

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POBULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**  
N°:



**DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES**  
**FILIERE : Génie Civil**  
**OPTION : Structures**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master 2**

**Intitulé**

**Etude comparative entre la méthode statique équivalente et  
la méthode modale spectrale pour l'évaluation des charges  
sismiques**

Proposé et dirigé par :

**Professeur TITOUM Messaoud**

Présenté :

**Mr AIDJOULI Mohamed**

**Mr KHELOUFI Mohamed**

**Année universitaire:2017/2018.**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Dédicace

Je dédis ce modeste travail à :

- 🌐 Mon très cher père
- 🌐 Ma très chère mère
- 🌐 Ma très chère femme
- 🌐 Mes sœurs et mes frères
- 🌐 Toutes les familles AIDJOULI
- 🌐 Tous mes amis sans exception
- 🌐 Toute la promotion de Master 2018

MOHAMED. A

# REMERCIEMENT

*Nous remercions avant tout Allah de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce projet de fin d'étude. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous terminions nos études.*

*Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à notre encadreur **M. TITOU** Messaoud, qui nos a témoigné de sa confiance et de son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence.*

*Nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leur encouragement, notamment :  
**BEN CHLALI** Kamal, **SALEM** Khalil et les restes*

***AIDJOULI Med & KHELOUFI Med***

## **Résumé :**

L'objet principal de ce projet de fin d'études est d'estimer les sollicitations et les déplacements dans les éléments structuraux des bâtiments réguliers soumis à des forces sismiques. A cet effet, la répartition des efforts tranchants est obtenue par les forces sismiques calculées 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. 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.

Le bâtiment qui choisi pour cette étude est un bâtiment en R+5 étages a usage d'habitation, contreventé par des portiques+voiles en béton armé, régulier en plan et en élévation et implantée en zone III (Zone de forte sismicité).

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, efforts normaux et efforts tranchants) et des déplacements très 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.

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

## **Summary :**

The main purpose of this end-of-studies project is to estimate the stresses and displacements in the structural elements of regular buildings subjected to seismic forces. For this purpose, the distribution of shear forces is obtained by the seismic forces calculated from 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 comparison of the results obtained by these two methods makes it possible to highlight the similarities and the differences in terms of the distribution of the stresses (M, N, and T) in this type of structures.

The building chosen for this study is a R + 5 storey residential building, braced by porticos + veils reinforced concrete, regular plan and elevation and located in Zone III (Zone of strong seismicity).

At the end of this study, we can say that:

The equivalent static method and the spectral modal dynamic method give stresses (bending moments, normal forces and shear forces) and displacements very close to each other for buildings which have a regular configuration in plan and elevation.

Therefore, for those interested in studying this type of building, choose one of these two methods without any doubt.

**Key words:** Equivalent static method, Spectral modal dynamic method, Regular reinforced concrete buildings, Solicitations, Displacements.

# Figures

## **Chapitre I**

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

## **Chapitre II**

- II.1 : Position du C.D.G et C.T
- II.2 : Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur
- II.3 : Effort tranchant au niveau d'étage
- II.4 : Moments fléchissant au niveau d'étage
- II.5 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX
- II.6 : Forces sismiques sur files de rives sens XX
- II.7 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY
- II.8 : Forces sismiques sur files de rives sens YY
- II.9 : Distribution horizontale du force sismique d'étage 'i'
- II.10 : L'entree des forces sismiques  $F_{ij}$  sens XX sur SAP
- II.11 : L'entree des forces sismiques  $F_{ij}$  sens YY sur SAP

## **Chapitre III**

- III.1 : Modes propres de vibration
- III.2 : Forces sismiques du mode i
- III.3 : Spectre de réponse de calcul sous forme graphique
- III.4 : 1<sup>er</sup> mode de vibration  $T_1=0.81\text{sec}$  Translation selon YY
- III.5 : 2<sup>me</sup> mode de vibration  $T_2=0.75\text{sec}$  Translation selon XX
- III.6 : 3<sup>me</sup> mode de vibration  $T_3=0.62\text{sec}$  Torsion d'axe vertical

## **Chapitre IV**

- IV.1 : Comparaison des efforts tranchants à la base de la structure
- IV.2 : Comparaison des moments fléchissant à la base de la structure
- IV.3 : Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens X
- IV.4 : Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens Y
- IV.5 : Comparaison des moments fléchissant sens X
- IV.6 : Comparaison des moments fléchissant sens Y
- IV.7 : Déplacements des étages sens X
- IV.8 : Comparaison des déplacements des étages sens X
- IV.9 : Déplacements des étages sens Y
- IV.10 : Comparaison des déplacements des étages sens Y
- IV.11 : Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode statique sens EX

- IV.12 : Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode statique sens EY
- IV.13 : Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode modale sens EY
- IV.14 : Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode modale sens EY
- IV.15 : Comparaison des moments fléchissant M2 dans les poteaux
- IV.16 : Comparaison des moments fléchissant M3 dans les poteaux
- IV.17 : Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode statique sens EX
- IV.18 : Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode statique sens EY
- IV.19 : Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode modale sens EX
- IV.20 : Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode modale sens EY
- IV.21 : Comparaison des efforts normaux dans les poteaux
- IV.22 : Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode statique sens EX
- IV.23 : Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode statique sens EY
- IV.24 : Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode modale sens EX
- IV.25 : Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode modale sens EY
- IV.26 : Comparaison des efforts tranchants V2 dans les poteaux
- IV.27 : Comparaison des efforts tranchants V3 dans les poteaux
- IV.28 : Comparaison des moments fléchissant dans les poutres principales
- IV.29 : Comparaison des efforts tranchants dans les poutres principales
- IV.30 : Comparaison des moments fléchissant dans les poutres secondaires
- IV.31 : Comparaison des efforts tranchants dans les poutres principales

# Tableaux

## **Chapitre I**

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

## **Chapitre II**

- II.1 : Valeurs des pénalités  $P_q$
- II.2 : Poids total de la structure selon SAP2000
- II.3 : Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur
- II.4 : Effort tranchant au niveau d'étage
- II.5 : Moments fléchissant au niveau d'étage
- II.6 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX
- II.7 : Forces sismiques sur files de rives sens XX
- II.8 : Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY
- II.9 : Forces sismiques sur files de rives sens YY

## **Chapitre III**

- III.1 : Spectre de réponse de calcul sous forme de tableau
- III.2 : Périodes et masses modales selon SAP
- III.3 : Réaction à la base de la structure

## **Chapitre IV**

- IV.1 : Réactions à la base de la structure selon la méthode dynamique
- IV.2 : Réactions à la base de la structure selon la méthode statique
- IV.3 : Efforts tranchants aux niveaux des étages
- IV.4 : Moments fléchissant aux niveaux des étages
- IV.5 : Déplacements des étages selon la méthode statique sens X
- IV.6 : Déplacements des étages selon la méthode modale sens X
- IV.7 : Comparaison des déplacements des étages sens X
- IV.8 : Déplacements des étages selon la méthode statique sens Y
- IV.9 : Déplacements des étages selon la méthode modale sens Y
- IV.10 : Comparaison des déplacements des étages sens Y
- IV.11 : Moments fléchissant dans les poteaux selon la méthode statique
- IV.12 : Moments fléchissant dans les poteaux selon la méthode modale
- IV.13 : Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode statique
- IV.14 : Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode modale
- IV.15 : Efforts tranchants dans les poteaux selon la méthode statique
- IV.16 : Efforts tranchants dans les poteaux selon la méthode modale
- IV.17 : Moments fléchissant dans les poutres principales selon la méthode statique
- IV.18 : Moments fléchissant dans les poutres principales selon la méthode modale
- IV.19 : Efforts tranchants dans les poutres principales selon la méthode statique
- IV.20 : Efforts tranchants dans les poutres principales selon la méthode modale

- IV.21 : Moments fléchissant dans les poutres secondaires selon la méthode statique
- IV.22 : Moments fléchissant dans les poutres secondaires selon la méthode modale
- IV.23 : Efforts tranchants dans les poutres secondaires selon la méthode statique
- IV.24 : Efforts tranchants dans les poutres secondaires selon la méthode modale

# SOMMAIRE

## **Introduction générale**

1. Problématique .....	1
2. Méthodologie .....	1
3. Organisation du mémoire.....	2
4. Plan de travail.....	3

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

I.1 Présentation du projet .....	4
I.2 Caractéristiques de la structure.....	4
I.3 Pré dimensionnement des éléments structuraux.....	7
I.4 Méthodes et règlement utilisé dans cette mémoire.....	11
I.5 Logiciel utilisé dans cette mémoire .....	12

## **Chapitre II: Calcul par la méthode statique équivalente**

II.1. Principe de la méthode statique équivalente .....	14
II.2. Condition d'application .....	14
II.3. Modélisation .....	17
II.4. Calcul de la force sismique totale .....	18
II.5. Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur .....	22
II.6. Distribution de l'effort tranchant selon la hauteur .....	24
II.7. Calcul des moments fléchissant selon la hauteur .....	25
II.8. Distribution horizontale des forces sismiques.....	26
II.9. Modélisation par SAP2000-V14 .....	31

## **Chapitre III : Calcul par la méthode dynamique modale spectrale**

III.1. Principe de la méthode dynamique modale spectrale .....	34
III.2. Modélisation .....	34
III.3. Etapes de calcul .....	35
III.4. Spectre de réponse de calcul .....	42
III.5. Modélisation par SAP2000-V14 .....	46
III.6. Nombre de modes à considérer .....	49
III.7. Combinaison des réponses modales .....	50
III.8. Résultante des forces sismiques de calcul.....	51
III.9. Calcul des déplacements .....	51

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

IV.1. Introduction.....	52
IV.2. Réactions à la base de la structure .....	52
IV.3. Efforts tranchants aux niveaux des étages.....	54
IV.4. Moments fléchissant aux niveaux des étages .....	56
IV.5. Déplacements aux niveaux des étages .....	58
IV.6. Sollicitations aux niveaux des poteaux .....	63
IV.7. Sollicitations aux niveaux des poutres principales.....	80
IV.8. Sollicitations aux niveaux des poutres secondaires.....	83

<b>Conclusion générale .....</b>	<b>86</b>
----------------------------------	-----------

## **Bibliographie**

## 1. Problématique :

L'objet principal de ce projet de fin d'études est d'estimer les sollicitations et les déplacements dans les éléments structuraux des bâtiments réguliers soumis à des forces sismiques. A cet effet, la répartition des efforts tranchants est obtenue par les forces sismiques calculées 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. 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.

## 2. Méthodologie :

Notre projet consiste à étudier un bâtiment R+5 étages contreventé par des portiques+voiles en béton armé, régulière en plan et élévation et implantée en zone III, cette étude est faite par deux méthode :

- Analyse par la méthode statique équivalente (selon RPA 99-V 2003)
- Analyse modale spectrale (selon RPA 99-V 2003)

En premier lieu, on calcule l'effort tranchant global à la base de la structure par la formule  $V = (A \cdot D \cdot Q/R)W$  et la distribution verticale par la formule

$F_i = (V - F_t)W_i \cdot h_i / \sum_{j=1}^n W_j \cdot h_j$  Puis la répartition horizontale de la force sismique d'étage sur les fils de portique selon la rigidité relative de chaque fil 'j'  $F_{ij} = F_i \cdot R_j / \sum R_j$

(on néglige l'effet du torsion parce que l'excentricité est très faible,  $F_{ij}$  sont appliquées sur les nœuds comme des forces concentrées) ; et en fin la modélisation par « SAP2000-V14 »

En second lieu, on entame notre projet par une modélisation de la variante à partir d'une étude dynamique, en introduisant un spectre de calcule exigé par le règlement parasismique Algérien dans le « SAP 2000 ».

$$S_{a/g} = \begin{cases} 1.25A \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \left( \frac{Q}{R} \right) & T \geq 3.0s \end{cases}$$

Et en dernier lieu, La comparaison des sollicitations (M, N, et T) et des déplacements qui sont calculées par ces deux méthodes.

### **3. Organisation du mémoire :**

Le travail a été structuré comme suit :

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

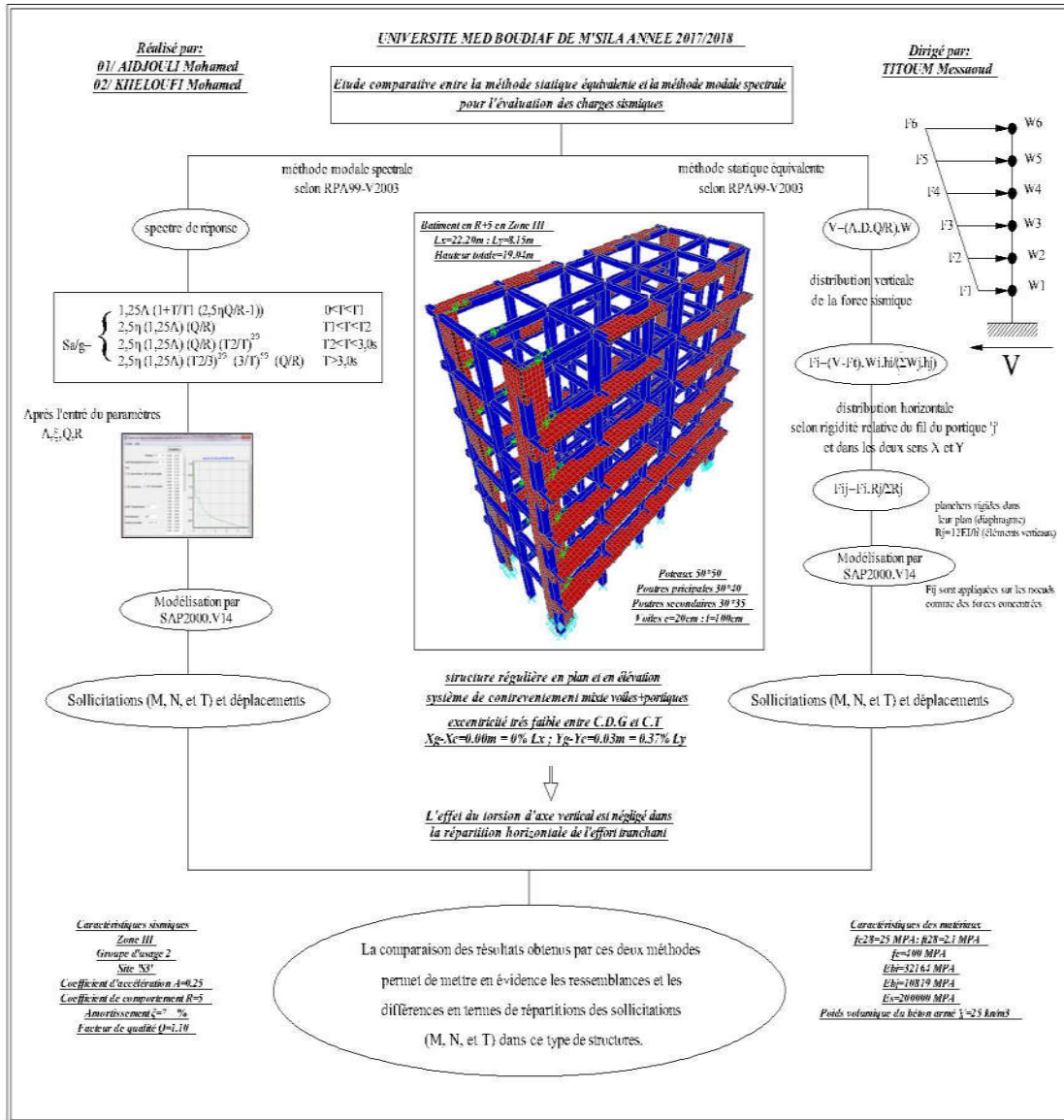
**Chapitre II** portera sur l'étude statique du bâtiment et la détermination de l'action sismique par cette méthode.

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

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

- **Remarque :**

Vous avez voir le **plan de travaille** de ce mémoire de fin d'étude dans la page suivante.



*Etude comparative entre la méthode statique équivalente  
et la méthode modale spectrale pour l'évaluation  
des charges sismiques*

---

**Chapitre**

**I**

*Présentation de l'ouvrage et pré dimensionnement des  
éléments de la structure*

## I.1. Présentation du projet :

Notre projet consiste d'étude sismique d'une tour de R+5 étage a usage d'habitation, situe en Zone III, 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 = 19.04m
- \* Hauteur de RDC.....h=3.74m
- \* Hauteur d'étage courant..... h = 3.06m
- \* Longueur totale .....L<sub>x</sub> = 22.20m
- \* Largeur totale.....L<sub>y</sub> = 8.15m

### 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 III).
- 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 :

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

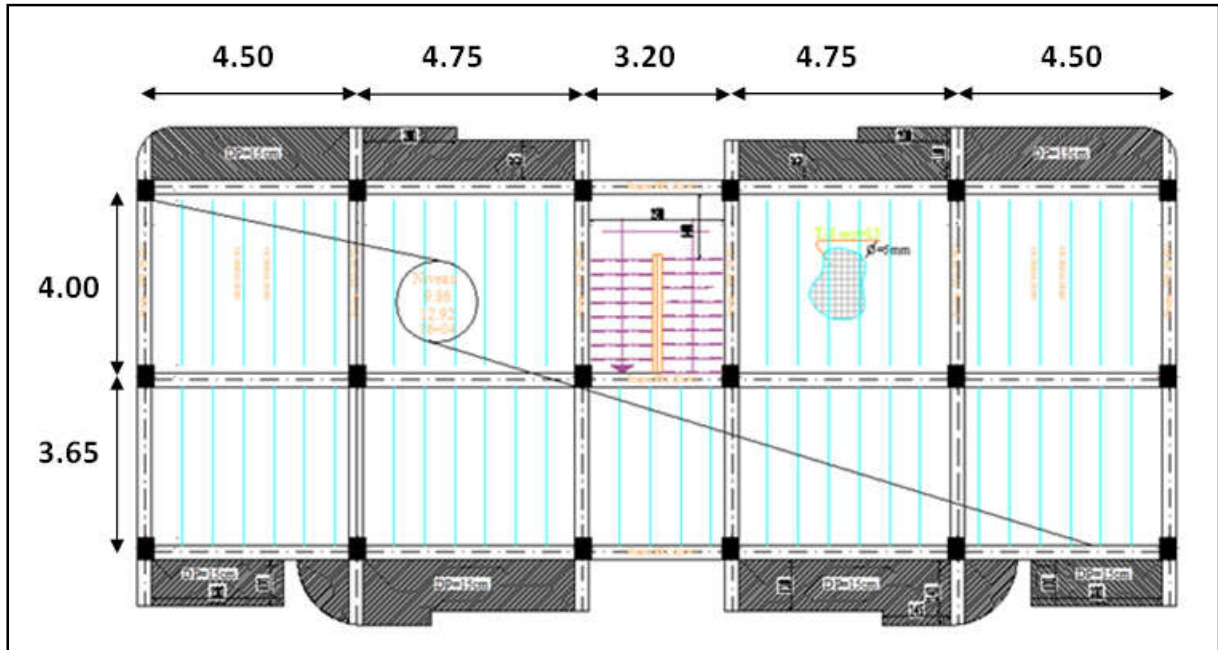
- Module de déformation longitudinal instantané du béton :  $E_{bi} = 32164\text{MPa}$ , calculé selon la formule suivante :  $E_{bi} = 11000 \cdot f_{cj}^{1/3}$

- Module de déformation longitudinal différé du béton :  $E_{bj} = 10819\text{MPa}$ , calculé selon la formule suivante :  $E_{bj} = 3700 \cdot f_{cj}^{1/3}$

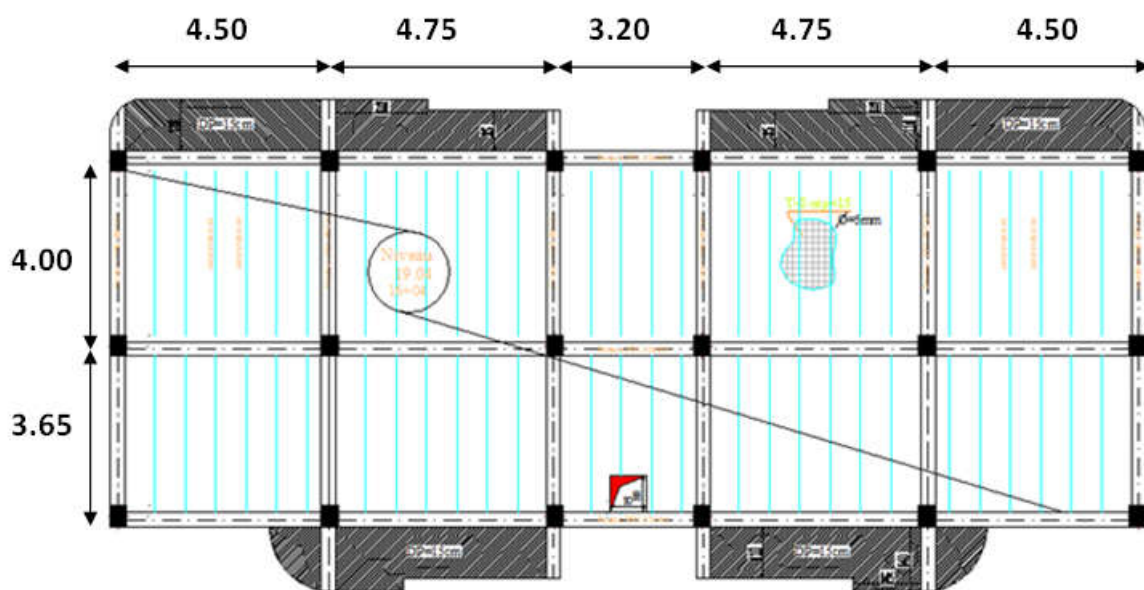
## I. Présentation de l'ouvrage et pré dimensionnement des éléments de la structure

- 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 ultimes.

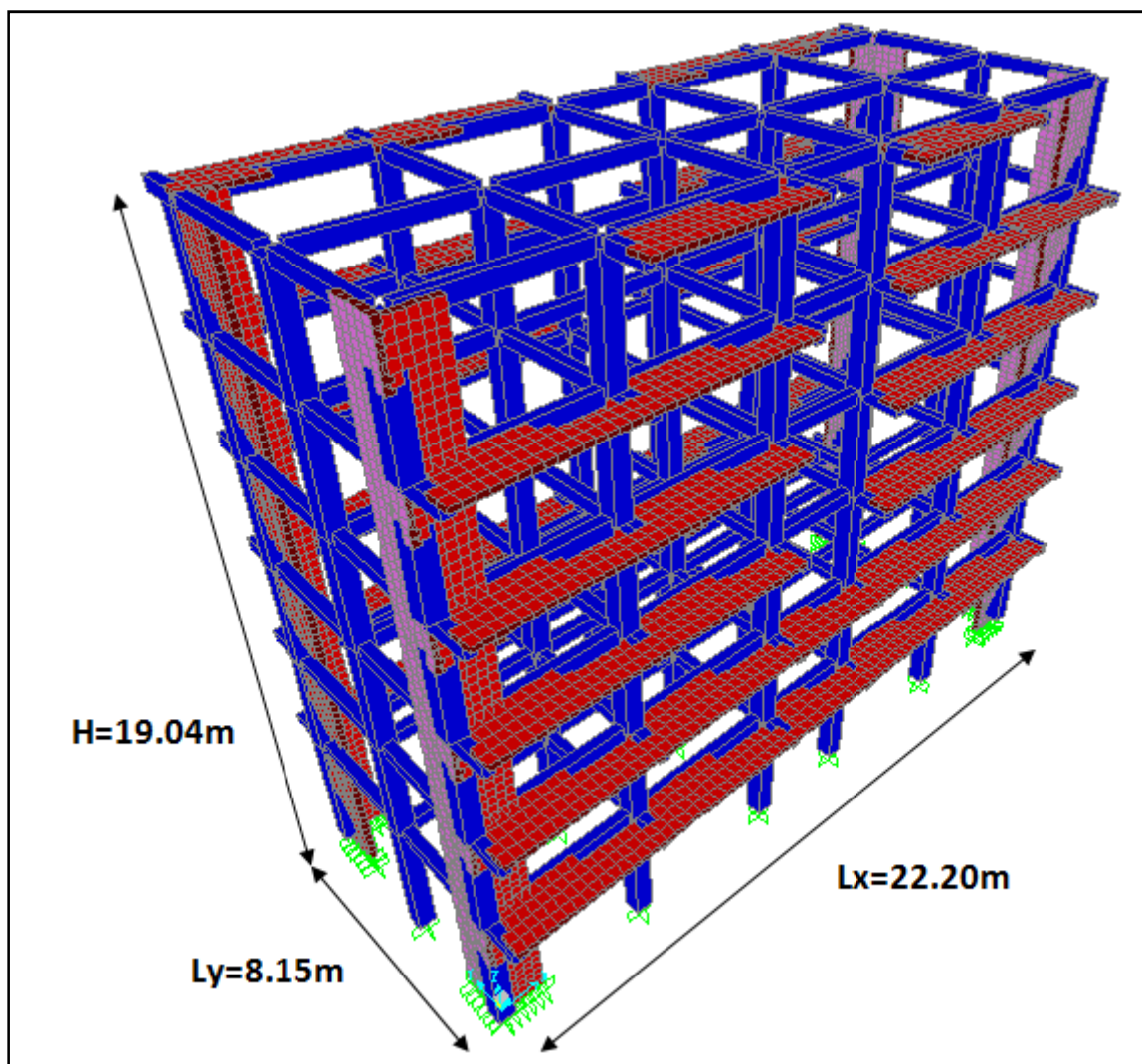
➤ La vue en plan de la structure niveau d'étage (Figure I.1) :



➤ La vue en plan de la structure niveau terrasse (Figure I.2) :



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



## 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) :**

	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>

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

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

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

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

- **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<sup>2</sup>

## 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]

$$\frac{h_t}{L} \geq \frac{1}{22.5} \quad \text{Avec : 'L' plus grande portée libre dans le sens non porteur}$$

L (cm)	$\frac{L}{22.5}$ (cm)	$h_t$ (cm)
400	17.77	20=(16+4)

Tableau (I.3) : Pré dimensionnement des planchers

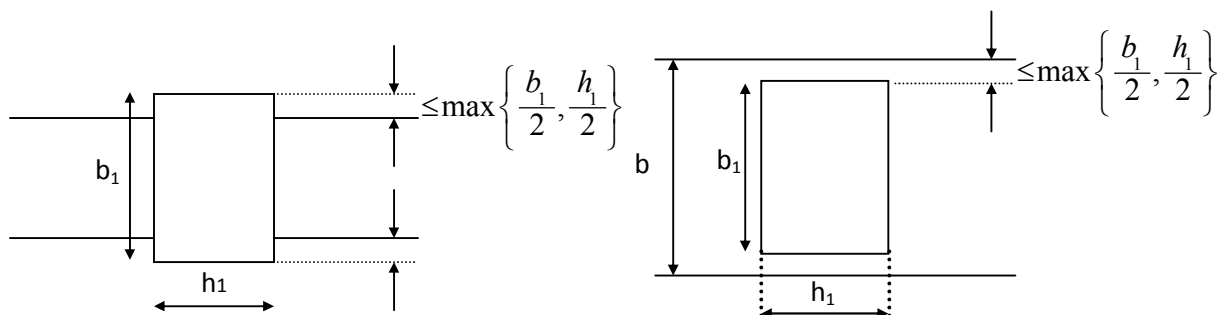
## I.3.3. pré dimensionnement des poutres :

Selon « R.P.A 99 version 2003 » (page 51) les dimensions des poutres deviennent respecter les normes suivantes :

- $b \geq 20$  cm
- $h \geq 30$  cm
- $\frac{h}{b} \leq 4$
- $b_{\max} \leq 1.5 h + b_1$

Où  $b$  : est largeur de la poutre.

$h$  : hauteur utile de la poutre.



(Figure I.4) Démenions a respecter selon RPA99-V2003

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

---

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 :

Type de poutre	L (cm)	h (cm)	b (cm)	Vérification (Condition minimal)	Section (bxh)
Poutre principale	475	40	30	vérifiée	30x40
Poutre Secondaire	400	35	30	vérifiée	30x35

Tableau (I.4) : Pré dimensionnement des poutres

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

Selon le RPA99-V2003 a la page 63 :

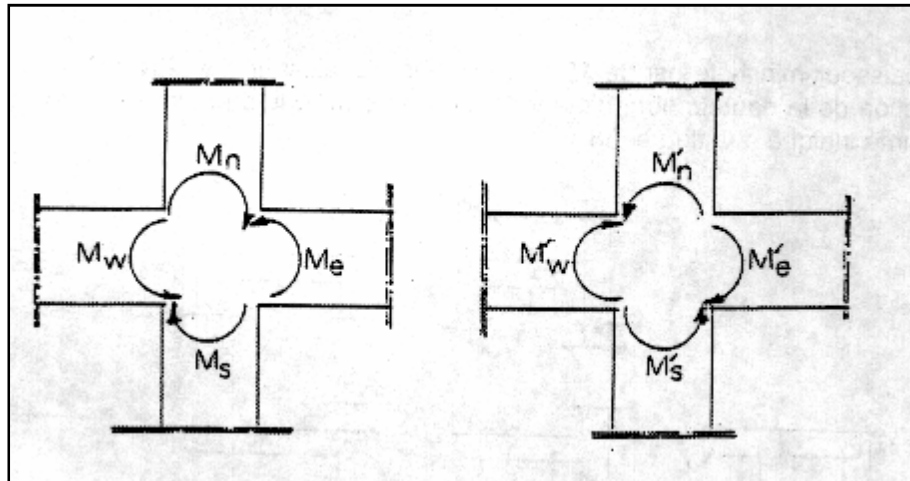
$$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}} \leq 0.30$$

- $N_u = 1448.41 \text{ Kn}$  (calculé manuelle ou par SAP2000)
- $B_c = 0.48 \times 0.48 = 0.2304 \text{ m}^2$
- $f_{c28} = 25\text{MPa}$

**$v = 0.25 < 0.30$ .... Donc la section de (50x50) est satisfaite pour les poteaux.**

**I.3.4. pré dimensionnement des nœuds :**

Cette disposition tend à faire en sorte que les rotules plastiques se forment dans les poutres plutôt que dans les poteaux. Néanmoins.



$$|M_n| + |M_s| \geq 1.25(|M_w| + |M_e|)$$

$$|M'_n| + |M'_s| \geq 1.25(|M'_w| + |M'_e|)$$

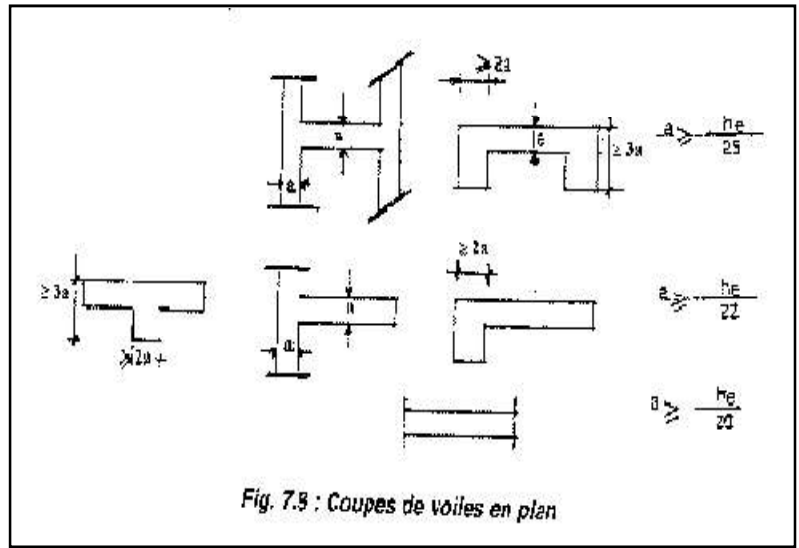
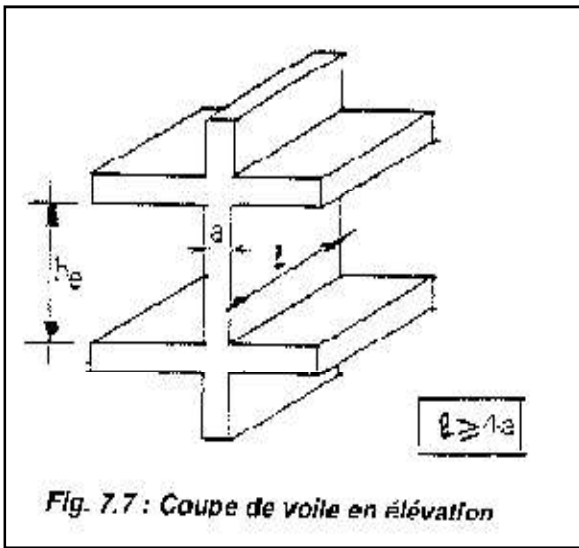
**(Figure I.5): Dimensionnement d'un nœud poutre-poteau**

- Les vérifications représentées dans ce tableau :

élément	largeur b	hauteur h	inertie=b*h <sup>3</sup> /12	Ipoteau/Ipoutre≥1.25	Obs
<b>poteaux</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>520833</b>	.....	.....
<b>poutres principales</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>160000</b>	<b>3,26</b>	<b>OK</b>
<b>poutres secondaires</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>107188</b>	<b>4,86</b>	<b>OK</b>

**Tableau (I.5) : Vérification de la rotule plastique**

**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.

$a \geq 339/20 = 16.95$  cm.....On prend :  $a = 20$  cm

**I.4. Méthodes et règlement utilisé dans cette 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-V2003**

### **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.

### **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.

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

Pour plus de facilité on utilise l'utile informatique **SAP2000-V14**, 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.

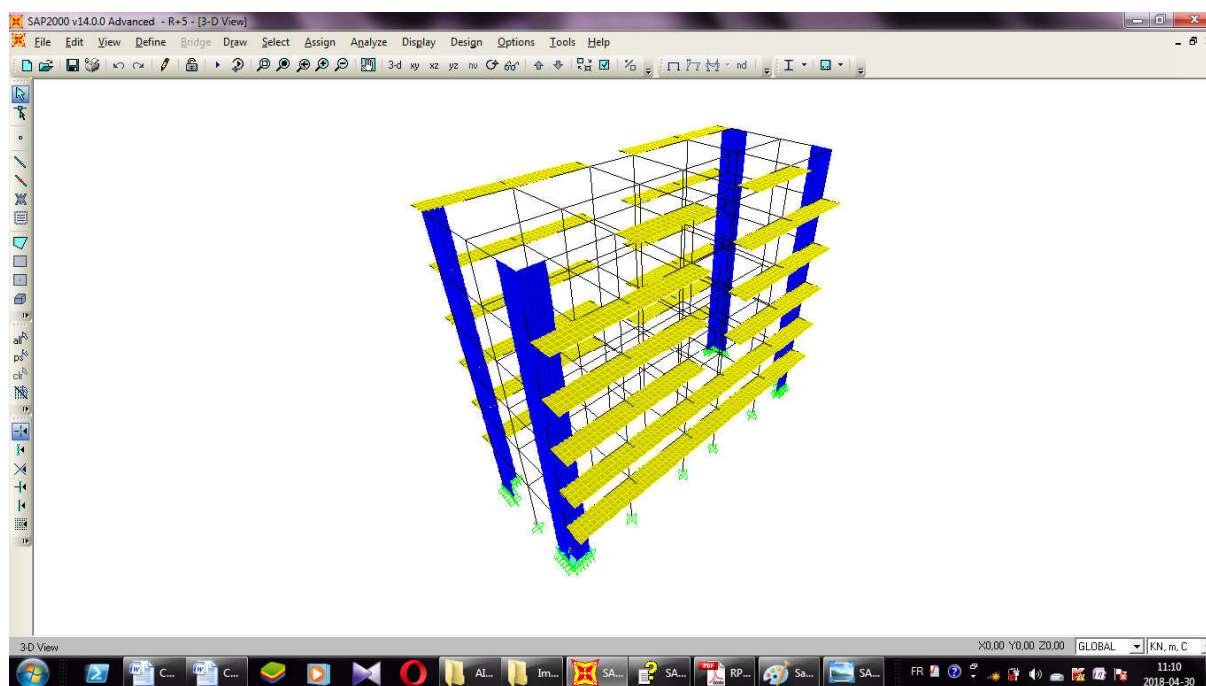
Le logiciel de l'analyse des structures **SAP** basé à la méthode des éléments finis.

La modélisation sur SAP2000 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...).

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

---



(Figure I.7) Logiciel de l'analyse des structures SAP

*Etude comparative entre la méthode statique équivalente  
et la méthode modale spectrale pour l'évaluation  
des charges sismiques*

---

**Chapitre**

**II**

*Calcul par la méthode statique équivalente*

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

### II.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

### II.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)

#### II.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.....OK
- 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 :

$$X_G = L_x/2 = 10.85 \text{ m}$$

$$Y_G = L_y/2 = 3.83 \text{ m}$$

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

### - Centre de rigidités :

Le centre de rigidité est calculé comme suit :

$$X_C = \frac{\sum X_i \cdot R_{it}}{\sum R_{it}} = \frac{\sum X_i \cdot I_{it}}{\sum I_{it}}$$

$$Y_C = \frac{\sum Y_i \cdot R_{il}}{\sum R_{il}} = \frac{\sum Y_i \cdot I_{il}}{\sum I_{il}}$$

Avec :  $\begin{cases} I_i : \text{moment d'inertie du file 'i'} \\ R_i : \text{rigidité du file 'i'} \end{cases}$

$R_i = 12EI/h^3$  ; E : module de Young du béton

h : hauteur du poteau ou voile

$$I_{\text{poteau}} = b \cdot \frac{h^3}{12} = 0.5 \times \frac{0.5^3}{12} = 0.0052 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{voile}} = e \cdot \frac{l^3}{12} = 0.2 \times \frac{1^3}{12} = 0.0167 \text{ m}^4$$

Inertie de files longitudinales :

$$\begin{cases} Y = 0 \text{ ou } 7.65 \text{ m} \dots \dots \dots I_{il} = 0.0646 \text{ m}^4 \text{ (File de rive)} \\ Y = 3.65 \text{ m} \dots \dots \dots I_{il} = 0.0312 \text{ m}^4 \text{ (File intermédiaire)} \end{cases}$$

Inertie de files transversales :

$$\begin{cases} X = 0 \text{ ou } 21.7 \text{ m} \dots \dots \dots I_{it} = 0.049 \text{ m}^4 \text{ (File de rive)} \\ X = 4.5; 9.25; 12.45; 17.2 \text{ m} \dots \dots \dots I_{it} = 0.0156 \text{ m}^4 \text{ (File intermédiaire)} \end{cases}$$

Après le calcul on trouve :

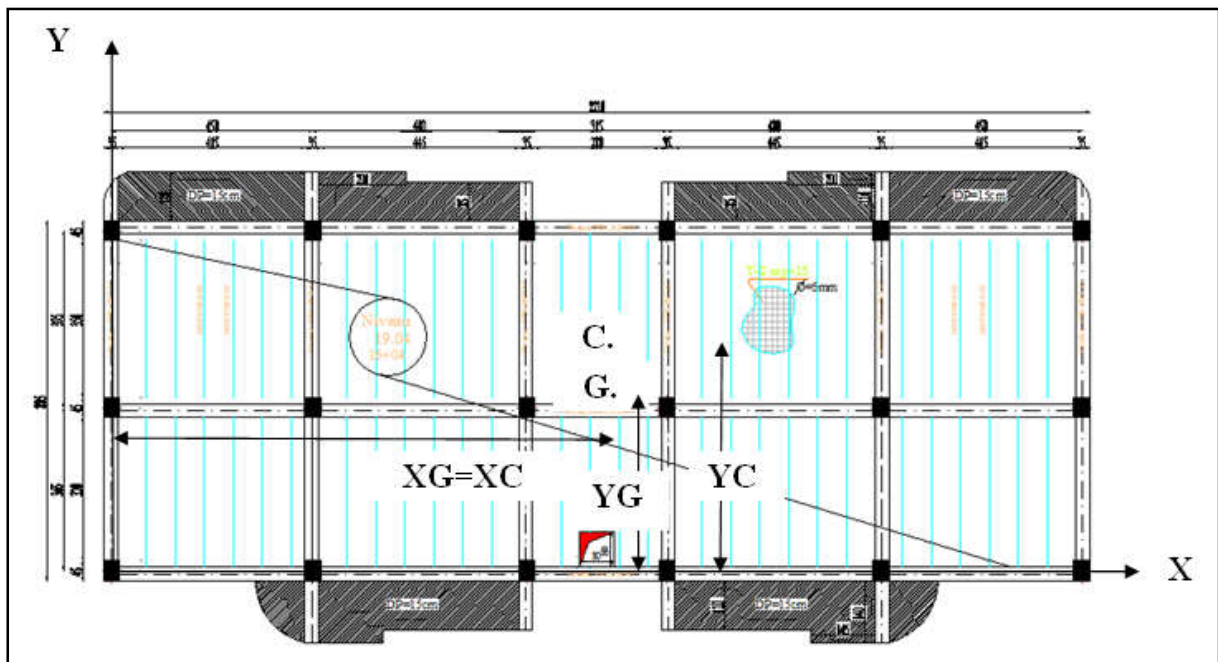
$$\begin{cases} X_C = 10.85 \text{ m} \\ Y_C = 3.80 \text{ m} \end{cases}$$

Donc on peut calculer l'excentricité :

$$\begin{cases} e_X = |X_G - X_C| = 0 \text{ m} < 15\%L_X \text{ (Symétrie)} \\ e_Y = |Y_G - Y_C| = 0.03 \text{ m} < 15\%L_Y \end{cases}$$

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

## II. Calcul par la méthode statique équivalente



(Figure II.1) Position du C.D.G et C.T

- La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4  
 $L_X/L_Y = 22.20/8.15 = 2.72 \leq 4 \dots\dots\dots \text{OK}$
- 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) .....OK
- 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.....OK

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

### II.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. ....OK
- 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. ....OK
- 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.....OK

***Donc cette structure est régulière en plan et en élévation***

***avec  $H_{totale}=19.04 \leq 30m$  ; pour cela on peut utiliser***

***la méthode statique équivalente***

### II.3. Modélisation :

- a) 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
- b) 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.
- c) Seul le mode fondamental de vibration de la structure est à considérer dans le calcul de la force sismique totale

### II.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 :

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

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

$$A=0.25 \text{ (zone III, et groupe d'usage 2)}$$

$D$  : 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.

$$\xi=7\% \text{ (Portiques en Béton armé avec Remplissage Dense)}$$

$$\text{donc } \eta=0.88$$

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

### \* 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).  $h_N = 19.04\text{m}$

$C_T$  : 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)

$$T = 0.05 * 19.04^{3/4} = 0.46 \text{ sec}$$

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.

$$T_x = 0.09 * 19.04 / 22.20^{1/2} = 0.36 \text{ sec}$$

$$T_y = 0.09 * 19.04 / 8.15^{1/2} = 0.60 \text{ sec}$$

Donc :  $T_x = \min(0.46 ; 0.36) = 0.36 \text{ sec}$

$T_y = \min(0.46 ; 0.60) = 0.46 \text{ sec}$

$$T_x(T_y) \leq T_2 \dots \dots \dots D = 2.5 \quad \eta = 2.20$$

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)

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

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

### 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).....**NON**

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).....**NON**

3. Régularité en plan :

La structure est classée régulière en plan. ....**OUI**

4. Régularité en élévation. ....**OUI**

5. Contrôle de la qualité des matériaux :

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

.....**OUI**

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. .

.....**OUI**

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

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

(Tableau II.1) Valeurs des pénalités P<sub>q</sub>

Don :  $Q=1+0.05*2=1.10$

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

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

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

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= 14839,6 Kn** (calculé manuelle ou par SAP2000)

<b>TABLE: Base Reactions</b>					
<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>	<b>GlobalFZ</b>
Text	Text	Text	KN	KN	KN
G+0.2Q	Combination		-2,06E-09	7,62E-08	<b>14839,6</b>

**Tableau (II.2) : Poids total de la structure selon SAP2000**

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

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

$$V=(A.D.Q/R)W=(0.25*2.2*1.1/5)* 14839,6$$

$$\text{Donc : } V_x=V_y=1795,59 \text{ Kn (Dx=Dy)}$$

### II.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.....

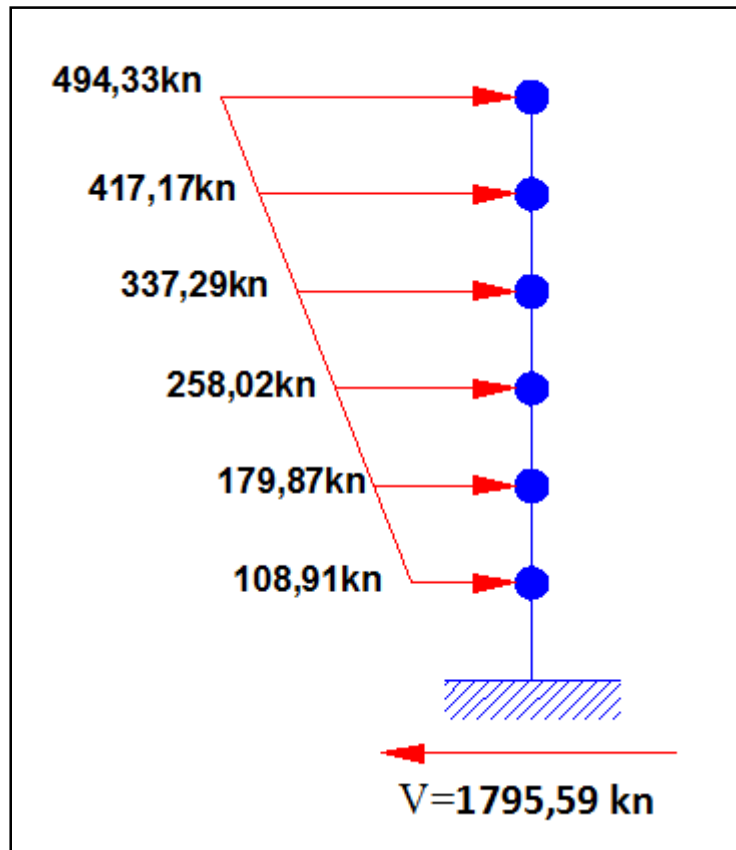
$$F_t=0 \text{ (Tx et Ty} \leq 0.7\text{s)}$$

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

Les résultats représentés dans ce tableau :

Niveaux	(V-Ft) (kn)	Wi (kn)	hi (m)	Wi*hi	$\sum W_j h_j$	Fi (kn)
Niveau 01	1795,59	2702,26	3,74	10106,45	166625,41	<b>108,91</b>
Niveau 02	1795,59	2454,62	6,80	16691,42	166625,41	<b>179,87</b>
Niveau 03	1795,59	2428,38	9,86	23943,83	166625,41	<b>258,02</b>
Niveau 04	1795,59	2422,54	12,92	31299,22	166625,41	<b>337,29</b>
Niveau 05	1795,59	2422,54	15,98	38712,19	166625,41	<b>417,17</b>
Niveau 06	1795,59	2409,26	19,04	45872,31	166625,41	<b>494,33</b>
$\Sigma$		14839,60		166625,41		1795,59

**Tableau (II.3) : Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur**



(Figure II.2) Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur

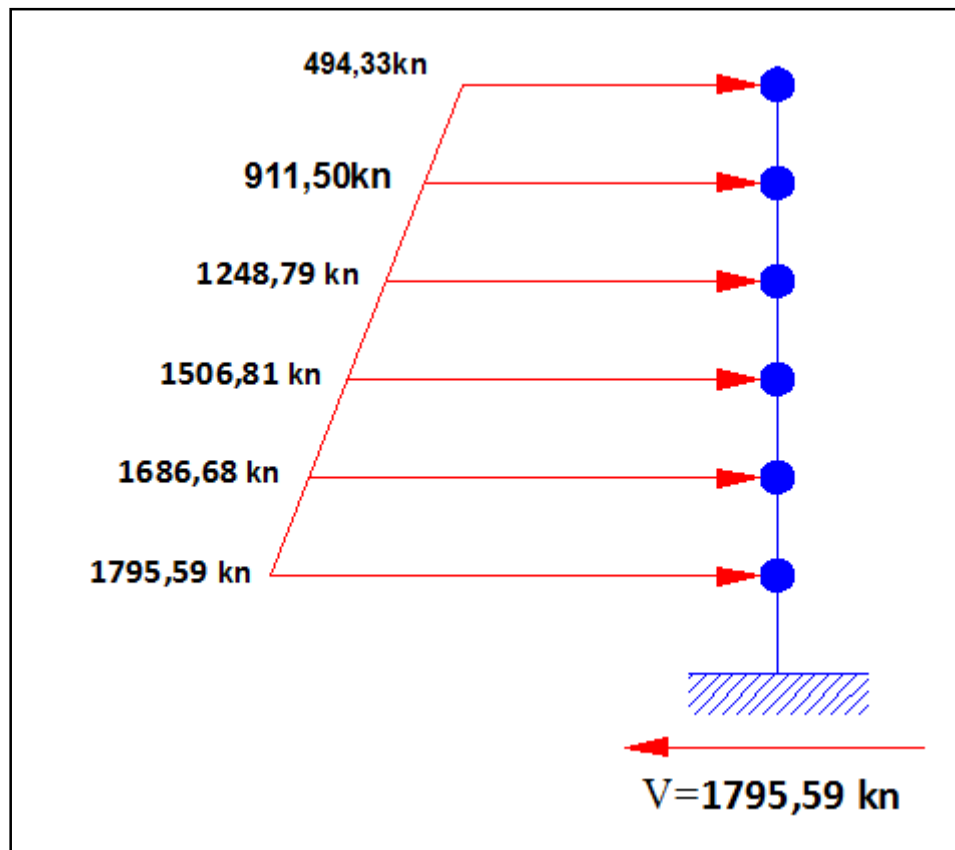
### II.6. Distribution de l'effort tranchant selon la hauteur :

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

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

Niveaux	Fi (kn)	Vi (kn)
Niveau 01	108,91	<b>1795,59</b>
Niveau 02	179,87	<b>1686,68</b>
Niveau 03	258,02	<b>1506,81</b>
Niveau 04	337,29	<b>1248,79</b>
Niveau 05	417,17	<b>911,50</b>
Niveau 06	494,33	<b>494,33</b>
$\Sigma$	<b>1795,59</b>	

Tableau (II.4) : Effort tranchant au niveau d'étage



(Figure II.3) Effort tranchant au niveau d'étage

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

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

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

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

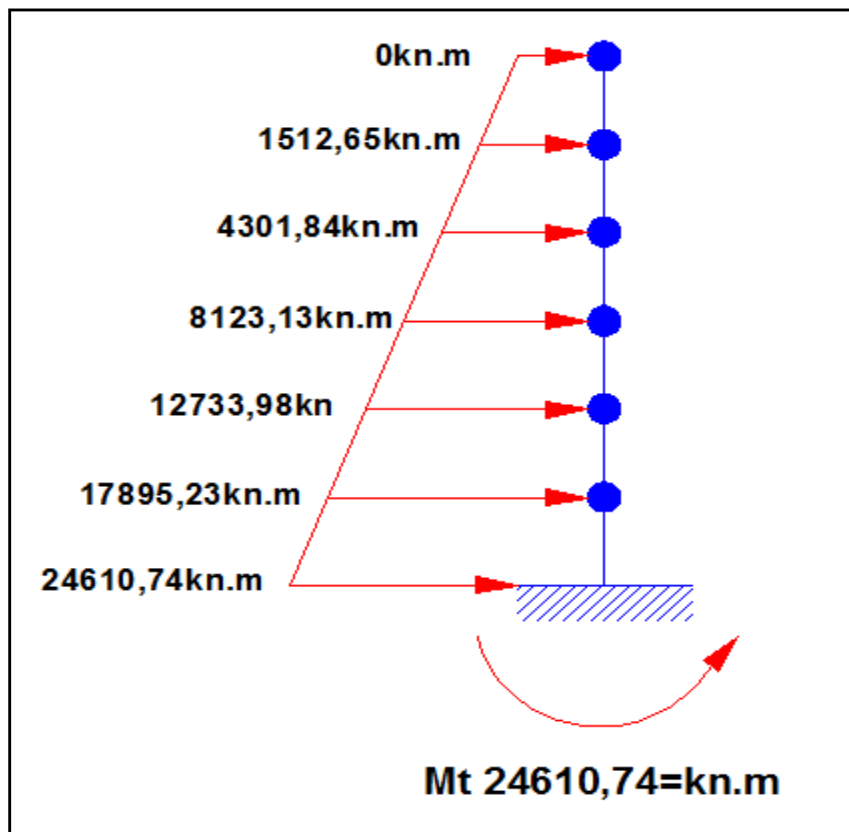
$M_k, M_{k+1}$  : moments fléchissant au niveau de l'étage k et k+1

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

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

Niveaux k	$V_{k+1}$ (kn)	$V_{k+1} * h_e$	$M_k$ (kn.m)
Niveau +0.00	1795,59	6715,51	24610,74
Niveau 01	1686,68	5161,25	17895,23
Niveau 02	1506,81	4610,84	12733,98
Niveau 03	1248,79	3821,29	8123,13
Niveau 04	911,50	2789,19	4301,84
Niveau 05	494,33	1512,65	1512,65
Niveau 06	0	0	0

Tableau (II.5) : Moments fléchissant au niveau d'étage



(Figure II.4) Moments fléchissant au niveau d'étage

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

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

$$\begin{cases} e_X = |X_G - X_C| = 0 \text{ m} = 0\%L_X \text{ (Symétrie)} \\ e_Y = |Y_G - Y_C| = 0.03 \text{ m} < 0.37\%L_Y \end{cases}$$

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 :  $\begin{cases} I_j : \text{moment d'inertie du file 'j'} \\ R_j : \text{rigidité du file 'j'} \end{cases}$

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

Les résultats représentés dans ces tableaux :

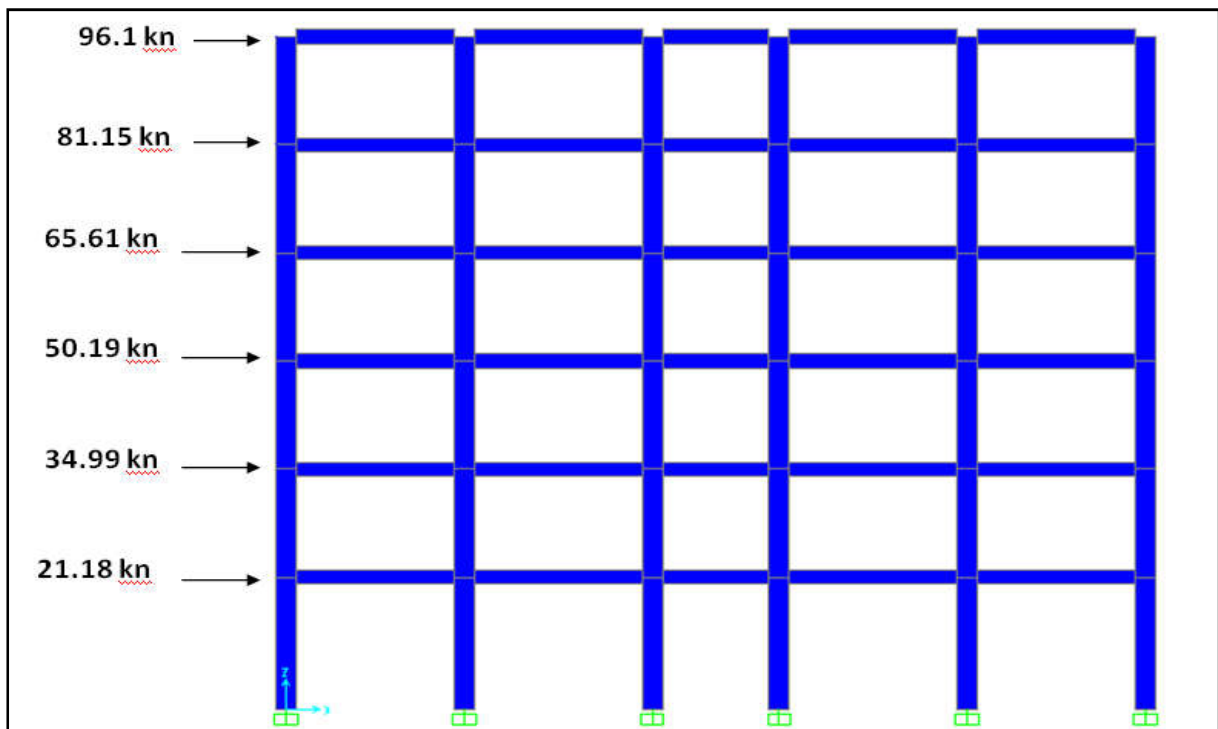
Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	inter	108,91	0,0312	21,18
Niveau 02	inter	179,87	0,0312	34,99
Niveau 03	inter	258,02	0,0312	50,19
Niveau 04	inter	337,29	0,0312	65,61
Niveau 05	inter	417,17	0,0312	81,15
Niveau 06	inter	494,33	0,0312	96,15

Tableau (II.6) : Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX

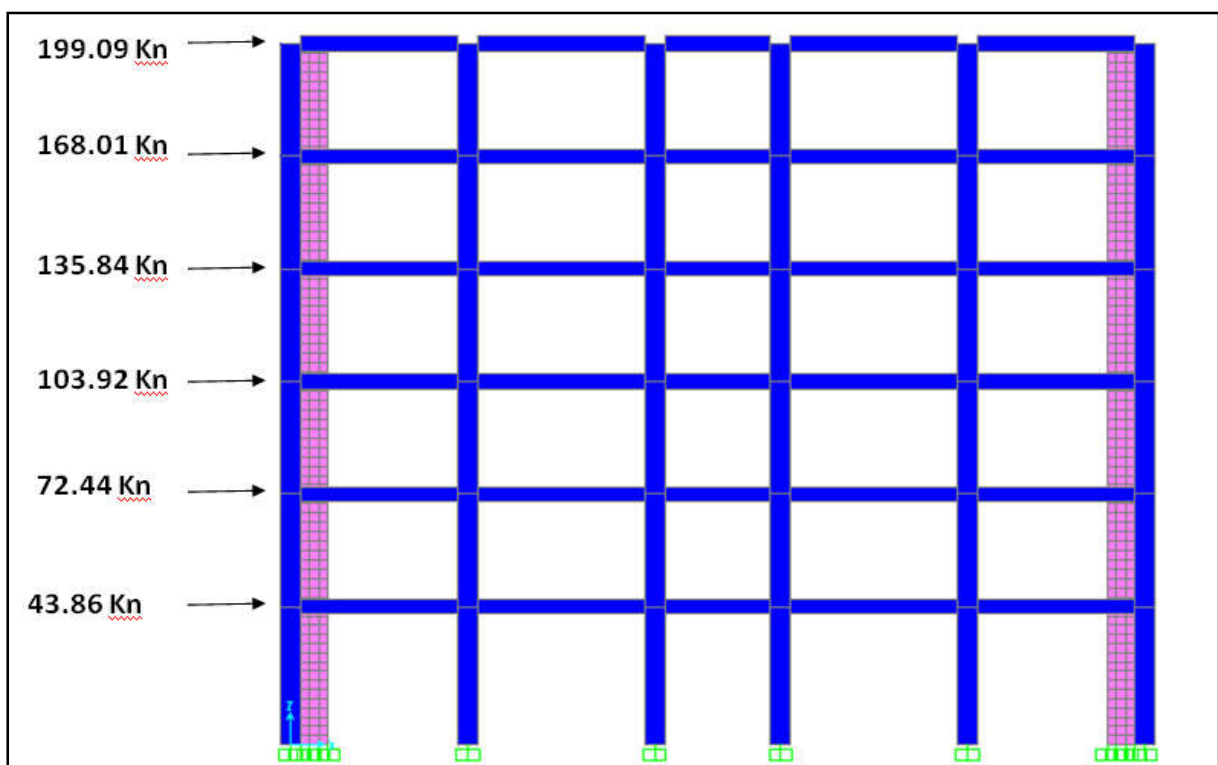
Niveaux	Files	Fi	Ii	Fi*Ii/∑Ii
Niveau 01	rive	108,91	0,0646	43,86
Niveau 02	rive	179,87	0,0646	72,44
Niveau 03	rive	258,02	0,0646	103,92
Niveau 04	rive	337,29	0,0646	135,84
Niveau 05	rive	417,17	0,0646	168,01
Niveau 06	rive	494,33	0,0646	199,09

Tableau (II.7) : Forces sismiques sur files de rives sens XX

## II. Calcul par la méthode statique équivalente



(Figure II.5) Forces sismiques sur files intermédiaires sens XX



(Figure II.6) Forces sismiques sur files de rives sens XX

## II. Calcul par la méthode statique équivalente

---

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

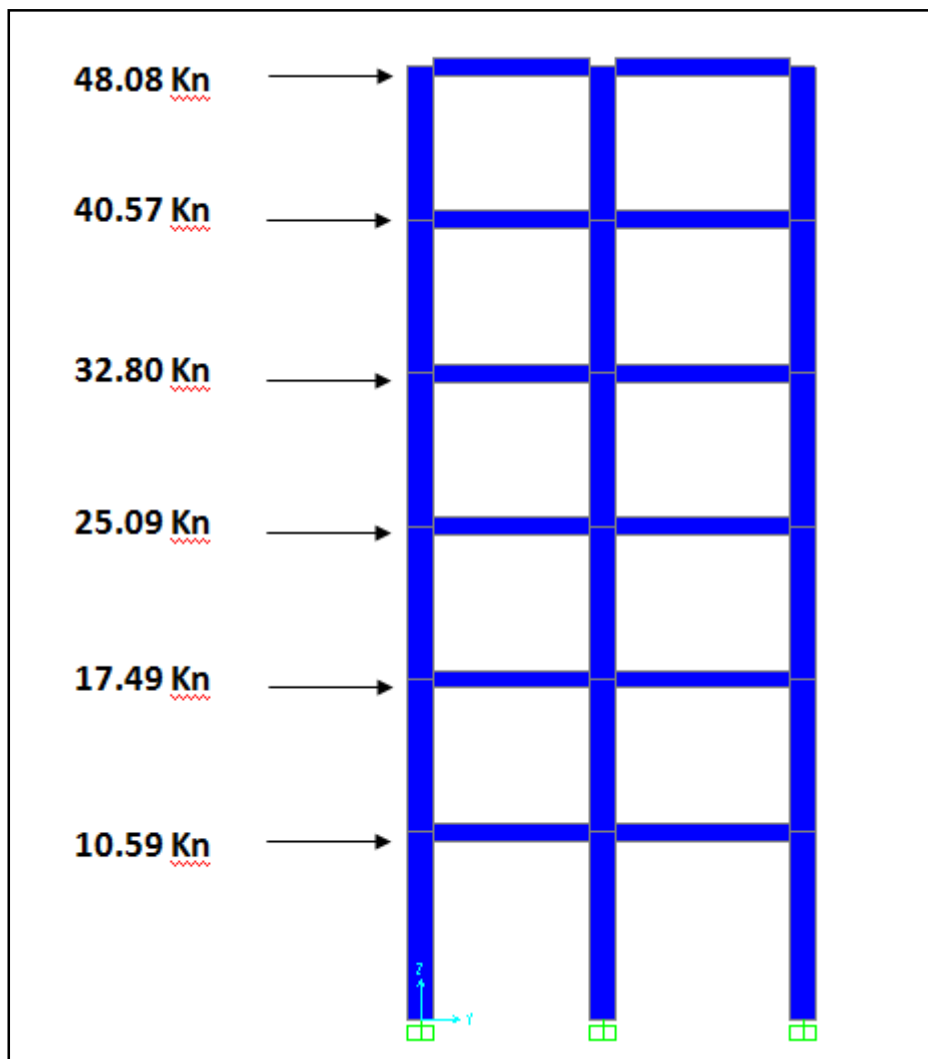
Les résultats représentés dans ces tableaux :

Niveaux	Files	Fi	Ii	$Fi \cdot Ii / \sum Ii$
Niveau 01	inter	108,91	0,0156	<b>10,59</b>
Niveau 02	inter	179,87	0,0156	<b>17,49</b>
Niveau 03	inter	258,02	0,0156	<b>25,09</b>
Niveau 04	inter	337,29	0,0156	<b>32,80</b>
Niveau 05	inter	417,17	0,0156	<b>40,57</b>
Niveau 06	inter	494,33	0,0156	<b>48,08</b>

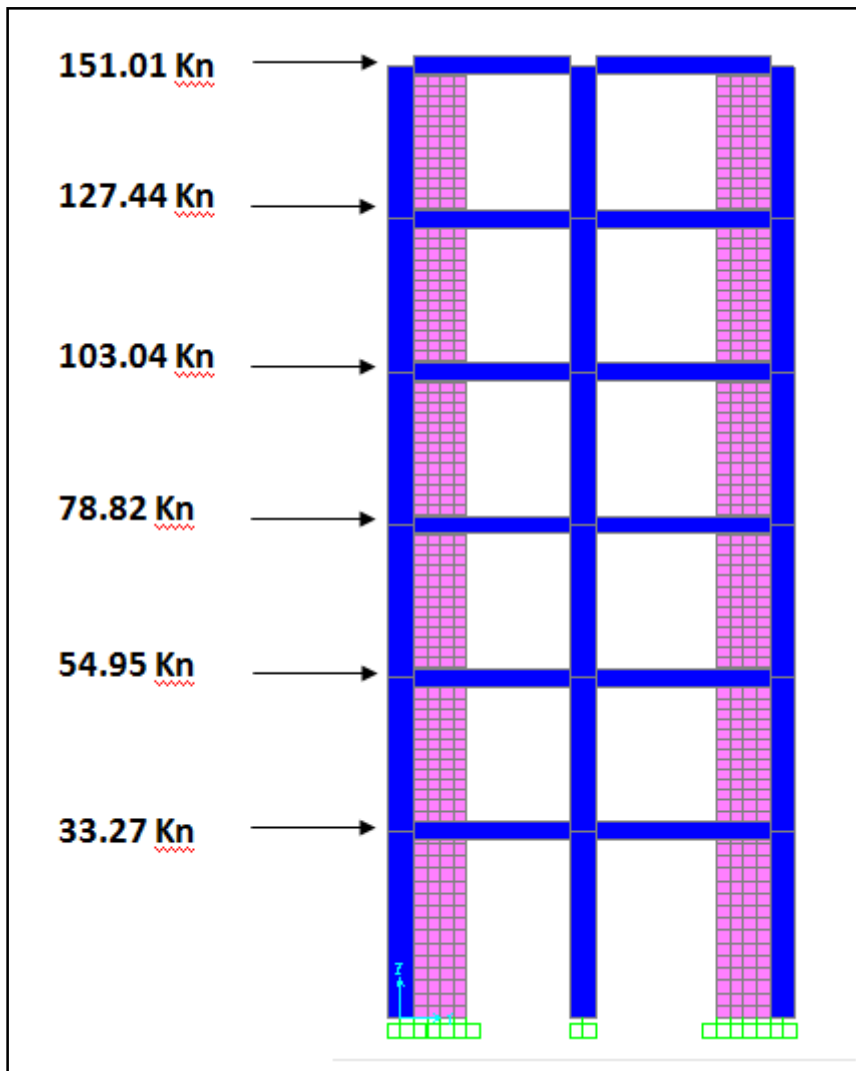
**Tableau (II.8) : Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY**

Niveaux	Files	Fi	Ii	$Fi \cdot Ii / \sum Ii$
Niveau 01	rive	108,91	0,049	<b>33,27</b>
Niveau 02	rive	179,87	0,049	<b>54,95</b>
Niveau 03	rive	258,02	0,049	<b>78,82</b>
Niveau 04	rive	337,29	0,049	<b>103,04</b>
Niveau 05	rive	417,17	0,049	<b>127,44</b>
Niveau 06	rive	494,33	0,049	<b>151,01</b>

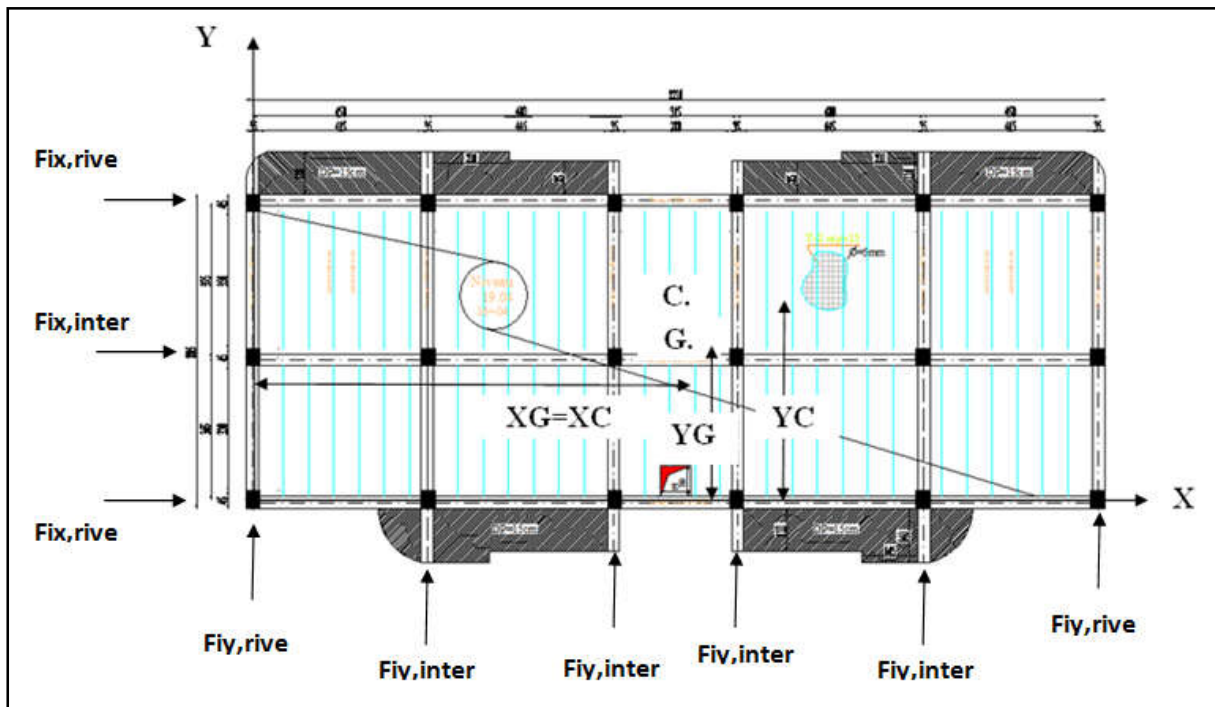
**Tableau (II.9) : Forces sismiques sur files de rives sens YY**



(Figure II.7) Forces sismiques sur files intermédiaires sens YY



(Figure II.8) Forces sismiques sur files de rives sens YY



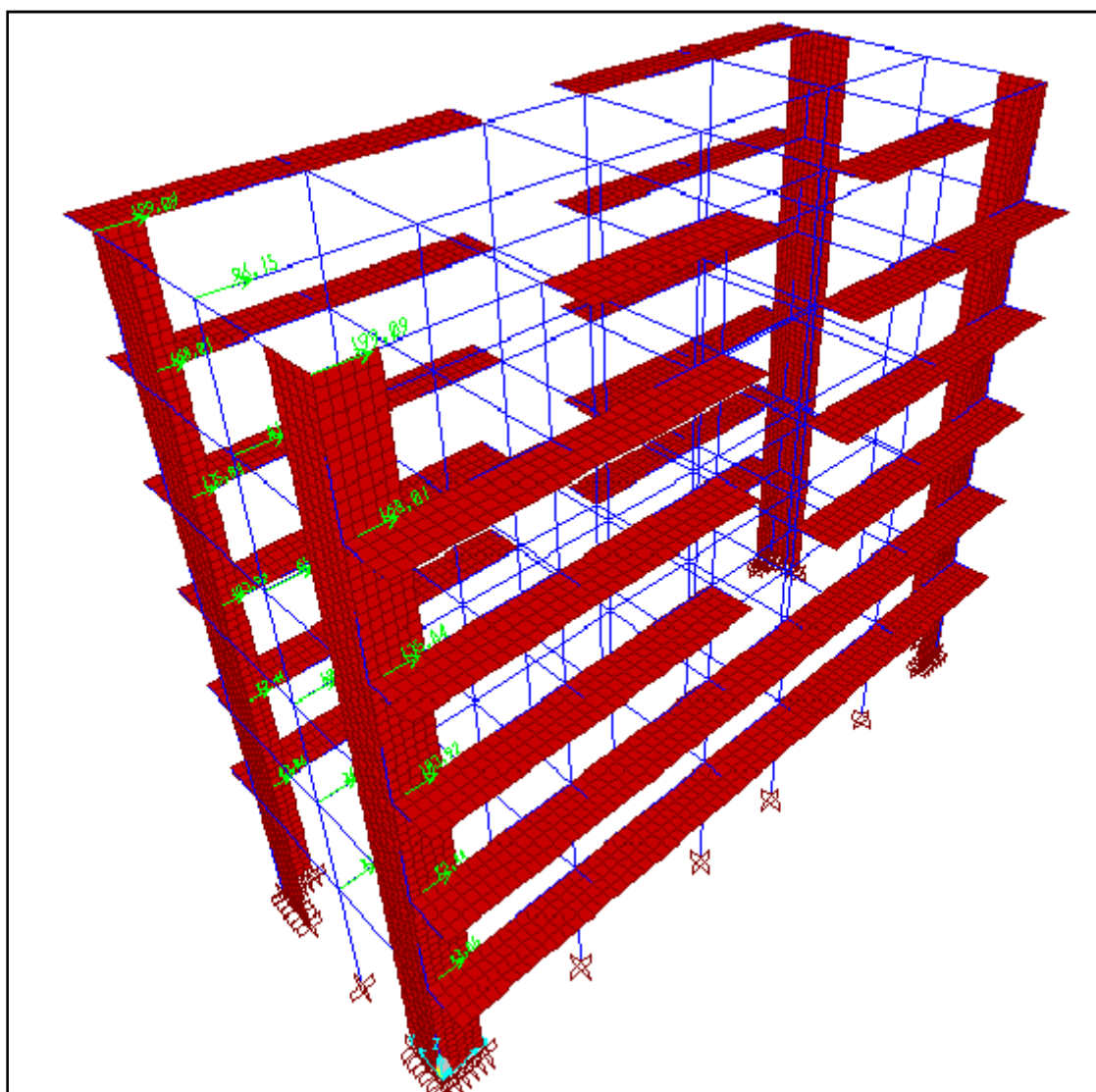
(Figure II.9) Distribution horizontale du force sismique d'étage 'i'

### II.9. Modélisation par SAP2000-V14 :

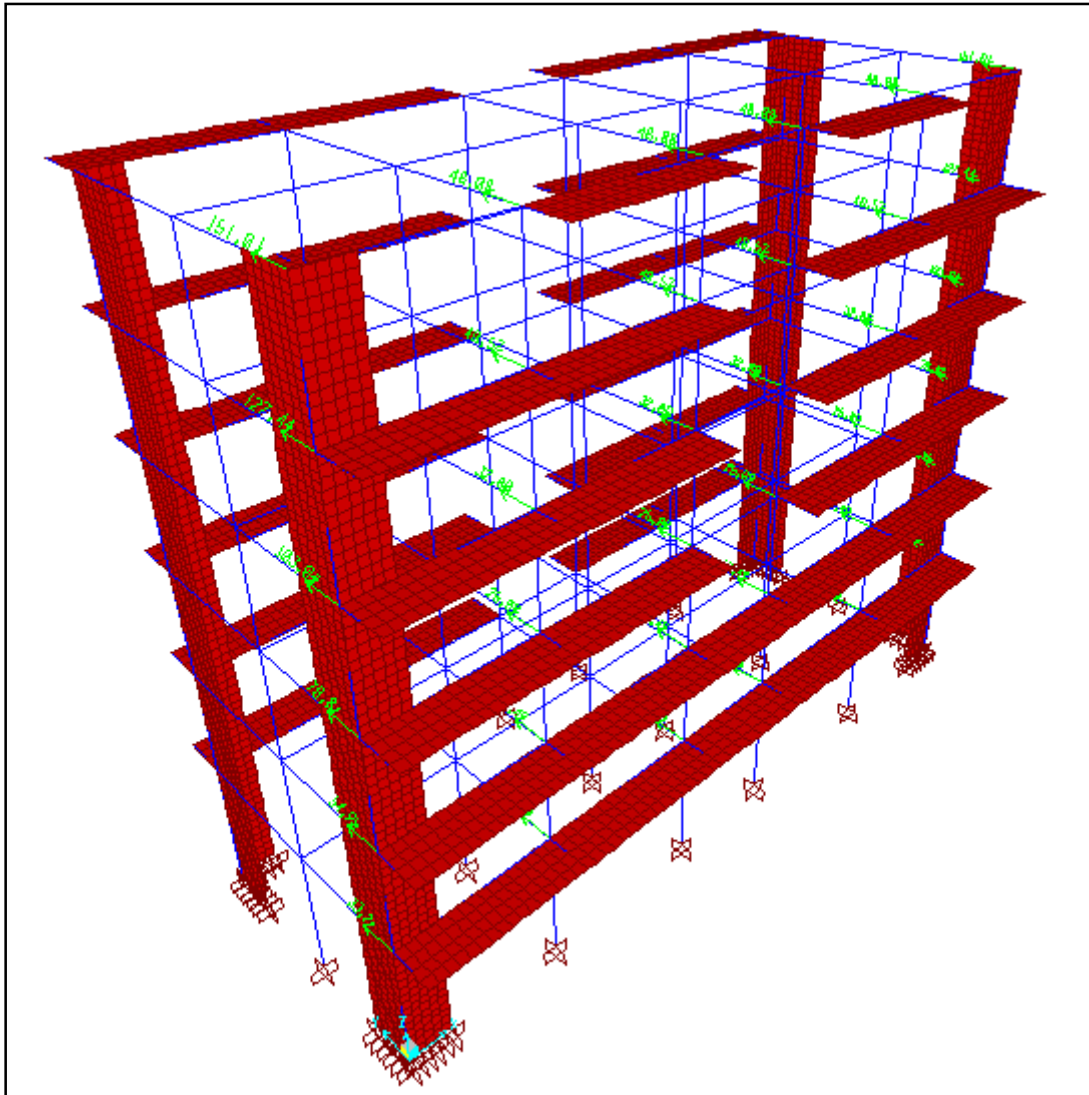
On peut continuer le calcul par le logiciel de l'analyse des structures **SAP** qui basé à la méthode des éléments finis, ou par calcul **manuel** tel que la méthode du portique (voir le livre 'Analyse des structures' de l'auteur André Picard page 337) qui basée au cisaillement des poteaux.

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

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



(Figure II.10) L'entrer des forces sismiques  $F_{ij}$  sens XX sur SAP



**(Figure II.11) L'entrer des forces sismiques  $F_{ij}$  sens YY sur SAP**

Après l'entrer de tous les donnés 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 SAP2000-V14, 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 IV

*Etude comparative entre la méthode statique équivalente  
et la méthode modale spectrale pour l'évaluation  
des charges sismiques*

---

**Chapitre**

**III**

*Calcul par la méthode dynamique modale spectrale*

### III.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.

### III.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, encastré 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, 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).

c) Pour les structures régulières ou non comportant des planchers flexibles, elles sont représentées par des modèles tridimensionnels encastrés 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).

### III. Calcul par la méthode dynamique modale spectrale

---

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.

g) Calcul de l'action sismique :

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

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

#### III.3. Etapes de calcul :

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

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

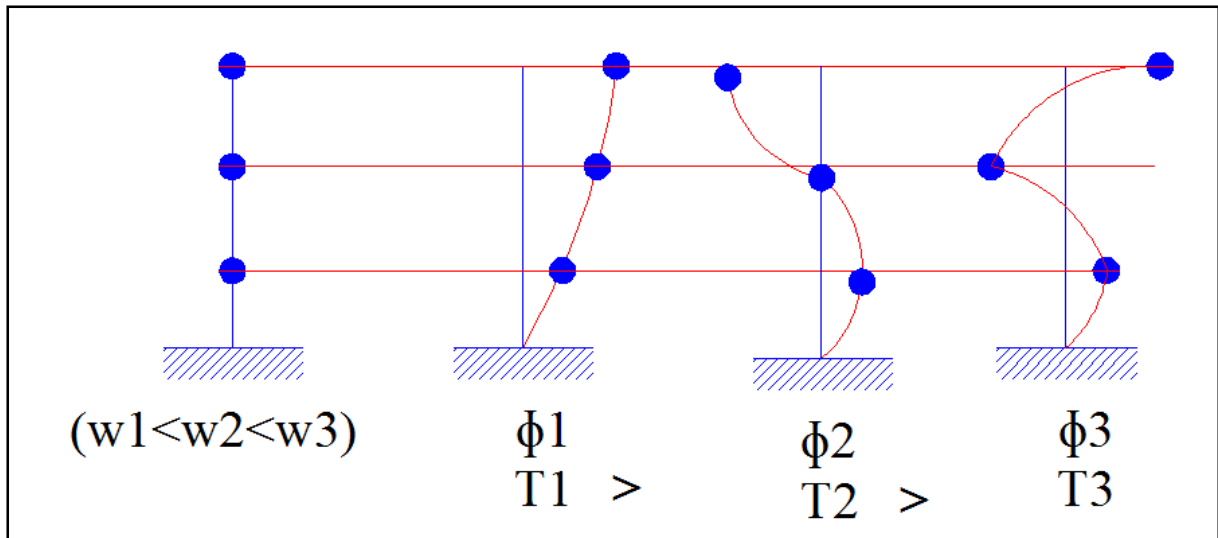
K : matrice de rigidité

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 :

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



(Figure III.1) Modes propres de vibration

2) Détermination du facteur de participation de chaque mode :

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

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

ex : vecteur de direction ;

$$\mathbf{M}^* : \text{masse généralisée ; } \mathbf{M}^* = \phi_i^T \cdot \mathbf{M} \cdot \phi_i$$

Ce facteur peut également désigner par :  $\mathbf{r}_n / \mathbf{M}^*$  ; du fait que l'équation du mouvement (découplée) s'écrit :

$$\ddot{\mathbf{Z}}_n + 2\xi_n \cdot \omega_n \cdot \dot{\mathbf{Z}}_n + \omega_n^2 \cdot \mathbf{Z}_n = (-\mathbf{r}_n / \mathbf{M}^*) \cdot \ddot{\mathbf{X}}_g$$

$\ddot{\mathbf{X}}_g$ : 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 :

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

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

• **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 :  $w_3 \dots T_3 \dots S_{a3}$

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 :

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

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

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

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

**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 :

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

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

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 :

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

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

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

\* Moments fléchissant :

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

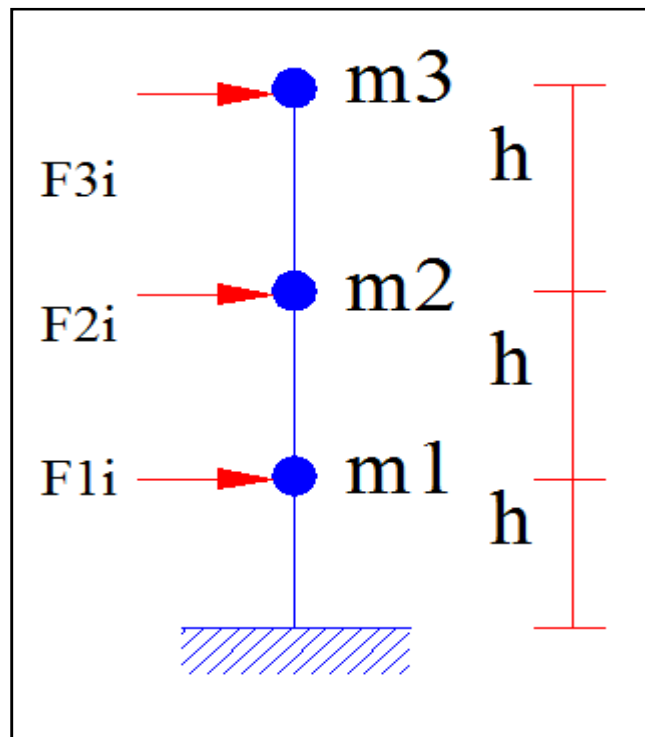
$$M_{base2} = F_{12} \cdot h + F_{22} \cdot 2h + F_{32} \cdot 3h \dots \dots \dots \text{mode 2}$$

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

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 III.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 :

$$\mathbf{Z}_{n,\max} = |\mathbf{r}_n| \cdot \mathbf{S}_{u,n}(w_n, \xi) / \mathbf{m}_n^* = |\mathbf{r}_n| \cdot \mathbf{S}_{a,n} / (\mathbf{m}_n^* \cdot w_n^2)$$

$$\text{Avec : } \mathbf{r}_n = \boldsymbol{\phi}_n^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{e}_x$$

Ensuite on passe aux déplacements relatifs maximaux d'étage :

$$\mathbf{X}_{n,\max} = \mathbf{A}_n \cdot \mathbf{Z}_{n,\max}$$

$$\begin{Bmatrix} X_{1n,\max} \\ X_{2n,\max} \\ \vdots \\ X_{nn,\max} \end{Bmatrix} = X_{n,\max} = \begin{Bmatrix} A_{1n} \\ A_{2n} \\ \vdots \\ A_{nn} \end{Bmatrix} \cdot Z_{n,\max}$$

#### 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 :

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

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

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

- 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) :

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

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

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant :

$$S_a/g = \begin{cases} 1.25A \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \left( \frac{Q}{R} \right) & T \geq 3.0s \end{cases}$$

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

**A=0.25** (zone III, et groupe d'usage 2)

**η** : facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%) :

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

**ξ** : pourcentage d'amortissement critique (tableau 4.2) du RPA

**ξ=7%** (Portiques en Béton armé avec Remplissage Dense) ; donc **η=0.88**

**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.

### III. Calcul par la méthode dynamique modale spectrale

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 :

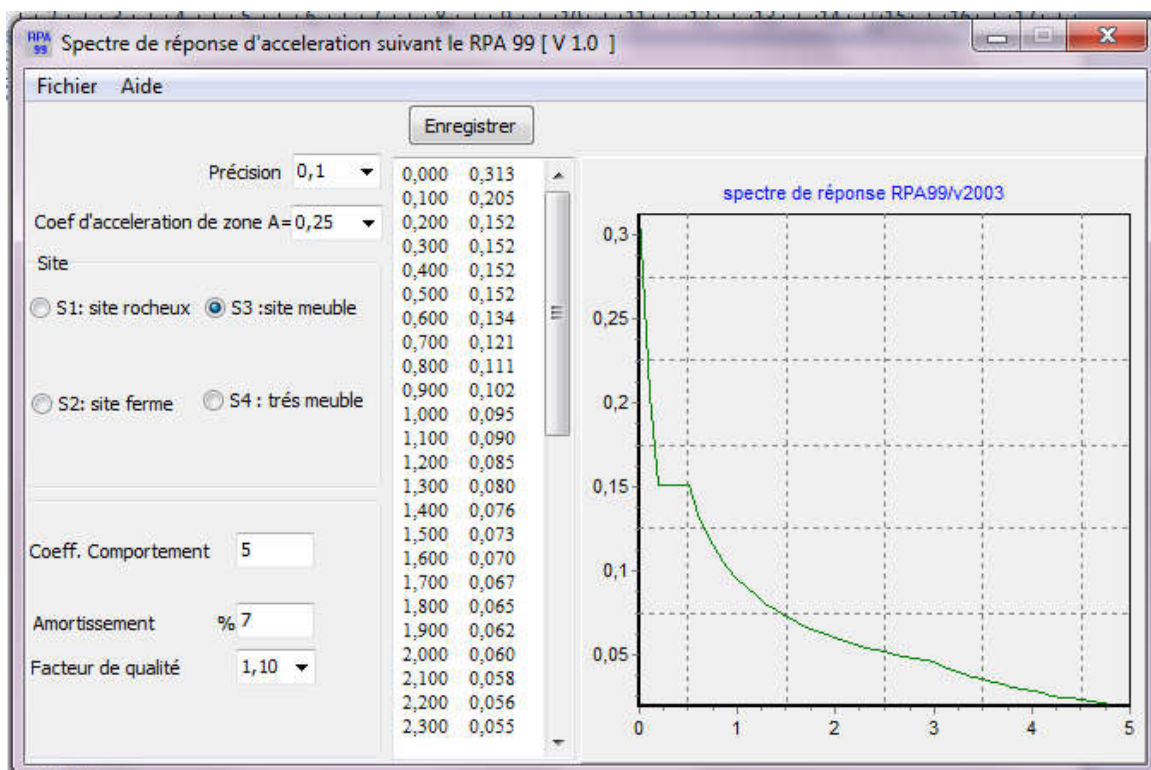
$$Q = 1 + \sum_1^6 P_q$$

$P_q$  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

Don :  **$Q=1+0.05*2=1.10$**

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 :



(Figure III.3) Spectre de réponse de calcul sous forme graphique

### III. Calcul par la méthode dynamique modale spectrale

---

Spectre de réponse de calcul sous forme de tableau :

Période $T_i$ (sec)	Accélération (Sa/g)
0,000	0,314
0,100	0,206
0,200	0,153
0,300	0,153
0,400	0,153
0,500	0,153
0,600	0,135
0,700	0,122
0,800	0,112
0,900	0,103
1,000	0,096
1,100	0,091
1,200	0,086
1,300	0,081
1,400	0,077
1,500	0,074
1,600	0,071
1,700	0,068
1,800	0,066
1,900	0,063
2,000	0,061
2,100	0,059
2,200	0,057
2,300	0,056
2,400	0,054
2,500	0,053
2,600	0,052
2,700	0,05
2,800	0,049
2,900	0,048

### III. Calcul par la méthode dynamique modale spectrale

---

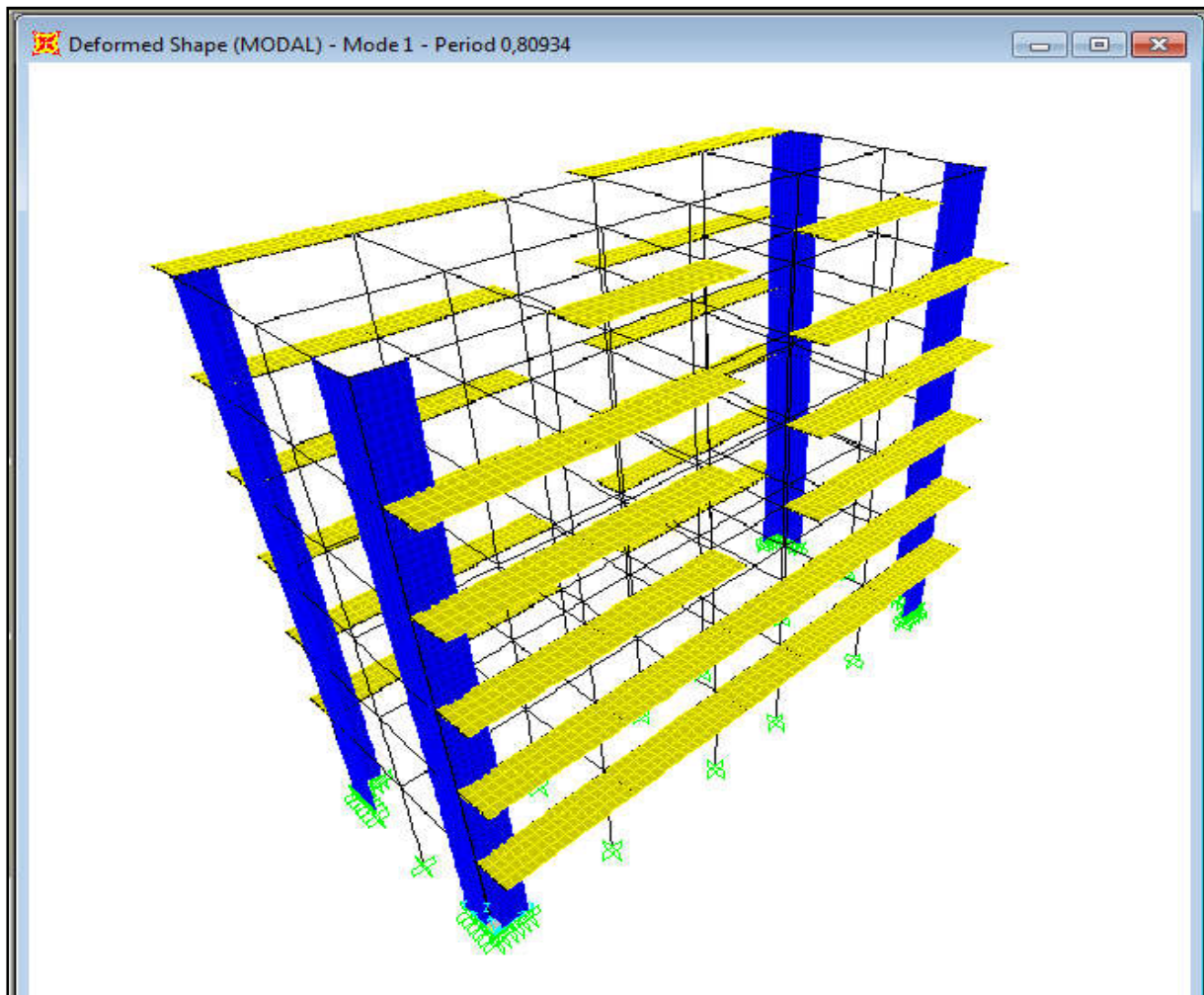
3,000	0,047
3,100	0,044
3,200	0,042
3,300	0,04
3,400	0,038
3,500	0,037
3,600	0,035
3,700	0,033
3,800	0,032
3,900	0,031
4,000	0,029
4,100	0,028
4,200	0,027
4,300	0,026
4,400	0,025
4,500	0,024
4,600	0,024
4,700	0,023
4,800	0,022
4,900	0,021
5,000	0,021

**Tableau (III.1) : Spectre de réponse de calcul sous forme de tableau**

#### III.5. Modélisation par SAP2000-V14 :

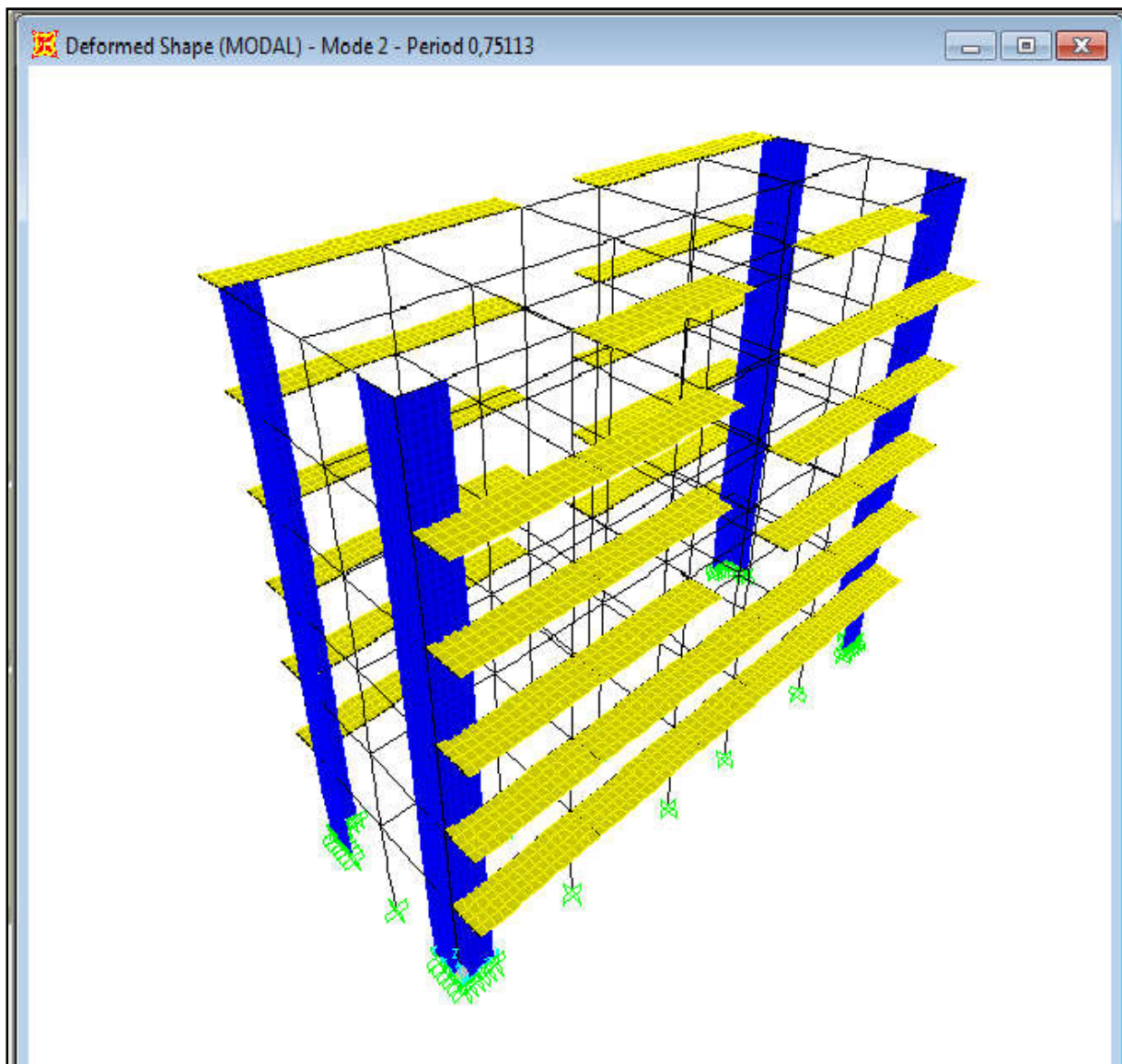
Le logiciel de calcul SAP est appliqué tout d'abord pour effectuer l'analyse modale afin de déterminer les fréquences et les modes propres de la structure, ensuite le calcul des efforts sismiques est mené sur la base de ces résultats et du spectre de réponse fourni par le code RPA. Par ailleurs, l'amplitude 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 du 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 :



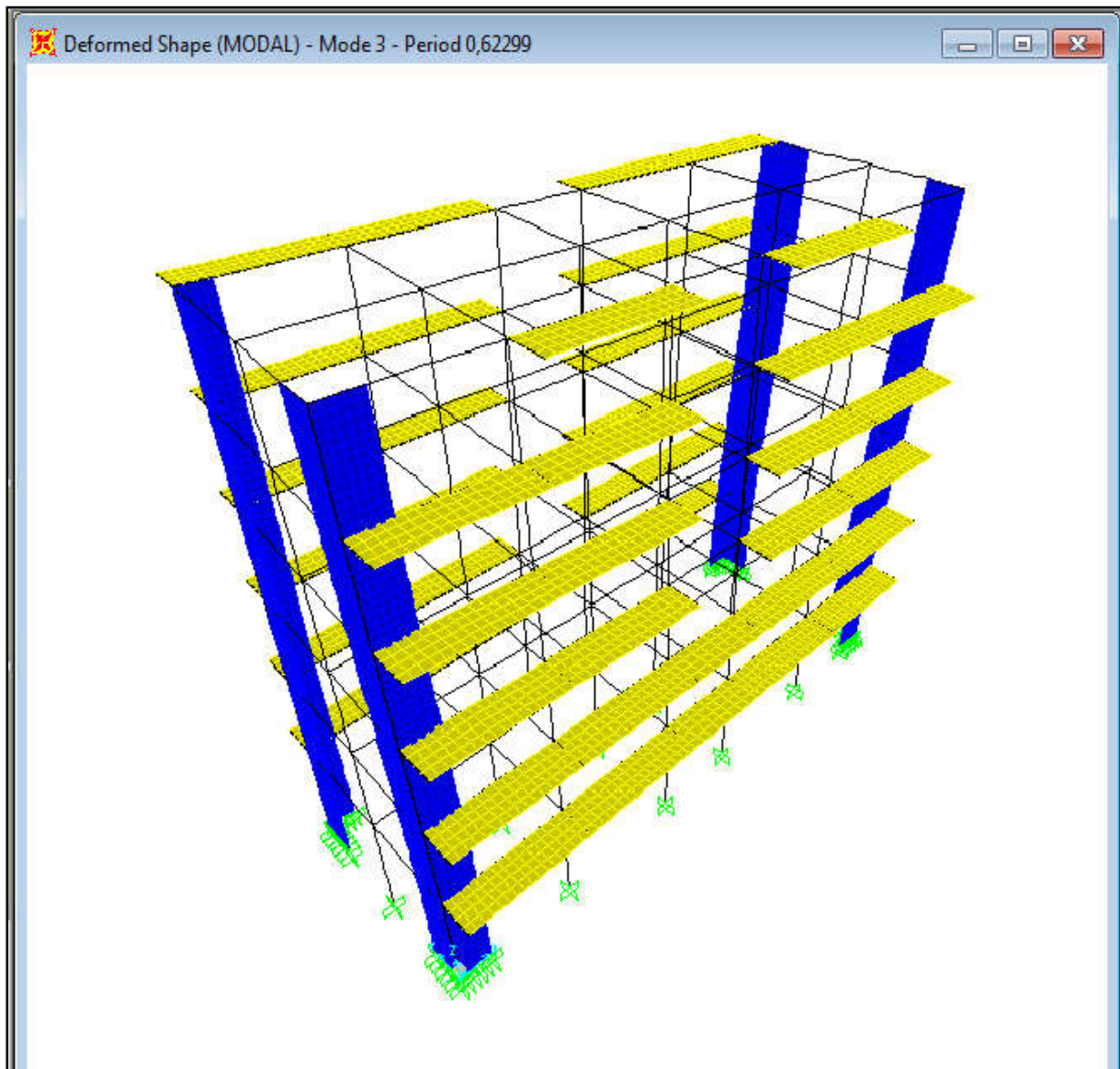
(Figure III.4) 1<sup>er</sup> mode de vibration  $T_1=0.81\text{sec}$  Translation selon YY

Avec masse modale  $M_y=77\%M_{\text{structure}}$  et  $M_x=0.06\%M_{\text{structure}}$



**(Figure III.5) 2<sup>me</sup> mode de vibration  $T_2=0.75\text{sec}$  Translation selon XX**

**Avec masse modale  $M_x=79\%M_{\text{structure}}$  et  $M_y=0.06\%M_{\text{structure}}$**



(Figure III.6) 3<sup>me</sup> mode de vibration  $T_3=0.62\text{sec}$  Torsion d'axe vertical

Avec masse modale  $M_x=0.98\%M_{\text{structure}}$  et  $M_y=0.02\%M_{\text{structure}}$

#### III.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.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	<b>0,809342</b>	0,00058	<b>0,77128</b>	0,00058	0,77128
MODAL	Mode	2	0,751128	<b>0,78625</b>	0,00059	0,78684	0,77188
MODAL	Mode	3	0,622987	0,00983	0,0002	0,79666	0,77208
MODAL	Mode	4	0,228203	0,00347	0,1362	0,80013	0,90828
MODAL	Mode	5	0,222332	0,1159	0,00426	0,91603	0,91254
MODAL	Mode	6	0,171426	0,00114	0,00015	0,91717	0,91269
MODAL	Mode	7	0,11128	0,0391	0,00666	0,95628	0,91935
MODAL	Mode	8	0,108725	0,00637	0,04389	0,96265	0,96324
MODAL	Mode	9	0,081182	0,00024	0,00008645	0,96289	0,96333
MODAL	Mode	10	0,080235	0,000003416	0,00024	0,96289	0,96356
MODAL	Mode	11	0,079095	0,000002352	0,00056	0,9629	0,96412
MODAL	Mode	12	0,078314	0,000002594	0,00001052	<b>0,9629</b>	<b>0,96413</b>

Tableau (III.2) : Périodes et masses modales selon SAP

### III. Calcul par la méthode dynamique modale spectrale

---

On remarque que :

1.  $\sum UX = 96\% \geq 90\%$  et  $\sum UY = 96\% \geq 90\%$ .....**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.

#### III.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 :

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

#### III.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  $0.8 V/V_t$ .

<b>TABLE: Base Reactions</b>					
<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>StepType</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalFY</b>	<b>GlobalFZ</b>
Text	Text	Text	KN	KN	KN
EX	LinRespSpec	Max	<b>1992,16</b>	41,686	0,688
EY	LinRespSpec	Max	41,686	<b>1873,64</b>	9,836
G+0.2Q	Combination		-2,06E-09	7,62E-08	14839,6

**Tableau (III.3) : Réaction à la base de la structure**

$$V = \frac{A.D.Q}{R} W = 1795,59 \text{ kn}$$

$$V_{tx} = 1992,16 \text{ kn} > 0.8V = 1436,47 \text{ KN}$$

$$V_{ty} = 1873,64 \text{ kn} > 0.8V = 1436,47 \text{ KN}$$

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

#### III.9. Calcul des déplacements :

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

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

$\delta_{ek}$  : 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 :

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

*Etude comparative entre la méthode statique équivalente  
et la méthode modale spectrale pour l'évaluation  
des charges sismiques*

---

**Chapitre**

**IV**

*Discussions des sollicitations et des déplacements*

## IV. Discussions des sollicitations et des déplacements

### IV.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.

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

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
EX	<b>1992,16</b>	41,686	0,688	480,1843	<b>26300,1238</b>	8946,1424
EY	41,686	<b>1873,64</b>	9,836	<b>24982,7054</b>	469,1444	20032,3523

Tableau (IV.1) : Réactions à la base de la structure selon la méthode dynamique

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
EX	<b>-1795,59</b>	5,018E-08	-7,137E-10	-6,744E-07	<b>-24610,784</b>	6807,0095
EY	3,713E-08	<b>-1795,54</b>	3,407E-09	<b>24610,3219</b>	3,995E-07	-19481,608

Tableau (IV.2) : Réactions à la base de la structure selon la méthode statique

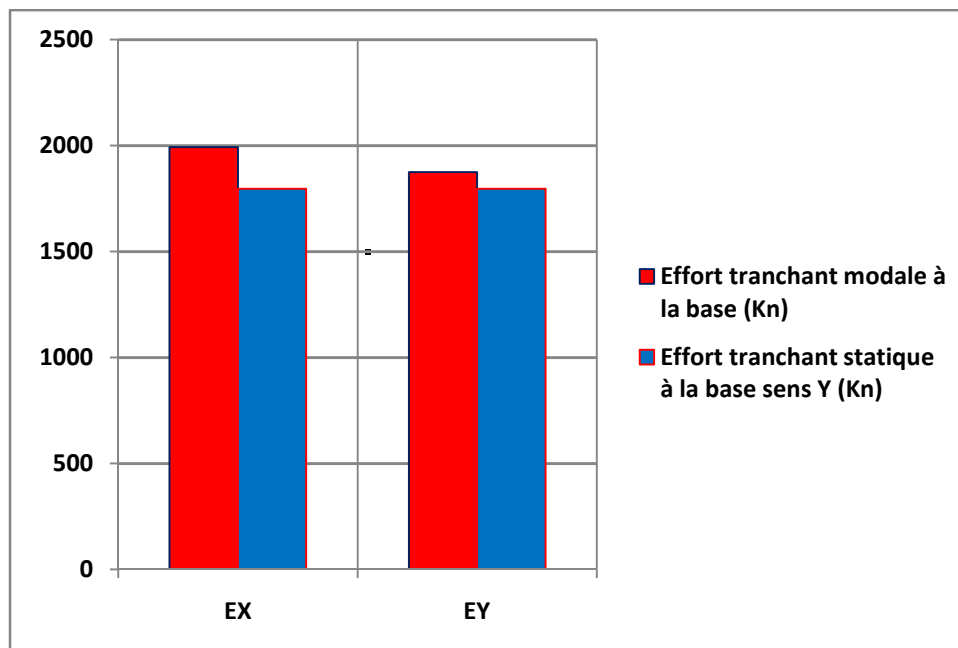
On remarque que les réactions sont très proche entres eux :

$$E_{x,statique}/E_{x,dynamique} = \mathbf{0.90} \dots \dots \dots \text{sens } x$$

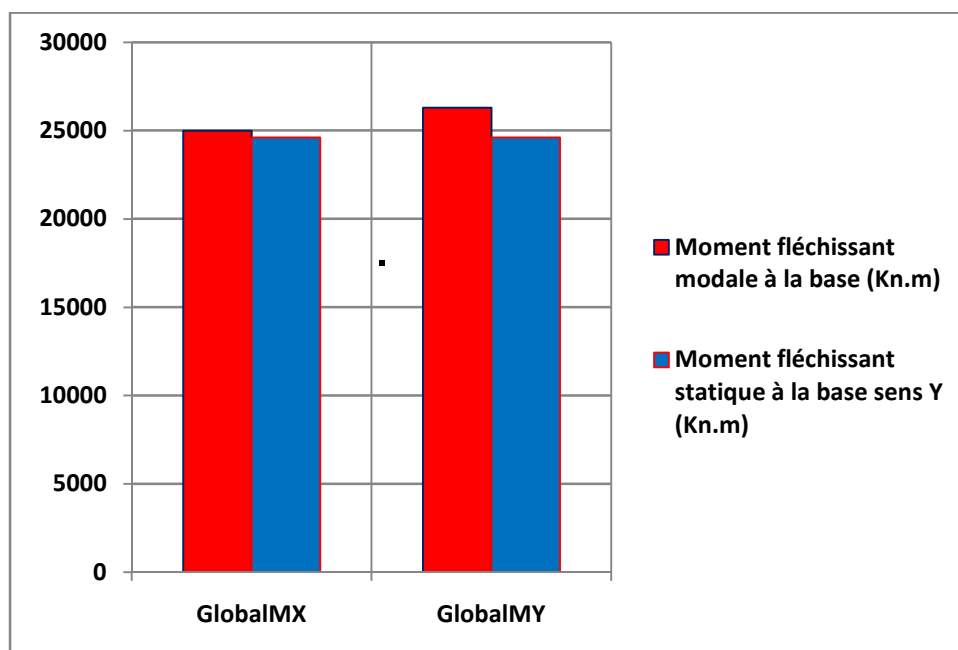
$$E_{y,statique}/E_{y,dynamique} = \mathbf{0.96} \dots \dots \dots \text{sens } y$$

$$M_{x,statique}/M_{x,dynamique} = \mathbf{0.99} \dots \dots \dots \text{sens } x$$

$$M_{y,statique}/M_{y,dynamique} = \mathbf{0.94} \dots \dots \dots \text{sens } y$$



(Figure IV.1) Comparaison des efforts tranchants à la base de la structure



(Figure IV.2) Comparaison des moments fléchissant à la base de la structure

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

**Remarque :**

Les efforts tranchants de la méthode modale sont tirés par SAP (on utilise le bouton **Draw section cut**), par contre les efforts tranchants statiques sont calculés manuellement.

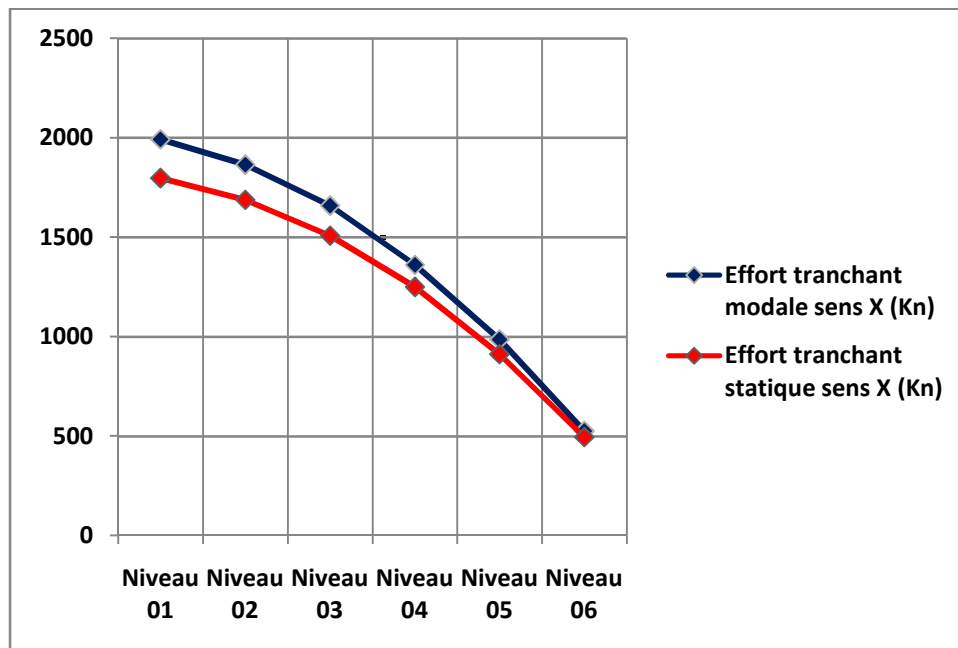
.....	Méthode statique		Méthode modale		...	.....
Niveaux	Fi (Kn)	Vi (Kn) (sens x et y)	Vi,x (Kn)	Vi,y (Kn)	Vi/Vi,x	Vi/Vi,y
Niveau 01	108,91	1795,59	1990,57	1871,15	<b>0,90</b>	<b>0,96</b>
Niveau 02	179,87	1686,68	1863,30	1752,27	<b>0,91</b>	<b>0,96</b>
Niveau 03	258,02	1506,81	1657,05	1563,34	<b>0,91</b>	<b>0,96</b>
Niveau 04	337,29	1248,79	1360,17	1294,07	<b>0,92</b>	<b>0,97</b>
Niveau 05	417,17	911,50	986,00	952,50	<b>0,92</b>	<b>0,96</b>
Niveau 06	494,33	494,33	524,66	517,17	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>

**Tableau (IV.3) : Efforts tranchants aux niveaux des étages**

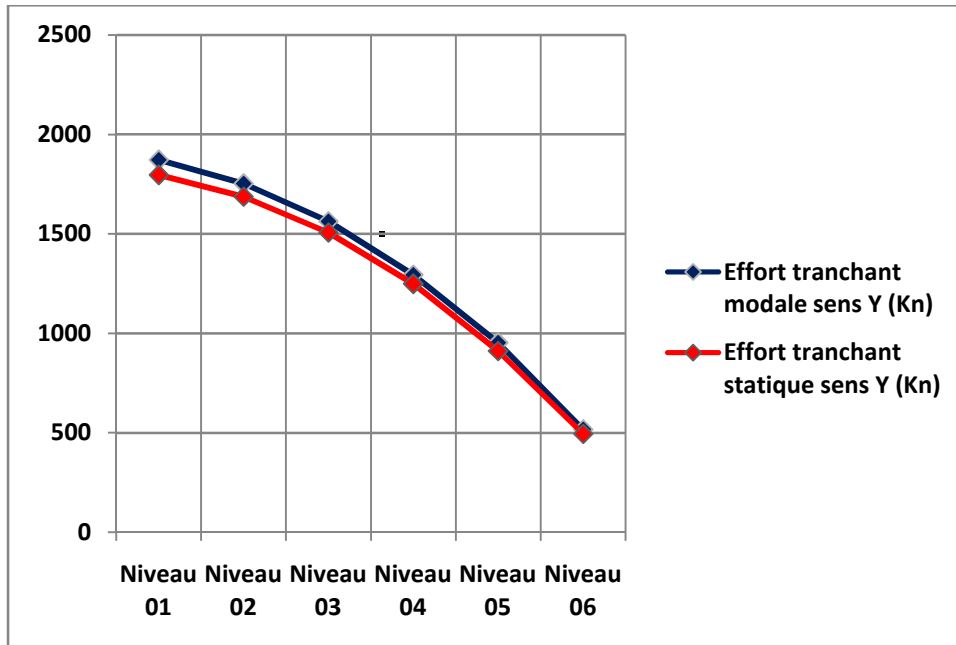
On remarque clairement la ressemblance entre les efforts tranchants :

$$0.90 \leq V_i/V_{i,x} \leq 0.94 \dots \dots \dots \text{sens x}$$

$$0.96 \leq V_i/V_{i,y} \leq 0.97 \dots \dots \dots \text{sens y}$$



**(Figure IV.3) Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens X**



(Figure IV.4) Comparaison des efforts tranchants aux niveaux des étages sens Y

**IV.4. Moments fléchissant aux niveaux des étages :**

**Remarque :**

Les moments fléchissant modales et statiques sont calculés par SAP (on utilise toujours le bouton **Draw section cut**).

Les résultats sont représentés dans ce tableau :

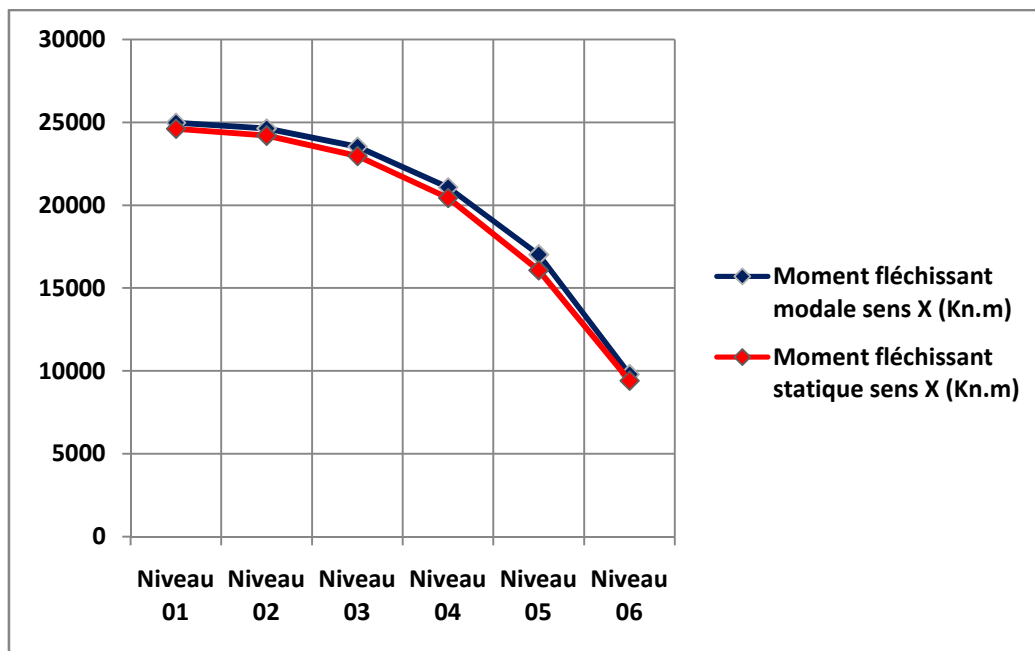
.....	méthode statique		méthode modale		comparaison	
Niveaux	Mx	My	Mtx	Mty	Mx/Mtx	My/Mty
Niveau 01	24609,99	24610,75	24971,14	26290,30	<b>0,99</b>	<b>0,94</b>
Niveau 02	24194,16	24203,21	24632,60	25939,38	<b>0,98</b>	<b>0,93</b>
Niveau 03	22971,65	22979,30	23521,15	24687,28	<b>0,98</b>	<b>0,93</b>
Niveau 04	20436,11	20436,21	21076,40	21998,62	<b>0,97</b>	<b>0,93</b>
Niveau 05	16076,44	16076,58	17011,21	17412,20	<b>0,95</b>	<b>0,92</b>
Niveau 06	9410,91	9412,04	9786,85	10057,86	<b>0,96</b>	<b>0,94</b>

**Tableau (IV.4) : Moments fléchissant aux niveaux des étages**

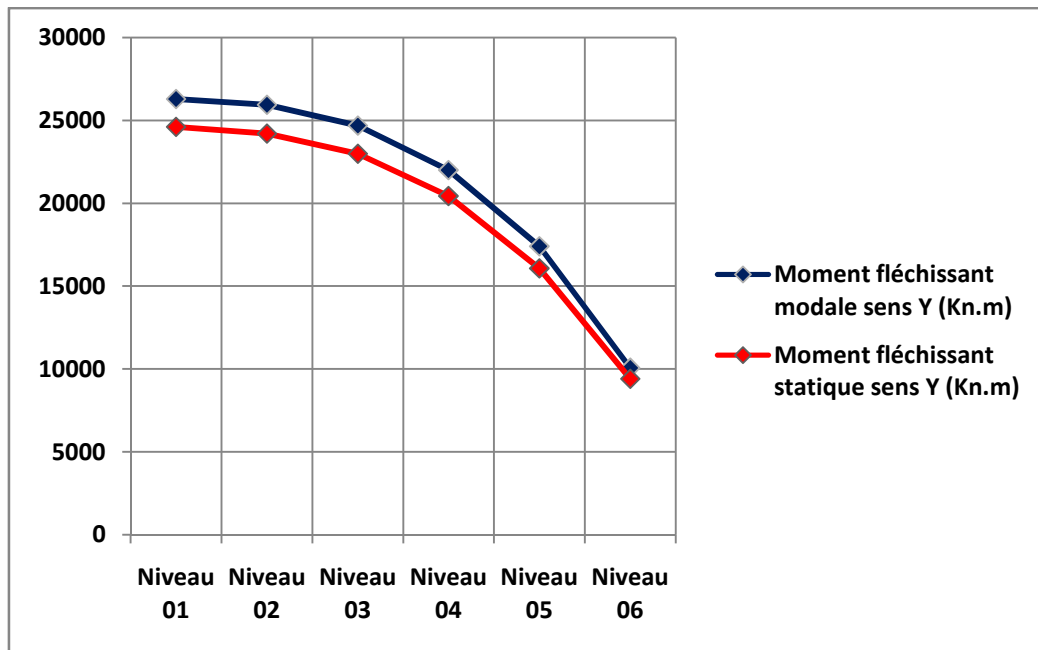
Même que les efforts tranchants, on remarque clairement la ressemblance entre les moments fléchissant :

$$0.95 \leq M_x/M_{tx} \leq 0.99 \dots \dots \dots \text{sens x}$$

$$0.92 \leq M_y/M_{ty} \leq 0.94 \dots \dots \dots \text{sens y}$$



**(Figure IV.5) Comparaison des moments fléchissant sens X**



(Figure IV.6) Comparaison des moments fléchissant sens Y

### IV.5. Déplacements aux niveaux des étages :

#### IV.5.1. Déplacements des étages sens X :

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

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

$\delta_{ek}$  : 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 :

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

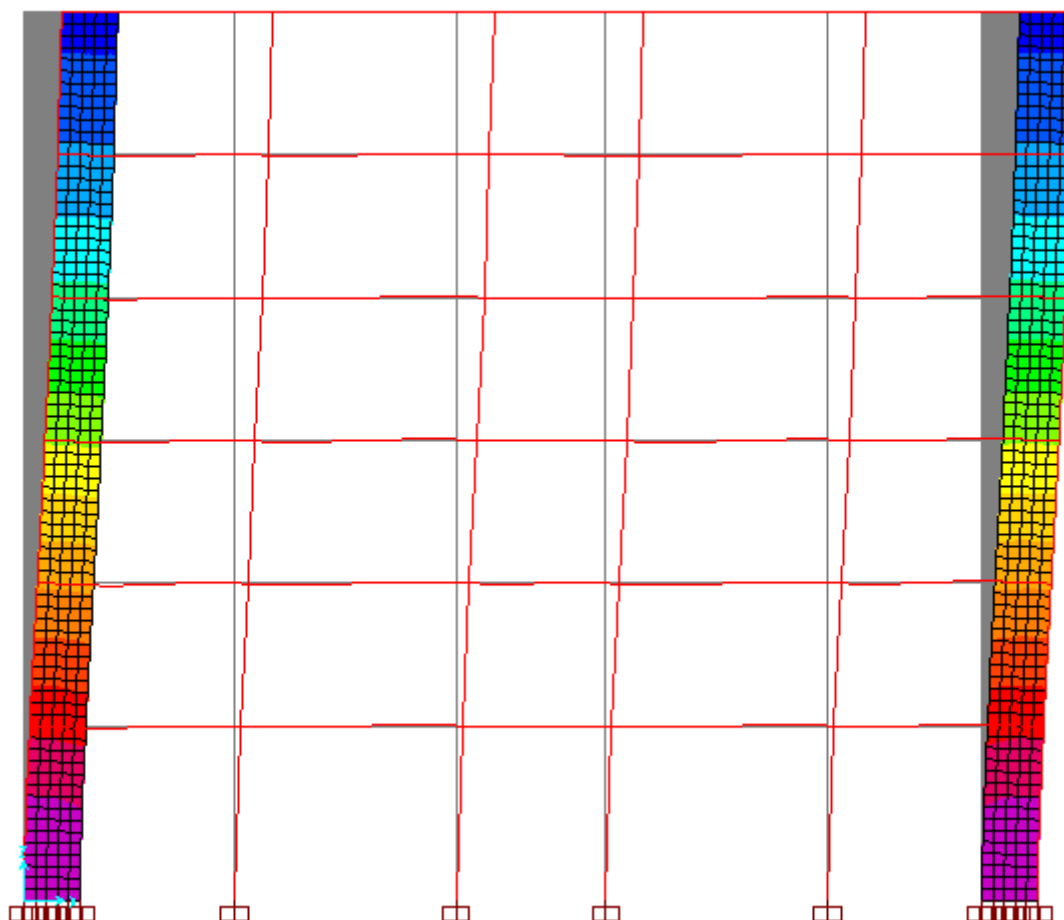
Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

Niveaux	déplacements $\delta_{ek}$	déplacements $\delta_k$ (cm)
Niveau 01	0,0031	1,6
Niveau 02	0,0071	3,6
Niveau 03	0,0113	5,7
Niveau 04	0,0150	7,5
Niveau 05	0,0180	9,0
Niveau 06	0,0202	10,1

**Tableau (IV.5) : Déplacements des étages selon la méthode statique sens X**

Niveaux	déplacements $\delta_{ek}$	déplacements $\delta_k$ (cm)
Niveau 01	0,0031	1,6
Niveau 02	0,0071	3,6
Niveau 03	0,0113	5,7
Niveau 04	0,0150	7,5
Niveau 05	0,0180	9,0
Niveau 06	0,0202	10,1

**Tableau (IV.6) : Déplacements des étages selon la méthode modale sens X**



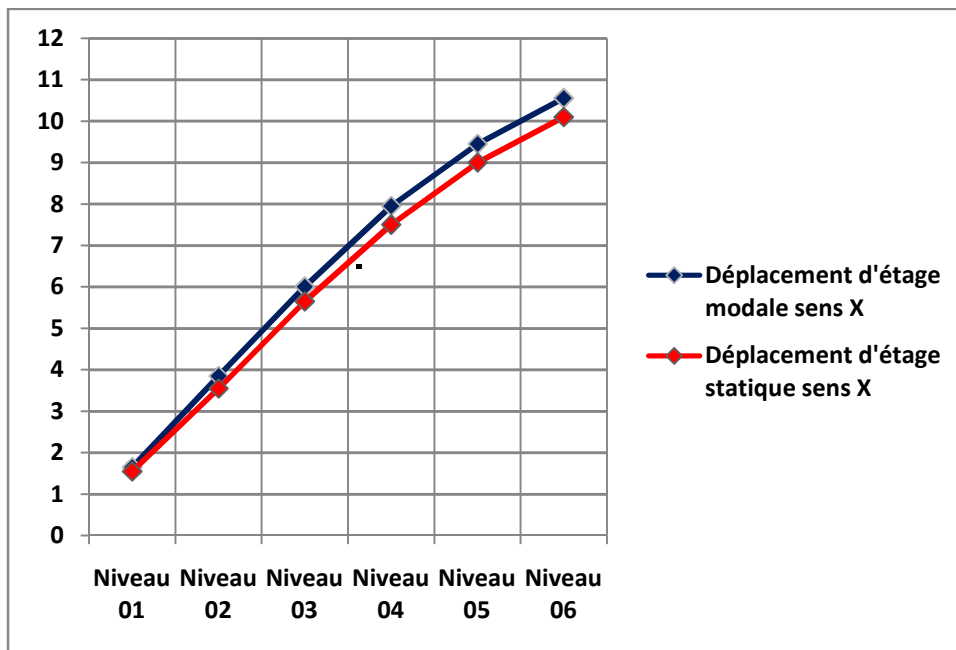
(Figure IV.7) Déplacements des étages sens X

Niveaux	déplacements $\delta k \text{ stat}$ (cm)	déplacements $\delta k \text{ dyn}$ (cm)	$\delta k \text{ stat}/\delta k \text{ dyn}$
Niveau 01	1,6	1,7	<b>0,94</b>
Niveau 02	3,6	3,9	<b>0,92</b>
Niveau 03	5,7	6,0	<b>0,94</b>
Niveau 04	7,5	8,0	<b>0,94</b>
Niveau 05	9,0	9,5	<b>0,95</b>
Niveau 06	10,1	10,6	<b>0,96</b>

Tableau (IV.7) Comparaison des déplacements des étages sens X

Même que les sollicitations, on remarque clairement la ressemblance entre les déplacements des étages :

$$0.92 \leq \delta_{k,stat}/\delta_{k,dyn} \leq 0.96 \dots \dots \dots \text{sens x}$$



(Figure IV.8) Comparaison des déplacements des étages sens X

#### IV.5.2. Déplacements des étages sens Y :

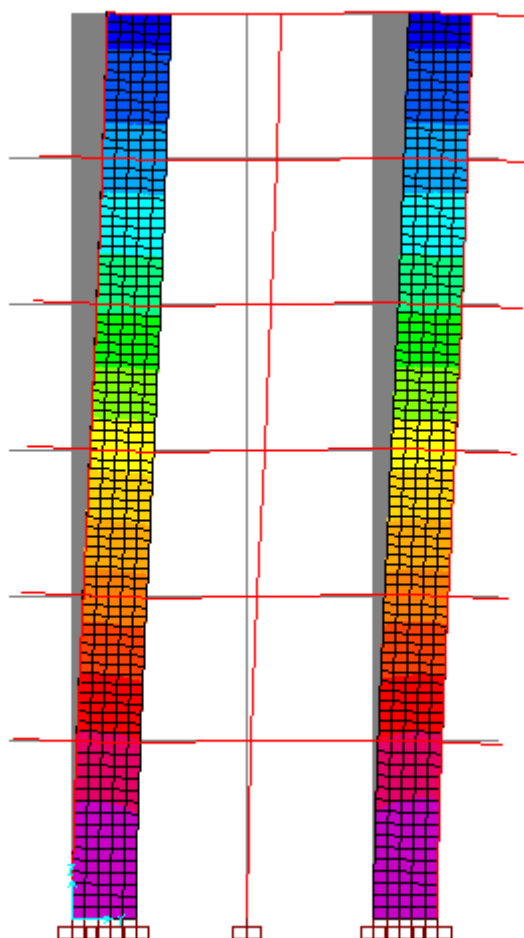
Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

Niveaux	déplacements $\delta_{ek}$	déplacements $\delta_k$ (cm)
Niveau 01	0,0031	1,6
Niveau 02	0,0076	3,8
Niveau 03	0,0125	6,3
Niveau 04	0,0172	8,6
Niveau 05	0,0212	10,6
Niveau 06	0,0245	12,3

Tableau (IV.8) : Déplacements des étages selon la méthode statique sens Y

Niveaux	déplacement $\delta_{ek}$	déplacements $\delta_k$ (cm)
Niveau 01	0,0032	1,6
Niveau 02	0,0077	3,9
Niveau 03	0,0126	6,3
Niveau 04	0,0173	8,7
Niveau 05	0,0212	10,6
Niveau 06	0,0244	12,2

Tableau (IV.9) : Déplacements des étages selon la méthode modale sens Y



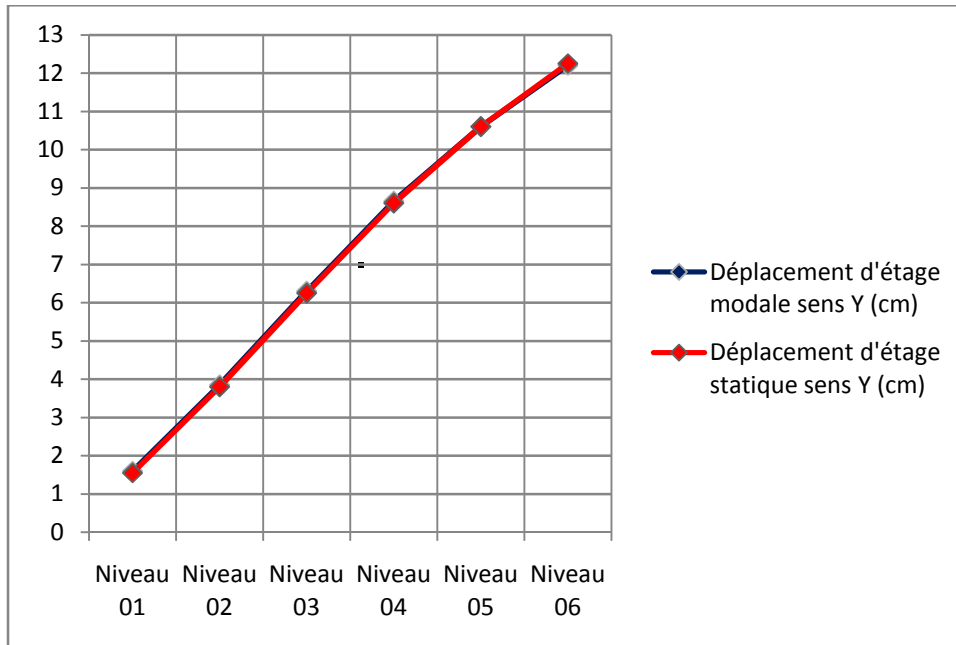
(Figure IV.9) Déplacements des étages sens Y

Niveaux	déplacements $\delta k \text{ stat}$ (cm)	déplacements $\delta k \text{ dyn}$ (cm)	$\delta k \text{ stat}/\delta k \text{ dyn}$
Niveau 01	1,6	1,6	<b>0,97</b>
Niveau 02	3,8	3,9	<b>0,99</b>
Niveau 03	6,3	6,3	<b>0,99</b>
Niveau 04	8,6	8,7	<b>0,99</b>
Niveau 05	10,6	10,6	<b>1,00</b>
Niveau 06	12,3	12,2	<b>1,00</b>

Tableau (IV.10) Comparaison des déplacements des étages sens Y

Même que les sollicitations, on remarque clairement la ressemblance entre les déplacements des étages :

$$0.97 \leq \delta_{k,stat}/\delta_{k,dyn} \leq 1.00 \dots \dots \dots \text{sens y}$$



**(Figure IV.10) Comparaison des déplacements des étages sens Y**

**(les courbes sont coïncides entres eux ;  $\delta k_{dyn} \approx \delta k_{stat}$ )**

**IV.6. Sollicitations aux niveaux des poteaux :**

**IV.6.1. Moments fléchissant dans les poteaux :**

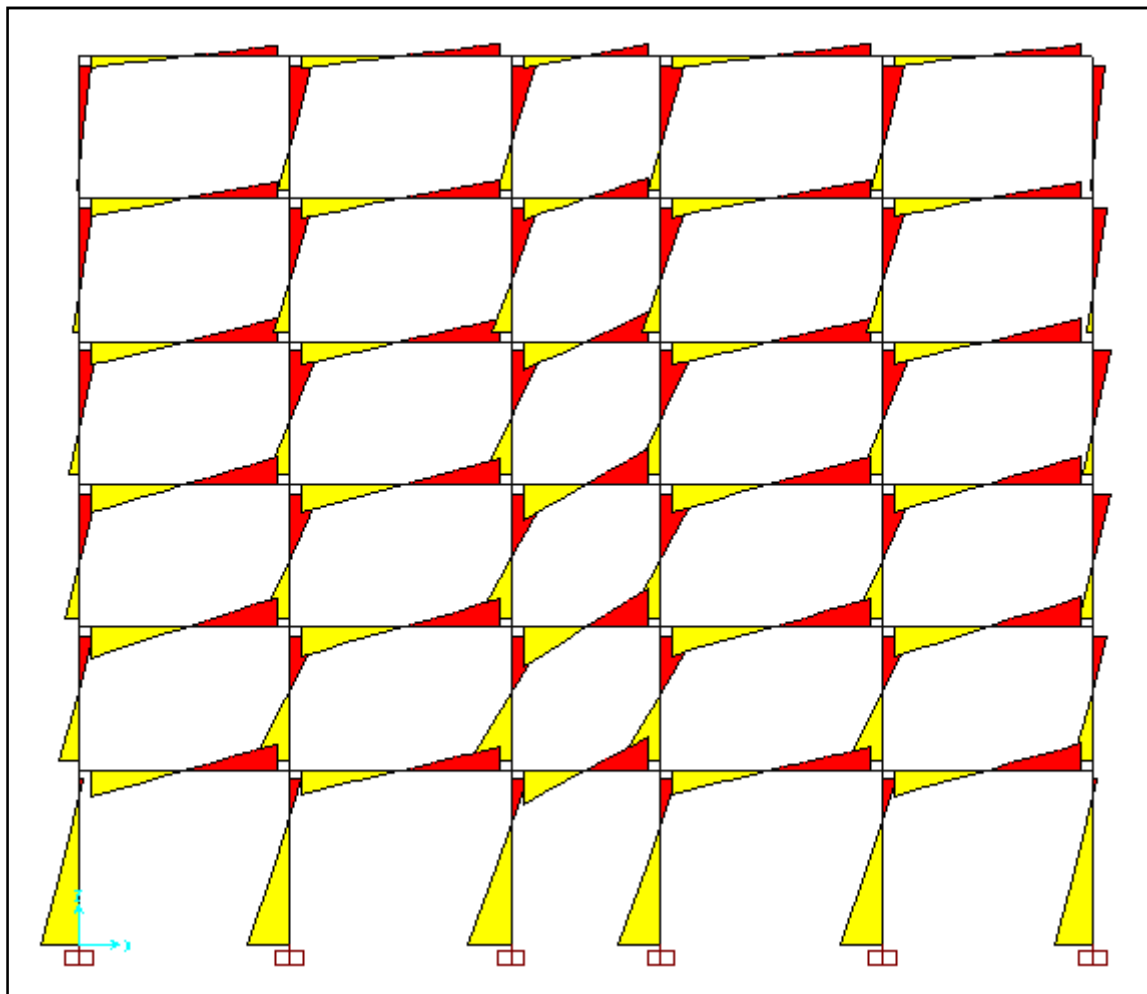
On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes (valeurs positives et négatives), Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>					
Niveau	Station	OutputCase	CaseType	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN-m	KN-m
01	0	EX	LinStatic	4,2634	136,3836
01	0	EY	LinStatic	149,8108	1,9066
02	0,2	EX	LinStatic	2,6375	139,6863
02	0,2	EY	LinStatic	166,9798	-0,1777
03	0,2	EY	LinStatic	154,2407	0,5838
03	2,86	EX	LinStatic	-3,218	-123,6833
04	2,86	EY	LinStatic	-152,823	-0,7994
04	2,86	EX	LinStatic	-3,1118	-116,7654
05	2,86	EY	LinStatic	-121,094	-0,802
05	2,86	EX	LinStatic	-2,6684	-90,9189
06	2,86	EY	LinStatic	-147,439	-1,3338
06	2,86	EX	LinStatic	1,6618	-88,2929

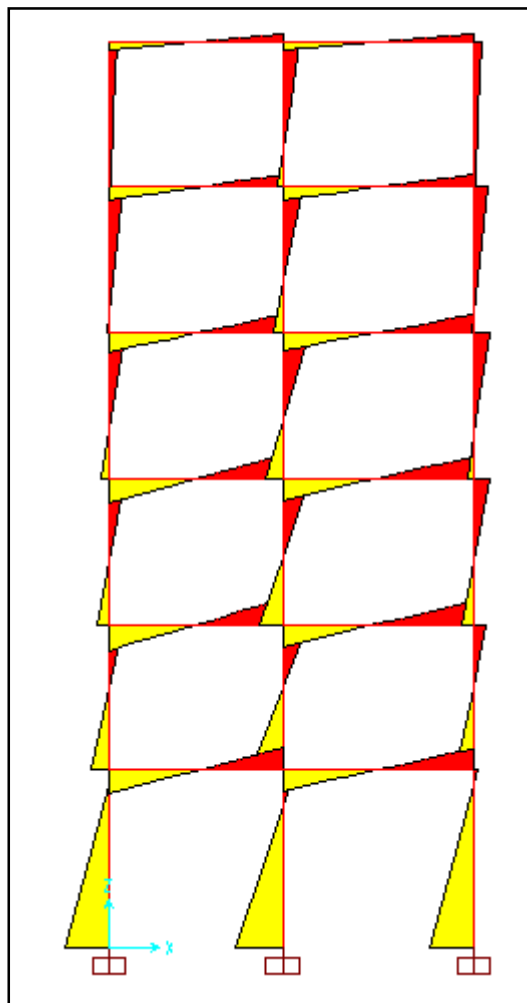
**Tableau (IV.11) Moments fléchissant dans les poteaux selon la méthode statique**

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>					
Niveau	Station	OutputCase	CaseType	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN-m	KN-m
01	0	EX	LinRespSpec	10,9008	153,3123
01	0	EY	LinRespSpec	156,3884	3,4913
02	0,2	EX	LinRespSpec	4,1186	154,8074
02	0,2	EY	LinRespSpec	173,4173	1,2082
03	2,86	EX	LinRespSpec	3,5453	136,3498
03	2,86	EY	LinRespSpec	160,0969	1,4791
04	2,86	EX	LinRespSpec	3,6569	128,0596
04	2,86	EY	LinRespSpec	158,3736	1,555
05	2,86	EX	LinRespSpec	3,3814	97,7156
05	2,86	EY	LinRespSpec	125,6187	1,3881
06	2,86	EX	LinRespSpec	2,842	96,3927
06	2,86	EY	LinRespSpec	151,2379	1,7185

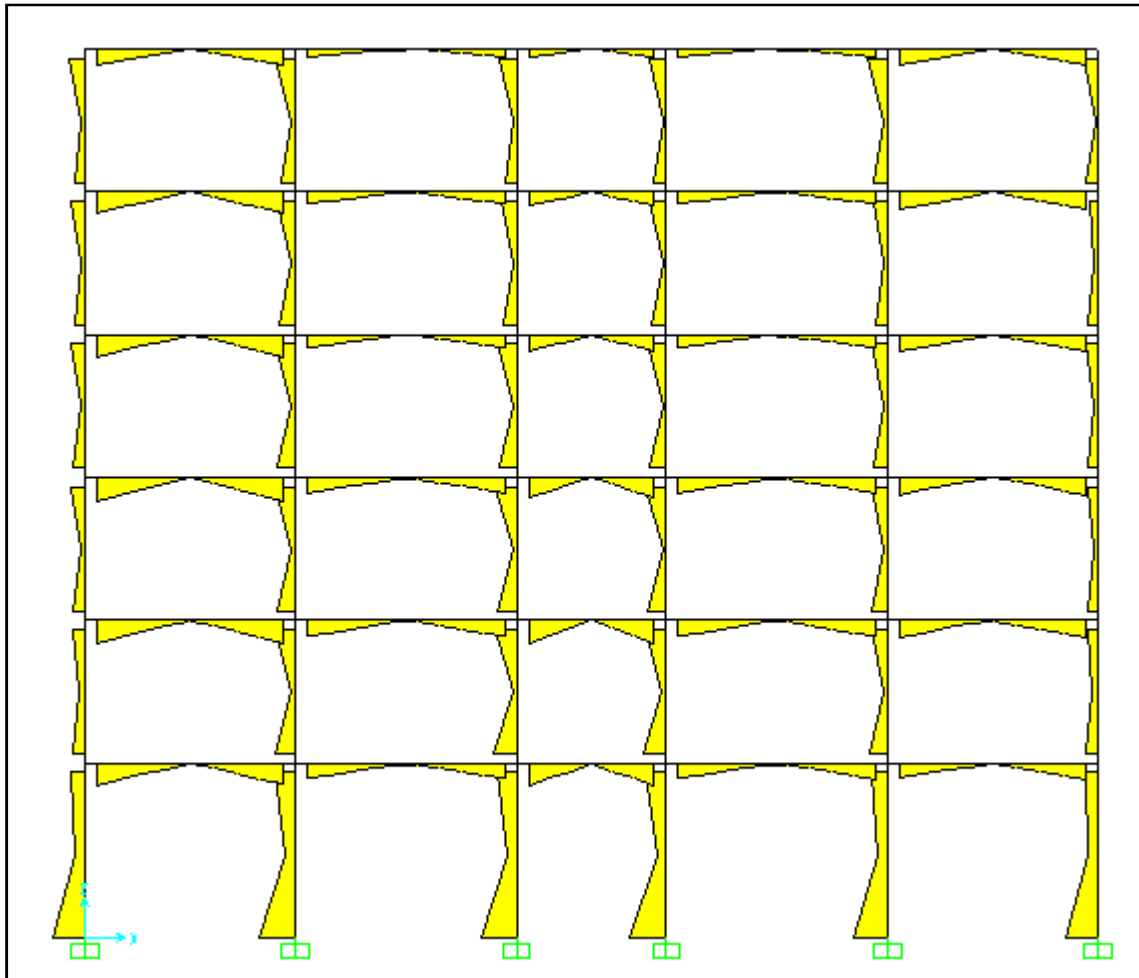
**Tableau (IV.12) Moments fléchissant dans les poteaux selon la méthode modale**



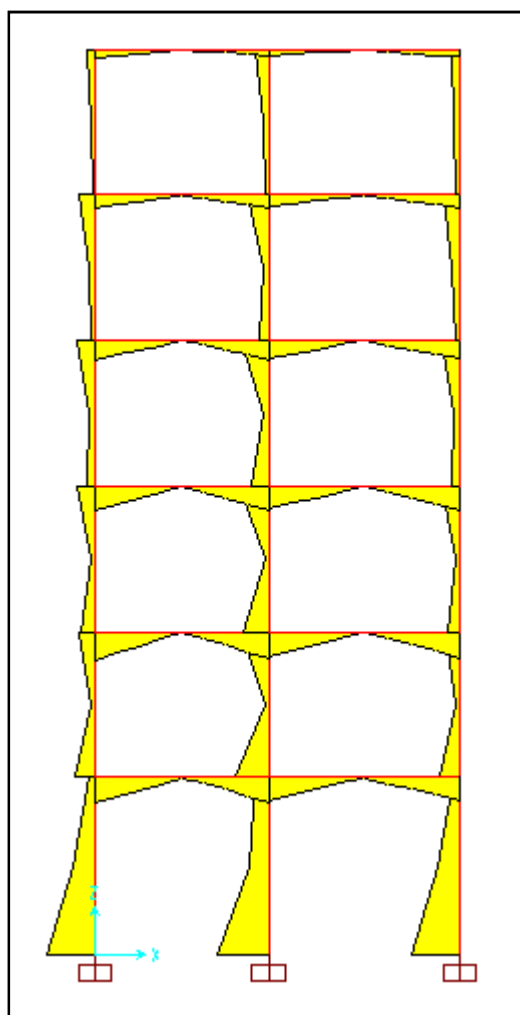
(Figure IV.11) Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode statique sens EX



(Figure IV.12) Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode statique sens EY

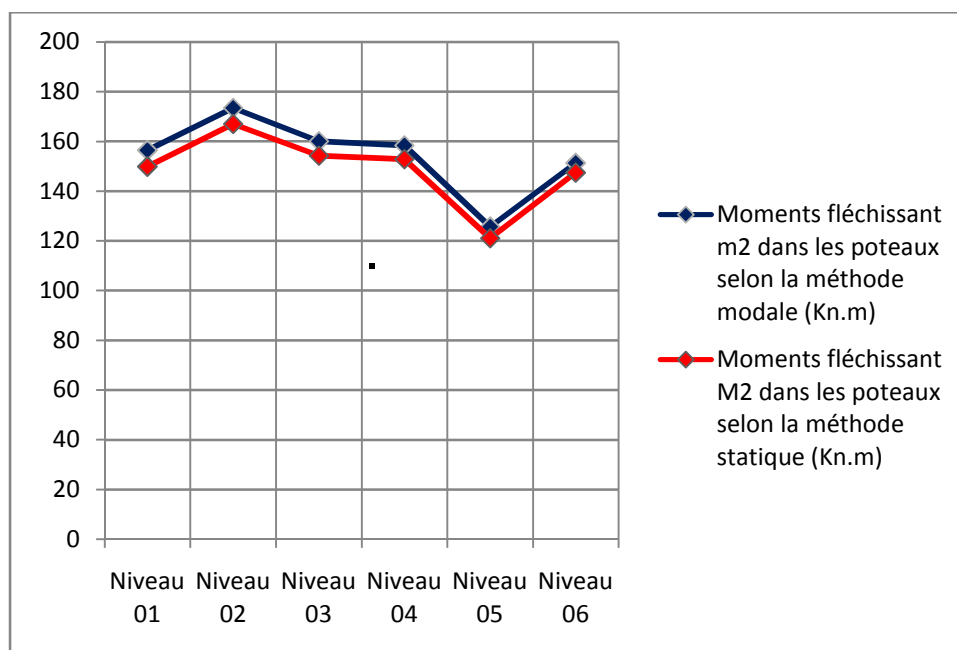


(Figure IV.13) Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode modale sens EX

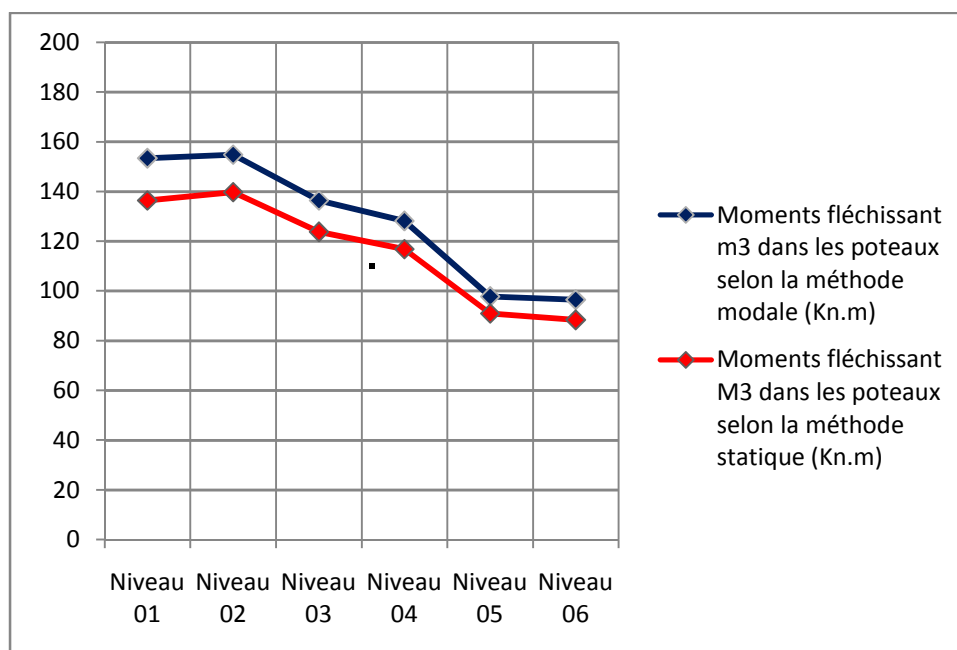


(Figure IV.14) Moments fléchissant dans les portiques selon la méthode modale sens EY

#### IV. Discussions des sollicitations et des déplacements



(Figure IV.15) Comparaison des moments fléchissant  $M_2$  dans les poteaux



(Figure IV.16) Comparaison des moments fléchissant  $M_3$  dans les poteaux

**IV.6.2. Efforts normaux dans les poteaux :**

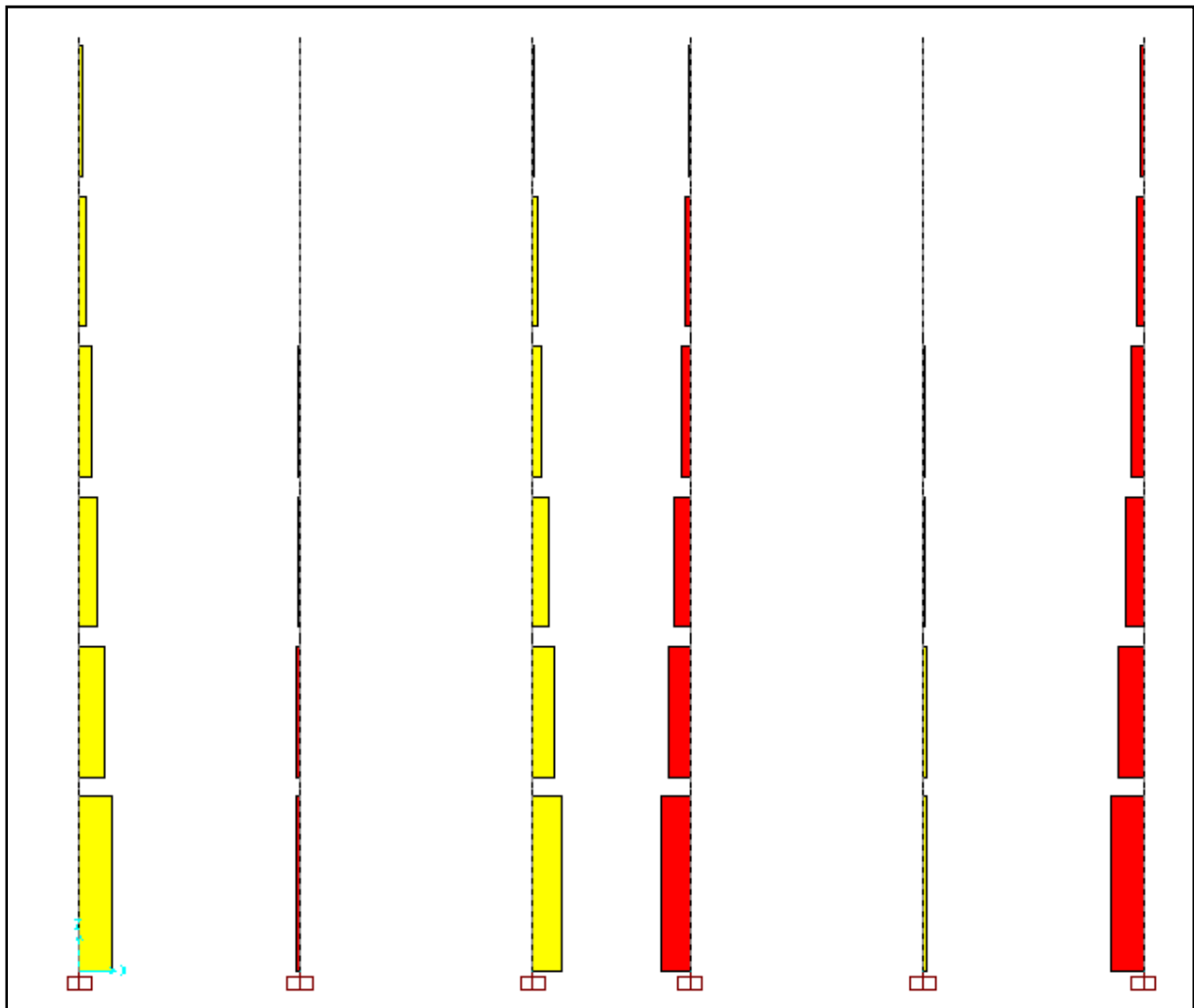
On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes, Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
<b>Niveau</b>	<b>Station</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>P</b>
Text	m	Text	Text	KN
01	0	EX	LinStatic	1092,526
02	2,805	EY	LinStatic	414,035
03	2,805	EY	LinStatic	184,572
04	2,805	EX	LinStatic	117,82
05	2,805	EX	LinStatic	150,00
06	0,255	EX	LinStatic	125,66

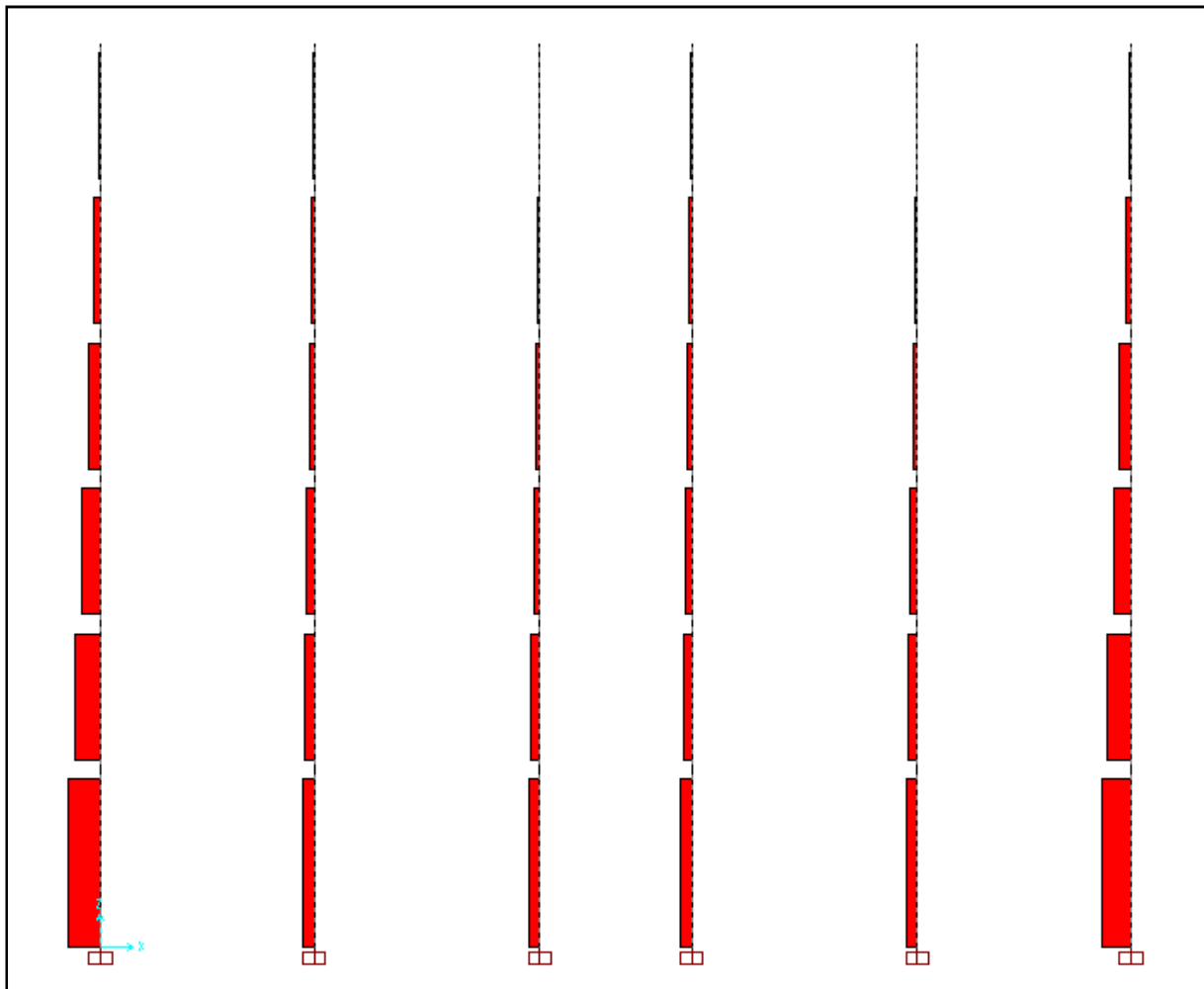
**Tableau (IV.13) Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode statique**

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
<b>Niveau</b>	<b>Station</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>P</b>
Text	m	Text	Text	KN
01	0	EX	LinRespSpec	1212,987
02	2,805	EY	LinRespSpec	430,787
03	2,805	EY	LinRespSpec	212,161
04	2,55	EX	LinRespSpec	152,442
05	0,2	EX	LinRespSpec	114,311
06	0,2	EX	LinRespSpec	149,118

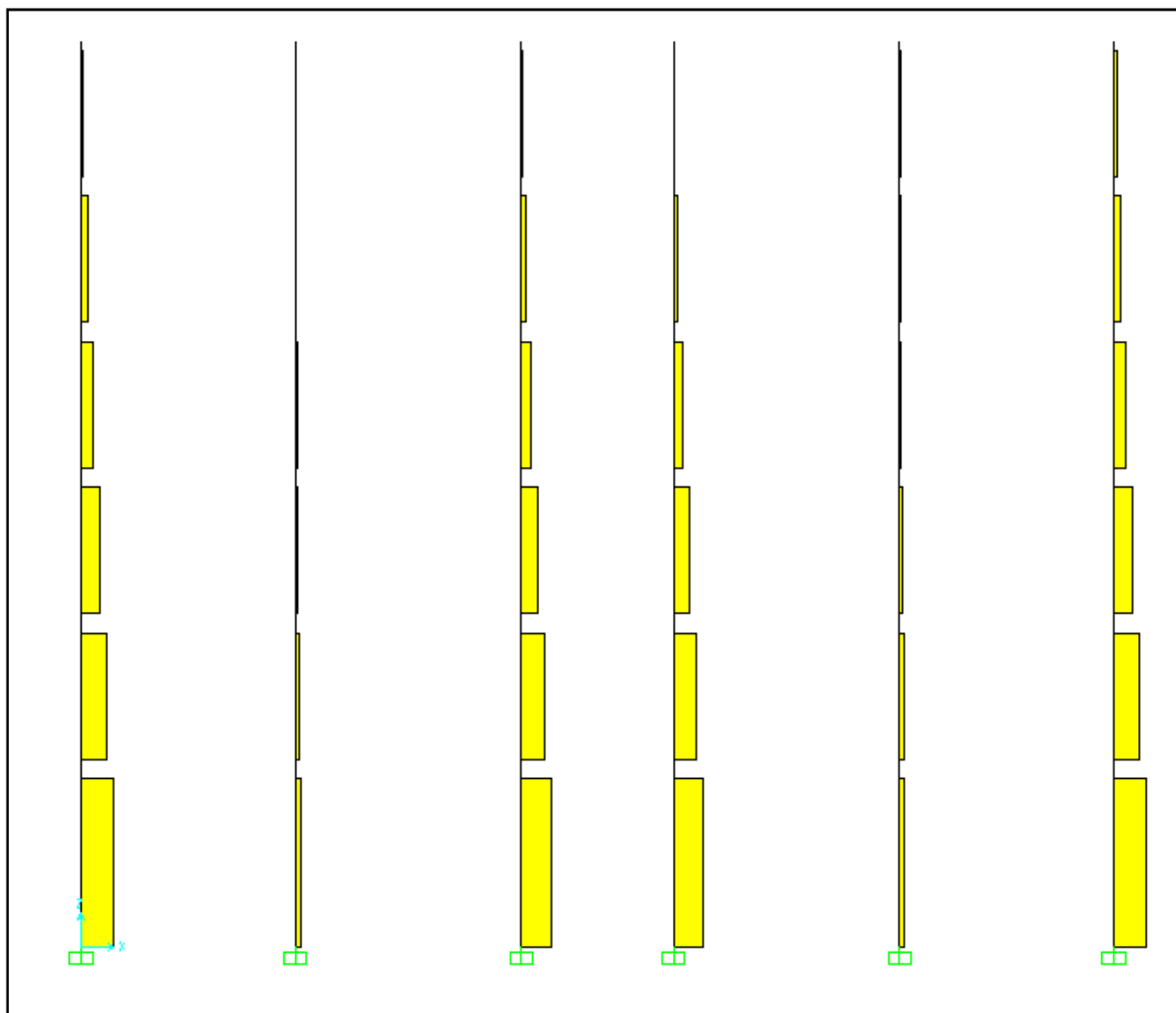
**Tableau (IV.14) Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode modale**



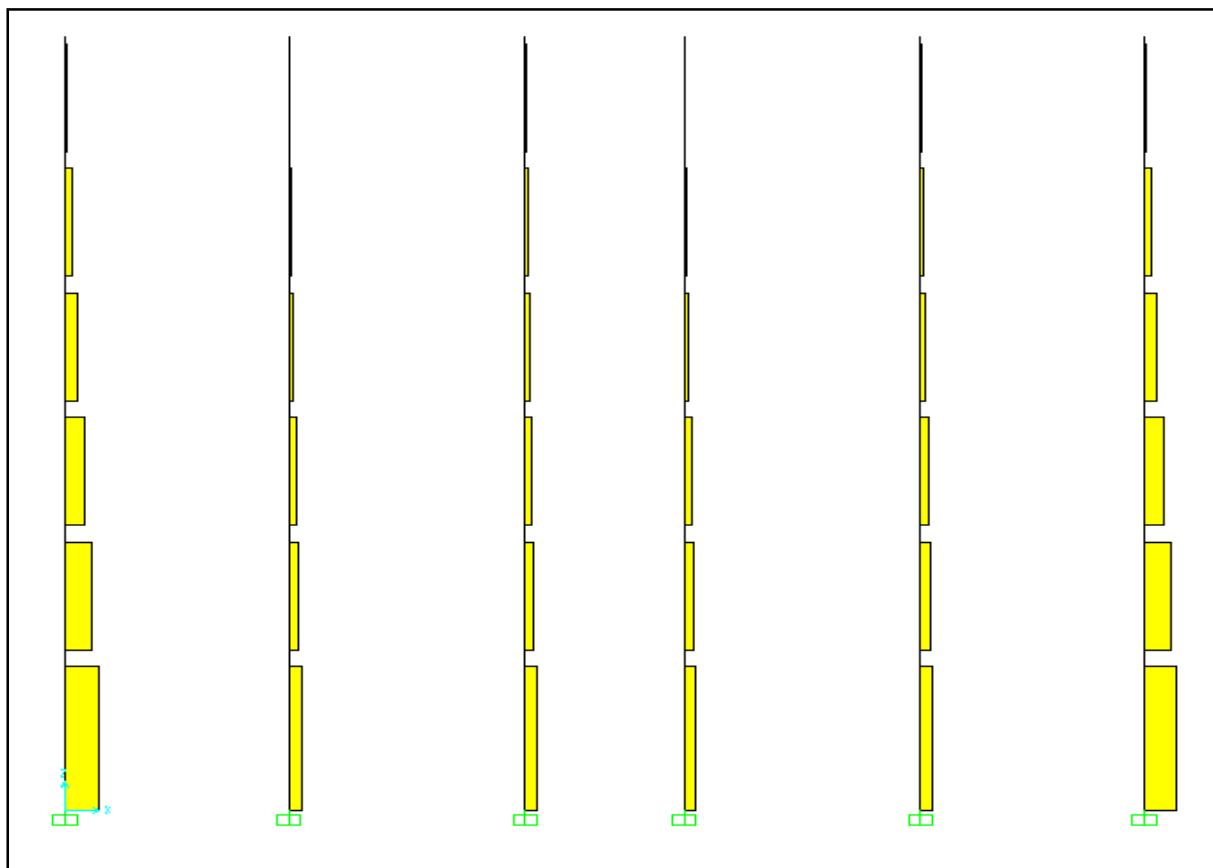
(Figure IV.17) Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode statique sens EX



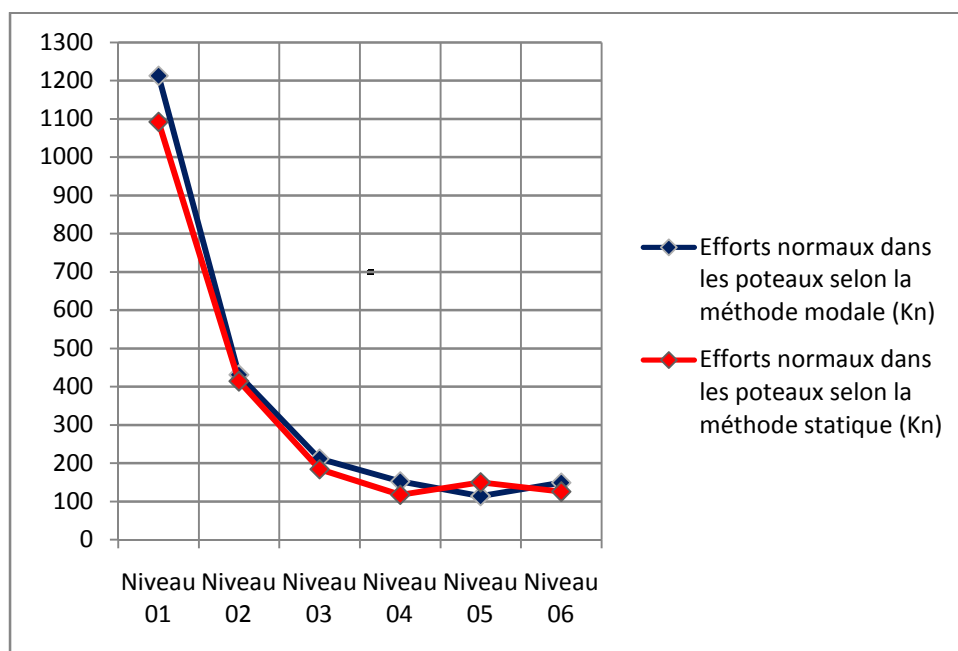
(Figure IV.18) Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode statique sens EY



**(Figure IV.19) Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode modale sens EX**



(Figure IV.20) Efforts normaux dans les poteaux selon la méthode modale sens EY



(Figure IV.21) Comparaison des efforts normaux dans les poteaux

**IV.6.3. Efforts tranchants dans les poteaux :**

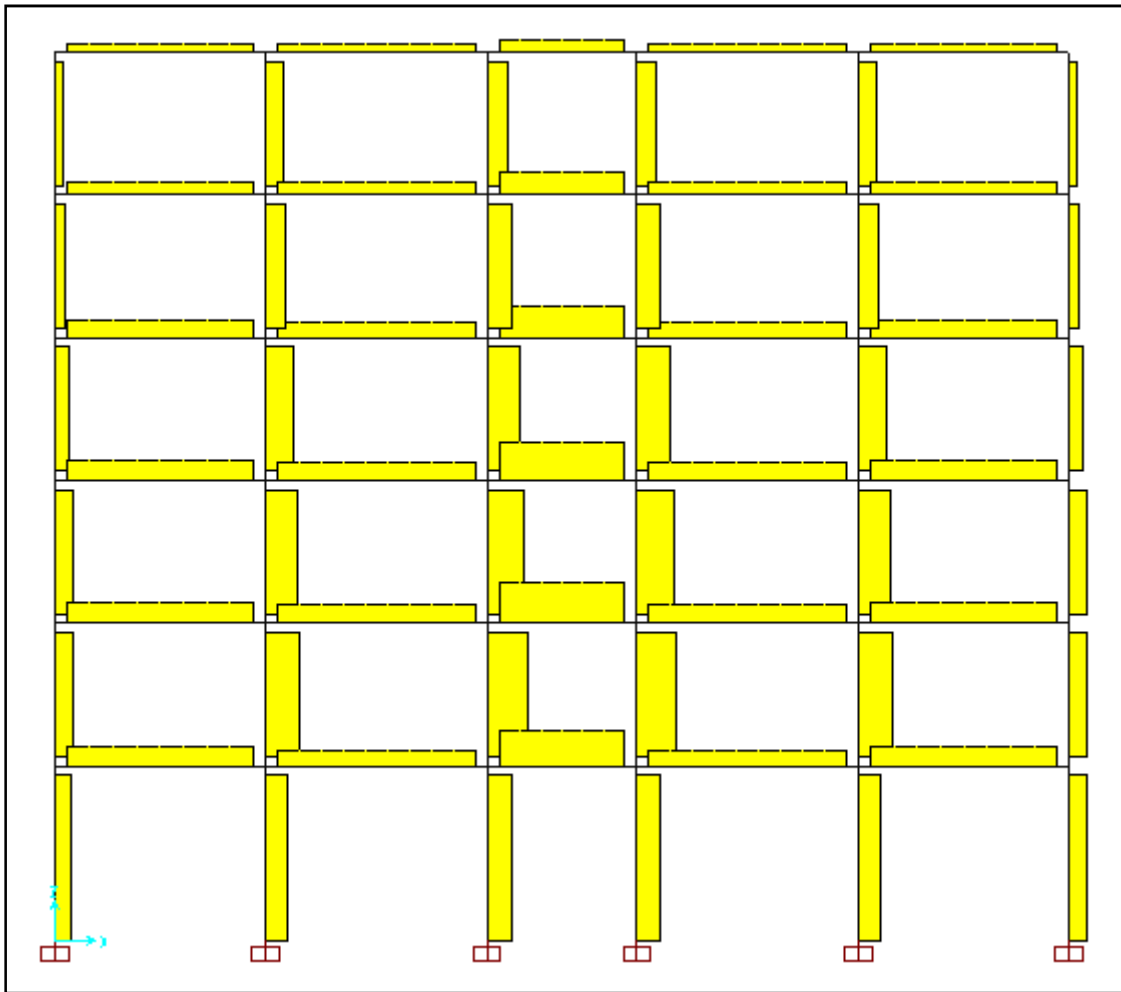
On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes, Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>					
Niveau	Station	OutputCase	CaseType	V2	V3
Text	m	Text	Text	KN	KN
01	0	EY	LinStatic	0,908	61,259
01	0	EX	LinStatic	85,93	-2,841
02	0,2	EY	LinStatic	0,165	114,183
02	0,2	EX	LinStatic	96,739	2,132
03	0,2	EY	LinStatic	0,481	115,875
03	0,2	EX	LinStatic	90,113	2,13
04	0,2	EY	LinStatic	0,568	109,215
04	0,2	EX	LinStatic	80,948	1,892
05	0,2	EY	LinStatic	0,585	85,679
05	0,2	EX	LinStatic	60,729	1,571
06	0,2	EY	LinStatic	0,802	91,528
06	0,2	EX	LinStatic	53,226	1,359

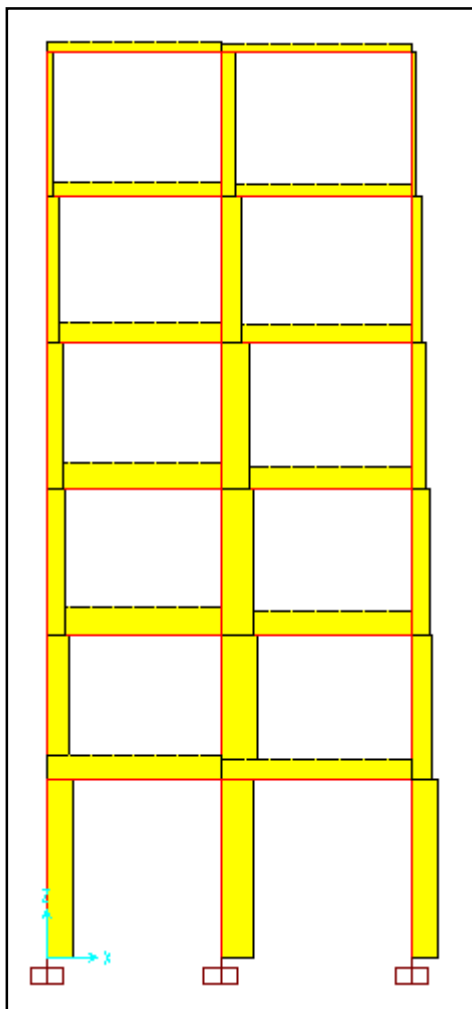
**Tableau (IV.15) Efforts tranchants dans les poteaux selon la méthode statique**

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>					
Niveau	Station	OutputCase	CaseType	V2	V3
Text	m	Text	Text	KN	KN
01	0	EY	LinRespSpec	1,397	64,176
01	0	EX	LinRespSpec	94,766	4,3
02	0,2	EY	LinRespSpec	0,854	118,75
02	0,2	EX	LinRespSpec	104,068	3,912
03	0,2	EY	LinRespSpec	1,004	120,201
03	0,2	EX	LinRespSpec	95,95	4,231
04	0,2	EY	LinRespSpec	0,977	113,058
04	0,2	EX	LinRespSpec	85,097	3,714
05	0,2	EY	LinRespSpec	0,889	88,774
05	0,2	EX	LinRespSpec	63,012	2,991
06	0,2	EY	LinRespSpec	0,996	93,818
06	0,2	EX	LinRespSpec	53,195	2,747

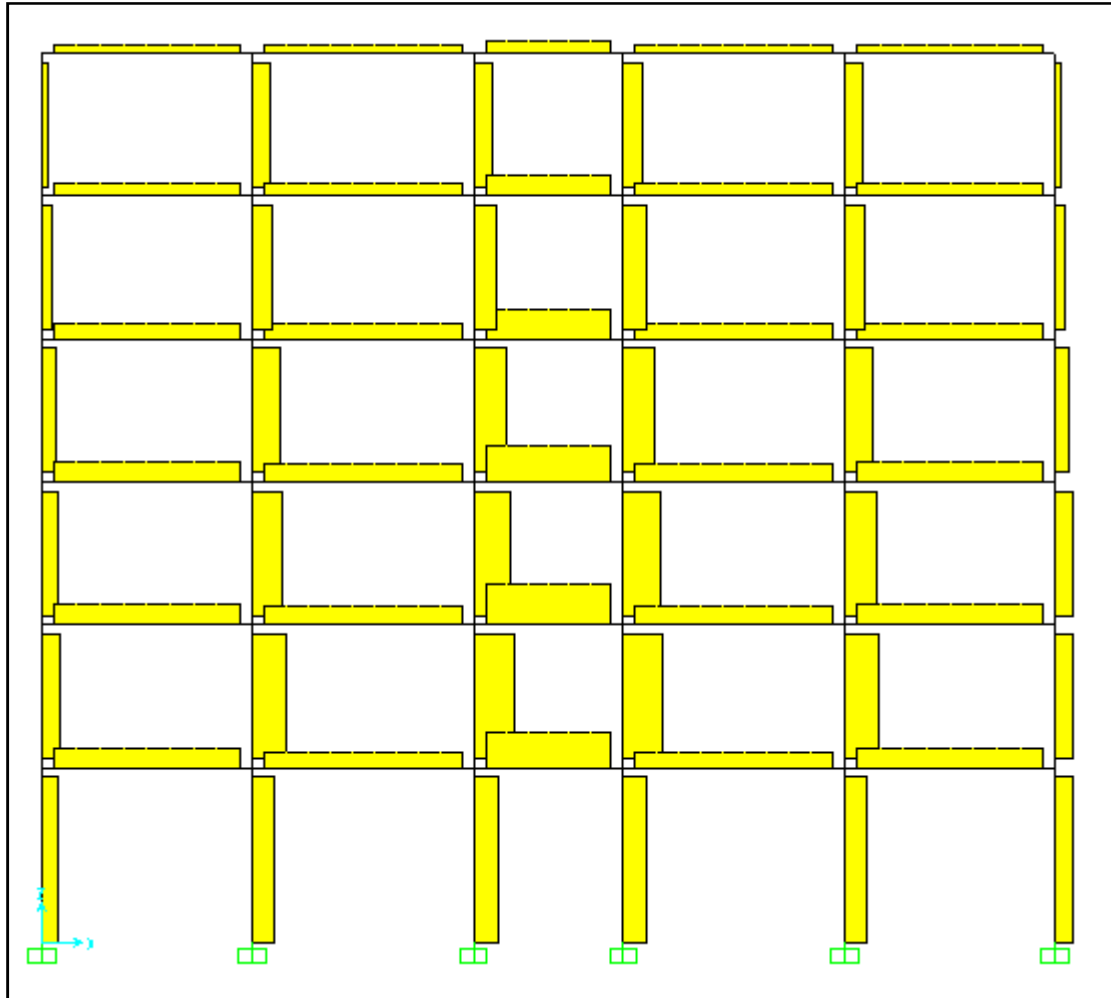
**Tableau (IV.16) Efforts tranchants dans les poteaux selon la méthode modale**



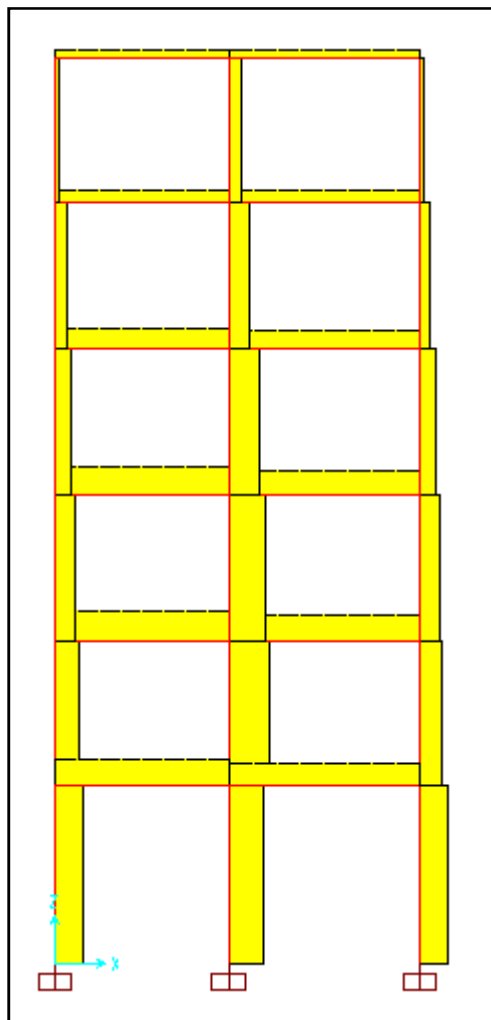
(Figure IV.22) Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode statique sens EX



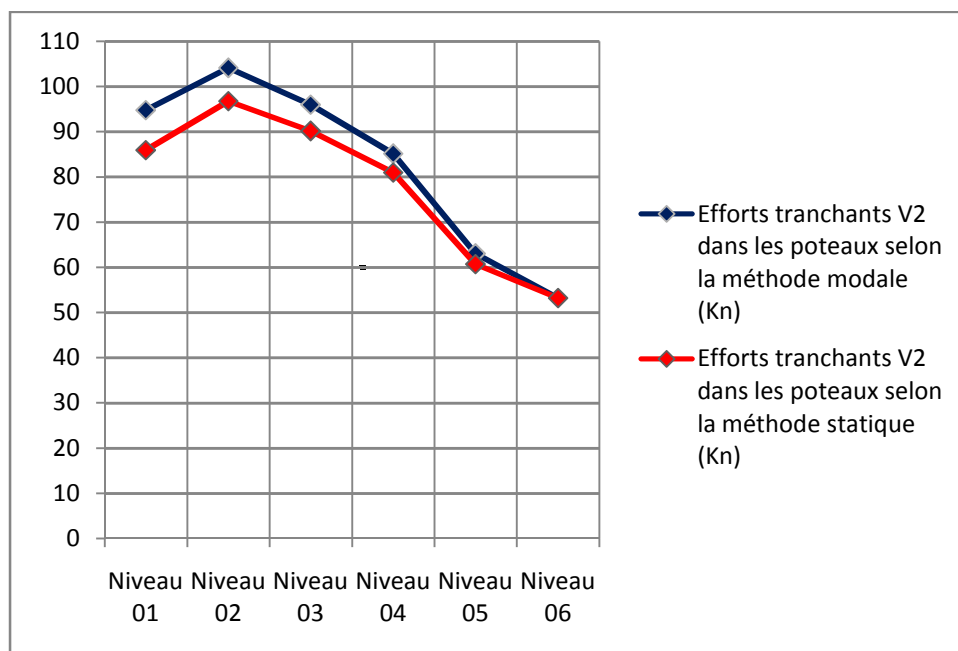
(Figure IV.23) Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode statique sens EY



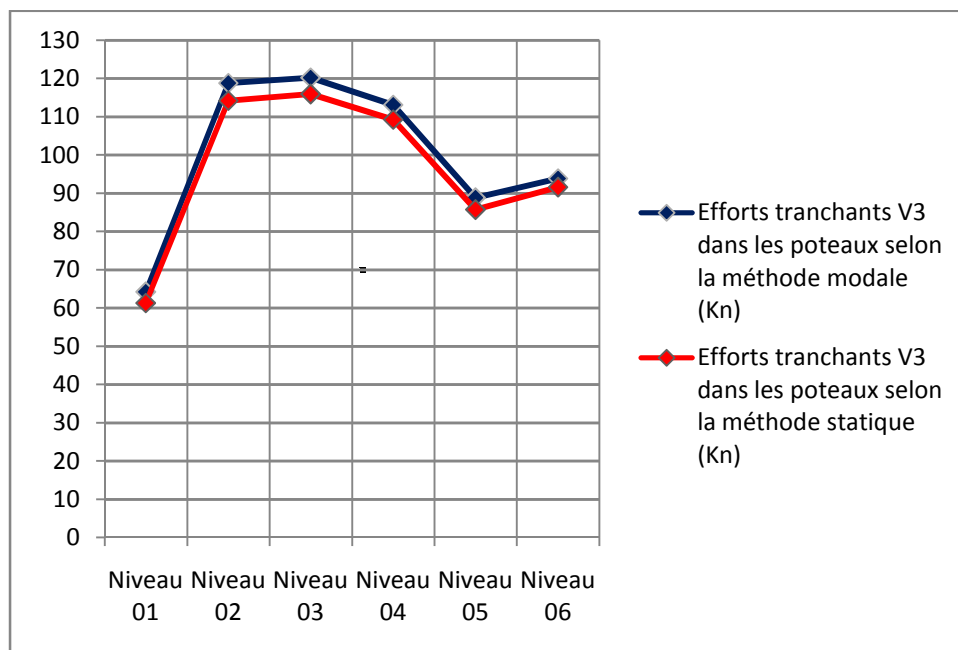
(Figure IV.24) Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode modale sens EX



(Figure IV.25) Efforts tranchants dans les portiques selon la méthode modale sens EY



(Figure IV.26) Comparaison des efforts tranchants V2 dans les poteaux



(Figure IV.27) Comparaison des efforts tranchants V3 dans les poteaux

### IV.7. Sollicitations aux niveaux des poutres principales :

#### IV.7.1. Moments fléchissant dans les poutres principales:

On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes (valeurs positives et négatives), Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M3
Text	m	Text	Text	KN-m
121	4,25	EX	LinStatic	110,60
122	4,25	EX	LinStatic	129,10
123	4,25	EX	LinStatic	120,27
124	4,25	EX	LinStatic	99,48
99	4,25	EX	LinStatic	74,98
125	4,25	EX	LinStatic	43,95

**Tableau (IV.17) Moments fléchissant dans les poutres principales**

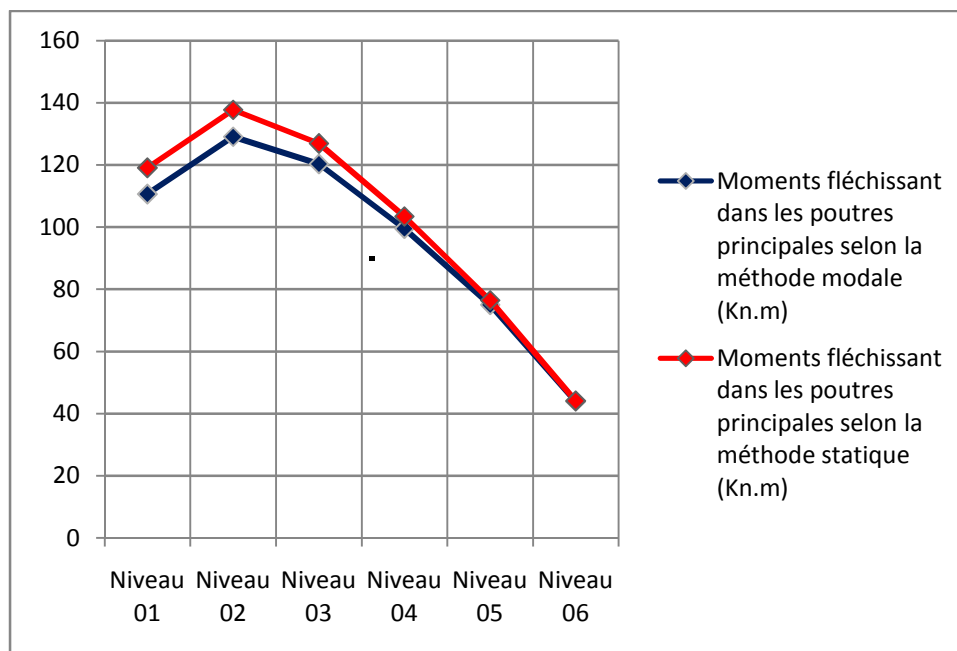
**Selon la méthode statique**

<b>TABLE: Element Forces - Frames</b>				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M3
Text	m	Text	Text	KN-m
121	4,25	EX	LinRespSpec	119,05
122	4,25	EX	LinRespSpec	137,74
123	4,25	EX	LinRespSpec	126,87
124	4,25	EX	LinRespSpec	103,47
99	4,25	EX	LinRespSpec	76,47
125	4,25	EX	LinRespSpec	44,07

**Tableau (IV.18) Moments fléchissant dans les poutres principales**

**Selon la méthode modale**

(Figure IV.37) Moments fléchissant dans les poutres principales selon la méthode modale



(Figure IV.28) Comparaison des moments fléchissant dans les poutres principales

#### IV.7.2. Efforts tranchants dans les poutres principales:

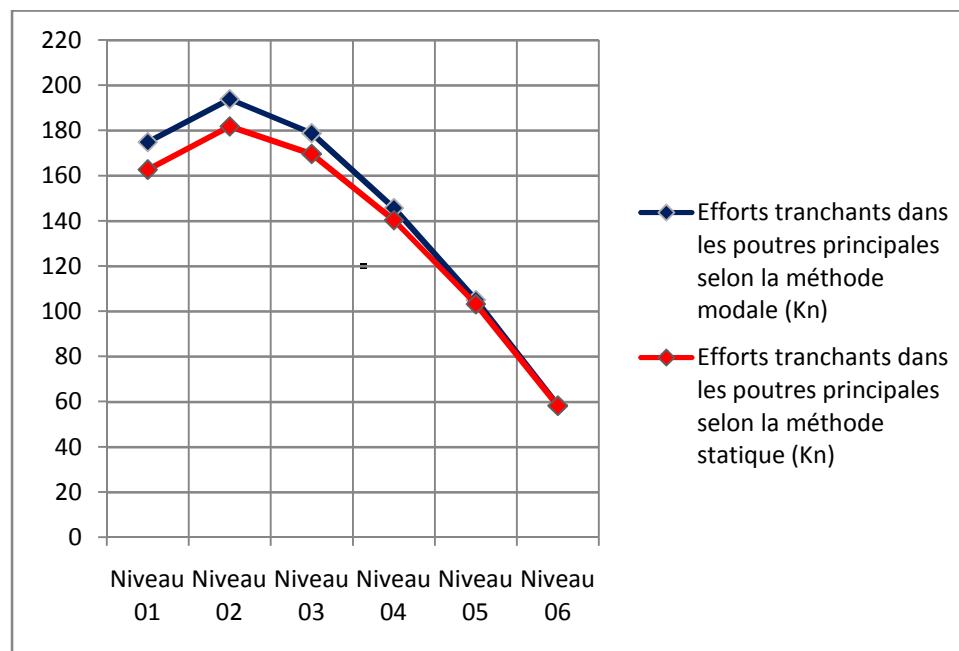
On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes (valeurs positives et négatives), Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
121	1,2	EX	LinStatic	-162,561
122	1,2	EX	LinStatic	-181,756
123	1,2	EX	LinStatic	-169,583
124	1,2	EX	LinStatic	-140,219
99	1,2	EX	LinStatic	-103,075
125	0,96	EX	LinStatic	-58,1

Tableau (IV.19) Efforts tranchants dans les poutres principales selon la méthode statique

Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
121	1,125	EX	LinRespSpec	174,828
122	1,125	EX	LinRespSpec	193,735
123	1,125	EX	LinRespSpec	178,743
124	1,125	EX	LinRespSpec	145,654
99	1,125	EX	LinRespSpec	104,965
125	0,72	EX	LinRespSpec	58,446

Tableau (IV.20) Efforts tranchants dans les poutres principales selon la méthode modale



(Figure IV.29) Comparaison des efforts tranchants dans les poutres principales

### IV.8. Sollicitations aux niveaux des poutres secondaires :

#### IV.8.1. Moments fléchissant dans les poutres secondaires:

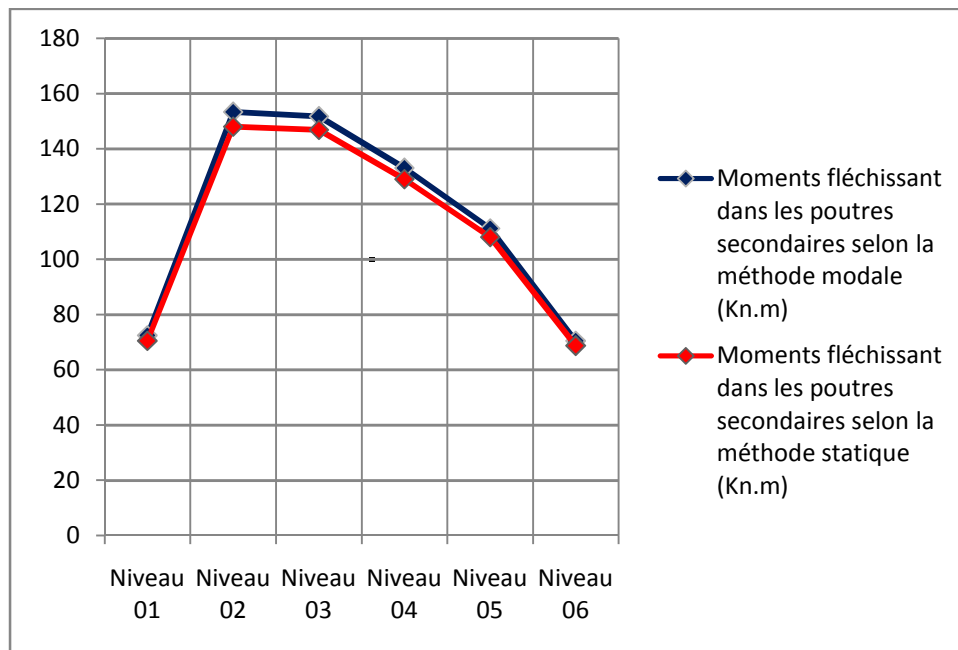
On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes (valeurs positives et négatives), Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M3
Text	m	Text	Text	KN-m
256	3,75	EY	LinStatic	-70,5043
222	3,4	EY	LinStatic	-148,026
223	3,4	EY	LinStatic	-146,834
224	3,4	EY	LinStatic	-128,989
208	3,4	EY	LinStatic	-108,032
225	3,4	EY	LinStatic	-68,6851

**Tableau (IV.21) Moments fléchissant dans les poutres secondaires  
selon la méthode statique**

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	M3
Text	m	Text	Text	KN-m
256	3,75	EY	LinRespSpec	72,4811
222	3,4	EY	LinRespSpec	153,2699
223	3,4	EY	LinRespSpec	151,6398
224	3,4	EY	LinRespSpec	133,0018
208	3,4	EY	LinRespSpec	111,1479
225	3,4	EY	LinRespSpec	70,4995

**Tableau (IV.22) Moments fléchissant dans les poutres secondaires  
selon la méthode modale**



(Figure IV30) Comparaison des moments fléchissant dans les poutres secondaires

#### IV.8.2. Efforts tranchants dans les poutres secondaires :

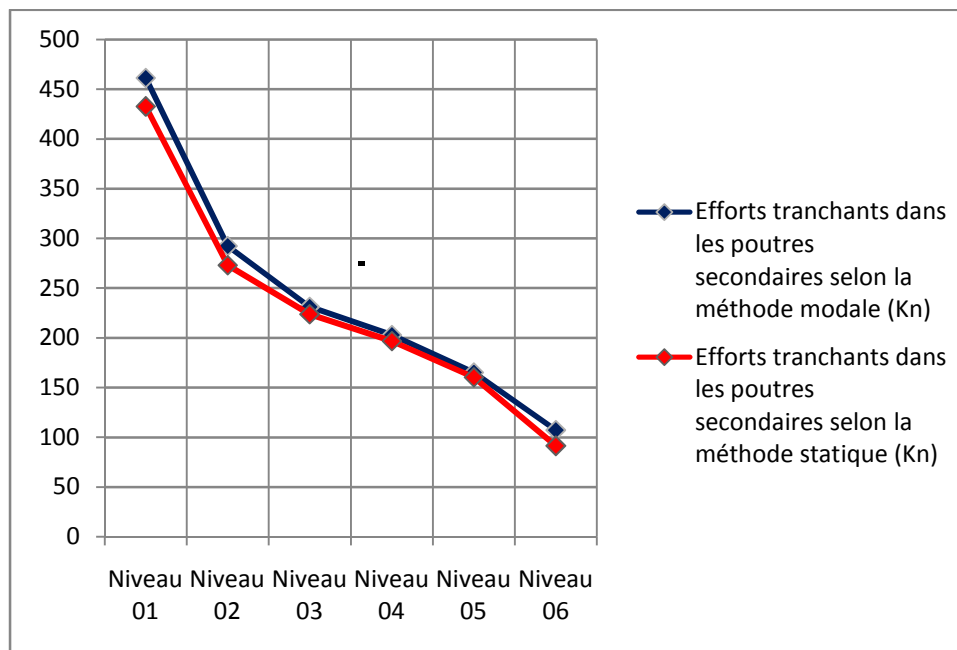
On fait la comparaison entre les valeurs extrêmes (valeurs positives et négatives), Les résultats sont représentés dans ces tableaux :

Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
221	0,25	EY	LinStatic	432,454
222	0,25	EY	LinStatic	273,004
223	1,33	EY	LinStatic	-223,8
224	1,33	EY	LinStatic	-196,771
208	1,33	EY	LinStatic	-160,488
225	0,26333	EY	LinStatic	-91,418

Tableau (IV.23) Efforts tranchants dans les poutres secondaires selon la méthode statique

Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
221	0,25	EY	LinRespSpec	461,195
222	0,25	EY	LinRespSpec	292,371
223	1,06333	EY	LinRespSpec	231,23
224	1,06333	EY	LinRespSpec	202,971
208	1,06333	EY	LinRespSpec	165,237
225	0,25	EY	LinRespSpec	107,307

Tableau (IV.24) Efforts tranchants dans les poutres secondaires selon la méthode modale



(Figure IV.31) Comparaison des efforts tranchants dans les poutres principales

## **1. Conclusion générale :**

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, efforts normaux et efforts tranchants) et des déplacements très 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 pour les deux cas suivantes :

- Cas d'un bâtiment régulier en charpente métallique.
- Cas des bâtiments irréguliers.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Règles parasismiques Algériennes (RPA 99-V2003)
- Analyse et dimensionnement sismiques (Pierino LESTUZZI)
- Analyse des structures (André PICARD)
- Calcul des ouvrages en béton armé (Yacine CHERAIT)
- Aide-mémoire Résistance des matériaux (Jean Goulet, Jean-Pierre Boutin et Frédéric Lerouge)
- Thèses traités
- Cours de génie parasismique (Me.ZEGHUICHI)
- DTR B.C.2.2 charges permanentes et charges d'exploitation
- Béton Armé Guide de calcul (H. Renaud et J.Lamirault)
- Règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A.93
- Règles BAEL 91 révisées 99