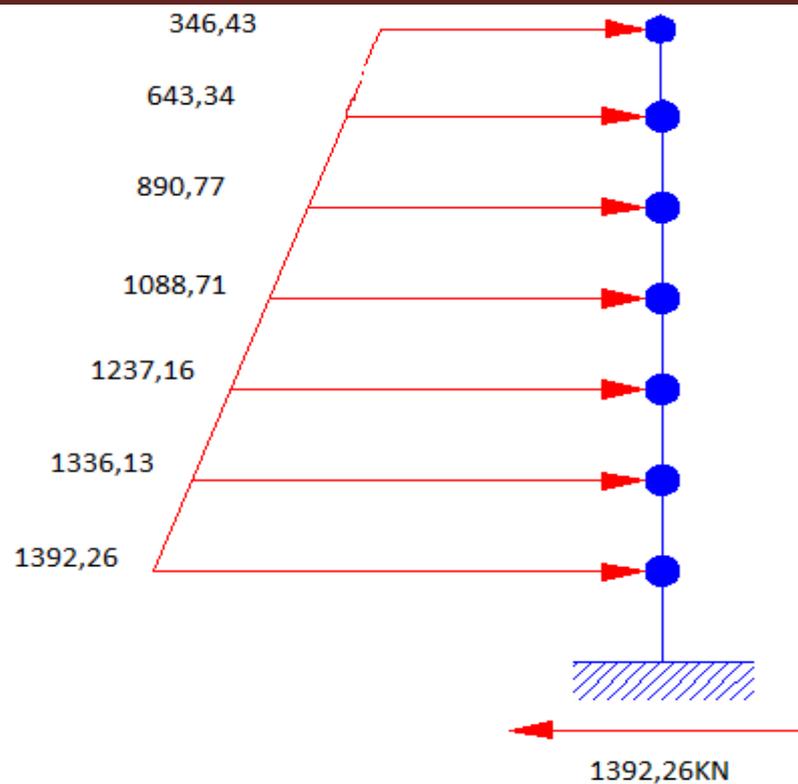
L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

**Tableau III.4 :** Effort tranchant au niveau d'étage.

Niveaux	Fi (kn)	Vi (kn)
Niveau 01	56,13	1392,26
Niveau 02	98,97	1336,13
Niveau 03	148,45	1237,16
Niveau 04	197,94	1088,71
Niveau 05	247,43	890,77
Niveau 06	296,91	643,34
Niveau 07	346,40	346,43
$\Sigma$	1392,25	

### III. Calcul par la méthode statique



**Figure III.3 :** Effort tranchant au niveau d'étage

#### III.7. Calcul des moments fléchissant selon la hauteur :

Le moment fléchissant au niveau de l'étage k est calculé comme suit :

$$M_k = M_{k+1} + V_{k+1} * h_e \text{ avec :}$$

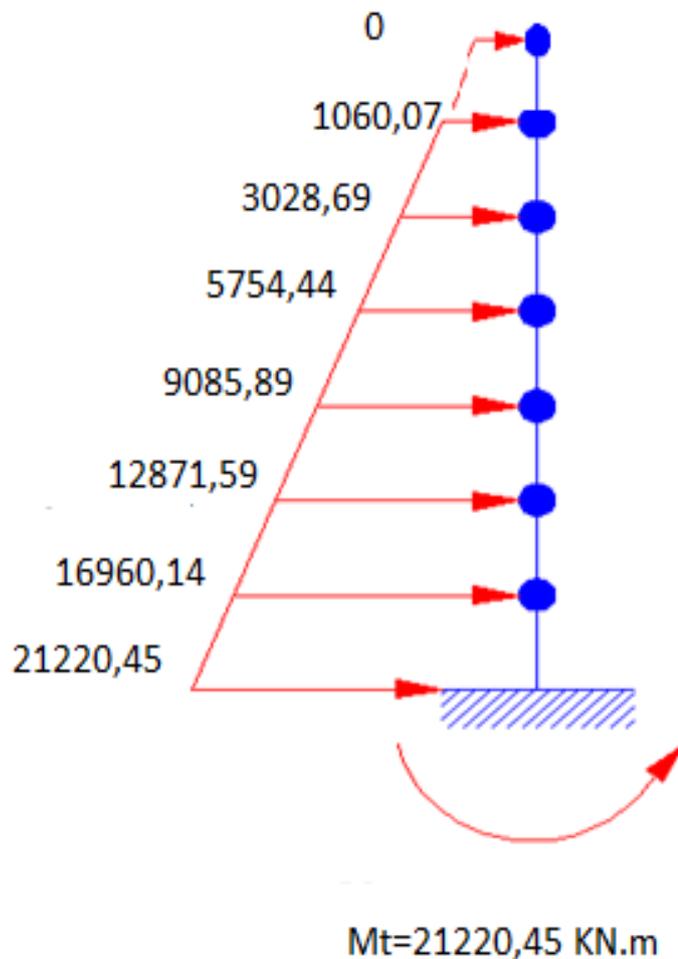
$M_k, M_{k+1}$  : moments fléchissant au niveau de l'étage k et k+1

$V_{k+1}$  : effort tranchant au niveau de l'étage k+1

$h_e$  : hauteur d'étage k+1 ;  $h_e = h_{k+1} - h_k$

**Tableau III.5 :** Moments fléchissant au niveau d'étage.

Niveaux k	$V_{k+1}$ (kn)	$V_{k+1} * h_e$	$M_k$ (kn.m)
Niveau +0.00	1392,26	4260,31	21220,45
Niveau 01	1336,13	4088,55	16960,14
Niveau 02	1237,16	3785,70	12871,59
Niveau 03	1088,71	3331,45	9085,89
Niveau 04	890,77	2725,75	5754,44
Niveau 05	643,34	1968,62	3028,69
Niveau 06	346,43	1060,07	1060,07
Niveau 07	0	0	0



**Figure III.4 :** Moments fléchissant au niveau d'étage

#### III.8. Distribution horizontale des forces sismiques :

$$e_x = |X_G - X_\epsilon| = 0,12 \text{ m} \leq 15\%L_x \text{ (Symétrie)}$$

$$e_y = |Y_G - Y_\epsilon| = 0,13 \text{ m} \leq 15\%L_y$$

On néglige l'effet de la torsion parce que l'excentricité est très faible,  $F_{ij}$  sont appliquées sur les nœuds du portique comme des forces concentrées.

dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives :

$$F_{ij} = F_i \cdot \frac{R_j}{\sum R_j} = F_i \cdot \frac{I_j}{\sum I_j}$$

Avec :  $I_j$  : moment d'inertie du file 'j'

$R_j$  : rigidité du file 'j'

#### III.8.1. Distribution horizontale des forces sismiques sens XX :

Les résultats représentés dans ces tableaux :

**Tableau III.6 :** Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX.

Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	inter	56,13	0,017	0,4302119
Niveau 02	inter	98,97	0,017	0,75856177
Niveau 03	inter	148,45	0,017	1,13780433
Niveau 04	inter	197,94	0,017	1,51712353
Niveau 05	inter	247,43	0,017	1,89644274
Niveau 06	inter	296,91	0,017	2,2756853
Niveau 07	inter	346,4	0,017	2,65500451

**Tableau III.7 :** Forces sismiques sur files de rives nord sens XX.

Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	rive	56,13	1,088	27,5335618
Niveau 02	rive	98,97	1,088	48,5479531
Niveau 03	rive	148,45	1,088	72,819477
Niveau 04	rive	197,94	1,088	97,0959062
Niveau 05	rive	247,43	1,088	121,372335
Niveau 06	rive	296,91	1,088	145,643859
Niveau 07	rive	346,4	1,088	169,920289

**Tableau III.8 :** Forces sismiques sur files de rives sud sens XX.

Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	rive	56,13	1,113	28,1662263
Niveau 02	rive	98,97	1,113	49,6634851
Niveau 03	rive	148,45	1,113	74,4927187
Niveau 04	rive	197,94	1,113	99,3269702
Niveau 05	rive	247,43	1,113	124,161222
Niveau 06	rive	296,91	1,113	148,990455
Niveau 07	rive	346,4	1,113	173,824707

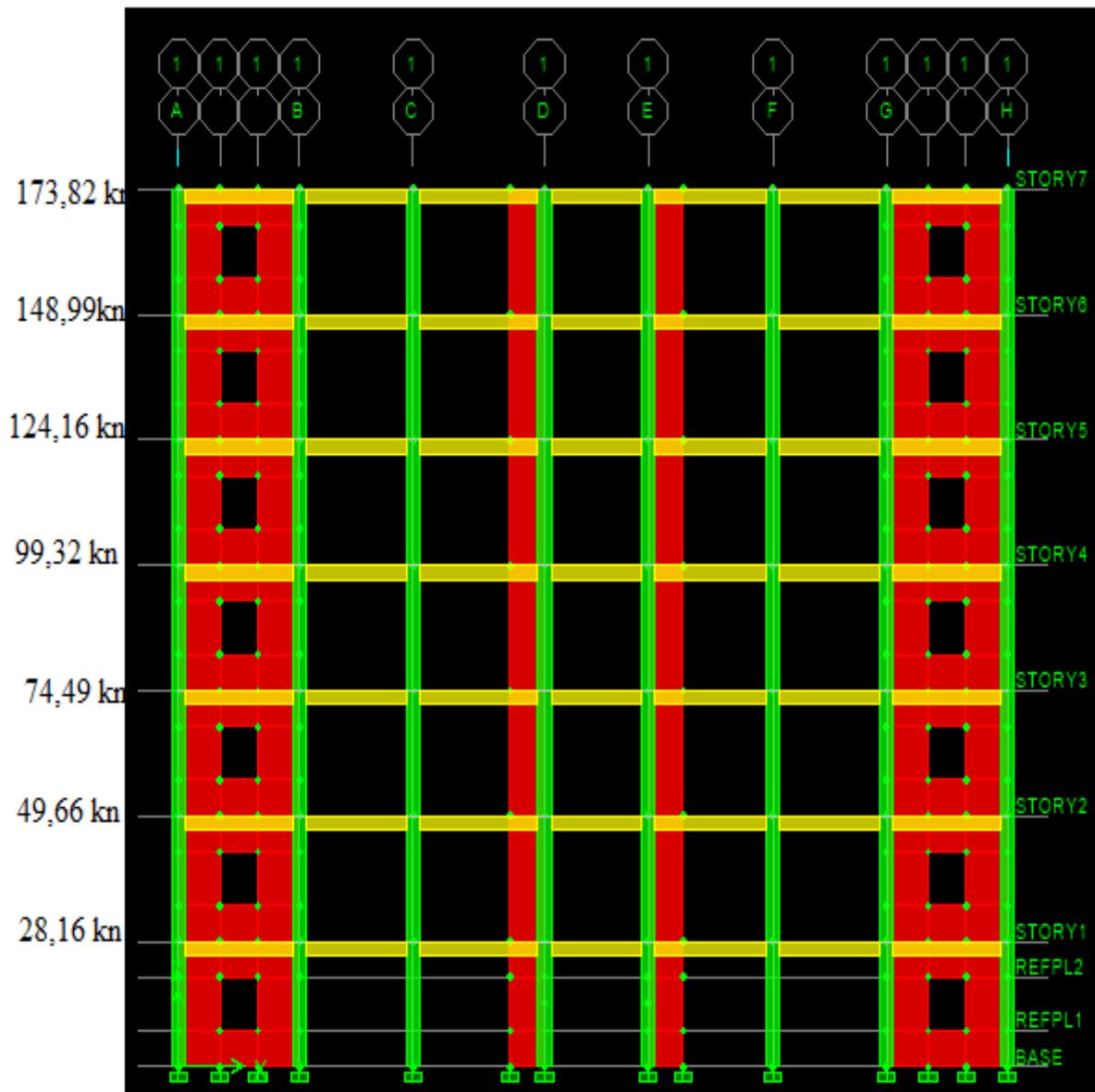


Figure III.5 : Forces sismiques sur files rives sud sens XX.

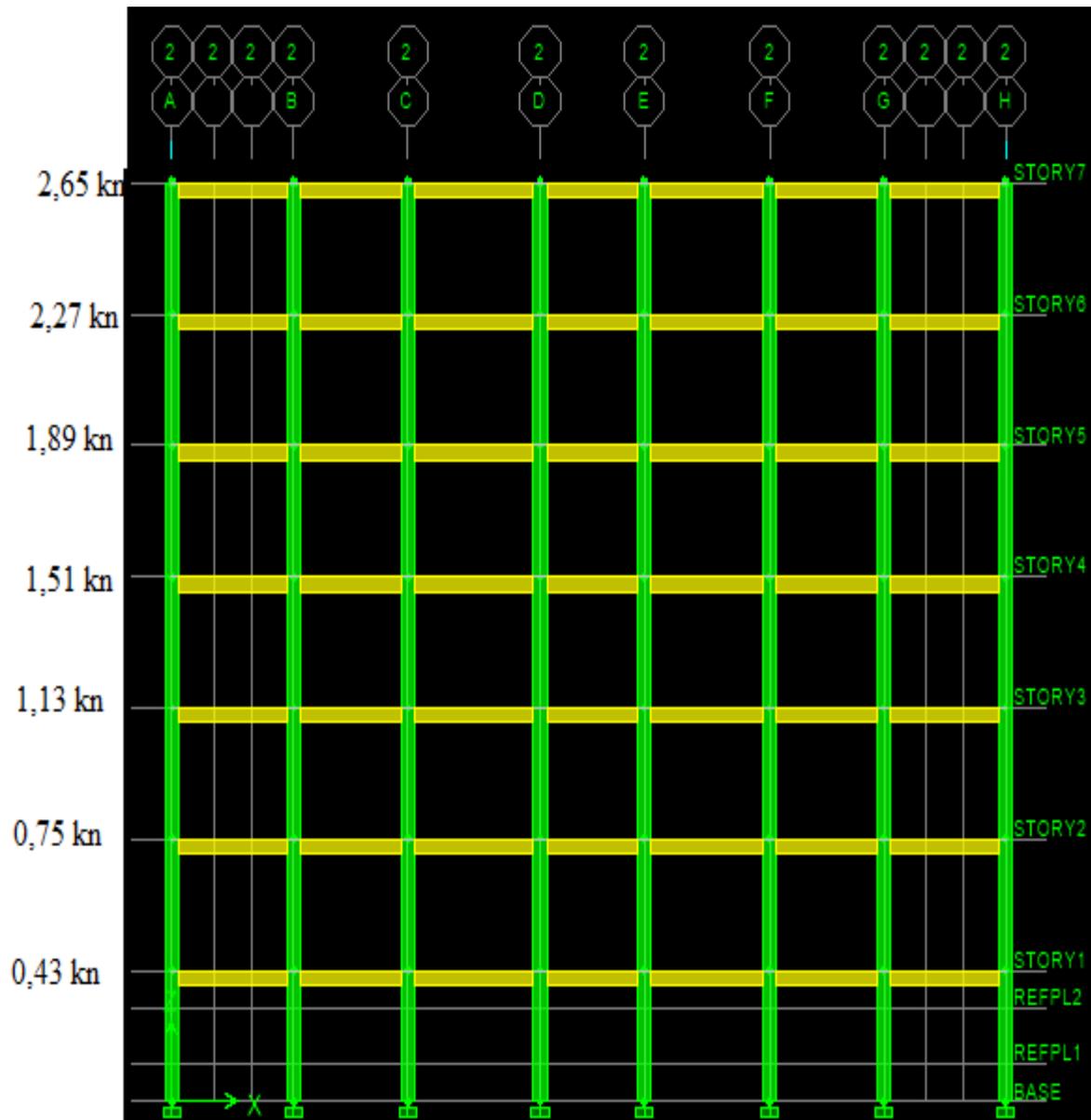


Figure III.6 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX.

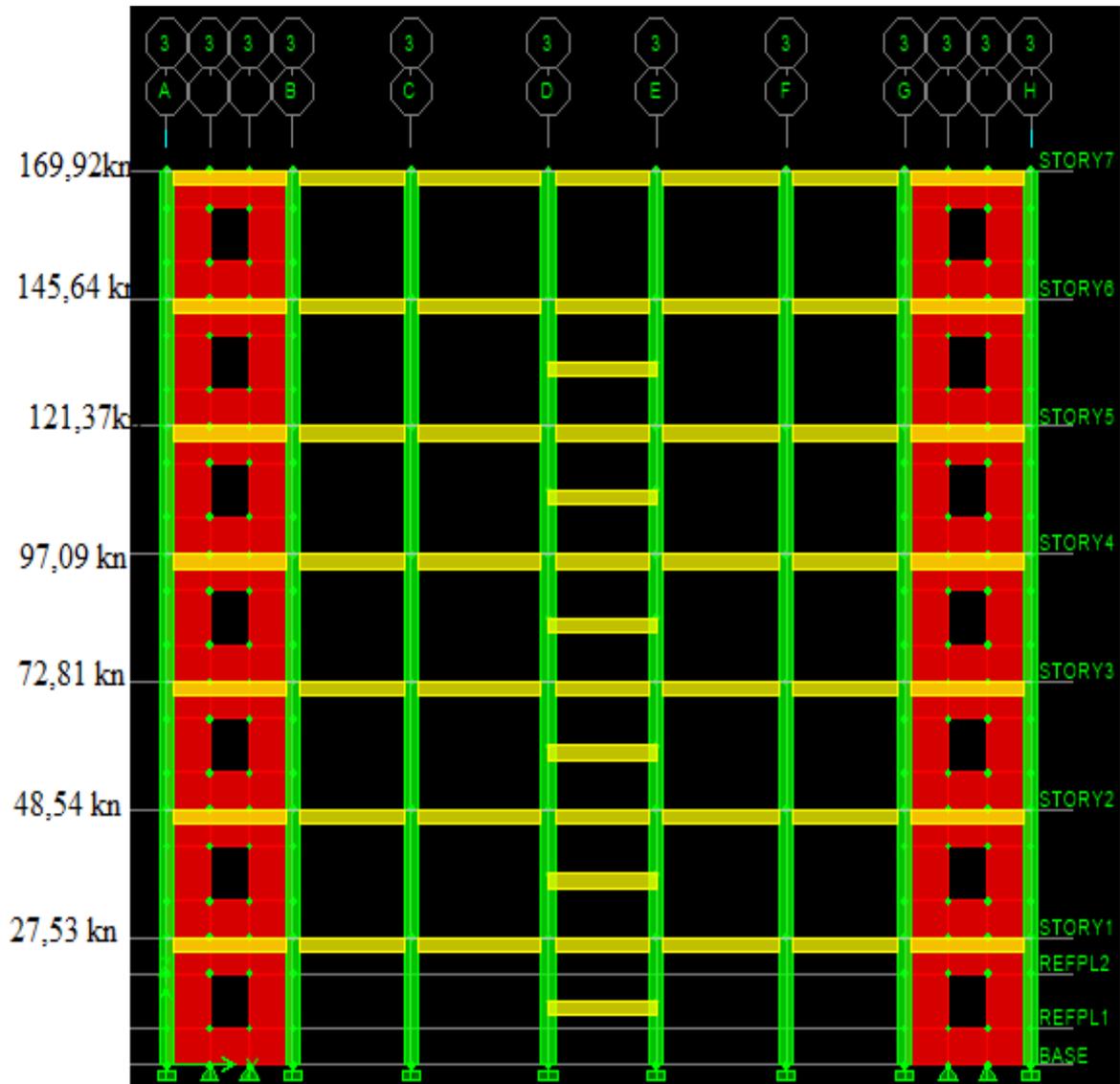


Figure III.7 : Forces sismiques sur files rives nord sens XX.

### III. Calcul par la méthode statique

#### III.8.2. Distribution horizontale des forces sismiques sens YY :

Les résultats représentés dans ces tableaux :

**Tableau III.9 :** Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY

Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	inter	56,13	0,0064	0,17204598
Niveau 02	inter	98,97	0,0064	0,30335632
Niveau 03	inter	148,45	0,0064	0,45501916
Niveau 04	inter	197,94	0,0064	0,60671264
Niveau 05	inter	247,43	0,0064	0,75840613
Niveau 06	inter	296,91	0,0064	0,91006897
Niveau 07	inter	346,4	0,0064	1,06176245

**Tableau III.10 :** Forces sismiques sur files intermédiaires avec voile sens YY.

Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	inter	56,13	1	26,8821839
Niveau 02	inter	98,97	1	47,3994253
Niveau 03	inter	148,45	1	71,0967433
Niveau 04	inter	197,94	1	94,7988506
Niveau 05	inter	247,43	1	118,500958
Niveau 06	inter	296,91	1	142,198276
Niveau 07	inter	346,4	1	165,900383

**Tableau III.11 :** Forces sismiques sur files de rives sens YY.

Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	rive	56,13	0,0314	0,84410057
Niveau 02	rive	98,97	0,0314	1,48834195
Niveau 03	rive	148,45	0,0314	2,23243774
Niveau 04	rive	197,94	0,0314	2,97668391
Niveau 05	rive	247,43	0,0314	3,72093008
Niveau 06	rive	296,91	0,0314	4,46502586
Niveau 07	rive	346,4	0,0314	5,20927203

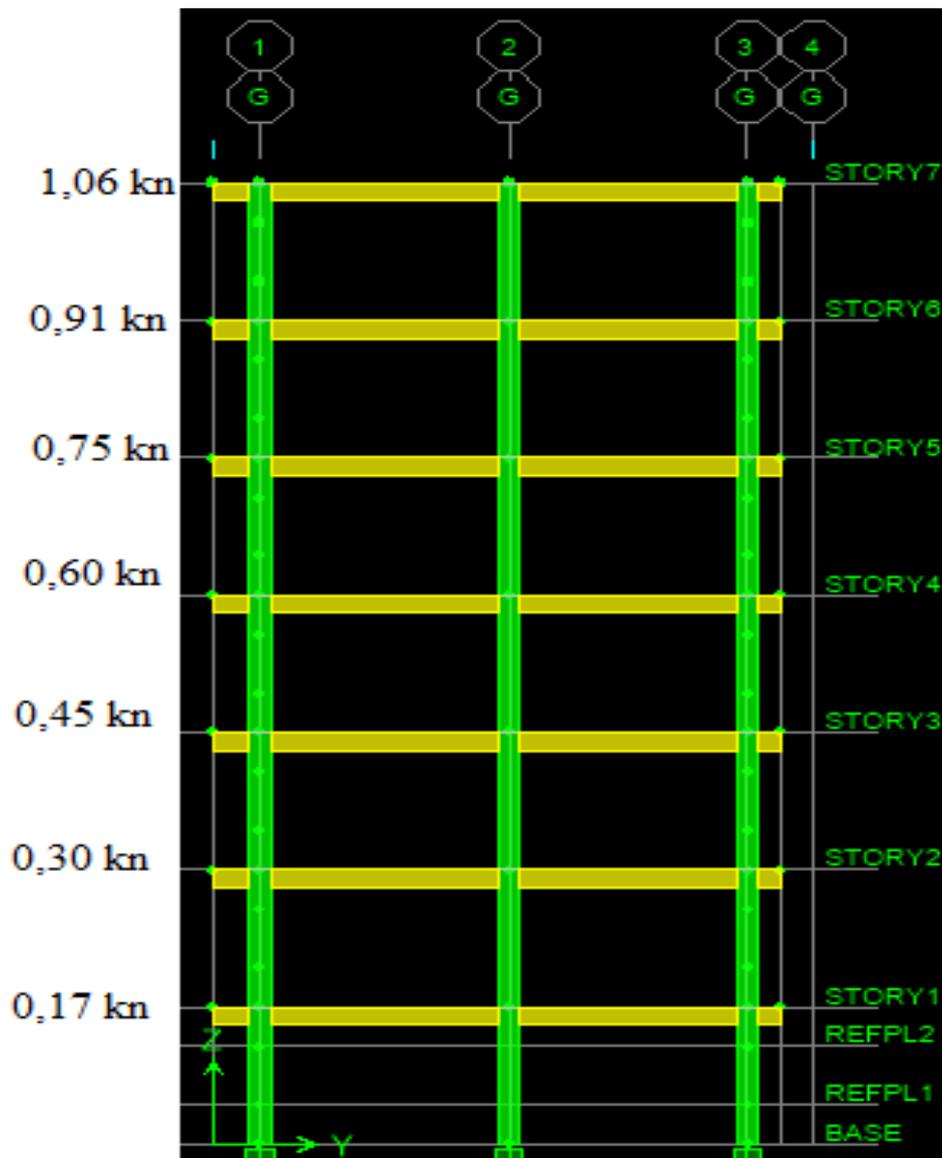


Figure III.8 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY.



**Figure III.9 :** Forces sismiques sur files intermédiaires avec voiles sens YY.



Figure III.10 : Forces sismiques sur files de rives sens Y

#### **III.9. Modélisation par ETABS :**

On peut continuer le calcul par le logiciel de l'analyse des structures **ETABS** qui basé à la méthode des éléments finis, ou par calcul **manuel** tel que la méthode du portique qui basée au cisaillement des poteaux.

Pour plus de facilité on utilise l'outil informatique ETABS, pour le calcul des sollicitations (moments fléchissant M, efforts normaux N et efforts tranchants T) et des déplacements des éléments structuraux.

Les forces sismiques  $F_{ij}$  calculées précédemment par la distribution horizontale sont appliquées sur les nœuds comme des forces concentrées.

Les données concernant les matériaux (béton et acier), la géométrie de la structure, les charges gravitaires (G,Q) et sismiques (EX,EY), dimensions des éléments structuraux.....etc.

On lance l'analyse par ETABS, et on tire les sollicitations (M, N et T) et les déplacements des éléments structuraux (poteaux, voiles et poutres).

Les résultats seront représentés dans le chapitre V. [3]

# CHAPITRE IV

*Calcul par la méthode  
modale spectrale*

### **IV.1.Principe de la méthode dynamique modale spectrale :**

Selon le RPA La méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

### **IV.2.Modélisation :**

a) Pour les structures régulières en plan comportant des planchers rigides, l'analyse est faite séparément dans chacune des deux directions principales du bâtiment. Celui-ci est alors représenté dans chacune des deux directions de calcul par un modèle plan, encasté à la base et où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec un seul DDL en translation horizontale.

b) Pour les structures irrégulières en plan, sujettes à la torsion et comportant des planchers rigides, elles sont représentées par un modèle tridimensionnel, encasté à la base et où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois (03) DDL (2 translations horizontales et une rotation d'axe vertical).

c) Pour les structures régulières ou non comportant des planchers flexibles, elles sont représentées par des modèles tridimensionnels encastés à la base et à plusieurs DDL par plancher.

d) La déformabilité du sol de fondation doit être prise en compte dans le modèle toutes les fois où la réponse de la structure en dépend de façon significative.

e) Le modèle de bâtiment à utiliser doit représenter au mieux les distributions des rigidités et des masses de façon à prendre en compte tous les modes de déformation significatifs dans le calcul des forces d'inertie sismiques (ex : contribution des zones nodales et des éléments non structuraux à la rigidité du bâtiment).

f) Dans le cas des bâtiments en béton armé ou en maçonnerie la rigidité des éléments porteurs doit être calculée en considérant les sections non fissurées. Si les déplacements sont critiques particulièrement dans le cas de structures associées à des valeurs élevées du coefficient de comportement, une estimation plus précise de la rigidité devient nécessaire par la prise en compte de sections fissurées.

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

g) Calcul de l'action sismique :

$$F_i = M \cdot \phi_i \cdot S_a \cdot \gamma_i \text{ (dans les deux directions)}$$

$M$  : matrice de masse  $\phi_i$  : vecteur du mode  $i$

$S_a$  : accélération spectrale (spectre de réponse)  $\gamma_i$  : facteur de participation du mode  $i$

### IV.3. Etapes de calcul :

1) Détermination des caractéristiques dynamiques de la structure : périodes et modes propres par la résolution de l'équation :

$$|\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}| = 0 \text{ avec :}$$

$\mathbf{K}$  : matrice de rigidité  $\mathbf{M}$  : matrice de masse

La résolution de cette équation fournit les valeurs des pulsations  $\omega_i$  relatives aux 'n' modes de vibration.

A chaque pulsation propre  $\omega_i$  correspond une forme propre  $\phi_i$  tel que :

$$|\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}| \phi_i = 0$$

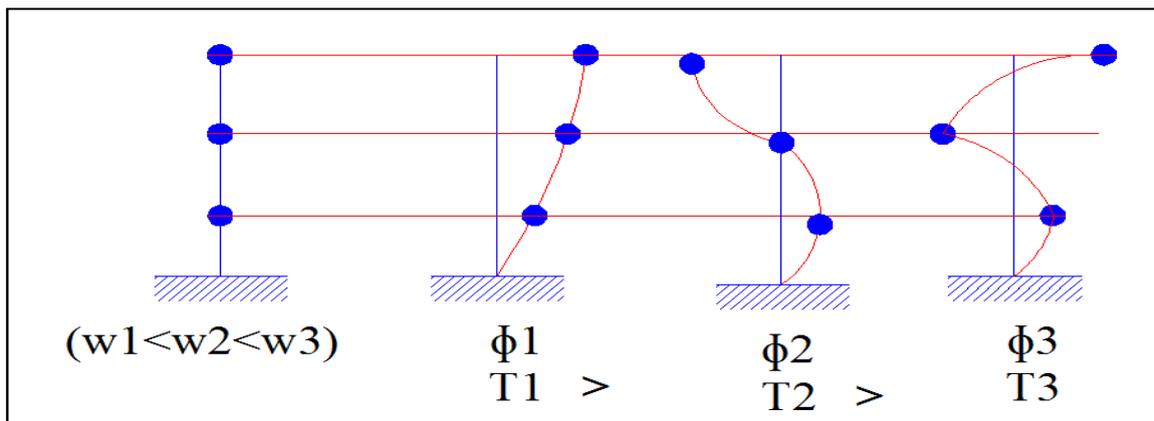


Figure IV.1 : Modes propres de vibration.

2) Détermination du facteur de participation de chaque mode :

$$\gamma_i = \phi_i^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{e}_x / M^* \text{ avec :}$$

$\mathbf{e}_x$  : vecteur de direction ;

$$\mathbf{e}_x = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

$M^*$  : masse généralisée ;  $M^* = \phi_i^T \cdot M \cdot \phi_i$

Ce facteur peut également désigner par :  $r_n/M$  ; du fait que l'équation du mouvement (Découplée) s'écrit :

$$\ddot{Z}_n + 2\zeta_n \cdot \omega_n \cdot \dot{Z}_n + \omega_n^2 \cdot Z_n = (-r_n/M^*) \cdot X_g$$

$X_g$  : Accélération du sol.

### 3) Détermination de l'accélération spectrale :

A partir du spectre de réponse on affecte à chaque période  $T_i$  pour un amortissement donné une valeur de l'accélération  $S_a$ .

4) Evaluation des forces sismiques pour chaque mode : L'action sismique du mode  $i$  est calculée comme suit :

$F_i = M \cdot \phi_i \cdot S_a \cdot \gamma_i$  (dans les deux directions)

$$\begin{Bmatrix} F_{1i} \\ F_{2i} \\ \vdots \\ F_{ni} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{1i} \\ \phi_{2i} \\ \vdots \\ \phi_{ni} \end{Bmatrix} \cdot S_{ai} \cdot \gamma_i$$

#### • Exemple :

Si on a 3 modes :

$$\phi_i = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix}$$

$$\phi_1 \quad \phi_2 \quad \phi_3$$

On aura 3 forces sismiques pour chaque mode :

1<sup>er</sup> mode :  $w_1 \dots T_1 \dots S_{a1}$

2<sup>me</sup> mode :  $w_2 \dots T_2 \dots S_{a2}$

3<sup>me</sup> mode :  $w_3 \dots T_3 \dots S_{a3}$

#### IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

1<sup>er</sup> mode :

$$\begin{Bmatrix} F_{11} \\ F_{12} \\ F_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{Bmatrix} \cdot S_{a1} \cdot \gamma_1$$

$$M^* = [\phi_{11} \quad \phi_{21} \quad \phi_{31}] \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{Bmatrix} = m_1^*$$

$$r_1 = [\phi_{11} \quad \phi_{21} \quad \phi_{31}] \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$\gamma_1 = r_1 / m_1^*$$

D'où :

$$F_{11} = m_1 \phi_{11} \cdot S_{a1} \cdot \gamma_1$$

$$F_{12} = m_2 \phi_{21} \cdot S_{a1} \cdot \gamma_1$$

$$F_{13} = m_3 \phi_{31} \cdot S_{a1} \cdot \gamma_1$$

De la même manière :

2<sup>me</sup> mode :

$$F_{21} = m_1 \phi_{12} \cdot S_{a2} \cdot \gamma_2$$

$$F_{22} = m_2 \phi_{22} \cdot S_{a2} \cdot \gamma_2$$

$$F_{23} = m_3 \phi_{32} \cdot S_{a2} \cdot \gamma_2$$

$$\text{Avec : } \gamma_2 = r_2 / m_2^*$$

Et pour le 3<sup>me</sup> mode :

$$F_{31} = m_1 \phi_{13} \cdot S_{a3} \cdot \gamma_3$$

$$F_{32} = m_2 \phi_{23} \cdot S_{a3} \cdot \gamma_3$$

$$F_{33} = m_3 \phi_{33} \cdot S_{a3} \cdot \gamma_3$$

$$\text{Avec : } \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 1$$

#### IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

##### 5) Evaluation de la sollicitation maximale résultante :

La force sismique de calcul résultante à l'étage k est donnée par la moyenne quadratique :

$$F_k = \sqrt{(\sum F_{ik}^2)}$$

$$F_1 = \sqrt{(F_{11}^2 + F_{21}^2 + F_{31}^2)}$$

$$F_2 = \sqrt{(F_{12}^2 + F_{22}^2 + F_{32}^2)}$$

$$F_3 = \sqrt{(F_{13}^2 + F_{23}^2 + F_{33}^2)}$$

##### Remarque :

On peut également calculer la masse modale et son pourcentage par rapport à la masse totale :

$$M_{mi} = \left\{ \begin{array}{l} (\phi_1^T \cdot M \cdot e_x)^2 / m_1^* = r_1^2 / m_1^* \\ (\phi_2^T \cdot M \cdot e_x)^2 / m_2^* = r_2^2 / m_2^* \\ (\phi_3^T \cdot M \cdot e_x)^2 / m_3^* = r_3^2 / m_3^* \end{array} \right.$$

$$P_{mi} = M_{mi} \cdot 100 / \sum m_i$$

D'ou :

$$P_{m1} = M_{m1} \cdot 100 / (m_1 + m_2 + m_3)$$

$$P_{m2} = M_{m2} \cdot 100 / (m_1 + m_2 + m_3)$$

$$P_{m3} = M_{m3} \cdot 100 / (m_1 + m_2 + m_3)$$

##### 6) Les sollicitations à la base :

\* Efforts tranchants :

$$T_{base1} = F_{11} + F_{21} + F_{31} \dots \dots \dots \text{mode 1}$$

$$T_{base2} = F_{12} + F_{22} + F_{32} \dots \dots \dots \text{mode 2}$$

$$T_{base3} = F_{13} + F_{23} + F_{33} \dots \dots \dots \text{mode 3}$$

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

\* Moments fléchissant :

$$M_{base1} = F_{11}.h + F_{21}.2h + F_{31}.3h \dots\dots\dots \text{mode 1}$$

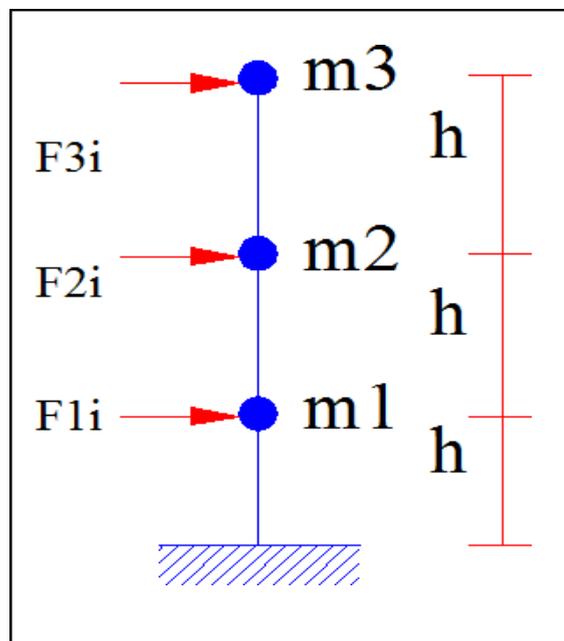
$$M_{base2} = F_{12}.h + F_{22}.2h + F_{32}.3h \dots\dots\dots \text{mode 2}$$

$$M_{base3} = F_{13}.h + F_{23}.2h + F_{33}.3h \dots\dots\dots \text{mode 3}$$

En fin :

$$T_{base} = \sqrt{(T_{base1}^2 + T_{base2}^2 + T_{base3}^2)}$$

$$M_{base} = \sqrt{(M_{base1}^2 + M_{base2}^2 + M_{base3}^2)}$$



**Figure IV.2** : Forces sismiques du mode i

7) Calcul des déplacements :

Les valeurs spectrales du déplacement ( $S_{u,n}$ )= $S_{a,n}/w_n^2$  (tirées du spectre de réponse correspond à chaque mode), d'abord le déplacement en coordonnées modales :

$$Z_{n,max} = |r_n|. S_{u,n}(w_n, \zeta) / m_n^* = |r_n|. S_{a,n} / (m_n^* \cdot w_n^2)$$

Avec :  $r_n = \phi_n^T \cdot M \cdot e_x$

Ensuite on passe aux déplacements relatifs maximaux d'étage :

$$X_{n,max} = A_n \cdot Z_{n,max}$$

#### IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

Exemple :

Si on a 3 masse ( 3 mode) :

1<sup>er</sup> mode :

$$X_{11} = \Phi_{11} \cdot \gamma_1 S_{a1} / w_1^2$$

$$X_{12} = \Phi_{21} \cdot \gamma_1 S_{a1} / w_1^2$$

$$X_{13} = \Phi_{31} \cdot \gamma_1 S_{a1} / w_1^2$$

2<sup>me</sup> mode :

$$X_{21} = \Phi_{12} \cdot \gamma_2 S_{a2} / w_2^2$$

$$X_{22} = \Phi_{22} \cdot \gamma_2 S_{a2} / w_2^2$$

$$X_{23} = \Phi_{32} \cdot \gamma_2 S_{a2} / w_2^2$$

3<sup>me</sup> mode :

$$X_{31} = \Phi_{13} \cdot \gamma_3 S_{a3} / w_3^2$$

$$X_{32} = \Phi_{23} \cdot \gamma_3 S_{a3} / w_3^2$$

$$X_{33} = \Phi_{33} \cdot \gamma_3 S_{a3} / w_3^2$$

Avec :

$$\Phi_{i,n} = \begin{bmatrix} \Phi_{1i} \\ \Phi_{2i} \\ \Phi_{3i} \end{bmatrix} ; \text{ avec : } n=1,2,3 \text{ et } i=1,2,3 \text{ (vecteur de direction du mode } i)$$

Et en fin :

$$X_{1,\max} = \sqrt{(X_{11}^2 + X_{21}^2 + X_{31}^2)} \dots \dots \text{étage 1 (m}_1)$$

$$X_{2,\max} = \sqrt{(X_{12}^2 + X_{22}^2 + X_{32}^2)} \dots \dots \text{étage 2 (m}_2)$$

$$X_{3,\max} = \sqrt{(X_{13}^2 + X_{23}^2 + X_{33}^2)} \dots \dots \text{étage 3 (m}_3)$$

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

- On peut également calculer les forces du rappel élastiques par :

$$F_{1i} = K \cdot X_{1i,\max} \quad (\text{avant le superposition})$$

$$F_{2i} = K \cdot X_{2i,\max}$$

.

.

$$F_{1,1} = [K] \begin{bmatrix} X_{11} \\ X_{21} \\ X_{31} \end{bmatrix}$$

Selon la loi de superposition des effets élastiques on peut déduire la force sismique pour l'étage K (masse K) :

$$F_k = \sqrt{(\sum F_{ik}^2)}$$

### IV.4.Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représentée par le spectre suivant :

$$(S_a / g) = \begin{cases} 1,25A [1 + (T/T_1) (2,5\eta (Q/R) - 1)] & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) (T_2/T)^{2,3} & T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ s} \\ 2,5\eta (1,25A) (T_2/3)^{2,3} (3/T)^{3,5} (Q/R) & T \geq 3,0 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{III.1})$$

A : coefficient d'accélération de zone (tableau 4.1) du RPA

A=0.20 (zone IIb, et groupe d'usage 2)

$\eta$  : facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 10%) :

$$\eta = \sqrt{7 / (2 + \xi)} \geq 0,7$$

$\xi$  : pourcentage d'amortissement critique (tableau 4.2) du RPA

$\xi=10\%$  (Portiques en Béton armé avec Remplissage Dense) ; donc  $\eta=0.76$

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

R : coefficient de comportement de la structure (tableau 4.3) du

RPA Système mixte portiques/voiles avec interaction donc : R=5

T1, T2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site (tableau 4.7) Donc :

T1=0.15s, T2=0.50s (Site S3)

Q : facteur de qualité (tableau 4.4)

Dans la détermination de la valeur de Q, il y a lieu de tenir compte que les irrégularités en plan et en élévation ont déjà été prises en charge par le modèle. Par ailleurs, en cas d'analyse tridimensionnelle il y a lieu de prendre comme valeur de Q la plus pénalisante, des valeurs calculées suivant les deux directions orthogonales de référence.

L'action sismique doit être appliquée dans toutes les directions jugées déterminantes pour le calcul des forces sismiques ainsi que les directions qui leur sont perpendiculaires, compte tenu de la configuration en plan de la structure. Pour les structures ayant leurs éléments de contreventement distribués le long de deux directions orthogonales, ces deux directions sont à retenir comme directions d'excitation.

La valeur de Q est déterminée par la formule :

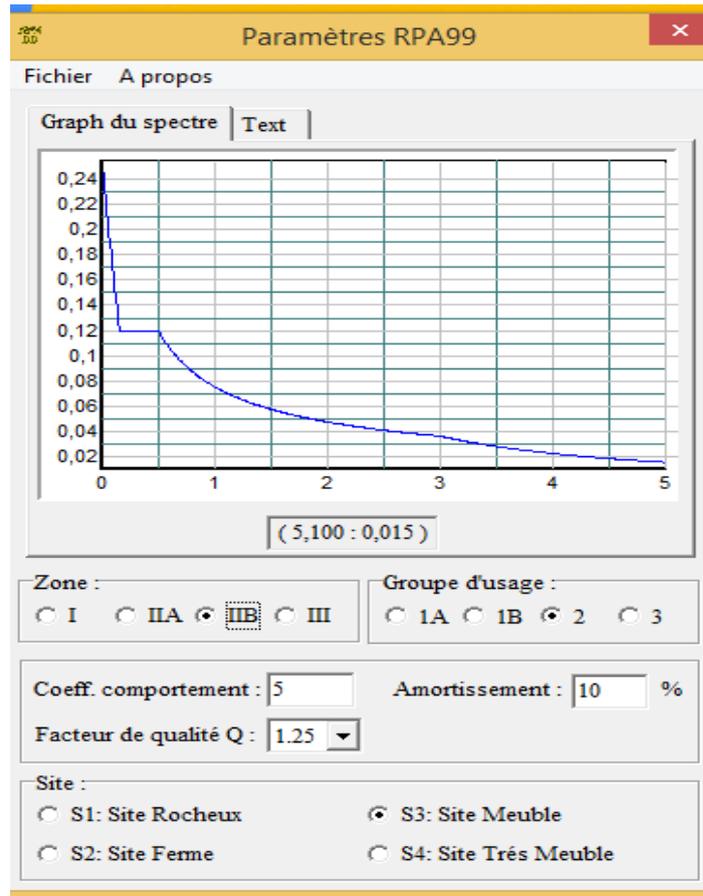
$$Q = 1 + \sum_{1}^{6} P_q$$

$P_q$  est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité  $q$  " est satisfait ou non". Sa valeur est donnée au tableau 4.4 du RPA

Donc :  $Q=1+0.05*3+0.10=1.25$

Après l'entrer de tous les données sismiques (A, site, R, Q,  $\xi$ ) sur la formule précédente, On trouve le spectre de réponse de calcul pour cette structure :

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale



**Figure IV.3 :** Spectre de réponse de calcul sous forme graphique

Spectre de réponse de calcul sous forme de tableau :

**Tableau IV.1 :** Spectre de réponse de calcul sous forme de tableau

Période $T_i$ (sec)	Accélération ( $S_a/g$ )
0,000	0,250
0,100	0,163
0,200	0,119
0,300	0,119
0,400	0,119
0,500	0,119
0,600	0,106
0,700	0,095
0,800	0,087
0,900	0,081
1,000	0,075
1,100	0,071
1,200	0,067

#### IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

1,300	0,063
1,400	0,060
1,500	0,057
1,600	0,055
1,700	0,053
1,800	0,051
1,900	0,049
2,000	0,047
2,100	0,046
2,200	0,044
2,300	0,043
2,400	0,042
2,500	0,041
2,600	0,040
2,700	0,039
2,800	0,038
2,900	0,037
3,000	0,036
3,100	0,034
3,200	0,032
3,300	0,031
3,400	0,029
3,500	0,028
3,600	0,027
3,700	0,025
3,800	0,024
3,900	0,023
4,000	0,022
4,100	0,021
4,200	0,021
4,300	0,020
4,400	0,019
4,500	0,018
4,600	0,018
4,700	0,017
4,800	0,017

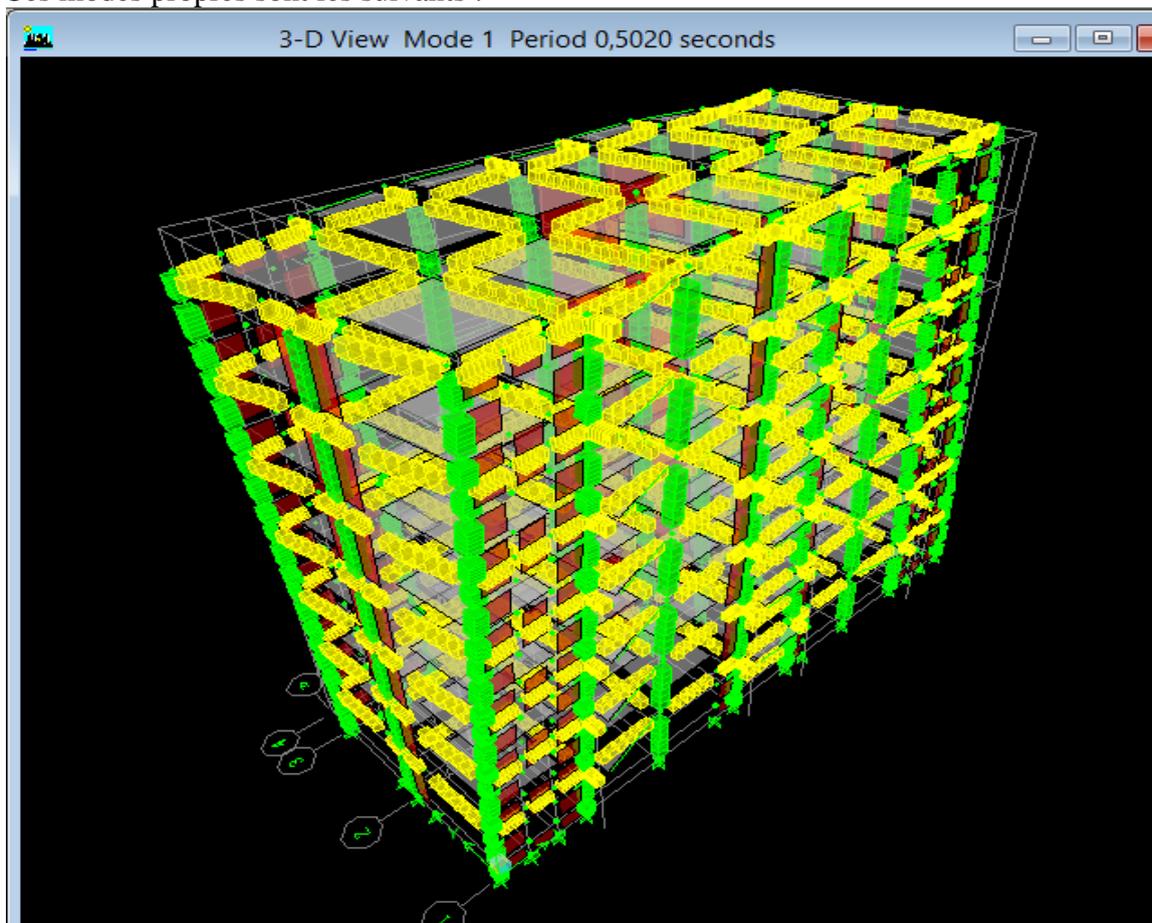
## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

4,900	0,016
5,000	0,015

### IV.5.Modélisation par ETABS :

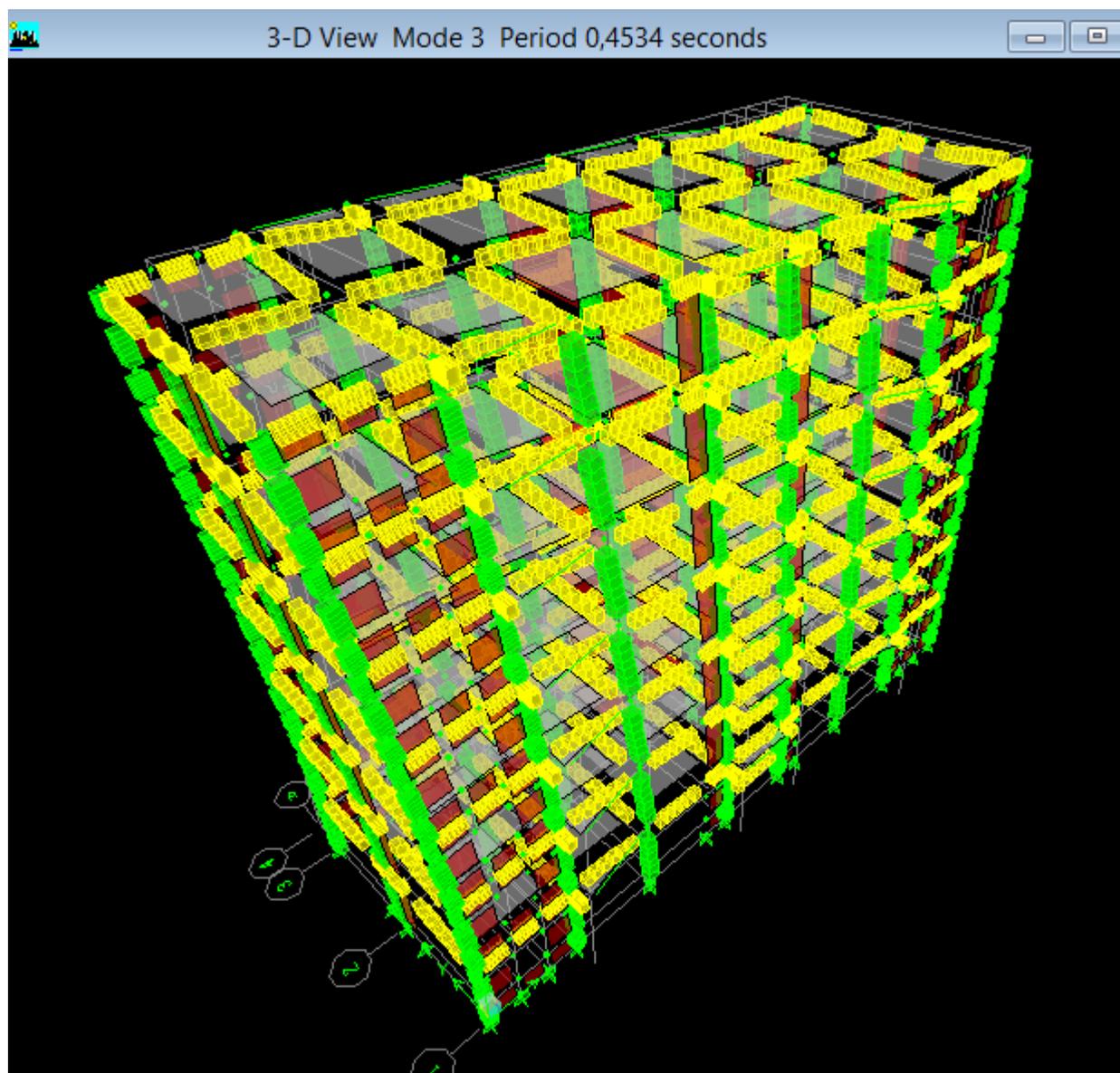
Le logiciel de calcul ETABS est appliqué tout d'abord pour effectuer l'analyse modale afin de déterminer les fréquences et les modes propres de la structure, ensuite le calcul des efforts sismiques est mené sur la base de ces résultats et du spectre de réponse fourni par le code RPA. Par ailleurs, l'amplitude du spectre de réponse est ajustée de façon à ce que l'effort tranchant à la base obtenu par la méthode dynamique soit égal à celui obtenu par la formule empirique donnée par le code RPA. Sous l'action des efforts sismiques, le bâtiment subit, d'un mouvement de translation pure, parce que le mouvement de rotation est très faible (à cause de la régularité de la structure) et les modes de vibration sont, dans ce cas des modes de translation pure. La translation génère, des forces latérales au niveau des planchers du bâtiment.

Ces modes propres sont les suivants :



**Figure IV.4 :** 1<sup>er</sup> mode de vibration  $T_1=0.81\text{sec}$  Translation selon YY  
Avec masse modale  $M_y=0.66\%M_{\text{structure}}$  et  $M_x=6.13\%M_{\text{structure}}$





**Figure IV.6 :** 3<sup>me</sup> mode de vibration  $T_3=0.62\text{sec}$  Torsion d'axe vertical Avec masse modale  $M_x=64.27\%M_{\text{structure}}$  et  $M_y=0.018\%M_{\text{structure}}$ .

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

### IV.6. Nombre de modes à considérer :

a) Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

- la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.
- ou que tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de la structure soient retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure.

Le minimum de modes à retenir est de trois (03) dans chaque direction considérée.

b) Dans le cas où les conditions décrites ci-dessus ne peuvent pas être satisfaites à cause de l'influence importante des modes de torsion, le nombre minimal de modes (K) à retenir doit être tel que :

$$K \geq 3\sqrt{N} \text{ et } T_k \leq 0.20 \text{ sec}$$

Où : N est le nombre de niveaux au dessus du sol et  $T_k$  la période du mode K.

**Tableau IV.2** : Périodes et masses modales selon ETABS

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0,501986	6,1395	0,668	6,1395	0,668
2	0,483501	0,1387	69,3781	6,2783	70,0461
3	0,453437	64,27	0,018	70,5483	70,0641
4	0,148706	0	0,0771	70,5483	70,1412
5	0,133619	0,226	0,0134	70,7743	70,1546
6	0,109693	0,0059	19,0697	70,7803	89,2243
7	0,106399	19,1752	0,0041	89,9555	89,2284
8	0,062742	0,0494	0,0032	90,0049	89,2317
9	0,049149	6,0182	0,0273	96,0231	89,259
10	0,048826	0,025	6,1853	96,0481	95,4443
11	0,038439	0,0322	0,0013	96,0802	95,4456
12	0,031968	2,3924	0,0005	98,4726	95,4461

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

On remarque que :

1.  $\sum UX = 98\% \geq 90\%$  et  $\sum UY = 95\% \geq 90\%$ ..... OK
2. tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de la structure.....OK

Donc le nombre de modes à considérer (n=12) est suffisant pour l'analyse de cette structure par la méthode dynamique modale spectrale.

### IV.7. Combinaison des réponses modales :

a) Les réponses de deux modes de vibration i et j de périodes  $T_i$ ,  $T_j$  et d'amortissement  $\xi_i$ ,  $\xi_j$  sont considérées comme indépendantes si le rapport :

$r = T_i / T_j$  ( $T_i \leq T_j$ ) .vérifie :

$$r \leq 10 / \left( 10 + \sqrt{\xi_i \xi_j} \right)$$

b) Dans le cas où toutes les réponses modales retenues sont indépendantes les unes des autres, la réponse totale est donnée par :

$$E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k E_{ik}^2}$$

E : effet de l'action sismique considéré

$E_i$  : valeur modale de E selon le mode « i »

K : nombre de modes retenus

c) Dans le cas où deux réponses modales ne sont pas indépendantes ;  $E_1$  et  $E_2$  par exemple, la réponse totale est donnée par :

$$\sqrt{(|E_1| + |E_2|) + \sum_{i=3}^k E_i^2}$$

### IV.8. Résultante des forces sismiques de calcul :

La résultante des forces sismiques à la base  $V_t$  obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente  $V$  pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule.

empirique appropriée.

Si  $V_t < 0.80 V$ , il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,...) dans le rapport  $0.8 V/V_t$ .

**Tableau IV.3** : Réaction à la base de la structure.

Story	Load	VX	VY
STORY1	EX	1361,18	21,36
STORY1	EY	21,36	1396,67

$$E_x = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 1361,34 \text{ KN}$$

$$E_y = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 1396,83 \text{ KN}$$

$$V = \frac{A.D.Q}{R} \quad W = 1392.26 \text{ kn}$$

$$V_{tx} = 1361,34 \text{ KN} > 0.8V = 1113,80 \text{ KN}$$

$$V_{ty} = 1396,83 \text{ KN} > 0.8V = 1113,80 \text{ KN}$$

Donc la condition du RPA est vérifiée..... OK

### IV.9. Calcul des déplacements :

Le déplacement horizontal à chaque niveau « k » de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \cdot \delta_{ek}$$

$\delta_{ek}$  : déplacement dû aux forces sismiques  $F_i$  (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement

le déplacement relatif au niveau « k » par rapport au niveau « k-1 » est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

## IV. Calcul par la méthode dynamique modale

**Tableau IV.4** : Calcul des déplacements.

$\delta_{ek}$	R	$\delta_k$	$\Delta_k$	1%h étage
0,0082	5	0,041	0,007	0,0306
0,0068	5	0,034	0,007	0,0306
0,0054	5	0,027	0,0075	0,0306
0,0039	5	0,0195	0,0065	0,0306
0,0026	5	0,013	0,006	0,0306
0,0014	5	0,007	0,0045	0,0306
0,0005	5	0,0025	0,0025	0,0306

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1 \leq 1\%h \text{ étage}} \dots \dots \dots \text{OK}$$

### IV.10. JUSTIFICATION VIS-A-VIS DE L'EFFET P- $\Delta$

Les effets du 2° ordre (ou effet P- $\Delta$ ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = P_k \Delta_k / V_k h_k \leq 0.10$$

$P_k$  : poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au dessus du niveau « k »,

$$\sum_{i=k}^n (W_{Gi} + \beta W_{qi}) \quad (\text{voir paragraphe 4.2.3 calcul de W})$$

$V_k$  : effort tranchant d'étage au niveau « k » :

$$V_k = \sum_{i=k}^n F_i$$

$\Delta_k$  : déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 » (voir paragraphe 4.2.10)

$h_k$  : hauteur de l'étage « k »

Si  $0,10 < \theta_k \leq 0,20$ , les effets P- $\Delta$  peuvent être pris en compte de manière approximative en amplifiant les effets de l'action sismique calculés au moyen d'une analyse élastique du 1° ordre par le facteur  $1/(1 - \theta_k)$ .

Si  $\theta_k > 0,20$ , la structure est potentiellement instable et doit être redimensionnée.

#### IV. Calcul par la méthode dynamique modale

---

**Tableau (IV.5) : JUSTIFICATION VIS-A-VIS DE L'EFFET P-  $\Delta$ .**

Story	p	$\Delta k$	v	h	$\theta$
STORY7	2330,27034	0,007	1395,84807	3,06	0,01168601
STORY6	2063,97593	0,007	2207,21325	3,06	0,0065561
STORY5	2068,99571	0,0075	2817,08694	3,06	0,00703034
STORY4	2068,99571	0,0065	3301,86335	3,06	0,00477862
STORY3	2068,99571	0,006	3691,59616	3,06	0,00440667
STORY2	2068,99571	0,0045	3985,24666	3,06	0,00282167
STORY1	2068,99571	0,0025	4165,7236	3,06	0,00156654

# CHAPITRE V

*Discussion des  
solicitations et des  
déplacements*

### V.1. Introduction :

Dans ce chapitre on tire les sollicitations (moments fléchissant M, efforts normaux N et efforts tranchants T) et les déplacements des éléments structuraux qui sont calculés par les deux méthodes : statique et dynamique, et enfin la comparaison entre ces résultats.

Cette comparaison permet de mettre en évidence les ressemblances et les différences en termes de répartitions des sollicitations (M, N, et T) et des déplacements dans les structures qui présentent une configuration régulière.

### V.2. Réactions à la base de la structure :

**Tableau V.1 :** Réactions à la base de la structure selon la méthode dynamique.

OutputCase	GlobalF	GlobalM
Text	KN	KN-m
EX	1361,18	34895,88
EY	1396,67	35440,598

**Tableau V.2 :** Réactions à la base de la structure selon la méthode statique.

OutputCase	GlobalF	GlobalM
Text	KN	KN-m
EX	1392,26	21220,45
EY	1392,26	21220,45

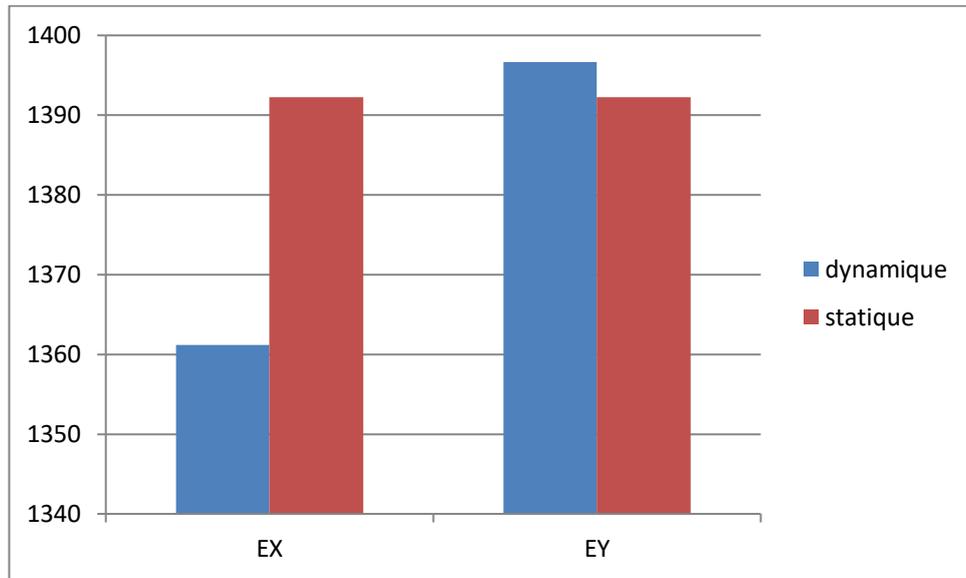
On remarque que les réactions sont très proche entres eux :

$$E_{x,statique}/E_{x,dynamique} = 1,02 \text{ sens } x$$

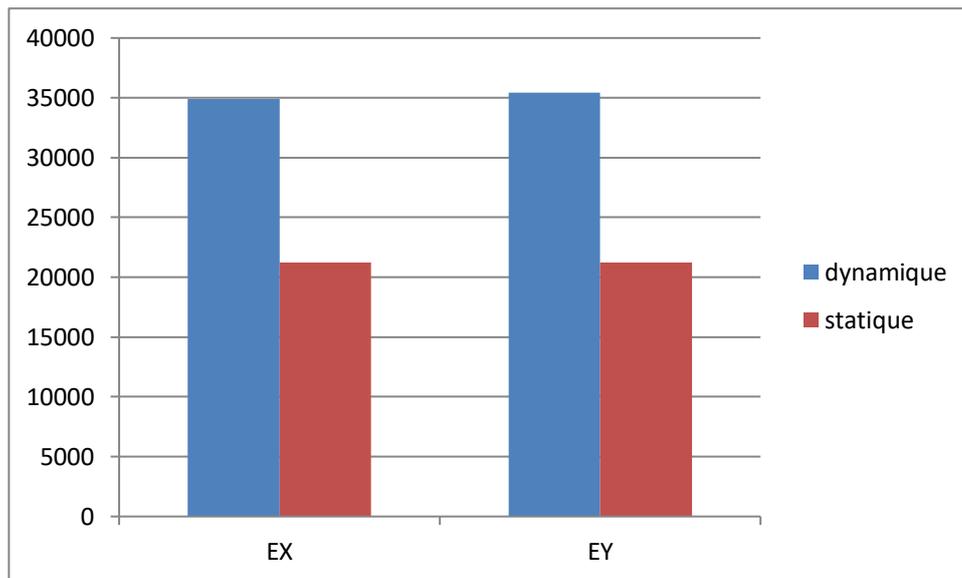
$$E_{y,statique}/E_{y,dynamique} = 0,99 \text{ sens } y$$

$$M_{x,statique}/M_{x,dynamique} = 0,60 \text{ sens } x$$

$$M_{y,statique}/M_{y,dynamique} = 0,59 \text{ sens } y$$



**Figure V.1 :** Comparaison des efforts tranchants à la base de la structure.



**Figure V.2 :** Comparaison des moments fléchissant à la base de la structure.

**V.3.Efforts tranchants aux niveaux des étages :**

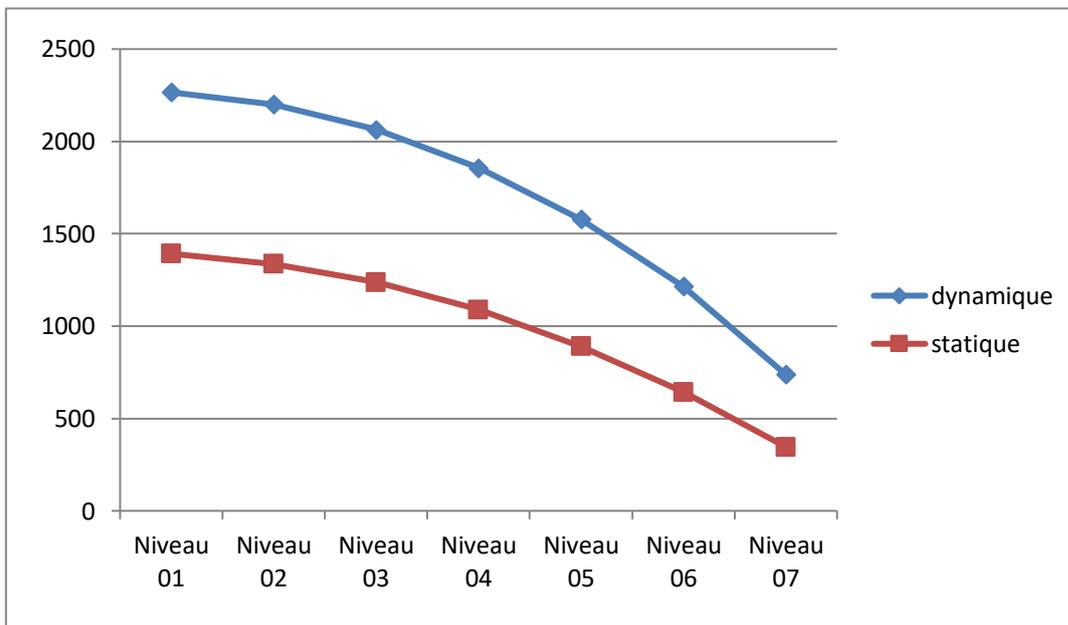
**Tableau V.3 : Efforts tranchants aux niveaux des étages.**

.....	Méthode statique		Méthode modale		...	.....
Niveaux	Fi (Kn)	Vi (Kn) (sens x et y)	Vi,x (Kn)	Vi,y (Kn)	Vi/Vi,x	Vi/Vi,y
Niveau 01	56,13	1392,26	2241,41	2265,79	<b>0,62115365</b>	<b>0,61447001</b>
Niveau 02	98,97	1336,13	2171,3	2200,52	<b>0,61535946</b>	<b>0,6071883</b>
Niveau 03	148,45	1237,16	2032,06	2063,17	<b>0,60882061</b>	<b>0,59964036</b>
Niveau 04	197,94	1088,71	1826,19	1856,38	<b>0,59616469</b>	<b>0,58646937</b>
Niveau 05	247,43	890,77	1552,32	1578,55	<b>0,57383143</b>	<b>0,56429635</b>
Niveau 06	296,91	643,34	1195,93	1215,5	<b>0,53794118</b>	<b>0,52928013</b>
Niveau 07	346,4	346,43	725,06	737,51	<b>0,47779494</b>	<b>0,46972922</b>

On remarque clairement la ressemblance entre les efforts tranchants :

$$0.47 \leq V_i/V_{i,x} \leq 0.62 \dots\dots\dots \text{sens x}$$

$$0.46 \leq V_i/V_{i,y} \leq 0.61 \dots\dots\dots \text{sens y}$$



**Figure V.3 :** Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens X.

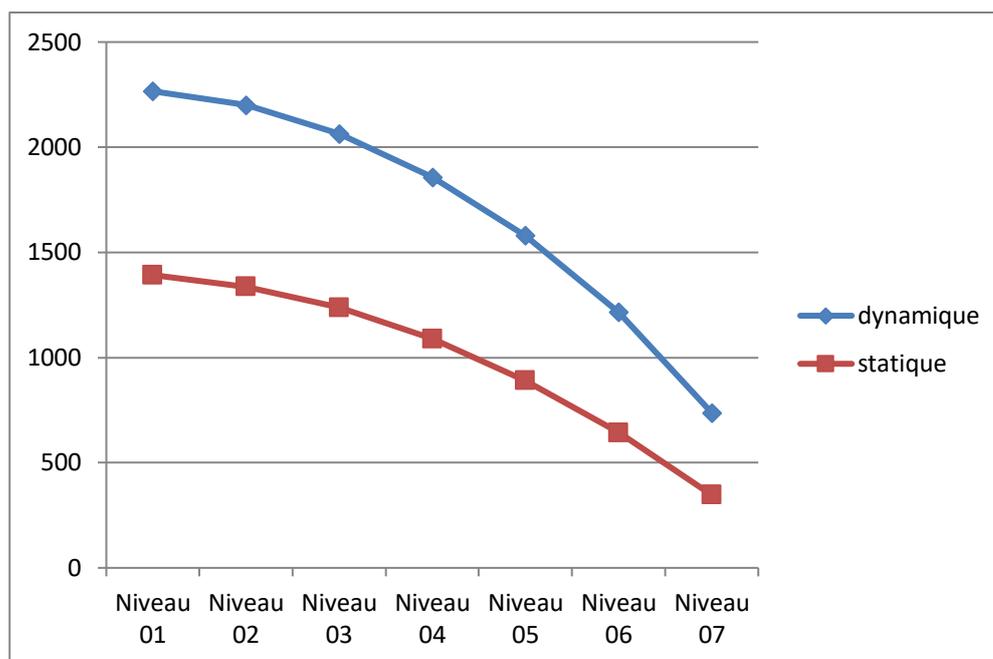


Figure V.4 : Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens Y.

#### V.4.Moments fléchissant aux niveaux des étages :

Tableau V.4 : Moments fléchissant aux niveaux des étages.

.....	méthode statique		méthode modale		comparaison	
	Mx	My	Mtx	Mty	Mx/Mtx	My/Mty
Niveaux						
Niveau 01	21220,45	21220,45	34895,88	35440,598	<b>0,6081076</b>	<b>0,6081076</b>
Niveau 02	16960,14	16960,14	28298,363	28757,322	<b>0,5993329</b>	<b>0,5993329</b>
Niveau 03	12871,59	12871,59	21922,361	22286,074	<b>0,58714433</b>	<b>0,58714433</b>
Niveau 04	9085,89	9085,89	15931,423	16197,052	<b>0,57031252</b>	<b>0,57031252</b>
Niveau 05	5754,44	5754,44	10505,493	10679,027	<b>0,54775535</b>	<b>0,54775535</b>
Niveau 06	3028,69	3028,69	5848,874	5944,955	<b>0,51782446</b>	<b>0,51782446</b>
Niveau 07	1060,07	1060,07	2218,69	2256,796	<b>0,47779095</b>	<b>0,47779095</b>

Même que les efforts tranchants, on remarque clairement la ressemblance entre les moments fléchissant :

$$0,47 \leq M_x/M_{tx} \leq 0,60 \dots\dots\dots \text{sens } x$$

$$0,47 \leq M_y/M_{ty} \leq 0,60 \dots\dots\dots \text{sens } y$$

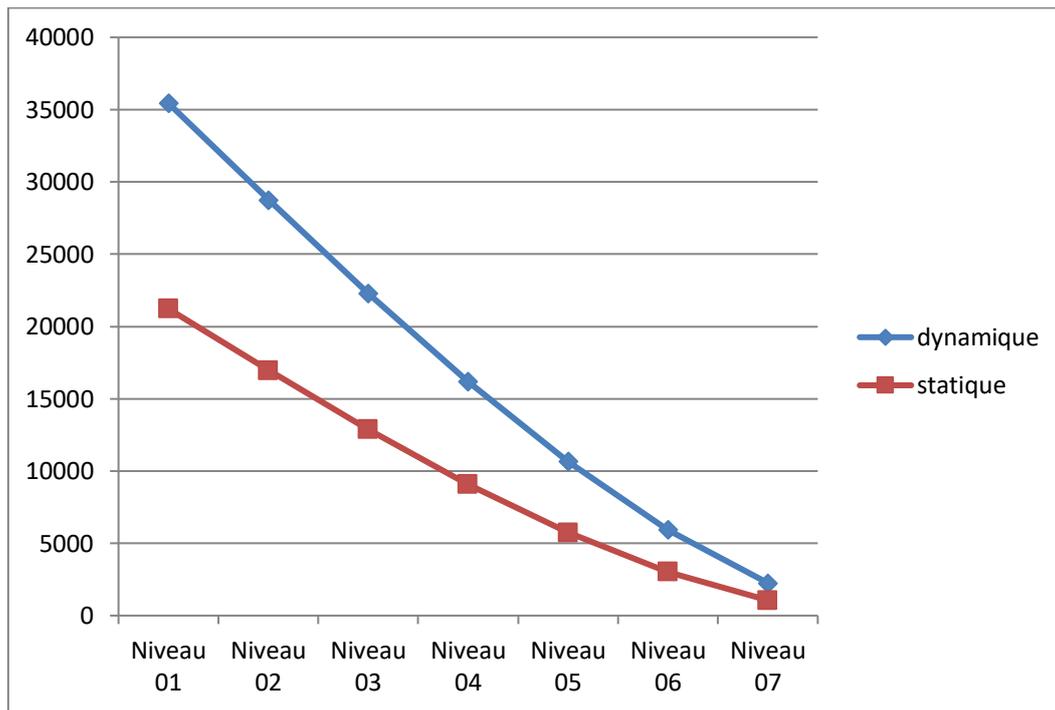


Figure V.5 : Comparaison des moments fléchissant sens X.

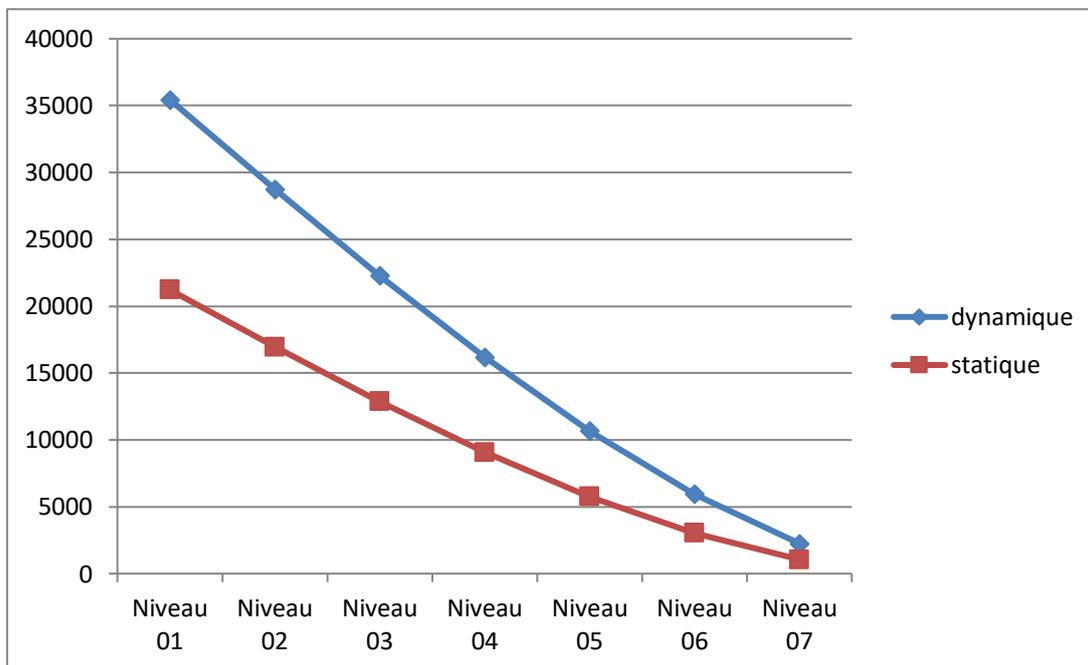


Figure V.6 : Comparaison des moments fléchissant sens Y.

### **Conclusion :**

L'objectif de ce chapitre, est de comparé les résultats des sollicitations (moments fléchissant, et efforts tranchants) par la méthode statique équivalente et la méthode dynamique modale spectrale.

L'effort tranchant à la base dans les deux sens est très proche de ceux obtenus par les deux méthodes.

Les autres sollicitations donnent des résultats proches dans les deux méthodes.

# Conclusion générale

---

## 1. Conclusion générale :

Dans le domaine de génie civil il existe plusieurs méthodes de calcul.

Notre projet consiste d'étude sismique d'un bâtiment de R+6 étages à usage d'habitation,

On a fait une description de l'action dynamique causée par le tremblement de terre, après une vérification des conditions de l'RPA le calcul a été fait par la méthode statique équivalente et la méthode dynamique spectrale.

A la fin de cette étude, on peut dire que :

La méthode statique équivalente et la méthode dynamique modale spectrale donnent des sollicitations (moments fléchissant, et efforts tranchants) et des déplacements proches entre eux pour les bâtiments qui présentent une configuration régulière en plan et en élévation.

Par conséquent, pour ceux qui s'intéressent à l'étude de ce type de bâtiments, choisissez librement et sans aucun doute l'une de ces deux méthodes.

## 2. Perspectives :

Comme perspectives, on propose de poursuivre l'étude dans ce même sujet de recherche mais on utilisant les deux méthodes dynamiques, la méthode dynamique modale spectrale et la méthode dynamique par accélérogramme.

## **Références BIBLIOGRAPHIES**

- [1] :Règles parasismiques Algériennes (RPA 99-V2003)
- [2] :Analyse et dimensionnement sismiques (Pierino LESTUZZI)
- [3] :Analyse des structures (André PICARD)
- [4] :Aide-mémoire Résistance des matériaux (Jean Goulet, Jean-Pierre Boutin et Frédéric Lerouge)
- [5] :Thèses traités
- [6] :Cours de génie parasismique (S.BENYAMINA)
- [7] :Application de la méthode statique (H.NOURA)
- [8] :DTR B.C.2.2 charges permanentes et charges d'exploitation
- [9] :Béton Armé Guide de calcul (H. Renaud et J.Lamirault)
- [10] :Règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A.93
- [11] :Règles BAEL 91 révisées 99
- [12] : google.