



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme  
de Master académique en

Filière : **Génie Civil**

Spécialité : **Structures**

Présentée par : **FEDDAG Miloud**

*Thème*

---

*Etude et Analyse de la capacité sismique d'un Bâtiment en béton armé  
tenant compte d'un système de contreventement mixte.*

---

Soutenu le, .....

**Devant le Jury :**

Bouzeriba Asma	Président	M.C.B.	Univ-Tissemsilt
Bouderba Bachir	Encadreur	Prof.	Univ-Tissemsilt
Besseghier Abderrahmane	Examineur	Prof.	Univ-Tissemsilt

**Année universitaire : 2020-2021**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciements*

A l'issue de ce travail, nous adressons nos remerciements premièrement à Allah le tout-puissant pour la volonté, le courage, la patience et la force qu'il nous a donnés durant toute la période d'étude.

Un remerciement particulier à Monsieur BOUDERBA BACHIR, d'avoir accepté cette lourde tâche de nous encadrer, nous tenons aussi à lui remercier sincèrement pour les conseils et les encouragements qu'il nous a prodigués tout au long de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Notre reconnaissance s'adresse à Madame BOUZERIBA ASMA d'avoir accepté de présider le jury de mon mémoire. Ainsi, nous tenions à exprimer nos remerciements à Monsieur BESSEGHIER ABDERRAHMANE qui a accepté d'évaluer notre travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur SAHOUAN ABDELKEDER et DERBAH ELMOULAY et BOUCHEMLA ALI ainsi qu'aux personnes qui nous ont aidés.

Je remercier mes collègues de travail au niveau de la direction des ressources en eau a Tissemsilt sur tout le service D'AEP.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, nous disons merci.

# *Dédicace*

*Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage pour finir ce modeste travail.*

*C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail :*

*A la lumière de mes yeux, ma femme et mes enfants soudjoud nour elyakin et Mohamed Enes la joie de ma vie, qui a été toujours là pour moi.*

*A mes sœurs et à son fils kamal, walid ,fethi ,mohamed amine*

*A mes collègues de travail au niveau de la direction des ressources en eau de la wilaya de tissemsilet Rabeh,brahim,houari ,abelkader ,elhadj, toufik*

*A mes meilleurs amis en particuliers :Abedlkader sahouan ,mohamed nassah , Djilali kebdi ,rakeb djloul, Fethi mounisse.*

*A tous*

*Les personnes qui nous avoir aidé durant toutes la période de mon projet de fin d'étude.*

*A tous ma promotion de Génie Civil 2020/2021.*

**FEDDAG MILOUD**



## Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude et l'analyse de la capacité sismique d'un Bâtiment en béton armé tenant compte d'un système de contreventement mixte à usage d'habitation R+5 implanté à la wilaya de Tissemsilt. Cette dernière est classé en zone IIa selon les Règles Parasismique Algérienne R.P.A 99/Version 2003. Notre intérêt c'est d'obtention de la courbe de capacité et le point de performance. Le calcul se fait en deux parties :

### **Partie linéaire :**

- Présentation de l'ouvrage compris les dimensionnements géométriques de la structure et caractéristiques des matériaux qui sont utilisées et aussi le pré-dimensionnement des différents éléments (poteaux, poutres, escalier, acrotère, voiles ...).
- Faire une modélisation numérique en utilisant le logiciel ETABS version 18.0.02.
- Vérification vis-à-vis RPA 99 V 2003 (l'analyse du comportement de la structure sous l'action sismique et calcul des caractéristiques dynamiques - mode propre de vibration et la rigidité), et obtenir le ferrailage des éléments (poteaux et poutres).

### **Partie non linéaire :**

- Présentation de la méthode non linéaire.
  - On introduit le ferrailage des éléments (poteaux, poutres), et défini les rotules plastiques et la charge non linéaire (Pushover) sur logiciel ETABS version 18.0.02.
  - Interprétation et analyse des résultats non linéaire.
  - **Mots clés :** Courbe de capacité, point de performance, non linéaire, Pushover.
-

## Abstract

The objective of this work is the study and analysis of the seismic capacity of a reinforced concrete building taking into account a mixed bracing system for residential use G+5 located in the wilaya of Tissemsilt. The latter is classified in zone IIa according to the Algerian seismic regulations R.P.A 99 / Version 2003. Our interest is to obtain the capacity curve and the performance point. The calculation is done in two parts:

### **Linear part:**

- Presentation of the work including the geometric sizing of the structure and characteristics of the materials that are used and also the resizing of the various elements (columns, beams, staircase, parapet, walls ...).

- Perform a digital modelling using ETABS software version 18.0.02.

- Verification vis-à-vis RPA 99 V 2003 (the analysis of the behaviour of the structure under the seismic action and calculation of the dynamic characteristics - natural mode of vibration and rigidity), and obtain the reinforcement of the elements (columns and beams).

### **Non-linear part:**

- Presentation of the non-linear method.

- We introduce the reinforcement of the elements (columns, beams), and define the plastic hinges and the nonlinear load (pushover) on ETABS software version 18.0.02

- Interpretation of the results of the nonlinear analysis.

- **Keywords:** Capacity curve, performance point, nonlinear, pushover.

---

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة وتحليل السعة الزلزالية لمبنى من الخرسانة المسلحة مع الأخذ بعين الاعتبار نظام تقوية مختلط المدعم بالجدران المسلحة والأجزاء المقاومة للبناءية (الأعمدة، الروافد) للاستخدام السكني R+5 الموجود بولاية تيسمسيلت. وتصنف هذه الأخيرة في المنطقة IIa وفقاً للقواعد الجزائرية للزلازل R.P.A 99 / إصدار 2003.

هدفنا الحصول على منحنى السعة ونقطة الأداء. كما يتم الحساب في جزئين:

### الجزء الخطي:

- عرض العمل بما في ذلك الحجم الهندسي للهيكل وخصائص المواد المستخدمة وكذلك اختيار ابعاد العناصر المختلفة (أعمدة، روافد، الادراج، جدار التصوين، الجدران المسلحة ... الاخ).

- إجراء نمودجة رقمية باستخدام الإصدار 18.0.02 من برنامج ETABS.

- التحقق من النتائج وفقاً للقواعد الجزائرية للزلازل R.P.A 99 / إصدار 2003 (تحليل سلوك الهيكل تحت التأثير الزلزالي وحساب الخصائص الديناميكية - الوضع الطبيعي للاهتزاز والصلابة) ، والحصول على تقوية العناصر (الأعمدة والروافد).

### الجزء غير الخطي:

- عرض الطريقة غير الخطية

- نقدم تقوية العناصر (الأعمدة، الروافد)، ونحدد المفصلات البلاستيكية والحمل غير الخطي (Pushover) في إصدار

برنامج ETABS 18.0.02.

- تفسير نتائج التحليل اللاخطي.

- الكلمات الرئيسية: منحنى السعة، نقطة الأداء، اللاخطي، Pushover .

# Sommaire

Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Notions et symboles	
Introduction générale.....	1

## **Partie I : Partie linéaire**

### **Chapitre I : Présentation de l'ouvrage**

I.1. La présentation de l'ouvrage.....	3
I.1.1 Caractéristiques géométriques de la structure .....	3
I.1.2. Les plans de notre structure.....	3
I.1.3. Données du site.....	4
I.1.4.La conception structurelle: .....	4
I.2. Les caractéristiques des matériaux : .....	5
I.2.1. Le béton.....	5
I.2.2. Acier.....	5
I.3. Présentation des éléments de la structure : .....	6
I.3.1 Poutres.....	6
I.3.2 Poteaux.....	6
I.4. Pré-dimensionnement des éléments de la structure :.....	6
I.4.1. Les Planchers.....	6
I.4.2. les Poteaux.....	6
I.4.3. Les Poutres.....	6
I.4.4. Les escaliers.....	7
I.4.5. Les voiles.....	7
I.4.6. L'Acrotère.....	8
I.5 Descente de charges.....	9
I.5.1 Les charges permanentes (G).....	9
I.5.2 Les charges d'exploitations (Q).....	9
I.6. Conclusion.....	10

## Chapitre II : Etude sismique et vérification vis-à-vis RPA

II.1 Introduction .....	11
II.2.1 Choix de la méthode de calcul .....	11
II.2.1.1 La méthode statique équivalente .....	11
II.2. 1.2 La méthode modale spectrale .....	11
II.3. Calcul de la force sismique (suivant RPA 99-VERSION 2003).....	12
II.3.1 Détermination des coefficients .....	12
II.3.1.1 Coefficient d'accélération de zone (A) .....	12
II.3.1.2 Coefficient de comportement (R).....	13
II.3.1.3 Facteur d'amplification dynamique moyen (D) .....	13
II.3.1.4 Estimation de la période fondamentale de la structure.....	13
II.3.1.5 Facteur qualité (Q).....	14
II.3.1.6 Calcul du poids (W) .....	15
II.4. Vérification vis-à-vis RPA .....	16
II.4.1.Vérification de la période (Art 4.2.4 RPA 2003) . .....	16
II.4.2 Calcul des coefficients de participation modale (Art 4.3.4 RPA 2003) .....	19
II.4.3.Vérification de la condition de la méthode statique équivalente.....	20
II.4.4. Vérification des déplacements (Art 5.10 RPA 2003) .....	20
II.4.5. Vérification de l'effet P-Delta (Art 5.9 RPA 2003) .....	21
II.4.6 Ferrailage de la structure .....	23
II.4.6.1.Les combinaisons de calcul.....	23
II.5 Conclusion.....	25

## **Partie II : Partie non linéaire**

### Chapitre III : La méthode Pushover

III.1. Introduction.....	26
III.2 Analyse Pushover.....	26
III.2.1 Définition .....	26
III.2.2 Description de l'analyse Pushover .....	27
III.2.3 Objectifs et domaine d'application.....	28
III.2.4 Hypothèses d'élaboration de la méthode (Pushover).....	29
III.3 Étapes de l'analyse Pushover.....	30

III.4 Courbe de capacité .....	31
III.5 Point de performance .....	31
III.6 Niveaux d'endommagement .....	33
III.7 Rotules plastiques .....	34
III.8 Conclusion .....	35

## **Chapitre IV : Analyse non linéaire**

IV.1 Introduction.....	36
IV.2 Définition du comportement non linéaire de la structure .....	38
IV.2.1 Définition du comportement non linéaire des poutres et poteaux et voiles.....	38
IV.3 Définition du chargement de l'analyse Pushover .....	41
IV.3.1 Définition de l'analyse sous charges gravitaires.....	42
IV.3.2 Définition de l'analyse Pushover sous charges latérales.....	44
IV.4 Analyse .....	46
IV.5 Conclusion .....	46

## **Chapitre V : Résultat de l'analyse non linéaire**

V.1. Introduction .....	47
V.2 Résultats de l'analyse Pushover selon la direction X-X .....	47
V.2.1 Courbe de capacité de la structure (V-D) .....	47
V.2.2 Courbe de déplacement de la structure . .....	49
V.2.3 Courbe de capacité spectrale (NTC 2008) . .....	51
V.2.4 Courbes de l'énergie et l'amortissement .....	53
V.2. 5 Formation des rotules plastiques (mécanisme de ruine) .....	54
V .2.6 Transformation de système à plusieurs degrés de liberté au système à un seul degré de liberté .....	57
V .2.7 Demande en ductilité ( $\mu_d$ ).....	57
V .2.8 Raideur de la structure au point de performance ( $K_p$ ) et indicateur de dégradation global de la structure ( $I_d$ ) . .....	58
V .2.9 Degré de dégradation .....	58
V.3 Résultats de l'analyse Pushover selon la direction Y-Y .....	60
V.3.1 Courbe de capacité de la structure (V-D).....	60
V.3.2 Courbe de déplacement de la structure .....	62
V.3.3 Courbe de capacité spectrale (NTC 2008) .....	64

V.3.4 Courbes de l'énergie et l'amortissement.....	66
V.3. 5 Formation des rotules plastiques (mécanisme de ruine) .....	67
V.3.6 Transformation de système à plusieurs degrés de liberté au système à un seul degré de liberté .....	70
V.3.7 Demande en ductilité ( $\mu_d$ ).....	70
V.3.8 Degré de dégradation .....	70
V.4 Comparaissant .....	71
V.5 Conclusion.....	72
Conclusion générale.....	73
Références Bibliographiques .....	74
Annexes.....	77

## Liste des figures

### Chapitre I : Présentation de l'ouvrage

Figure( I.1) : Vue en Plan .....	3
Figure( I.2) : Plan de coupe .....	4
Figure (I.3): Schémas d'escalier.....	7
Figure (I.4): Section transversale de l'acrotère .....	8

### Chapitre II : Etude sismique et vérification vis-à-vis RPA

Figure (II.1) : Vue 3D de la structure .....	16
Figure (II.2) : Translation suivant Y-Y.....	17
Figure (II.3) : Translation suivant X-X .....	18
Figure (II.4) : Rotation autour de l'axe Z.....	18
Figure (II.5): L'option (ShowTables).....	23
Figure (II.6):Le tableau des moments.....	24
Figure (II.7) : Monte la fenêtre de logiciel.....	24

### Chapitre III : La méthode Pushover

Figure(III.1) : Courbe de capacité (Pushover) d'une structure.....	27
Figure (III.2) :Système équivalent d'une structure à plusieurs degrés de libertés.....	30
Figure (III.3) : Courbe de capacité avec les différents degrés d'endommagement.....	31
Figure (III.4): Point de performance selon EC8 et NTC 08 et principe d'évaluation de la courbe de capacité.....	32
Figure (III.4): Niveaux d'endommagement représenté par une courbe de capacité.....	33
Figure (III.5) : La variation de moment plastique au niveau des poutres.....	35

### Chapitre IV : Analyse non linéaire

Figure (IV.01) : La boîte de dialogue Covnert to SD Section.....	36
Figure (IV.02) : La boîte de dialogue SD Section.....	37
Figure(IV.03) : Le Dessin de ferrailage des sections.....	37
Figure(IV.04) : Loi de Comportement utilisée par le logiciel ETABS.....	38
Figure (IV.05) : Introduction des rotules plastiques des poutres.....	39
Figure (IV.06) : Type de rotules plastique et la direction De la charge Pushover.....	39
Figure (IV.07) : Introduction des rotules plastiques des poteaux.....	40



Figure (IV.08) : Type de rotules plastiques et la direction de la charge Pushover.....	40
Figure (IV.09) : Introduction des rotules plastiques des voiles.....	41
Figure (IV.10) : Définition de La charge gravitaire. ....	42
Figure (IV.11) : Définition de type de déplacement Suivant l'axe Z-Z.....	43
Figure (IV.12) : Définition des résultats sauvegardés.....	43
Figure (IV.13) : Définition de chargement de l'analyse Pushover Sous la charge latérale suivant la direction X.....	44
Figure (IV.14) : Définition de type de déplacement suivant l'axe X-X.....	44
Figure (IV.15) : Définition de chargement de l'analyse Pushover Sous la charge latérale suivant la direction Y.....	45
Figure (IV.16) : Définition de type de déplacement Suivant l'axe Y-Y.....	45
Figure (IV.17) : Représente L'analyse non linéaire (Pushover).....	46

## **Chapitre V : Résultat de l'analyse non linéaire**

Figure (V. 01) : Courbe de Capacité : effort tranchant à la base (V) - déplacement au Sommet (D) selon le sens (X-X).....	47
Figure (V. 02) : Les courbes qui représentent la variation de Dipl (1) et amortissement(2) et Effort Tranchant(3) et les moments(4) des différents étages par la variation des charges Push X.....	49
Figure (V. 03) : Le déplacement au tour des étages de-là structure (Step 0) suivant X.....	49
Figure (V. 04) : Le déplacement au tour des étages de la structure (Step 9) suivant X.....	50
Figure (V. 05) : Le déplacement au tour des étages de la structure (Step 12) suivant X.....	50
Figure (V. 6) : Courbe vulnérabilité (Capacité- Demande) obtenue par la méthode NTC 2008 sens (X).....	51
Figure (V. 7) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant X (step 09).....	53
Figure (V. 8) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant X (step 11).....	53
Figure (V. 9) : La première rotule en Pas 1/12 suivant X.....	54
Figure (V. 10) : Les premières rotules en Pas 1/12 suivant X (vue en 3D).....	55
Figure (V. 11): L'apparition des rotules de ruine en pas 12/12.....	56
Figure (V. 12) : Courbe de Capacité : effort tranchant à la base (V) - déplacement au sommet (D) selon le sens (Y) .....	60
Figure (V. 13) : Les courbes qui représentent la variation de Dipl (1) et amortissement(2) et Effort Tranchant(3) et les moments(4) des différents étages par la variation des charges Push Y.....	62
Figure (V. 14) Le déplacement au tour des étages de la structure (Step 0) suivant Y. ....	62

Figure (V. 15) Le déplacement au tour des étages de la structure (Step 6) suivant Y .....	63
Figure (V. 16) Le déplacement au tour des étages de la structure (Step 12) suivant X. ....	63
Figure (V. 17) : Courbe vulnérabilité (Capacité- Demande) obtenue par la méthode NTC 2008 sens (Y).....	64
Figure (V. 18) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant Y (step 06).....	66
Figure (V. 19) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant Y (step 12).....	66
Figure (V. 20) : La première rotule en Pas 5/16 suivant Y.....	67
Figure (V. 21) : Les rotules type B en Pas 16/16 suivant Y (vue en 3D).....	68
Figure (V. 22): L'apparition des rotules type LS en pas 06/16.....	69
Figure (V. 23) : Courbe de capacité sens (X) et (Y).....	71
Figure (V. 24) : Graph de déplacement des niveaux suite la charge non linéaire maximale suivant (X) et (Y).....	72

# Liste des tableaux

## Chapitre I : Présentation de l'ouvrage

Tableau I-1 : Récapitulatif des dimensions des différents éléments porteurs.....	8
Tableau I-2 : Les charges permanente.....	9
Tableau I-3 : Dégression des charges d'exploitations .....	9
Tableau I-4 : Récapitulatif des charges.....	10

## Chapitre II : Etude sismique et vérification vis-à-vis RPA

Tableau II.1 : Pénalité correspondante au critère.....	14
Tableau II.2 : Poids Plancher terrasse .....	15
Tableau II.3 : Poids de la structure .....	16
Tableau II.4: Tableau des modes et des périodes.....	17
Tableau II.5: Participation massique cumulée .....	19
Tableau II.6: Vérification des forces sismiques.....	20
Tableau II.7: Les déplacements relatifs de chaque niveau dans les deux sens .....	21
Tableau II.8: L'effet P- $\Delta$ dans le sens X et Y.....	22
Tableau (II.9):Ferrailages d'éléments porteurs.....	25

## Chapitre V : Résultat de l'analyse non linéaire

Tableau V.1: L'effort tranchant en fonction du déplacement sens X.....	48
Tableau IV. 02 : La capacité spectrale de la structure suivant sens X.....	52
Tableau V. 03 : Equivalence entre l'indice de dommages et l'état de dommages (Park and Ang).....	59
Tableau V. 04 : L'effort tranchant en fonction du déplacement sens Y.....	60
Tableau V. 05 : La capacité spectrale de la structure suivant sens Y.....	65

## Notations et symboles

Symboles	Signification
$E.L.S$	État Limite De Service ;
$E.L.U$	État Limite Ultime ;
$D$	Hauteur d'ancrage;
$f_{c28}$	Résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours ;
$f_{t28}$	Résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours ;
$E_b$	Module d'élasticité de béton ;
$f_e$	Limite d'élasticité de l'acier HA;
$f_{e'}$	Limite d'élasticité de l'acier Ronds lisses;
$E_s$	Module d'élasticité de l'acier
$S$	La surface;
$G$	La charge Permanente ;
$Q$	La charge d'exploitation, facteur de qualité ;
$V$	Effort Tranchant;
$A$	Coefficient d'accélération de zone ;
$D$	Facteur d'amplification dynamique moyen ;
$R$	Coefficient de comportement ;
$W$	Poids total de la structure ;
$\eta$	Facteur d'amortissement ;
$T$	La période fondamentale
$T_2$	la période caractéristique associée à la catégorie du site ;
$\xi$	Pourcentage d'armature critique ;
$C_T$	Coefficient fonction du système de contreventement du type remplissage ;
$h_n$	Hauteur totale de la structure ;
$P_q$	Pénalité correspondante au critère de qualité ;
$G_i$	Poids du aux charges permanente ;
$T_{dyn}$	La période dynamique ;
$P_k$	Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau « K »
$V_k$	Effort tranchant d'étage au niveau "K" ;

$F_i$	Effort horizontal revenant au niveau $i$ ;
$W_i, W_j$	Poids revenant au plancher $i, j$ ;
$\Delta_K$	Déplacement relatif du niveau « $K$ » par rapport au niveau « $K-1$ » ;
$E$	Effort sismique
$K_e$	La rigidité élastique effective ;
$D_u$	Déplacement ultime de la structure ;
$D_p$	Le déplacement imposé à la structure (Point de performance) ;
$\mu_d$	Le degré de pénétration dans le domaine post élastique ;
$D_t$	Degré de dégradation ;
$\delta_m$	Le déplacement maximum dans la zone non-linéaire (point de performance) ;
$\delta_y$	Le déplacement élastique (sans endommagement) ;
$\delta_u$	Le déplacement ultime (ruine totale) ;
NTC 08	Normes Technique de construction Italien (2008)
FEMA	Le règlement américain
EC 8	Eurocode 8

---

## **Introduction générale :**

Au cours des dernières décennies, plusieurs tremblements de terre modérés à importants ont été connus dans le monde. Ces tremblements de terre ont touché de nombreux pays et causé d'énormes pertes de personnes et de matériaux. Lors de ces tremblements de terre, le niveau de performance de certains bâtiments est très faible. Il dépasse même un très haut niveau. La structure est endommagée. Cela a conduit à plus d'exigences pour la détermination et l'évaluation des dommages structurels que jamais auparavant [1].

Les Méthodes linéaires élastiques traditionnelles sont insuffisantes, ce qui encourage les chercheurs à développer une nouvelle génération de méthodes de conception sismique, y compris l'analyse Pushover, Cette méthode a été présentée pour la première fois en 1975 par Freeman, le but était d'utiliser une méthode simplifiée et rapide pour l'évaluation de la vulnérabilité des structures [2].

L'analyse Pushover est une analyse statique non linéaire conçue pour étudier la vulnérabilité des structures existantes lors de tremblements de terre. Elle est basée sur le suivi de la séquence temporelle de la formation des charnières en plastique sous les charges verticales.

En Europe et aux États-Unis, dans la plupart des dernières lois et réglementations sismiques, la réponse inélastique de la structure est déterminée à l'aide de méthodes Pushover, telles que la méthode du spectre de capacité, la méthode N2 et la méthode du coefficient de déplacement. Ces méthodes sont caractérisées par une étape de base commune, à savoir la création de la courbe de capacité d'une structure, qui représente la relation entre la force de cisaillement en bas de la structure et le déplacement en haut de la structure [3-7].

Notre étude consiste à contrôler la capacité sismique par la méthode Pushover d'un Bâtiment en béton armé tenant compte d'un système de contreventement mixte (R+5) à usage d'habitation, avec l'utilisation des Règles Parasismique Algérienne.

Les étapes de cette étude sont les suivants :

- Déterminer le comportement linéaire de la structure.
- L'application de la méthode Pushover pour évaluer les performances (courbe de capacité, les déplacements des niveaux,.....etc) et voir les rotules plastiques et leur position.
- Analyse et interprétation des résultats non linéaires pour déterminer la charge de

rupture réelle, le mécanisme de ruine correspondant et contrôler la capacité sismique de notre structure.

*Partie I :*  
*Partie linéaire*



**Chapitre I :**  
**Présentation de**  
**l'ouvrage**

## I.1. La présentation de l'ouvrage:

L'ouvrage à étudier est un bâtiment à usage d'habitation (R+5), il est implanté dans la wilaya de Tissemsilt, la structure présente une régularité en élévation.

### I.1.1. Caractéristiques géométriques de la structure:

Les caractéristiques de la structure à étudier sont:

- Largeur en plan 20,92 m.
- La longueur en plan 21,91 m.
- Hauteur totale du bâtiment (sans acrotère) 18,36 m.
- Hauteur du RDC 3,06m.
- Hauteur d'étage courant 3,06m.

### I.1.2. Les plans de notre structure:

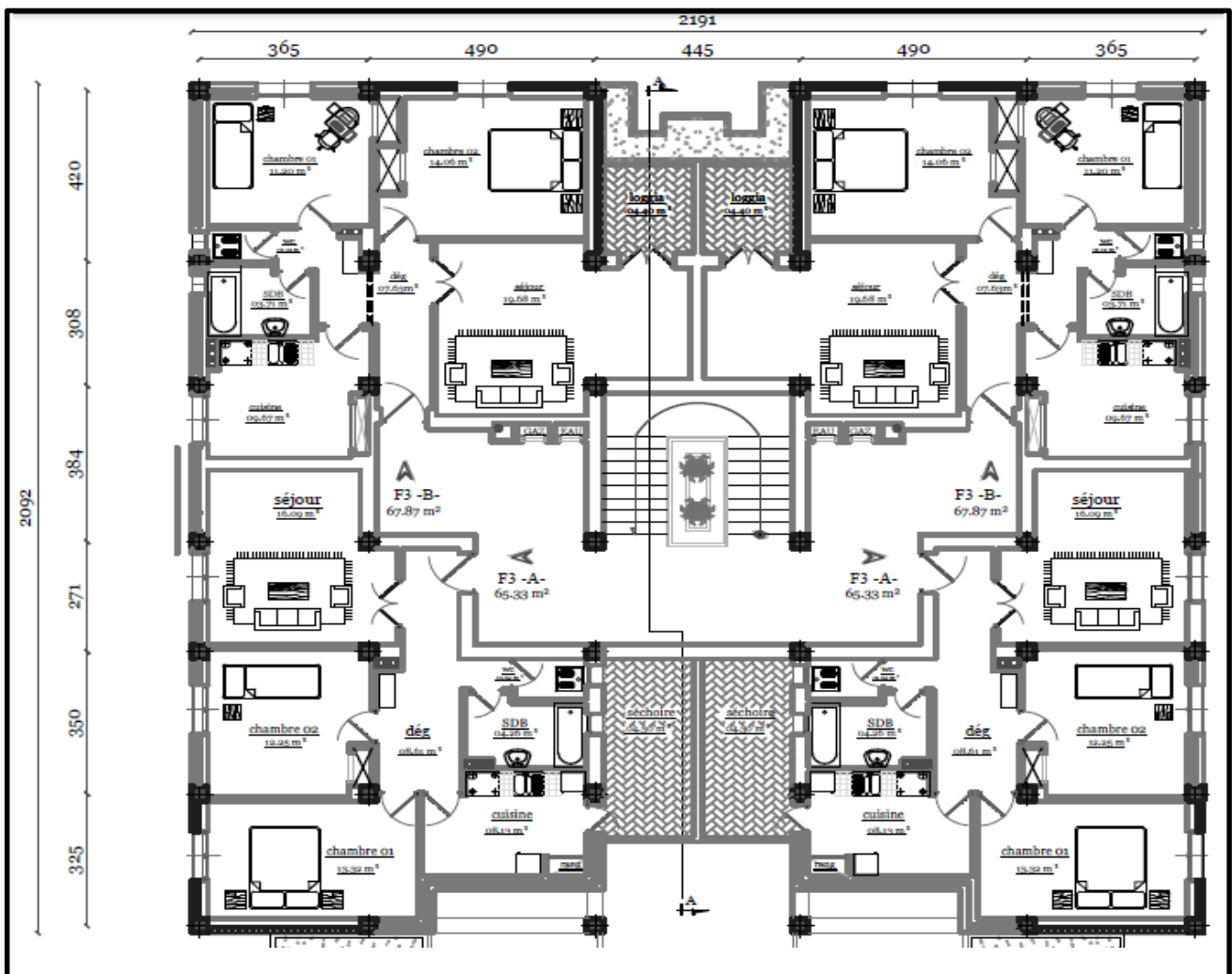


Figure (I.1) : Vue en Plan.

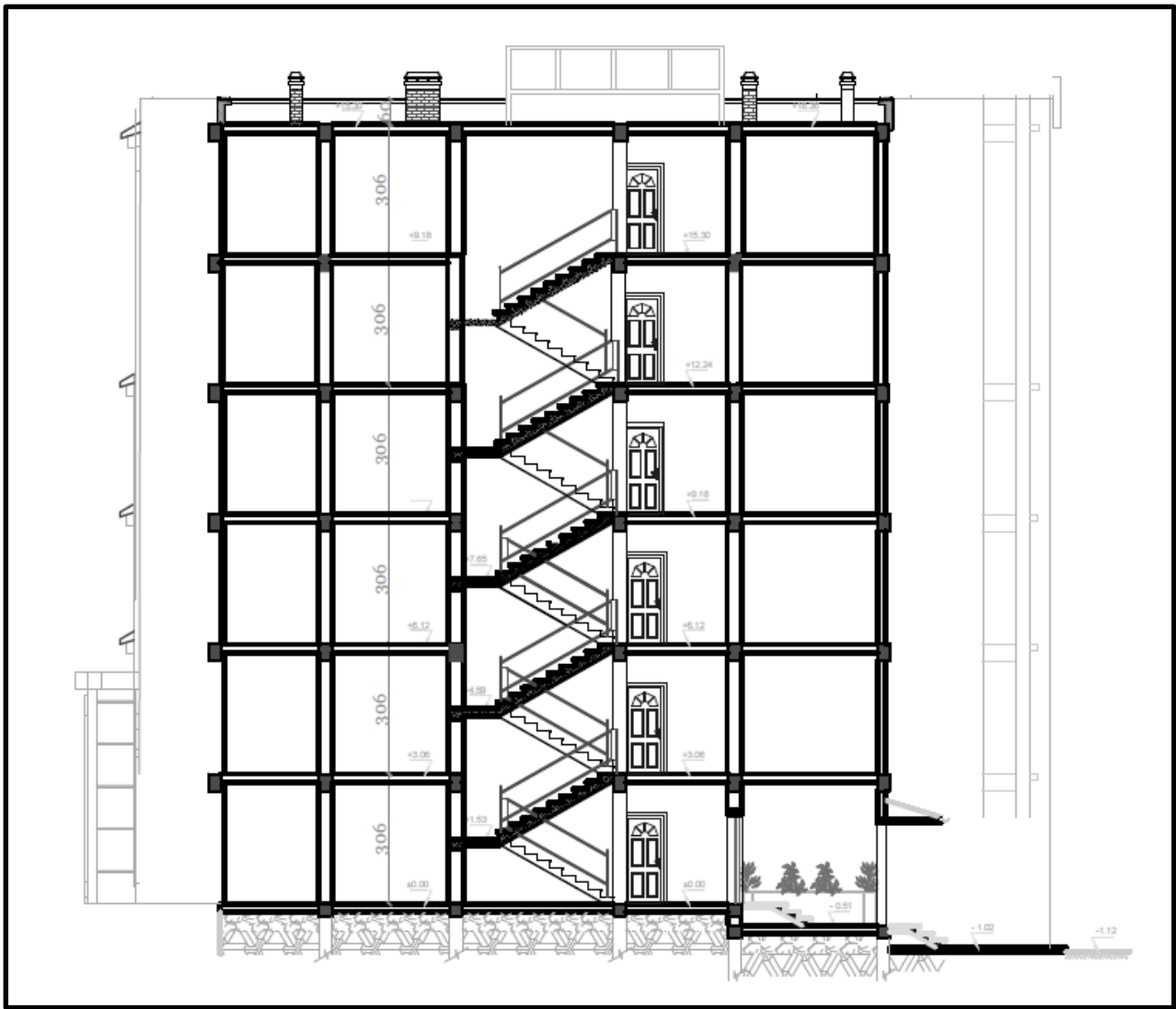


Figure (I.2) : Plan de coupe.

### I.1.3. Données du site :

Le bâtiment est implanté dans une zone classée par le RPA99 v2003

- Comme zone de moyenne sismicité (zone IIa).
- L'ouvrage appartient au groupe d'usage 2.
- Le site est considéré comme meuble (S3).

Contrainte admissible du sol  $\bar{\sigma} = 1,5$  bars pour un ancrage  $D = 1,50$  m.3

### I.1.4. La conception structurelle:

#### a. Le système de contreventement :

La stabilité de la structure est assurée par un système structurel mixte en béton armé c'est à dire voiles et portiques (poteaux et poutres).

#### b. Plancher :

En ce qui concerne le type de plancher, on a opté un plancher en Corps creux

**c. Maçonnerie :**

La maçonnerie de notre structure sera exécutée en briques creuses.

- Murs extérieurs : ils sont constitués en deux rangées, brique creuse de 15 cm d'épaisseur, l'âme d'air de 5 cm d'épaisseur et brique creuse de 10 cm d'épaisseur.
- Murs intérieurs (cloisons de répartition) : ils sont constitués par une cloison de 10 cm d'épaisseur.

**d. Les escaliers :**

Les escaliers optés pour l'ouvrage c'est des escaliers droits à double paillasse.

**e. Revêtement :**

- Carrelage pour les planchers et les escaliers.
- Mortier de ciment pour les murs extérieurs.
- Enduit de plâtre pour les plafonds et les murs intérieurs.

**I.2. Les caractéristiques des matériaux :**

**I.2.1. Le béton:**

Le béton représente une bonne résistance à la compression:

- Résistance à la compression ..... $f_{c28} = 25$  MPa
- Résistance à la traction ..... $f_{t28} = 2.1$  MPa
- Module d'élasticité ..... $E_b = 32164.19$  MPa

**I.2.2. Acier:**

Les aciers sont nécessaires généralement pour reprendre les efforts de traction et pour limiter la fissuration, On distingue :

- Aciers HA feE400 de limite d' élasticité..... $f_e = 400$  MPa
- Aciers Ronds lisses feE253 de limite d' élasticité..... $f_e' = 235$  MPa
- Module d'élasticité..... $E_s = 200000$  MPa

### **I.3. Présentation des éléments de la structure :**

#### **I.3.1 Poutres :**

Ce sont des éléments porteurs horizontaux en béton avec armatures incorporées, elles transmettent les charges aux poteaux.

##### ➤ **Poutres principales :**

Ce sont des poutres supportant des poutres secondaires, des nervures ou des poutrelles et reposant elles-mêmes sur des éléments porteurs verticaux (poteaux, voiles).

##### ➤ **Poutres secondaires :**

Ce sont des poutres disposées perpendiculairement aux poutres principales, dont le but est d'assurer le chaînage.

#### **I.3.2. Poteaux :**

Ce sont des éléments porteurs verticaux en béton armé, leur rôle principal est de transmettre les charges aux fondations.

### **I.4. Pré-dimensionnement des éléments de la structure :**

#### **I.4.1. Les Planchers :**

Les planchers sont constitués de poutrelles associées aux corps creux

- Après les calculs et les vérifications selon BAEL et RPA99 v 2003.

On distingue des planchers en corps creux de 20 cm d'épaisseur (16+4) pour l'ensemble des étages (étages courantes, terrasse inaccessible).

#### **I.4.2. Les Poteaux :**

Les poteaux sont les éléments porteurs assurant un certain contreventement plancher poutre, ils doivent supporter principalement les charges et les surcharges verticales.

- Après les calculs et les vérifications selon BAEL et RPA99v2003.

On adopte deux types des poteaux :

**a-**(40x40) cm<sup>2</sup> ..... RDC +1<sup>er</sup> +2<sup>ème</sup> +3<sup>ème</sup> étage.

**b-** (30x30) cm<sup>2</sup> ..... 4<sup>ème</sup> +5<sup>ème</sup> étage.

#### **I.4.3. Les Poutres :**

Après les calculs et les vérifications selon BAEL 91 et RPA 99 v 2003.

On adopte :

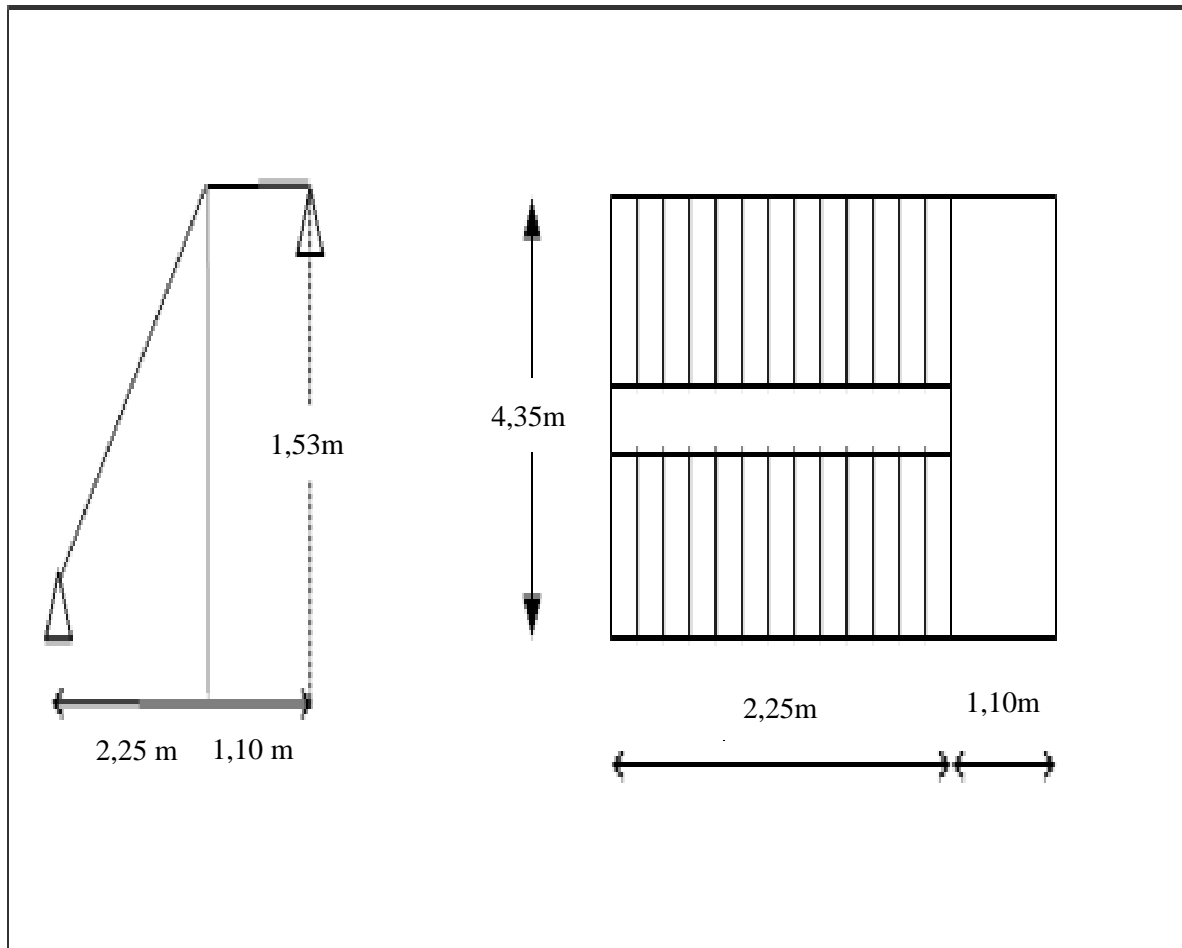
a-Poutres principales : (b x h)= (30x40) cm<sup>2</sup>

b-Poutres secondaires : (b x h)= (30x30) cm<sup>2</sup>

c- Poutre palière:  $(b \times h) = (30 \times 30) \text{ cm}^2$

#### I.4.4. Les escaliers :

Escalier à deux volées (RDC + étage courant)



**Figure (I.3): Schémas d'escalier.**

Les escaliers sont constitués de deux volées classiques en béton armé reposant sur un palier de repos coulés sur place.

- Les marches ( $g=30\text{cm}$ ) et les contres marches ( $h=17\text{cm}$ ), on a  $n = 8$  marches par volée.
- Après les calculs et les vérifications selon BAEL 91 et RPA 99 v 2003.

On adopte : une épaisseur de la paillasse et le palier de repos = 15cm

#### I.4.5 Les voiles :

- Après les calculs et les vérifications selon BAEL 91 et RPA 99 v 2003, L'épaisseur des voiles des contreventements :  $e = 15\text{cm}$ .

### I.4.6. L'Acrotère :

L'acrotère est un élément de sécurité au niveau de la terrasse, il forme une paroi contre toute chute.

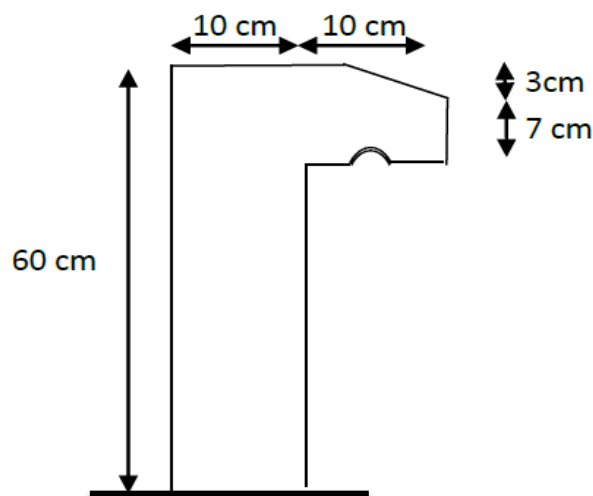


Figure (I.4): Section transversale de l'acrotère.

$$G = S \times \gamma_b = 0,073 \times 25 = 1,83 \text{ KN/ml}$$

Elément	Type	Section en cm <sup>2</sup>	Epaisseur en cm
Plancher	/	/	(16+4)
Poteaux	a) RDC, 1 <sup>ère</sup> , 2 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> étage	40X40	/
	b) 4 <sup>ème</sup> , 5 <sup>ème</sup> étage	30x30	/
Poutres	Principales	30x40	/
	Secondaires	30x30	/
	Palières	30x30	/
Voiles	/	/	15

**Tableau I-1 : Récapitulatif des dimensions des différents éléments porteurs.**

## **I.5 Descente de charges :**

La descente de charges a pour but d'évaluer les charges et les surcharges revenant à chaque élément porteur au niveau de chaque plancher jusqu'à la fondation. Les charges réglementaires sont les charges permanentes (G) et les charges d'exploitations (Q).

### **I.5.1 Les charges permanentes (G):**

Les charges permanentes des différents éléments de la structure sont exprimées dans le tableau suivant :

<b>Elément</b>	<b>La Charge Permanente (G) en (KN/m<sup>2</sup>)</b>
Plancher terrasse (inaccessible)	6,13
Plancher étage courant	5,04
Murs extérieurs	1,87
Murs intérieurs	1,32
Paillasse	7,83
Palier	5,08

**Tableau I-2 : Les charges permanentes.**

### **I.5.2 Les charges d'exploitations (Q) :**

- **Loi de dégression des charges d'exploitations :**

Puisque il est rare que toutes les charges d'exploitation agissent simultanément, On utilise la méthode de dégression des surcharges d'exploitation en fonction du nombre d'étages, qui consiste à réduire les charges identiques à chaque étage de 10% jusqu'à 0,5Q de bas vers le haut.

Les surcharges d'exploitation(Q) sont exprimées dans le tableau suivant :

<b>Niveau des planchers</b>	<b>Charges d'exploitations</b>	<b>Dégression des charges par niveau</b>	<b>La charge (KN/m<sup>2</sup>)</b>
5	Q <sub>0</sub>	$\Sigma 0 = q_0 = 1,00$	1,00
4	Q <sub>1</sub>	$\Sigma 1 = q_0 + q_1$	2,50
3	Q <sub>2</sub>	$\Sigma 2 = q_0 + 0,95 (q_1 + q_2)$	3,85
2	Q <sub>3</sub>	$\Sigma 3 = q_0 + 0,90 (q_1 + q_2 + q_3)$	5,05
1	Q <sub>4</sub>	$\Sigma 4 = q_0 + 0,85 (q_1 + q_2 + q_3 + q_4)$	6,10
RDC	Q <sub>5</sub>	$\Sigma 5 = q_0 + 0,80 (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5)$	7,00

**Tableau I-3 : Dégression des charges d'exploitations.**



Les valeurs des charges permanentes (G) et les charges d'exploitations (Q) sont exprimées dans le tableau suivant :

Elément	La Charge en (KN/m <sup>2</sup> )	
	Permanente (G)	exploitation (Q)
Plancher terrasse (Niv 05)	6,13	1,00
Plancher étage courant (Niv 04)	5,04	2,50
Plancher étage courant (Niv 03)	5,04	3,85
Plancher étage courant (Niv 02)	5,04	5,05
Plancher étage courant (Niv 01)	5,04	6,10
Plancher étage courant (RDC)	5,04	7,00
Murs extérieurs	1,87	/
Murs intérieurs	1,32	/
Paillasse	7,83	2,50
Palier	5,08	2,50

**Tableau I-4 : Récapitulatif des charges.**

### **I.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons calculé les charges permanentes et les surcharges d'exploitations et nous avons faire le pré-dimensionnements des différents éléments de la structure.

**Chapitre II :**  
**Etude sismique et**  
**vérification vis-à-vis**  
**RPA**

## **II.1 Introduction :**

Toute structure implantée en zone sismique est susceptible de subir durant sa durée de vie une excitation dynamique de nature sismique.

De ce fait la détermination de la réponse sismique de la structure est incontournable lors de l'analyse et de la conception parasismique de cette dernière.

Ainsi le calcul d'un bâtiment vis à vis du séisme vise à évaluer les charges susceptibles d'être engendrées dans le système structural lors du séisme.

Dans le cadre de notre projet, la détermination de ces efforts est conduite par le logiciel ETABS V 18.0.02

### **II.2.1 Choix de la méthode de calcul :**

En Algérie, la conception parasismique des structures est régie par un règlement en vigueur savoir le **RPA 99-version 2003**.

Ce dernier propose trois méthodes de calcul de la réponse sismique :

1. La méthode statique équivalente.
2. La méthode d'analyse modale spectrale.
3. La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme.

#### **II.2.1.1 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.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal.

Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projecteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

#### **II.2.1.2 La méthode modale spectrale :**

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.

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 calcul, ces effets sont par suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

Cette méthode est basée sur les hypothèses suivantes :

- Concentration des masses au niveau des planchers.
- Seuls les déplacements horizontaux des nœuds sont pris en compte.
- Le nombre de modes à prendre en compte est tel que la somme des coefficients de ces modes soit aux moins égales à 90%.
- 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.

### **II.3. Calcul de la force sismique (suivant RPA 99-VERSION 2003) :**

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

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

- **A** : coefficient d'accélération de zone.
- **D** : facteur d'amplification dynamique moyen.
- **Q** : facteur de qualité.
- **R** : coefficient de comportement.
- **W** : poids total de la structure.

#### **II.3.1 Détermination des coefficients :**

##### **II.3.1.1 Coefficient d'accélération de zone (A) :**

Selon RPA 99-Version 2003 (tableau 4-1) on obtient:

$$\begin{cases} \text{Zone sismique IIa} \\ \text{Groupe d'usage 2} \end{cases} \Rightarrow A = 0,15$$

### II.3.1.2 Coefficient de comportement (R):

Notre structure est assurée par mixte Portiques et voiles Alors :  $R = 4$  (tab4.3 RPA 99-Version 2003)

### II.3.1.3 Facteur d'amplification dynamique moyen (D):

Facteur d'amplification dynamique moyen, il est en fonction de la catégorie de site, de facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ) et de période fondamentale de la structure ( $T$ )

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta (T_2/3.00)^{2/3} (3.0/T)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

- $\eta$ : facteur d'amortissement.
- $T$  : la période fondamentale.
- $T_2$  : la période caractéristique associée à la catégorie du site
- Site meuble(3)  $T_2 = 0,5$  s (tab4.7 RPA 99-Version 2003)

$\xi$  : Pourcentage d'armature critique  $\xi = 7\%$  (Tab4.2 RPA 99-Version 2003)

On a:

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

$$\eta = \sqrt{7/(2+7)} = 0,882 \geq 0,7$$

### II.3.1.4 Estimation de la période fondamentale de la structure:

$$T = C_T \times h_n^{3/4}$$

Avec:

$C_T$  : Coefficient fonction du système de contreventement du type remplissage.

$h_n$  : Hauteur totale de la structure.

Dans notre cas on a:  $C_T = 0,05$  ;  $h_n = 18,36$ m

Alors:

$$T = 0,05 \times (18,36)^{3/4} = 0,44 \text{ S}$$

Puisque :  $0 \leq T \leq T_2 \rightarrow D = 2,5 \eta \rightarrow D = 2,5 \times 0,88 \rightarrow D = 2,2$

**II.3.1.5 Facteur qualité (Q) :**

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

Avec :

$P_q$ : Pénalité correspondante au critère de qualité q (tab4.7 RPA 99-Version 2003).

Critère « q »	$P_q$	
	Observé	N/observé
<b>1. Conditions minimales sur les files de contreventement</b>	<b>0</b>	0,05
<b>2. Redondance en plan</b>	<b>0</b>	0,05
<b>3. Régularité en plan</b>	0	<b>0,05</b>
<b>4. Régularité en élévation</b>	<b>0</b>	0,05
<b>5. Contrôle de la qualité des matériaux</b>	0	<b>0,05</b>
<b>6. Contrôle de la qualité de l'exécution</b>	0	<b>0,10</b>

**Tableau II.1 : Pénalité correspondante au critère.**

$$Q = 1 + (0,00+0,00+0,05+0,00+0,05+0,10) = 1,20$$

### II.3.1.6 Calcul du poids (W) :

La valeur W à prendre en compte est égale à la somme des poids  $W_i$  calculés à chaque niveau de la structure.  $W = \sum W_i$  avec  $W_i = G_i + \beta P_i$

$G_i$  : Poids du aux charges permanente et à celle des équipements fixés éventuelles solidaires de la structure.

$P_i$  : Charge d'exploitation.

#### Evaluation des charges de la structure :

La surface du plancher :  $S = 441,38 \text{ m}^2$ .

Plancher terrasse			
Désignation de l'élément	Formule de calcul	Résultats	
Plancher	$G \times S = 6,13 \times 441,38$	2705,70	KN
Poteaux	$n \times b \times h \times \gamma_b \times ht/2 = 42 \times 0,30^2 \times 25 \times 3,06/2$	144,59	KN
Poutres principales	$b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,30 \times 0,40 \times 25 \times 132,92$	398,76	KN
Poutres secondaires	$b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,30 \times 0,30 \times 25 \times 112,92$	254,07	KN
Poutres noyées	$b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,30 \times 0,20 \times 25 \times 8,20$	12,30	KN
Les murs extérieurs de 30cm	$1,869 \times (h_t)/2 \times \sum L = 1,869 \times 1,53 \times 58,04$	165,97	KN
Les murs intérieurs de 10cm	$1,32 \times (h_t)/2 \times \sum L = 1,32 \times 1,53 \times 115,8$	233,87	KN
Les murs voile	$e_p \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,20 \times 1,53 \times 25 \times 29,20$	223,33	KN
L'acrotère	$G \times L = 1,83 \times 67,55$	123,62	KN
Le poids G	$G = \sum G_i$	4262,21	KN
La surcharge $P = Q \times S_t$	$P = 1 \times 441,38$	441,38	KN
Le poids $W_t = G + \beta P$	$W_t = 4262,21 + 0,2 \times 441,38$	4350,49	KN

**Tableau II.2 : Poids Plancher terrasse.**

NIVEAU	S (m2)	W (KN)	P(KN/m <sup>2</sup> )	W <sub>T</sub> (KN)
terrasse	441,38	4262,21	1	4350,49
5	427,03	4050,85	1,5	4178,96
4	427,03	4174,99	1,5	4303,10
3	427,03	4287,44	1,5	4415,55
2	427,03	4287,44	1,5	4415,55
1	427,03	4287,44	1,5	4415,55
Poids totale de la structure		$\Sigma W_i$		26079,20

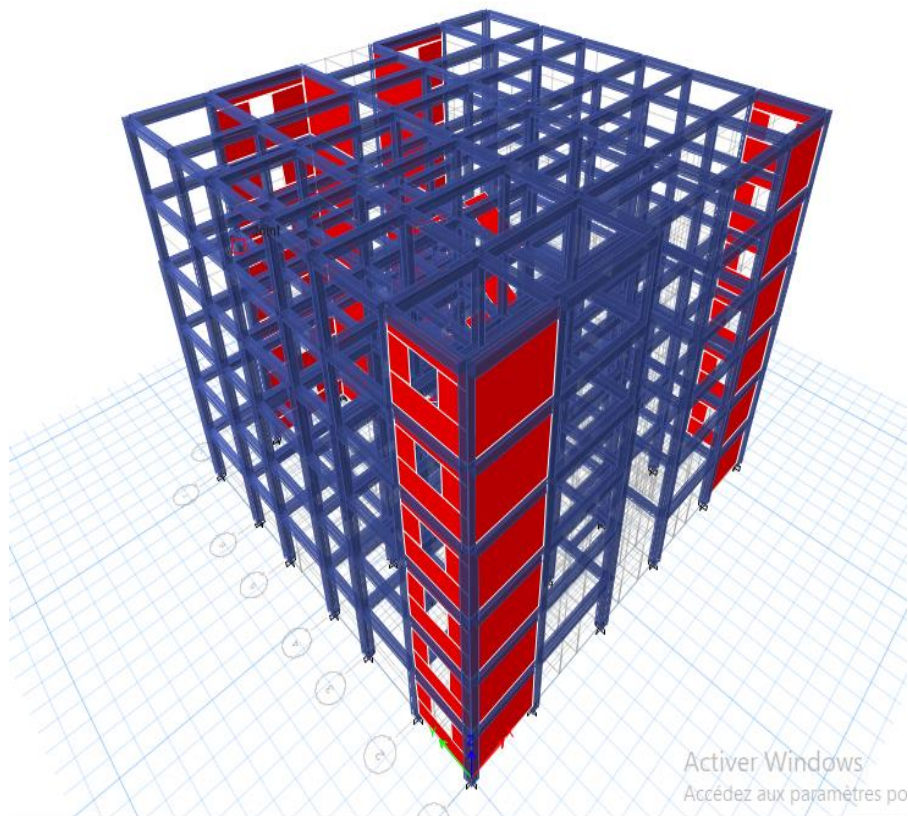
**Tableau II.3 : Poids de la structure.**

Donc  $V_{ST}=2581,84$  KN

## **II.4. Vérification vis-à-vis RPA:**

### **II.4.1. Vérification de la période (Art 4.2.4 RPA 2003) :**

On doit vérifier aussi que la période dynamique ( $T_{dyn}$ ) ne doit pas être supérieure à la majoration de 30% de période statique fondamentale "T", on utilisant logiciel ETABS V 18.0 .02 pour la modélisation de notre structure.



**Figure (II.1) : Vue 3D de la structure.**



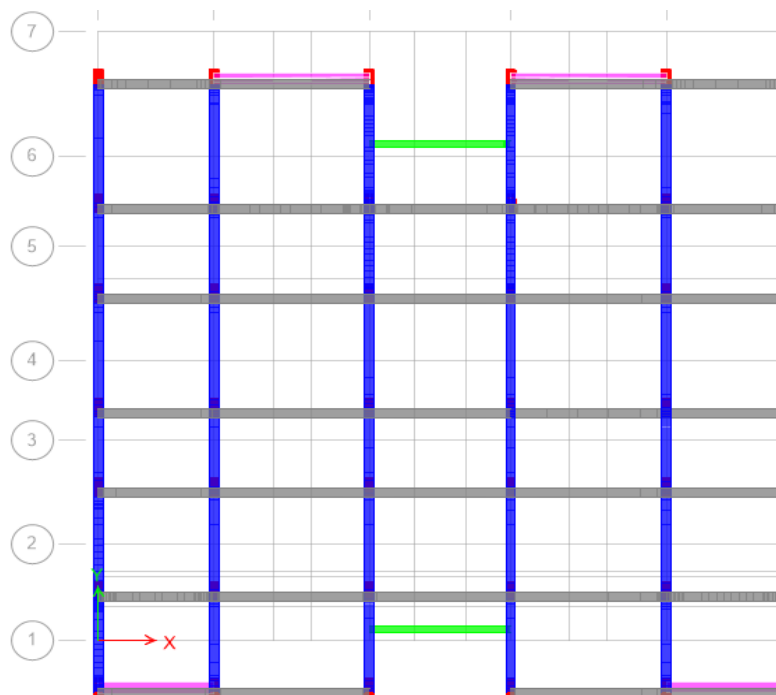
On voit que :

$T_{dyn} = 0,355 \text{ sec} < 1,30 \times T_{st} = 1,30 \times 0,44 = 0,572 \text{ sec} \dots\dots\dots$ Condition vérifiée.

Mode	Période (S)
1	0,355494
2	0,319135
3	0,247989
4	0,085876
5	0,081071
6	0,061454
7	0,040864
8	0,039816
9	0,03155
10	0,029985
11	0,029039
12	0,027288

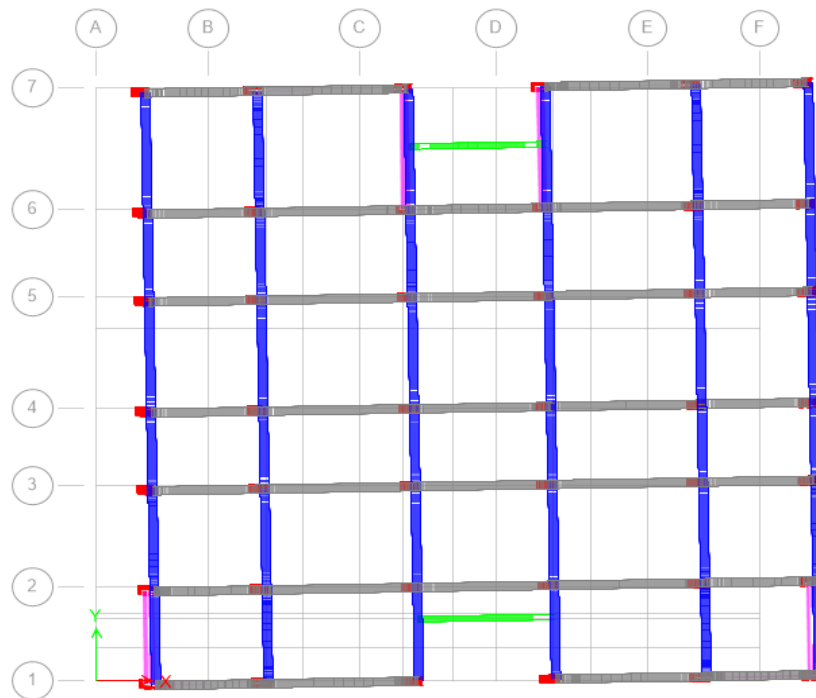
**Tableau II.4: Tableau des modes et des périodes.**

**Mode 1 : Translation suivant Y-Y**



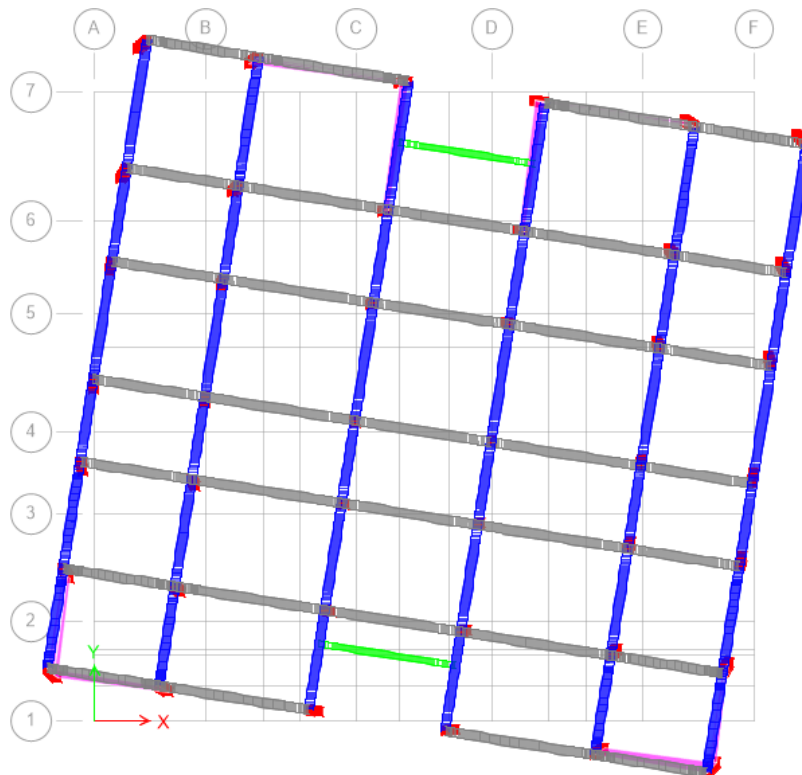
**Figure (II.2) : Translation suivant Y-Y.**

**Mode 2 : Translation suivant X-X.**



**Figure (II.3) : Translation suivant X-X.**

**Mode 3 : Rotation**



**Figure (II.4) : Rotation autour de l'axe Z.**

**II.4.2 Calcul des coefficients de participation modale (Art 4.3.4 RPA 2003) :**

On doit vérifier que :  $\sum \bar{\alpha}_i \geq 90\%$

$$\text{Avec : } \bar{\alpha}_i = \frac{\left( \sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki} \right)^2}{\sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki}^2} \cdot \frac{1}{\sum_{K=1}^n W_K}$$

$$W = \sum W_K = 26079,20 \text{ KN}$$

Le logiciel ETAPS V18.0.02 peut déterminer directement les valeurs des coefficients de Participation modale, les valeurs données sont :

Mode	Période	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0,355494	0	70,1836	0	70,1836
2	0,319135	70,5918	0	70,5918	70,1836
3	0,247989	0,7693	0	71,3612	70,1837
4	0,085876	0	20,7416	71,3612	90,9252
5	0,081071	19,9947	0	91,3559	90,9253
6	0,061454	0,1699	0	91,5259	90,9253
7	0,040864	0,0001	5,8326	91,5259	96,7578
8	0,039816	5,2275	0,0002	96,7534	96,758
9	0,03155	0,0001	0,081	96,7535	96,839
10	0,029985	0,1002	0	96,8536	96,839
11	0,029039	0,3236	0,0071	97,1772	96,8461
12	0,027288	0,0118	1,9369	97,189	98,783

**Tableau II.5: Participation massique cumulée.**

**a-Sens longitudinal :**

$\sum \alpha_x \geq 90\% \Rightarrow 97,18 \geq 90\%$  .....Condition vérifiée.

**b- Sens transversal :**

$\sum \alpha_y \geq 90\% \Rightarrow 98,78 \geq 90\%$  .....Condition vérifiée.

**II.4.3. Vérification de la condition de la méthode statique équivalente:**

On doit vérifier que 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 résultant des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente.

$V_{st}$ (KN)	Vérification	
	Sens longitudinal (KN)	Sens transversal (KN)
2581,48	$V_{dx}=2182,48 >80\% V_{st}=2065,47$ Condition vérifiée.	$V_{dy}=2177,36 >80\% V_{st}=2065,47$ Condition vérifiée.

**Tableau II.6: Vérification des forces sismiques.**

**II.4.4. Vérification des déplacements (Art 5.10 RPA 2003) :**

Sous l'action des forces horizontales ; la structure subira des déformations horizontales. Pour éviter l'augmentation des contraintes dans les systèmes de contreventement, les déplacements doivent être calculés pour chaque élément de contreventement, les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur de l'étage.

$$\Delta_K = \delta_k - \delta_{k-1} \leq \delta_k ; \text{ Avec } \delta_k = R \times \delta_{ek}$$

R : coefficient de comportement ; R = 4.

$\delta_{ek}$  : Déplacement du aux forces sismiques F (y compris l'effort de torsion).

Les tableaux suivants résument les déplacements relatifs aux différents niveaux dans les deux sens longitudinal et transversal.

NIVEAU	Sens longitudinal (m)		Sens transversal (m)		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
	$\delta_{ex}$	$\delta_k$	$\delta_{ey}$	$\delta_k$		
5	0,0044	0,0176	0,0055	0,022	0,0009	0,0011
4	0,0035	0,014	0,0044	0,0176	0,0009	0,0012
3	0,0026	0,0104	0,0032	0,0128	0,0008	0,0011
2	0,0018	0,0072	0,0021	0,0084	0,0008	0,001
1	0,001	0,004	0,0011	0,0044	0,0007	0,0007
RDC	0,0003	0,0012	0,0004	0,0016	0,0003	0,0004

**Tableau II.7: Les déplacements relatifs de chaque niveau dans les deux sens.**

On remarquant que tous les déplacements relatifs ne dépassent pas les 1,0% de la hauteur d'étage 1,0%  $h_e=0,0306$ ; donc la condition est vérifiée.

**II.4.5. Vérification de l'effet P-Delta (Art 5.9 RPA 2003) :**

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

$$\theta = \frac{P_k \times \Delta_k}{V_k \times h_k} \leq 0,10$$

Avec :

$P_k$  : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau « K » ;

$$P_k = \sum_{i=k}^n (W_{Gi} + \beta W_{qi})$$

$V_k$  : Effort tranchant d'étage au niveau "K" ;

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

$F_t$  : Force concentrée au sommet de la structure donnée par la formule suivante :

$$\begin{cases} F_t = 0,07 \times T \times V & \text{si : } T > 0,7 \text{ sec} \\ F_t = 0 & \text{si : } T \leq 0,7 \text{ sec} \end{cases}$$

Dans notre structure ( $F_t = 0$ ) puisque :  $T = 0,36 \text{ Sec} \leq 0,7 \text{ Sec}$

Les forces  $F_i$  sont distribuées sur la hauteur de la structure selon la formule suivante :

$$F_i = (V - F_t) \cdot W_i \cdot h_i / \sum_{j=1}^n W_j \cdot h_j$$

Avec :

$F_i$  : effort horizontal revenant au niveau  $i$

$h_i$  : niveau du plancher où s'exerce la force  $i$

$h_j$  : niveau d'un plancher quelconque.

$W_i ; W_j$  : poids revenant au plancher  $i ; j$

$\Delta_k$  : Déplacement relatif du niveau « $K$ » par rapport au niveau « $K-1$ » ;

$h_k$  : Hauteur de l'étage « $K$ ».

Si :  $\begin{cases} \theta_k \leq 0,1 \Rightarrow \text{Effet P-}\Delta \text{ peut être négligé.} \\ 0,1 < \theta_k \leq 0,2 \text{ Amplifiant les effets de } \frac{1}{(1-\theta_k)}. \\ \theta_k > 0,2 \Rightarrow \text{Structure instable et doit être redimensionnée.} \end{cases}$

NIVEAU	$h_i$	$W_i$	$P_K$	Sens X			Sens Y		
				$\Delta_k$	$V_K$	$\theta$	$\Delta_k$	$V_K$	$\theta$
5	18,36	4350,49	4350,49	0,0009	632,43	0,0003	0,0011	630,94	0,0004
4	15,3	4178,96	8529,45	0,0009	1133,32	0,0004	0,0012	1130,66	0,0006
3	12,24	4303,1	12832,55	0,0008	1546,31	0,0005	0,0011	1542,68	0,0007
2	9,18	4415,55	17248,10	0,0008	1864,39	0,0008	0,0010	1860,02	0,0010
1	6,12	4415,55	21663,65	0,0007	2076,45	0,0012	0,0007	2071,58	0,0012
RDC	3,06	4415,55	26079,20	0,0003	2182,48	0,0012	0,0004	2177,36	0,0016

**Tableau II.8: L'effet P- $\Delta$  dans le sens X et Y.**

D'après les résultats obtenus ( $\theta < 0,10$ ) dans les deux sens. Les effets du deuxième ordre peuvent être négligés pour notre cas. Après ces résultats obtenus dans notre étude dynamique et sismique on peut dire que la structure peut résister aux chocs extérieurs tels que le séisme, malgré l'augmentation des charges "cas frome self and specified mass and loads".

## II.4.6 ferrailage de la structure :

**II.4.6.1. Les combinaisons de calcul :** Les combinaisons des actions sismiques et les actions dues aux charges verticales sont données ci-dessus, les éléments de la structure doivent être dimensionnés par les combinaisons des charges sur la base des règlements [B.A.E.L 91 modifiée 99 et R.P.A 99/ (version 2003)].

- **Poutres :** Sollicitation du 1<sup>er</sup> genre (**B.A.E.L 91 modifiée 99**)  $1,35G+1,5Q$  et Sollicitation du 2<sup>ème</sup> genre (**R.P.A 99/ (version 2003)**)  $0,8G \pm E G + Q \pm E$
- **Poteaux :** Sollicitation du 1<sup>er</sup> genre (**B.A.E.L 91 modifiée 99**)  $1,35 G+1,5 Q$  et Sollicitation du 2<sup>ème</sup> genre (**R.P.A 99/ (version 2003)**)  $0,8G \pm E G + Q \pm E$

Avec :

G : Charge permanente.

Q : Charge d'exploitation.

E : Effort sismique.

Les moments de calcul de ferrailage sont obtenus de l'analyse de logiciel ETABS en utilisant l'option (**Show Tables**) et en choisissant *Beam* Force pour le moment des poutres et *column* force pour le moment des poteaux.

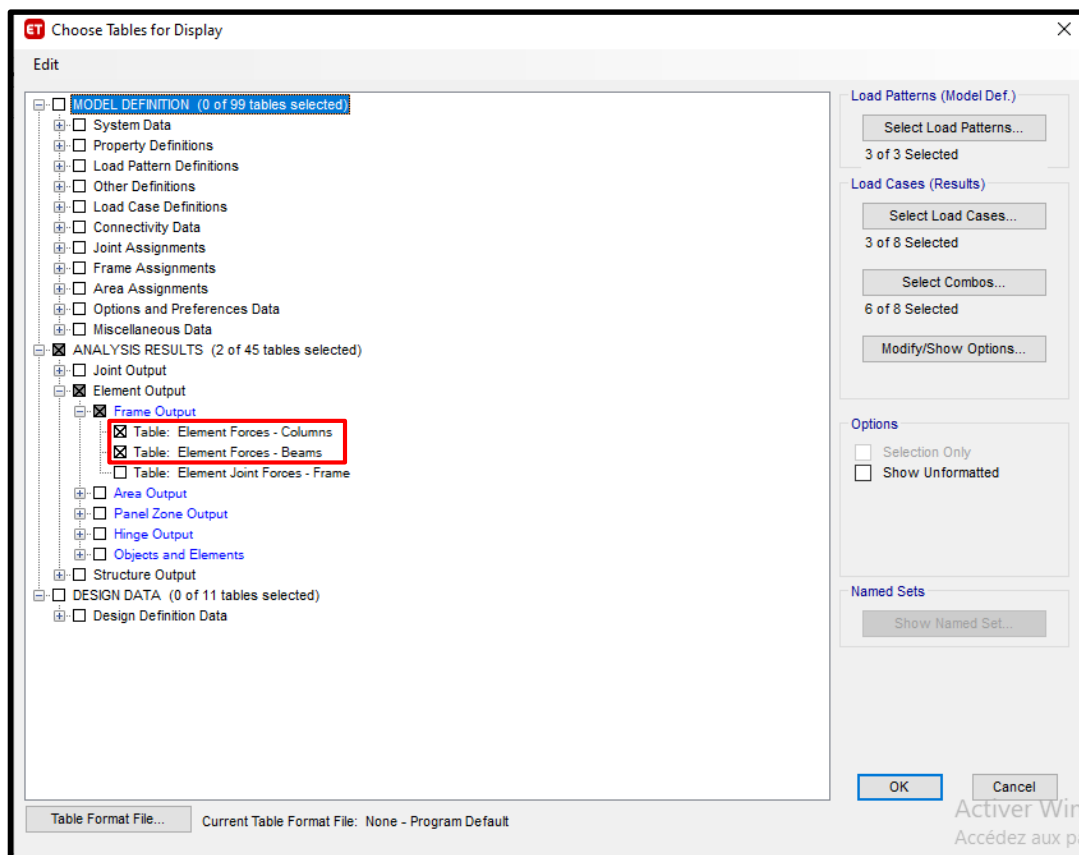


Figure (II.5): L'option (Show Tables).

## Chapitre II: Etude sismique et vérification vis-à-vis RPA

Story	Beam	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Station m	P kN	V2 kN	V3 kN	T kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m	Element	I <sup>AS</sup>
STORY6	B59	127	ELU	Combination			1,526	0	-15,8001	0	-0,0641	0	39,475	127-3	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			1,974	0	15,1816	0	-0,0641	0	39,6136	127-3	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			2,422	0	46,1633	0	-0,0641	0	25,8723	127-3	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			2,87	0	77,1451	0	-0,0641	0	-1,7488	127-3	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			2,87	0	77,1449	0	-0,0641	0	-1,7487	127-4	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			3,19	0	99,2747	0	-0,0641	0	-29,9759	127-4	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			3,19	0	99,2744	0	-0,0641	0	-29,9759	127-5	
STORY6	B59	127	ELU	Combination			3,35	0	110,3393	0	-0,0641	0	-46,745	127-5	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			0,15	0	-81,061	0	0,0428	0	-34,5549	127-1	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			0,31	0	-72,9479	0	0,0428	0	-22,2342	127-1	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			0,31	0	-72,9481	0	0,0428	0	-22,2342	127-2	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			0,63	0	-56,7219	0	0,0428	0	-1,4869	127-2	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			0,63	0	-56,722	0	0,0428	0	-1,487	127-3	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			1,078	0	-34,0053	0	0,0428	0	18,8362	127-3	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			1,526	0	-11,2886	0	0,0428	0	28,9837	127-3	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			1,974	0	11,4282	0	0,0428	0	29,1415	127-3	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			2,422	0	34,1449	0	0,0428	0	19,2036	127-3	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			2,87	0	56,8616	0	0,0428	0	-0,911	127-3	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			2,87	0	56,8615	0	0,0428	0	-0,911	127-4	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			3,19	0	73,0877	0	0,0428	0	-21,5094	127-4	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			3,19	0	73,0875	0	0,0428	0	-21,5094	127-5	
STORY6	B59	127	ELSEX	Combination			3,35	0	81,2006	0	0,0428	0	-33,7556	127-5	
STORY6	B59	127	ELSEY	Combination			0,15	0	-77,7995	0	0,0411	0	-29,1033	127-1	
STORY6	B59	127	ELSEY	Combination			0,31	0	-69,6864	0	0,0411	0	-17,3044	127-1	

**Figure (II.6):Le tableau des moments.**

En utilisant logiciel SOCOTEC pour le calcul de ferrailage des sections

**Matériaux**  
 Contrainte béton :  $f_{ck}$  25 MPa  
 Limite élast. acier :  $f_e$  400 MPa  
 Coeff. acier/béton : n 15

**Géométrie**  
 Largeur : b 0,3 m  
 Hauteur : h 0,4 m  
 Pgs. cdg amatures sup. : d' 0,03 m  
 Pgs. cdg amatures inf. : c 0,03 m

**Calcul aux ELU** (checked)  
 Effort normal : Nu [ ] kN  
 Moment fléchissant : Mu 63,65 kN\*m

**Calcul aux ELS** (unchecked)  
 Effort .. : Ns [ ] kN  
 Moment .. : Ms [ ] kN\*m

**Coefficients**  
 durée chargement :  $\theta$  1  
 sécurité du béton :  $\gamma_b$  1,5  
 sécurité de l'acier :  $\gamma_s$  1,15

**Sections d'armatures**  
 supérieures : [ ] cm<sup>2</sup>  
 inférieures : [ ] cm<sup>2</sup>

**Convention signes**  
 N > 0 : compression  
 M > 0 : tend la fibre inférieure

**Fissuration**  
 peu préjudiciable  
 préjudiciable  
 très préjudiciable

**Type d'armature**  
 rond lisse  
 barre HA  
 barre HA

**Figure (II.7) : Monte la fenêtre de logiciel.**



Le tableau suivant résume le ferrailage des poutres et poteaux qui composées notre Structure.

	<b>Poutre principale</b>	<b>Poutre secondaire</b>	<b>Poteau</b> (RDC +1 <sup>er</sup> +2 <sup>ème</sup> +3 <sup>ème</sup> étage)	<b>Poteau</b> (4 <sup>ème</sup> +5 <sup>ème</sup> étage)
Section (bxh) cm <sup>2</sup>	(30x40)	(30x30)	(40x40)	(30x30)
Ferrailage adopte En appuis	3T14+3T14	3T12+3T12	4T16+4T14 A <sub>s</sub> =14,20 cm <sup>2</sup>	4T14+4T12 A <sub>s</sub> =10,68 cm <sup>2</sup>
Ferrailage adopte En travée	3T14+2T12	3T12+3T12		

**Tableau (II.9):Ferrailages d'éléments porteurs.**

## **II.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons calculé le ferrailage des différents éléments de portique (poteaux, poutres), et pour la confirmation de notre choix on à utiliser le programme Socotec

- Les poutres sont calculées en flexion simple.
- Les poteaux sont calculés en flexion composée.

*Partie II :*  
*Partie non linéaire*

# **Chapitre III :**

## **La méthode Pushover**

### **III.1 Introduction :**

La détermination de la vulnérabilité sismique des structures existantes par la méthode statique linéaire cause généralement un éloignement de la réalité physique dans un sens défavorable. Pour approcher le plus du comportement réel, il faut prendre en compte le comportement des structures au-delà du domaine élastique linéaire, en étudiant leurs comportement dans le domaine plastique.

Pour cette raison notre étude de vulnérabilité sera effectuée à l'aide d'une analyse statique non linéaire (**Pushover**) [2].

L'analyse Pushover consiste en une série d'analyses élastiques, superposées pour approximer une courbe de capacité ou courbe effort tranchant à la base-déplacement au sommet [3].

### **III.2 Analyse Pushover :**

#### **III.2.1 Définition :**

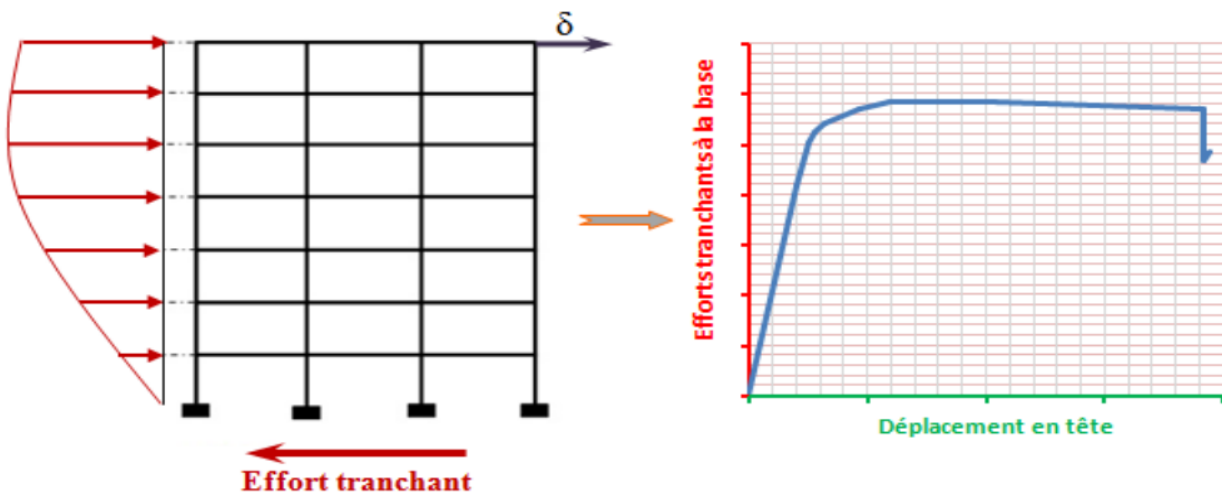
L'analyse Pushover (l'analyse statique non linéaire) est fondamentalement et approximative, exécutée sous charges horizontales croissantes d'une façon monotone distribuées sur toute la hauteur de la structure selon un modèle prédéfini jusqu'à ce que les modes de ruines commencent à apparaître. Durant cette analyse les charges gravitaires demeurent constantes.

Cette analyse nous permet :

- D'évaluer les mécanismes plastiques attendus et la distribution des dommages dans la structure ;
- De connaître quels sont les modes des ruines possibles.
- D'approcher d'avantage le comportement réel de la structure.
- L'identification des zones critiques dans lesquelles les déformations sont supposées être grandes ;
- L'évaluation des différents paramètres en termes de déplacement et de sollicitations dans les éléments de la structure ;
- D'assurer que la séquence de formation des rotules plastiques est conforme à l'hypothèse de conception ;
- D'évaluer la performance sismique des structures existantes ou renforcées.

Les résultats de l'analyse Pushover est une courbe qui nous donne l'effort tranchant à la base de la structure en fonction du déplacement en tête de cette dernière, cette courbe est

appelée courbe de capacité ou bien courbe Pushover (**Figure III.1**) [3,8].



**Figure(III.1) : Courbe de capacité (Pushover) d'une structure [3].**

La courbe de capacité de la structure est déterminée en effectuant les étapes suivantes :

- Définition et attribution des rotules plastiques aux éléments de la structure.
- Définition de la distribution verticale des charges horizontales.
- Définition d'un déplacement cible comme référence pour un déplacement attendu de la structure lors d'un séisme.
- Application des charges de gravité comme condition initiale pour l'analyse Pushover, qui doivent être maintenues constantes durant l'analyse.
- Application des charges horizontales représentant le séisme, que l'on fait croître d'une façon monotone.

### **III.2.2 Description de l'analyse Pushover :**

L'analyse statique non linéaire par poussé progressive communément appelée analyse Pushover, est une méthode approximative dont laquelle la structure est soumise à des charges latérales qui se produisent à la suite d'une accélération du sol.

Ces charges latérales croissent d'une façon monotone jusqu'à atteindre une première plastification d'un élément structural (apparition des rotules plastiques), le modèle mathématique de la structure est modifié pour tenir compte de la résistance réduite.

Les charges latérales sont à nouveau appliquées jusqu'à ce que d'autres éléments structuraux supplémentaires atteignent la résistance plastique.

Ce processus se poursuit jusqu'à ce que la structure devienne instable ou jusqu'à une limite fixe soit atteinte.

L'analyse Pushover permet de présenter de façon simplifiée le comportement de la structure sous l'effet de différents types de charges dues au tremblement de terre [4,5].

Les restrictions suivantes ont été introduites :

- Toutes les propriétés non-linéaires qui définissent un endommagement éventuel de la structure sous l'effet des forces dues au tremblement de terre sont données dans les rotules plastiques ;
- Les rotules plastiques peuvent être utilisées uniquement dans les structures de type portique. Elles ne sont pas prises en compte dans les éléments de structure comme plaques, coques et solides ;
- Ces types de structures utilisent respectivement les éléments finis surfaciques ou volumiques ;
- Les rotules plastiques sont traitées autant que liaisons non-linéaires indépendantes pour chaque degré de liberté dans le nœud sélectionné ;
- L'interaction entre différents degrés de liberté est négligée ;
- La position de la rotule non-linéaire est définie par l'utilisateur.

### **III.2.3 Objectifs et domaine d'application :**

Pushover est une méthode d'analyse de structures qui permet d'établir la courbe de capacité d'une structure soumise à un chargement statique croissant.

L'allure du chargement appliqué lors de l'analyse a pour objectif de représenter l'effet d'un séisme par une force de remplacement statique appelée force statique équivalente [6].

A partir de cette charge appliquée par étape, le comportement non linéaire de la structure peut être défini.

Le non linéarité est en effet introduit dans la structure au moyen des paramètres des rotules plastiques.

Le but essentiel de l'analyse Pushover est de décrire le comportement réel de la structure et d'évaluer les différents paramètres en termes de sollicitations et déplacements dans les éléments de la structure à savoir :

- L'estimation des déformations dans le cas des éléments qui doivent subir des déformations inélastiques afin de dissiper de l'énergie communiquée à la structure par le mouvement du sol ;
- La détermination des sollicitations réelles sur les éléments fragiles, telles que les sollicitations sur les assemblages de contreventements, les sollicitations axiales sur

les poteaux, les moments sur les jonctions poteau-poutre, les sollicitations de cisaillement ;

- Les conséquences de la détérioration de la résistance des éléments sur le comportement global de la structure ce qui permet de déterminer les points forts et les points faibles de notre structure ;
- L'identification des zones critiques dans lesquelles les déformations sont supposées être grandes ;
- L'identification des discontinuités de résistance en plan et en élévation qui entraînent des variations dans les caractéristiques dynamiques dans le domaine inélastique ;
- L'estimation des déplacements inter-étage qui tiennent compte des discontinuités de la rigidité et de la résistance qui peut être utilisés dans le contrôle de l'endommagement.

#### **III.2.4 Hypothèses d'élaboration de la méthode (Pushover) :**

Comme toute les théories et les méthodes de calcul, l'analyse statique non linéaire de Pushover est basée sur l'hypothèse que la réponse d'une structure à multi degrés de libertés MDOF (**Multiple Degree of Freedom** ) peut être assimilée à la réponse d'un système à un seul degré de liberté équivalent *SDOF* (**Single Degree of Freedom** ) (**Figure III.2**), ce qui implique que la réponse est fondamentalement contrôlée par un seul mode de vibration et la forme de ce mode demeure constante durant le séisme, les expérience ont montré que le premier mode de vibration qui domine le mouvement de la structure [7].

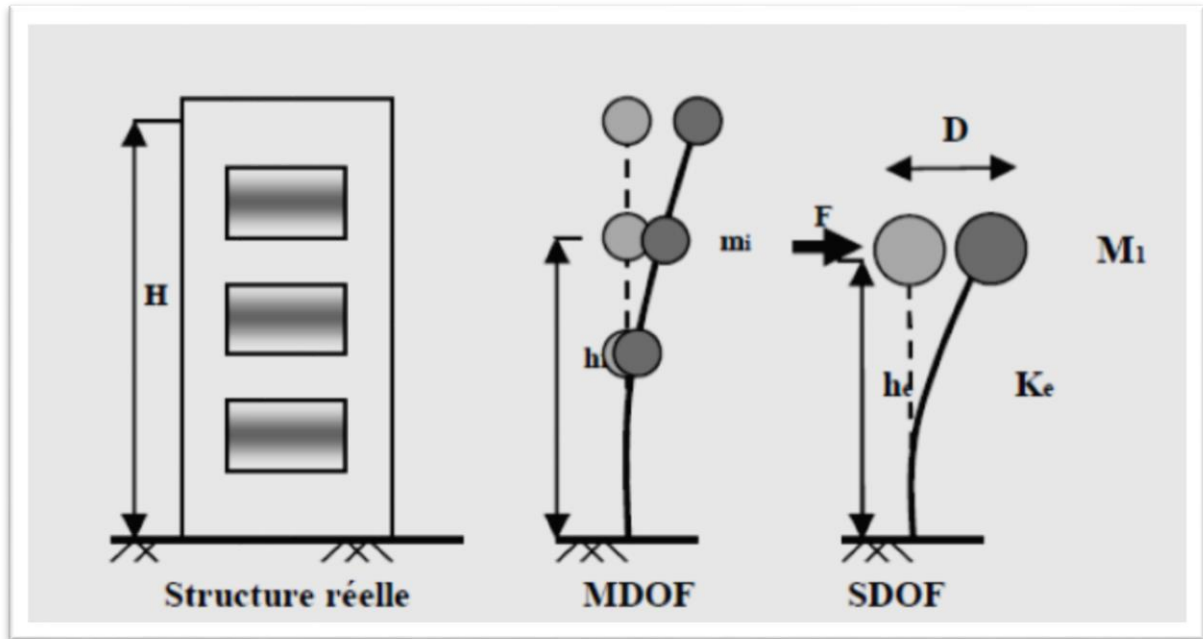


Figure (III.2) : système équivalent d'une structure à plusieurs degrés de libertés [7].

### III.3 Étapes de l'analyse Pushover :

- **Etape 1** : la structure est supposée soumise aux charges gravitaires constantes, selon la réglementation Algérien ces charges incluent les charges permanentes et une portion des charges d'exploitations ils sont données par :  $G+0,2Q$
- **Etape 2** : elle subit un autre chargement latéral triangulaire déterminé en calculant les charges latérales équivalentes qui représentent les forces d'inerties dues à la composante horizontale des sollicitations sismiques.
- **Etape 3** : On détermine un déplacement cible, déplacement est choisi arbitrairement, à condition qu'il soit représentatif de la déformation de la structure.
- **Etape 4** : En augmentant les forces latérales appliquées durant l'analyse, il y a apparition graduelle des rotules plastiques, l'évolution des mécanismes plastiques et l'endommagement progressif de la structure est fonction de l'intensité du chargement latéral et des déplacements résultants.

Permettent de modéliser le comportement non linéaire et effectuer des analyses par la méthode Pushover directement pour obtenir la courbe de capacité, cette méthode est basée sur des poussées progressive appliquées sur la structure on aura recours au logiciel **ETABS**, **SAP2000** et **PERFORMED 3D**...etc.



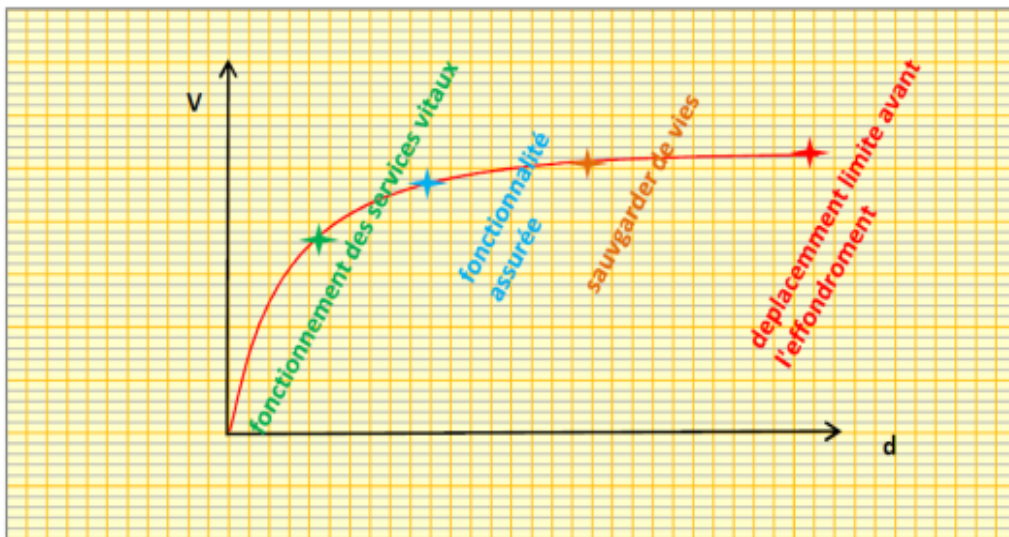
### **III.4 Courbe de capacité :**

La courbe de capacité de la structure représente l'effort horizontal à la base du bâtiment en fonction du déplacement de celui-ci (Voir la Figure III.3).

La courbe de capacité est en général formée par une phase à caractère élastique linéaire suivie par une phase non linéaire correspondant à la formation des rotules de flexion et de cisaillement, jusqu'au moment de la rupture (défaut de résistance).

La rupture est identifiable par une chute de l'effort à la base suite à un petit déplacement de la structure.

Les stades de plastification, ainsi que les différents degrés d'endommagement, peuvent donc être introduits sur cette courbe [8].



**Figure (III.3) : Courbe de capacité avec les différents degrés d'endommagement [8].**

### **III.5 point de performance :**

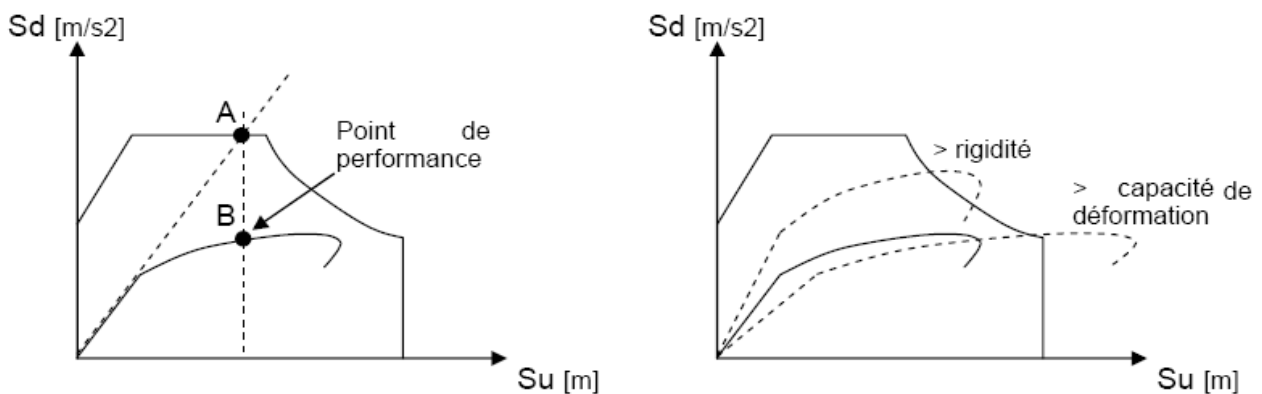
Pour chaque courbe de capacité et chaque spectre représentant une sollicitation sismique donnée, nous obtenons le déplacement susceptible de se produire au sommet du bâtiment, on utilise en général des spectres de réponse en accélération ou en déplacement. Les axes de la courbe de capacité doivent donc être transformés afin d'avoir les mêmes unités :

- Réaction à la base / masse → accélération.
- Déplacement / Facteur de participation modale → déplacement.

Plusieurs méthodes d'assemblage des deux courbes sont applicables. L'EC8 au bien Le NTC 08 (Normes Technique de Construction Italien), permet de trouver un point de performance sur la base de la règle des déplacements égaux. Prévoient des itérations avec plusieurs spectres représentant différents coefficients d'amortissement visqueux [9, 10].

Dans les deux cas on trouve ce que l'on appelle un « point de performance » qui permet de faire plusieurs considérations concernant le comportement de la structure face au séisme. Selon les indications de l'EC8 et NTC 08, le déplacement élastique d'une structure équivalente est trouvé par le prolongement de la partie élastique de la courbe de capacité jusqu'au croisement avec le spectre (point A) (Voir la Figure III.4).

Le déplacement inélastique de la structure réelle est celui qui lui correspond sur la courbe de capacité au point B. Avec cette construction, on peut par exemple définir si la structure nécessite une augmentation de sa capacité de déformation ou bien une augmentation de sa rigidité.



**Figure (III.4) : Point de performance selon EC8 et NTC 08 et principe d'évaluation de la courbe de capacité [9].**

Ces normes techniques de construction établissent des principes pour la conception, la mise en œuvre et les essais des structures, en ce qui concerne les performances qui leur sont demandées en termes d'exigences fondamentales de résistance mécanique, de stabilité, même en cas d'incendie, et de durabilité. Il fournit donc des normes générales de sécurité, définit les procédures à utiliser dans un projet, définit les propriétés des matériaux et des produits et, plus généralement, traite des aspects liés à la sécurité structurelle des ouvrages [9, 10].

Les règles régissant la conception, la mise en œuvre et les essais des bâtiments afin d'assurer, à des niveaux spécifiés de sécurité, la sécurité publique. Le texte réglementaire, composé de diverses observations et suggestions d'ordre technique du monde productif, scientifique et professionnel, fournit une série d'indications concernant les modalités de calcul et de vérification des ouvrages, ainsi que les règles de conception et de réalisation des ouvrages, conformément aux rubriques suivantes :

- maintenir la norme de performance, dans la mesure permise par la nécessité d'exécuter la norme elle-même.

- cohérence avec les orientations réglementaires au niveau de l'UE, toujours en phase avec les besoins de sécurité du pays, en particulier, harmonisation de l'harmonisation avec les codes européens, les normes européennes EN ont été largement diffusées.

- une étude approfondie des aspects réglementaires liés à l'existence d'ouvrages sismiques.

- une étude approfondie des exigences et des indicateurs liés à la relation entre les ouvrages et le terrain et, d'une manière générale, les aspects géotechniques.

Prévoient de croiser la courbe de capacité avec le spectre de repense (demande spectrale). Le comportement inélastique est approché par l'accroissement du coefficient d'amortissement visqueux. L'itération consiste en principe à trouver le point d'équilibre entre ductilité demandée et amortissement requis. Le point de croisement de la courbe avec un spectre permet de définir la ductilité nécessaire à la structure (rapport entre point D et point C).

### III.6 Niveaux d'endommagement :

On voit dans la figure ci- après que la courbe est composée de quatre segments, chaque segment correspond à une étape d'endommagement.

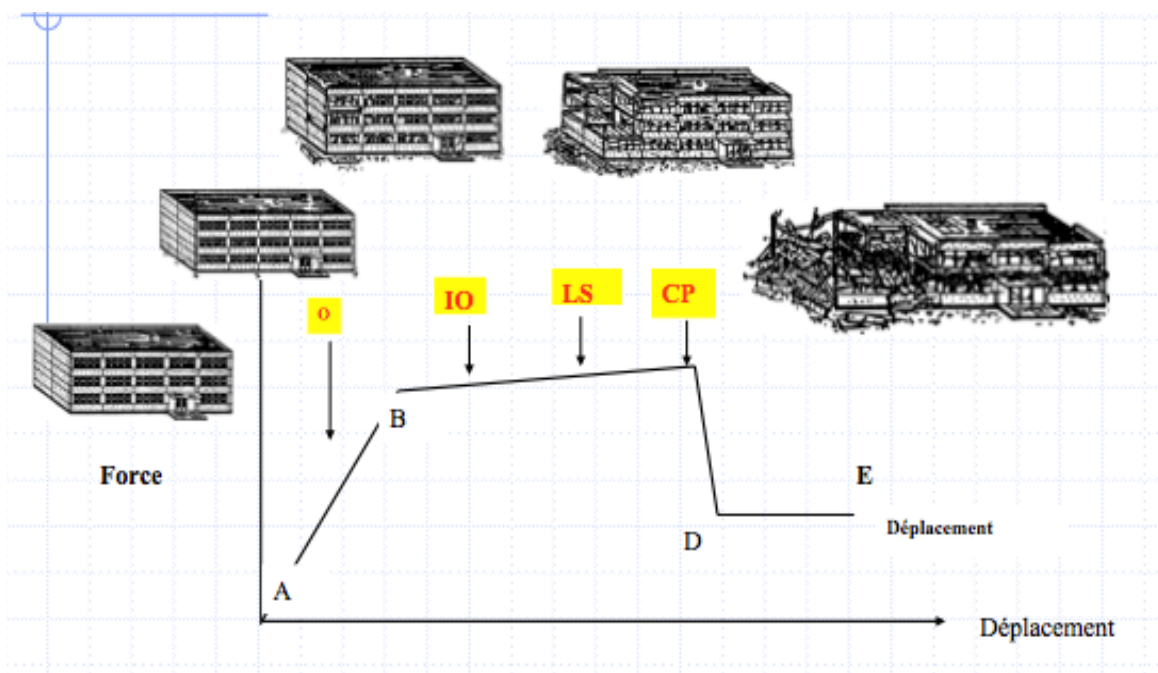


Figure (III.4): Niveaux d'endommagement représenté par une courbe de capacité [8].

#### 1) Le premier niveau : Immédiate occupancy (IO) :

Correspond au comportement élastique de la structure et représente le niveau de conception parasismique habituel. Il indique par conséquent un état d'endommagement superficiel (ou bien de non endommagement).

**2) Le deuxième niveau : Life Safety (LS) :**

D'endommagement correspond à un niveau de dommage contrôlé. La stabilité de la structure n'est pas en danger, mais toutefois un endommagement mineur est susceptible de se développer.

**3) Le troisième niveau: Collapse prévention (CP) :**

Représente un état d'endommagement avancé, sa stabilité étant en danger. Au-delà de ce niveau, la structure est susceptible à l'effondrement, ne présentant aucune capacité de résistance.

**III.7 Rotules plastiques :**

La rotule plastique est une zone d'un élément de structure (poutres, poteaux, voiles) subissant des déformations irréversible et capables de dissiper de l'énergie sous sollicitations alternées. Au-delà d'un seuil de sollicitation, elle se comporte comme une articulation autorisant la rotation des autres parties de l'élément [11].

Au-delà d'un seuil de sollicitation, elle se comporte comme une articulation autorisant la rotation des autres parties de l'élément.

Le comportement non linéaire des poutres et des poteaux et représenté par l'attribution concentré des rotules plastiques aux extrémités des éléments.

Les caractéristiques de flexion des poutres sont définies par des relations moment-rotation assignées comme rotules de moment aux extrémités des poutres (Voir la Figure III.5).

Une surface d'interaction force axiale-flexion permet de déterminer une relation moment-rotation pour représenter les caractéristiques de flexion des rotules plastiques aux extrémités des poteaux [12,14].

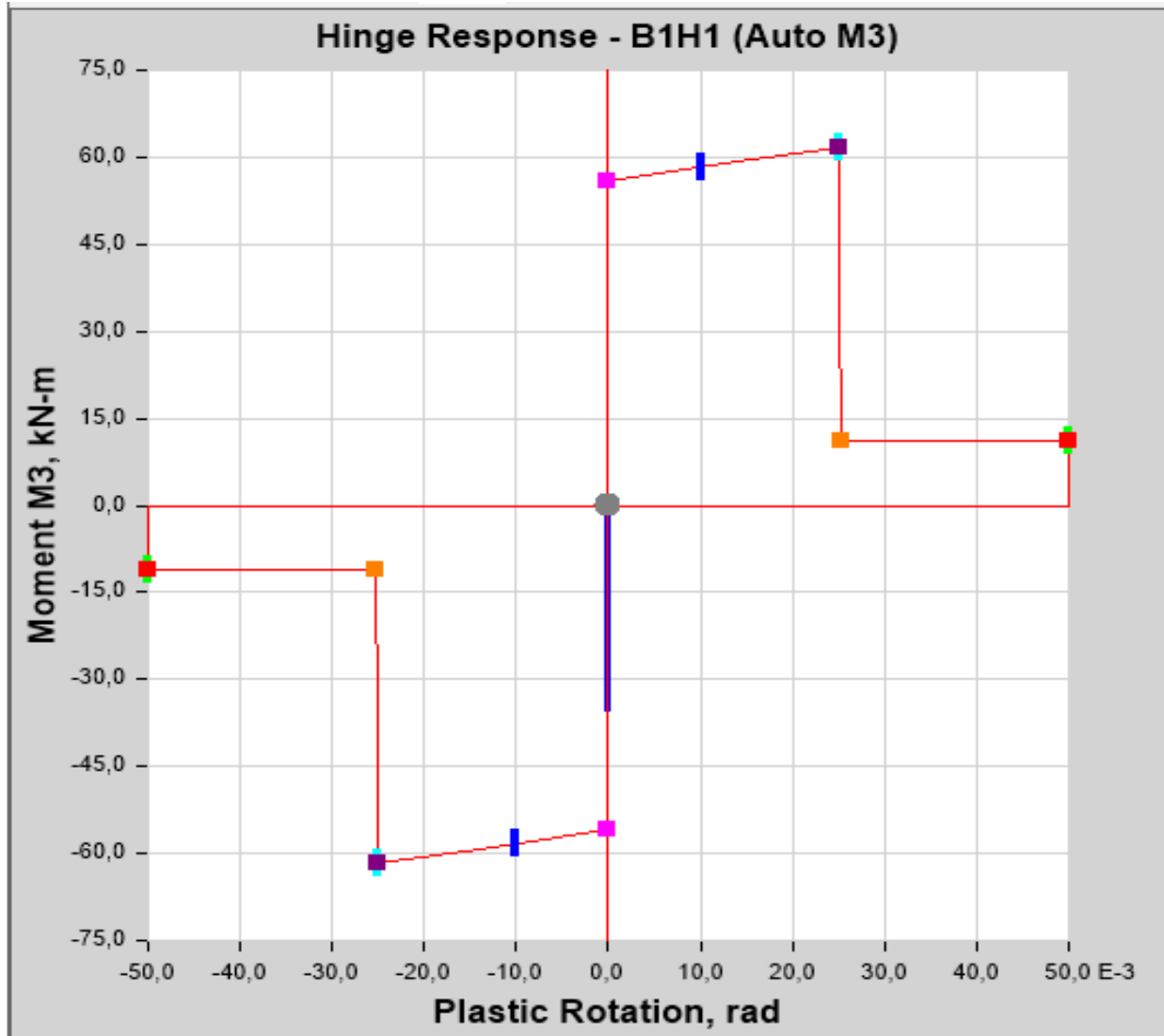


Figure (III.5) : La variation de moment plastique au niveau des poutres.

### III.8 Conclusion :

Les rotules plastiques traduisent le comportement non linéaire de la structure, les niveaux de performance affichés par les rotules lors de l'analyse Pushover et l'évolution de la formation des rotules avec l'avancement des étapes de l'analyse permettent de juger le degré de dommages auxquels la structure est soumise ainsi que les parties fragiles qui peuvent connaître plus de dégâts.

# **Chapitre IV :**

## **Analyse non linéaire**

**Analyse non linéaire** : Application de la méthode Pushover

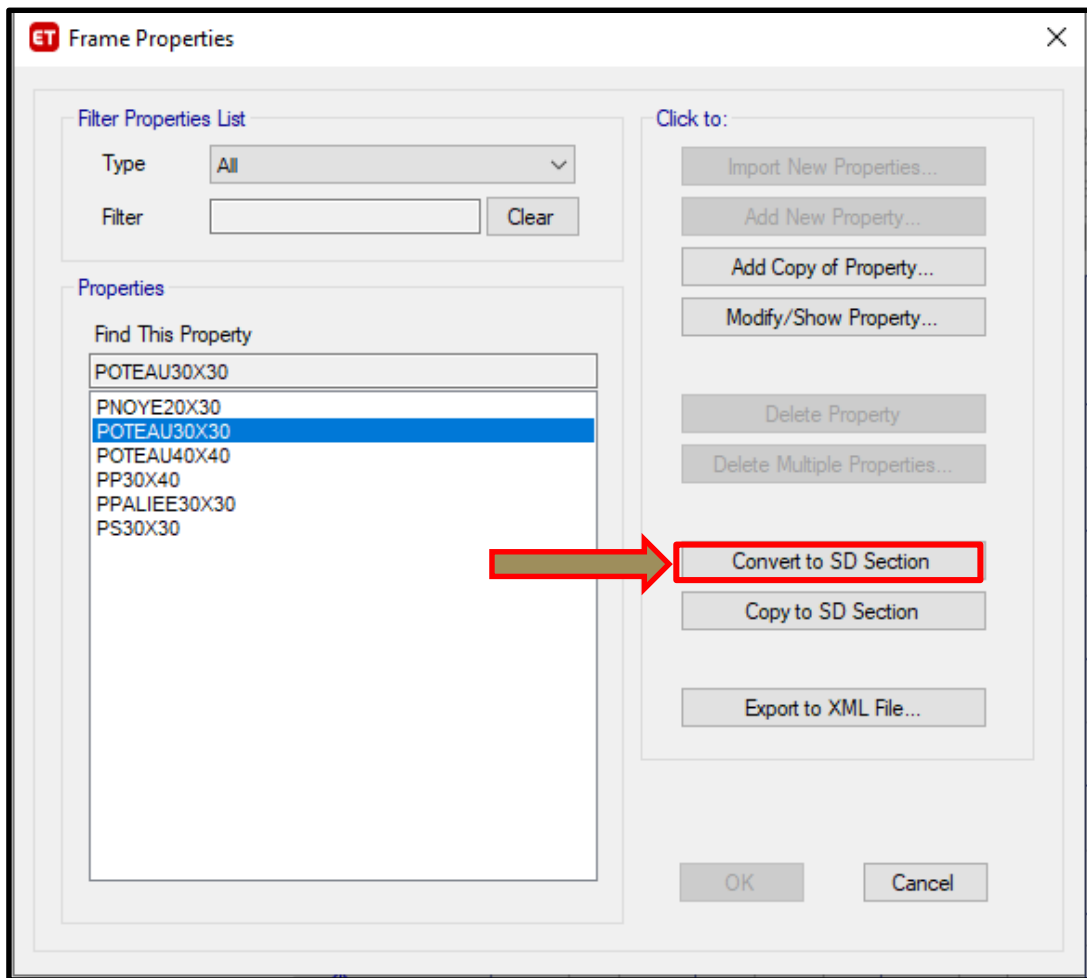
**IV.1 Introduction** :

Après l'analyse linéaire et le calcul de ferrailages des éléments porteurs de la structure dans le chapitre 03, on considère que notre structure est déjà existante et par la suite nous appliquons une analyse non linéaire par la méthode Pushover.

On commence par la définition des sections de ferrailage

**Define ^ Section properties ^frame Section**

Pour introduire le ferrailage des sections on utilise les options indiquées sur les figures suivantes :



**Figure (IV.01) : La boîte de dialogue Convert to SD Section.**

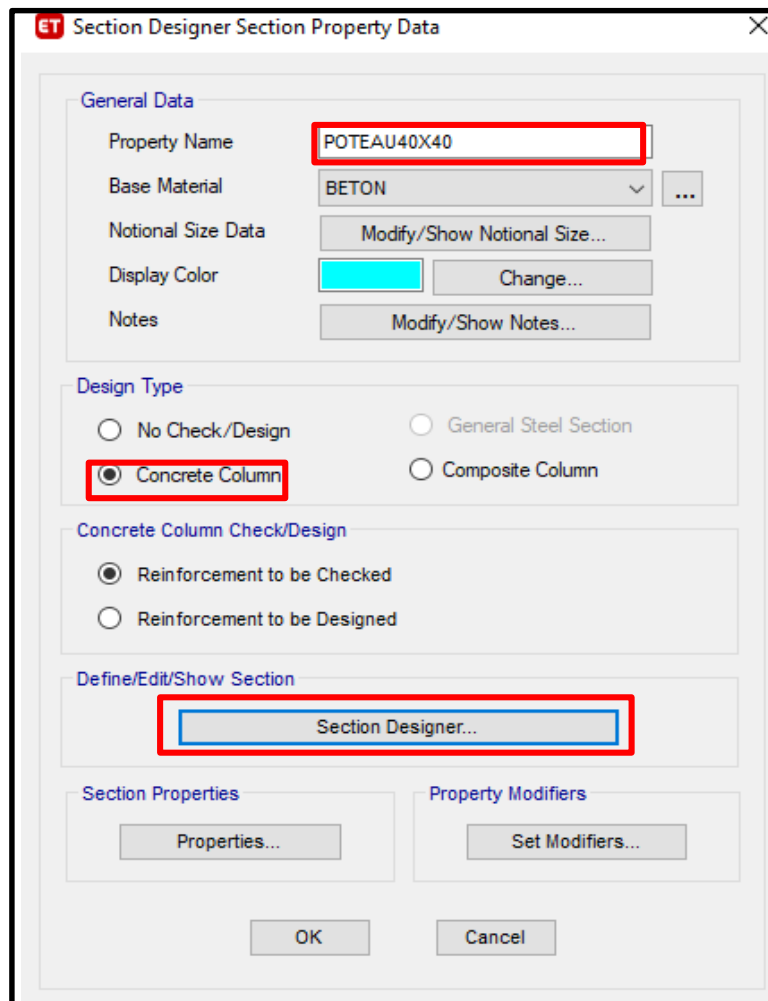
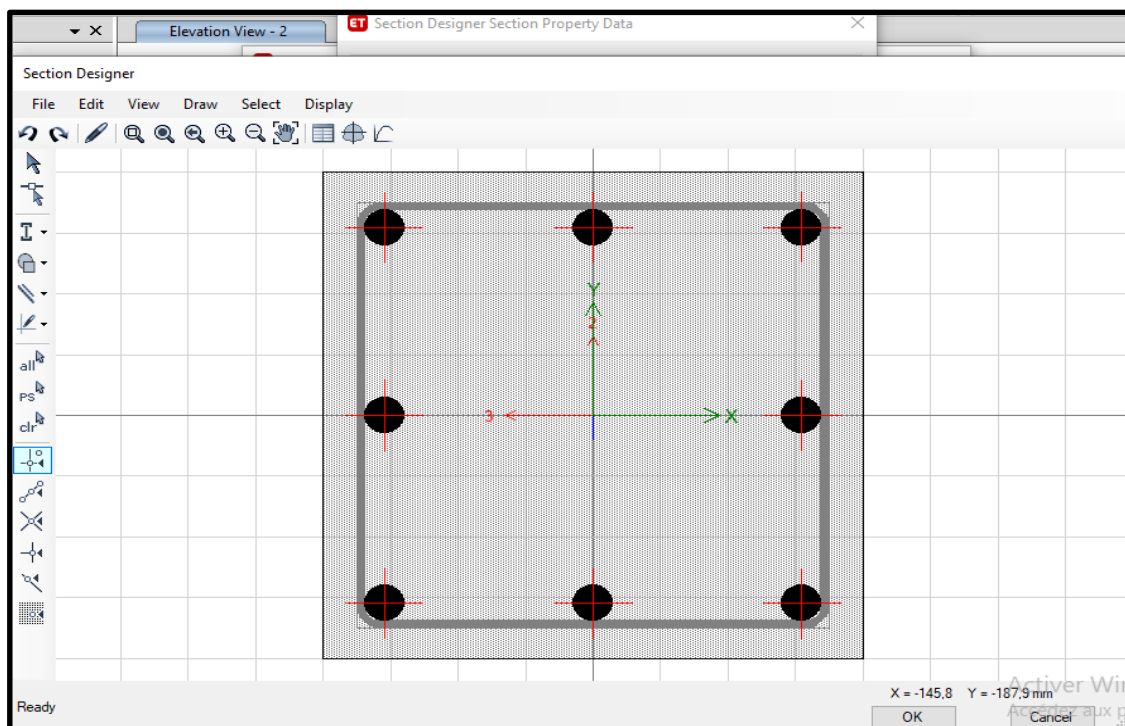


Figure (IV.02) : La boîte de dialogue SD Section.



Figure(IV.03) : Le Dessin de ferrailage des sections.



On change les éléments par les nouveaux éléments (section de ferrailage).

## **IV.2 Définition du comportement non linéaire de la structure :**

### **IV.2.1 Définition du comportement non linéaire des poutres, poteaux, voiles:**

Les poutres et les poteaux sont modélisés par des éléments ayant des propriétés élastiques linéaires, le comportement **non linéaire** des éléments est traduit par l'introduction de rotules plastiques "**Plastic Hinge**" aux niveaux des sections susceptibles de se plastifier (voir les figure : IV.5, IV.6 et IV.7).

Des rotules de type moment (**M2 et M3**), cisaillement (**V2 et V3**), effort normal (**P**), Torsion (**T**), le logiciel ETABS V 18.0.02 peut faire l'interpolation de ses efforts et moments.

Pour nos modèles de calculs, nous allons introduire dans les poutres et les poteaux des rotules plastiques avec des lois de comportements définies **par défaut** par le logiciel comme suit

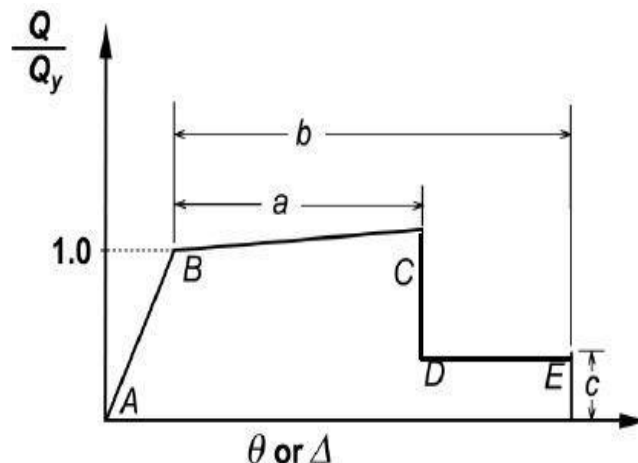
**Poutres** : Rotules de flexion et de cisaillement (**Auto M3**).

**Poteaux** : Rotules de flexion, cisaillement suivant axe 2-2 cisaillements suivant axe 3-3 (**Auto P-M2-M3**).

**Voiles** : Rotules de flexion **M3**, effort normal **P** (**Auto Fibre P-M**).

Les propriétés des différents types de rotules plastiques définies par défaut par le logiciel sont extraites des règlements américains FEMA 273 ou européennes EC08 et NTC08.

Pour chaque type de rotule, le comportement non linéaire est défini par un modèle idéalisé, représenté par une courbe force-déformation (Figure IV.4).



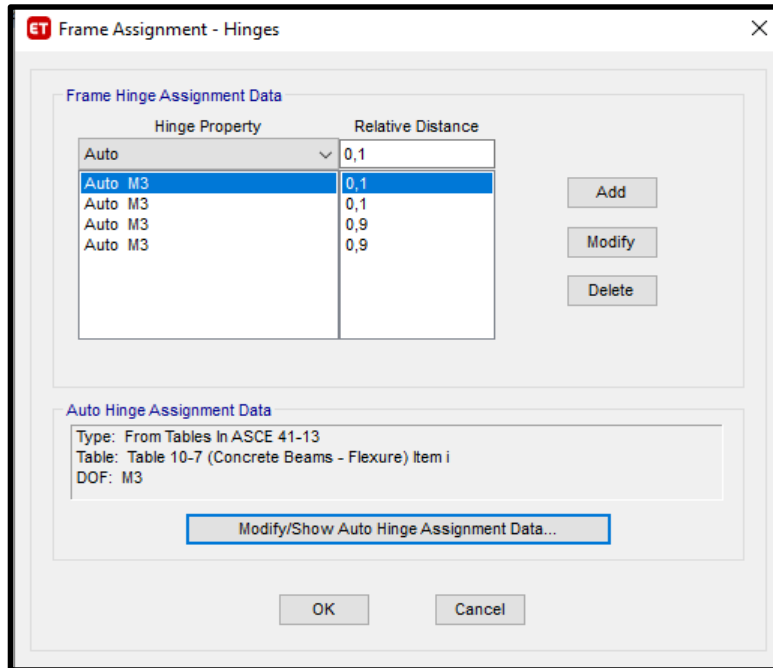
**Figure(IV.04) : Loi de Comportement utilisée par le logiciel ETABS.**

Le segment **A-B** représente la phase élastique de la section, le point **C** correspond à la capacité ultime et marque le début la phase de dégradation de la section (chute de

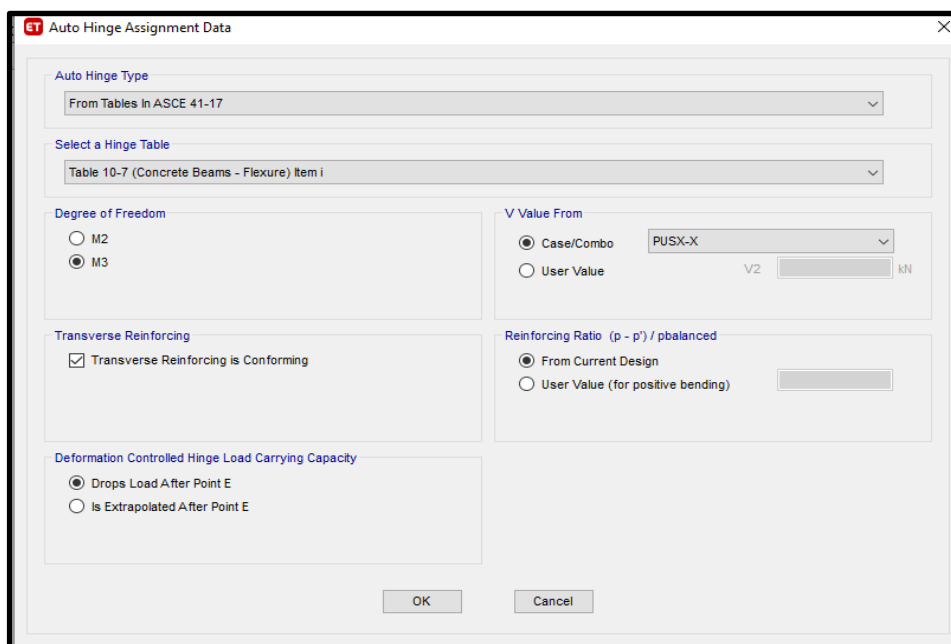
résistance). **(Segment C-D)**.

Des contraintes résiduelles permettent à la section de résister aux charges gravitaires jusqu'à atteindre la déformation ultime **(Point E)** correspondant à la ruine de la section.

Les Valeurs des points **(a, b, c)** des différents types de rotules dépendent de plusieurs paramètres (effort normal, caractéristiques du béton, type d'élément, dimensions, ferrailage).



**Figure (IV.05) : Introduction des rotules plastiques des poutres.**



**Figure (IV.06) : Type de rotules plastiques et la direction De la charge Pushover.**

Pour ce qui est des poteaux, on introduit des rotules “**Auto M3**” en se référant aux tableaux **10-07 (Concret Columns)** de cisaillement et de l’interaction (effort normal-moment), (Figure IV.6).

Dans la fenêtre qui apparait (Figure IV.07), pour chaque type de rotule choisie “**Hinge Property**”, on introduit dans la case “**Relative Distance**” les valeurs des rapports (**0,1**) et (**0,9**) qui correspondent aux extrémités des poteaux.

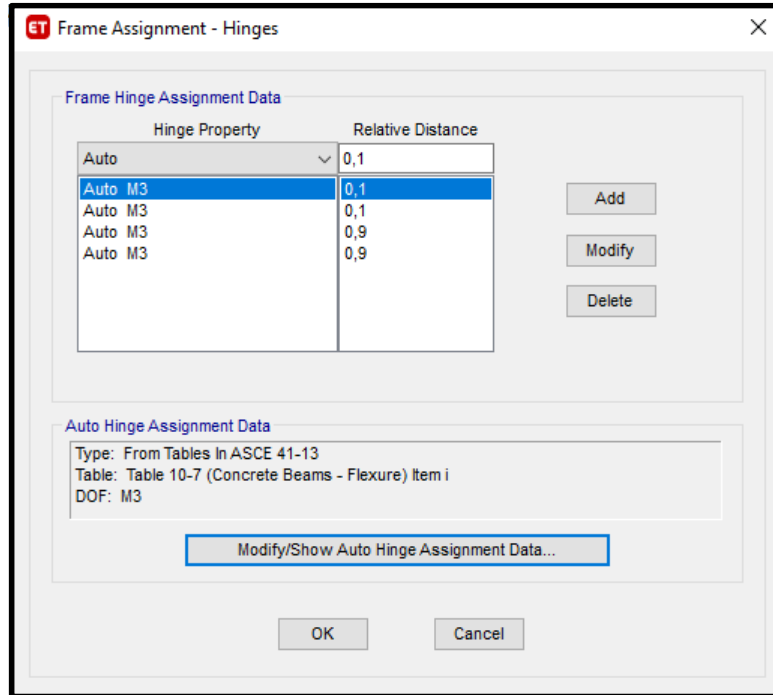


Figure (IV.07) : Introduction des rotules plastiques des poteaux.

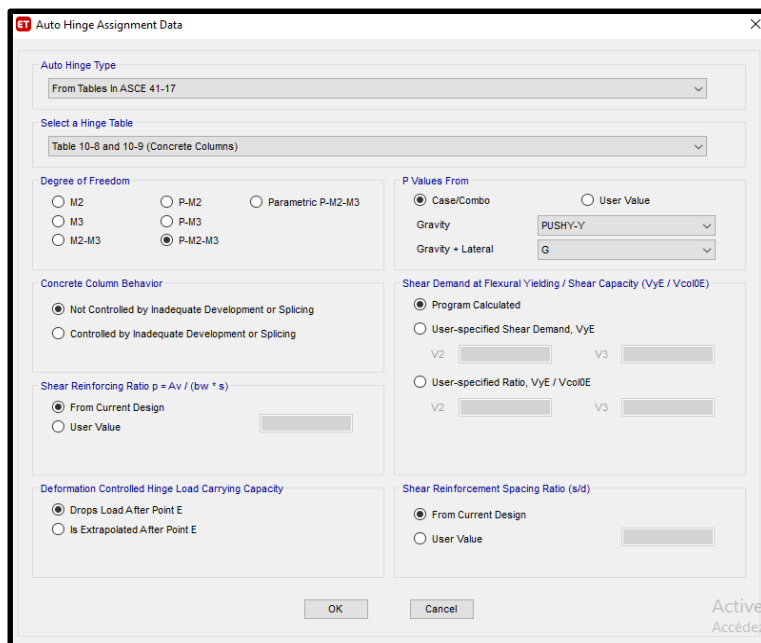
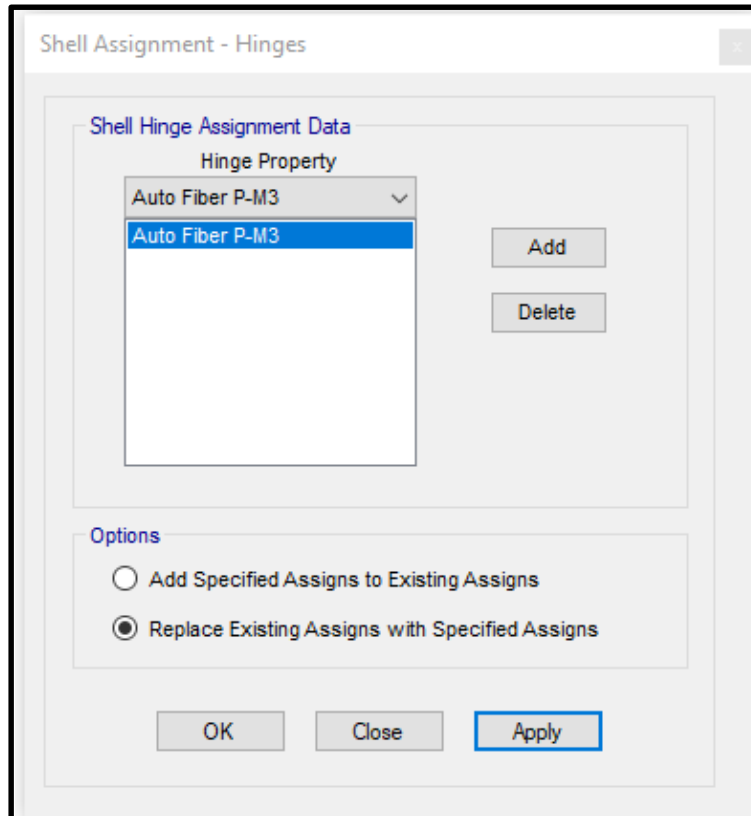


Figure (IV.08) : Type de rotules plastiques et la direction de la charge Pushover.

Pour les voiles, on introduire les rotules ‘**Auto Fibre P-M**’ de cisaillement et de l’interaction (effort normal-moment), (Figure IV.9).

On sélectionne les voiles par **Selec/Proprieties / Wall Section**.

Après on utilise la boîte de dialogue **Assign / shell / Wall Hinge**.



**Figure (IV.09) : Introduction des rotules plastiques des voiles.**

### **IV.3 Définition du chargement de l’analyse Pushover :**

Pour définir le chargement de l’analyse Pushover il faut connaitre que l’analyse Pushover consiste à appliquer à la structure une distribution de forces latérales incrémentées de façon progressive jusqu’à ce que le déplacement au sommet de la structure atteigne un déplacement cible (**Analyse en mode ‘Déplacement contrôlé’**).

Ce type d’analyse est mené lorsque les charges ne sont pas connues, ou lorsque l’augmentation des charges pendant l’analyse est susceptible de provoquer l’instabilité de la structure. En plus de l’analyse en mode “**Déplacement contrôlé**”, le programme offre la possibilité d’effectuer des analyses en mode “**Force contrôlée**”, ce type d’analyse est choisie lorsque les charges appliquées à la structure sont connues et ne risquent pas de provoquer l’instabilité de la structure (**Ex** : Charges gravitaires).

Le programme permet aussi qu’une analyse sous un chargement “**B**” soit menée en tenant compte des résultats finaux d’une analyse sous un chargement “**A**” définie précédemment, cette option est généralement utilisée pour que l’analyse Pushover sous

charges horizontales tiennent compte des résultats de l'analyse sous charges gravitaires.

### IV.3.1 Définition de l'analyse sous charges gravitaires :

Pour cela on clique sur: **Define /Load Case Data / Add New Case.**

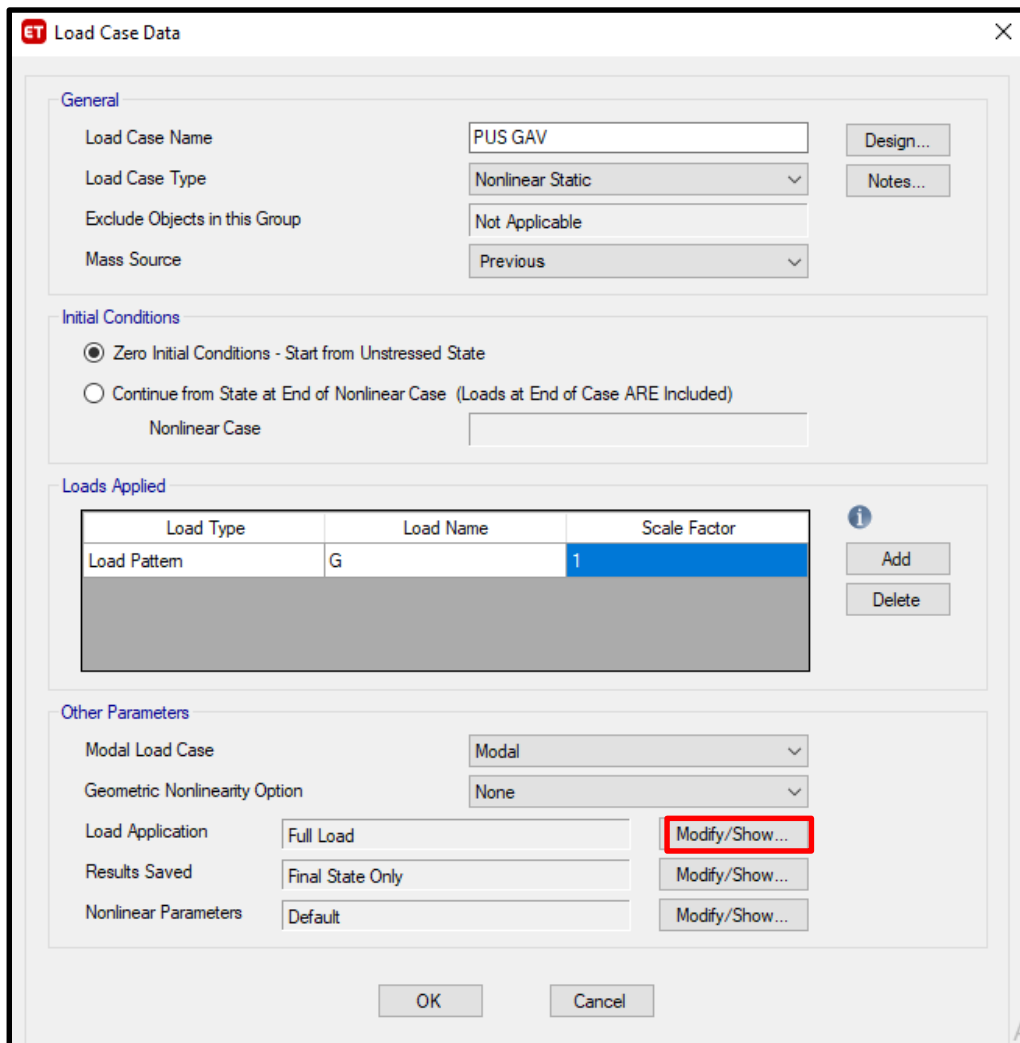
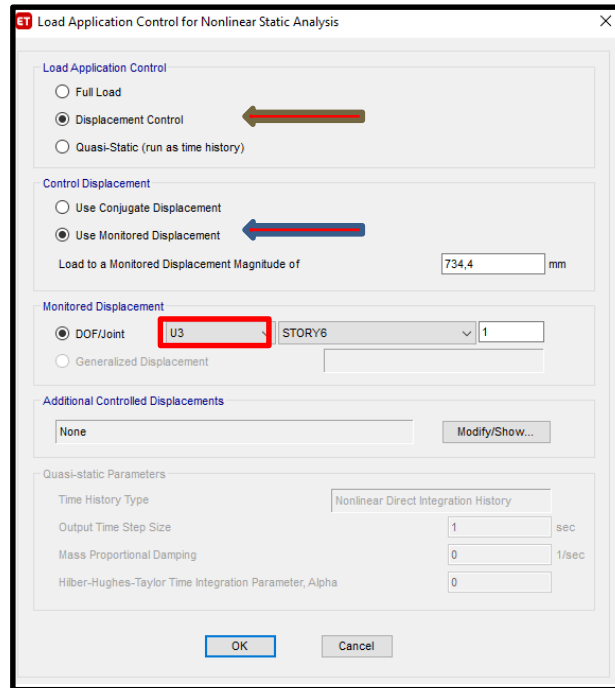
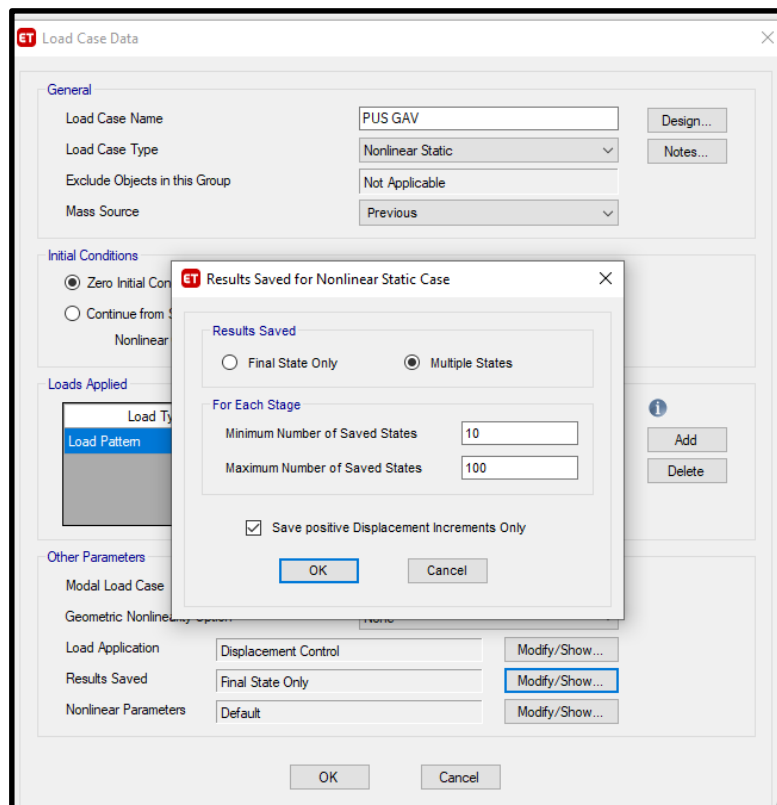


Figure (IV.10) : Définition de la charge gravitaire.



**Figure (IV.11) : Définition de type de déplacement  
Suivant l'axe Z-Z.**

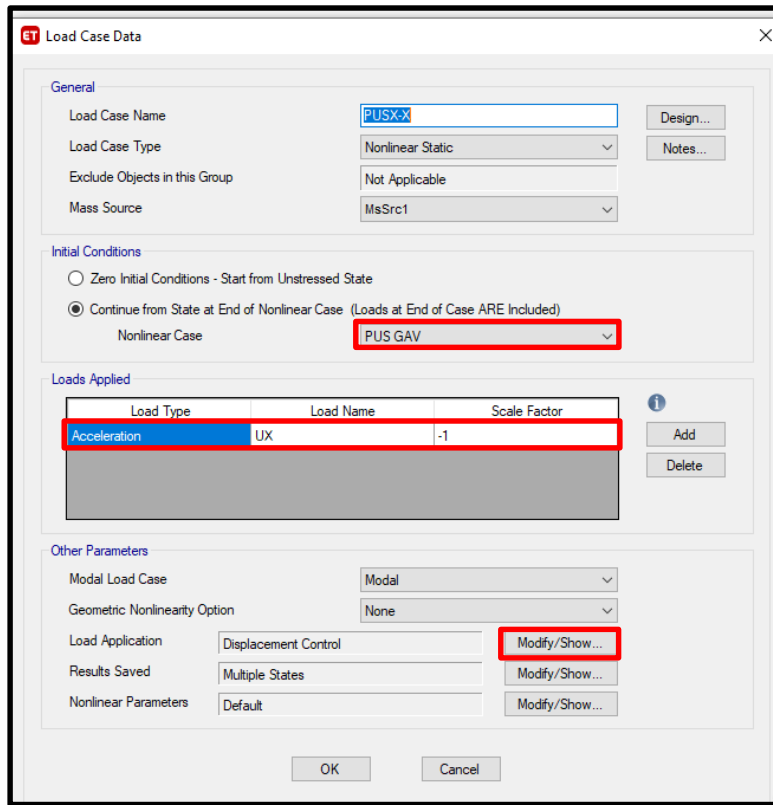


**Figure (IV.12) : Définition des résultats sauvegardés.**

Dans la fenêtre qui apparaît dans la **Figure (IV.12)** on introduit le nom du chargement **''Gravitaires''** dans la case **Static Nonlinear Case Name**.

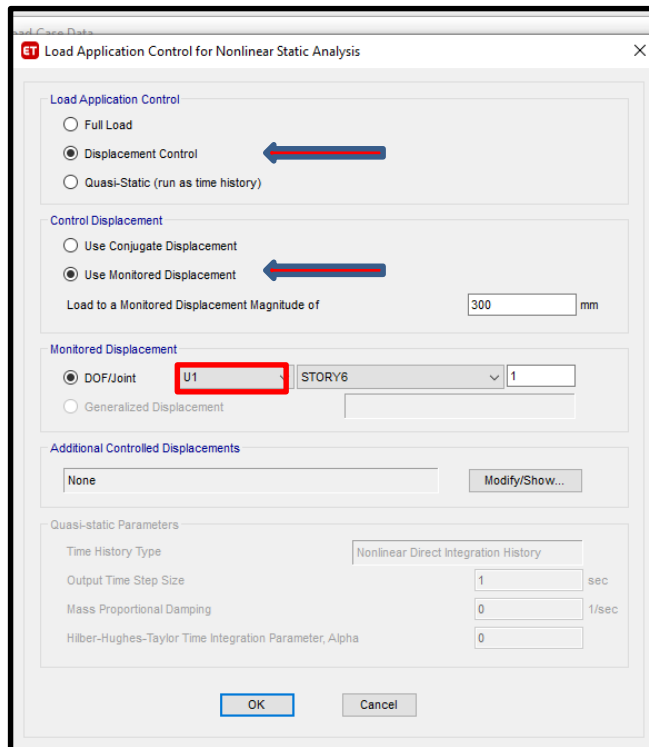
### IV.3.2 Définition de l'analyse Pushover sous charges latérales :

On suivre les étapes indiquant sur les figures (IV.13-IV.16).

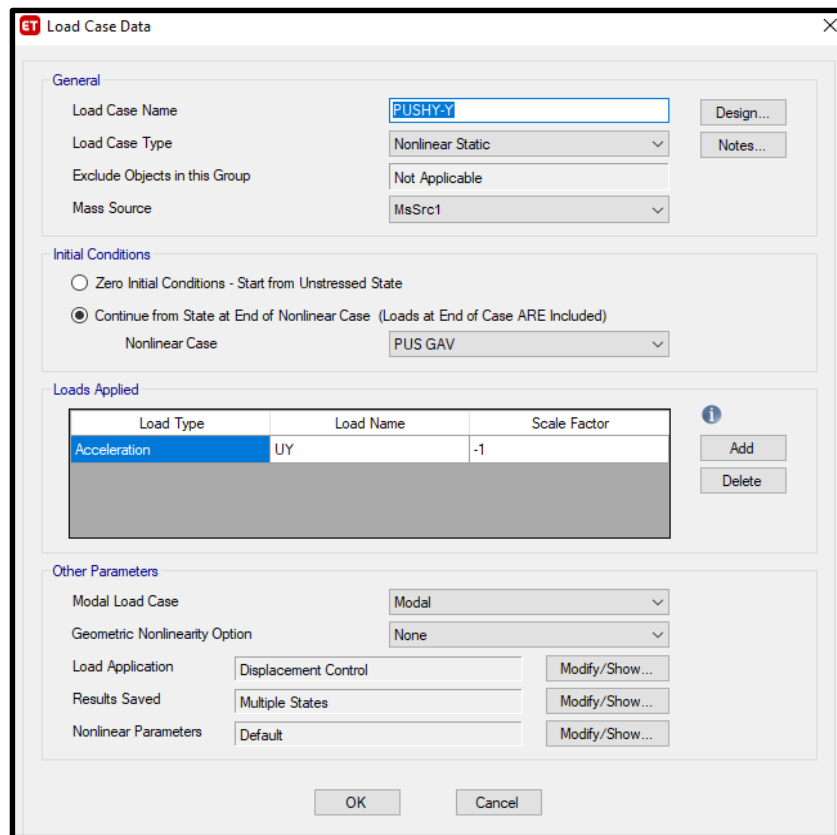


**Figure (IV.13) : Définition de chargement de l'analyse Pushover Sous la charge latérale suivant la direction X.**

On clique sur le bouton **load Application** pour choisir le type de déplacement

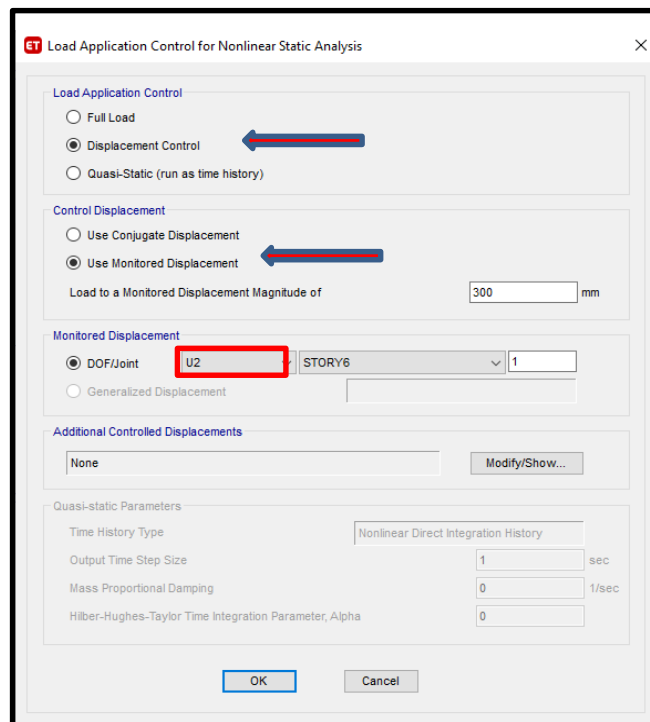


**Figure (IV.14) : Définition de type de déplacement suivant l'axe X-X.**



**Figure (IV.15) : Définition de chargement de l'analyse Pushover  
Sous la charge latérale suivant la direction Y.**

On clique sur le bouton **load Application** pour choisir le type de déplacement



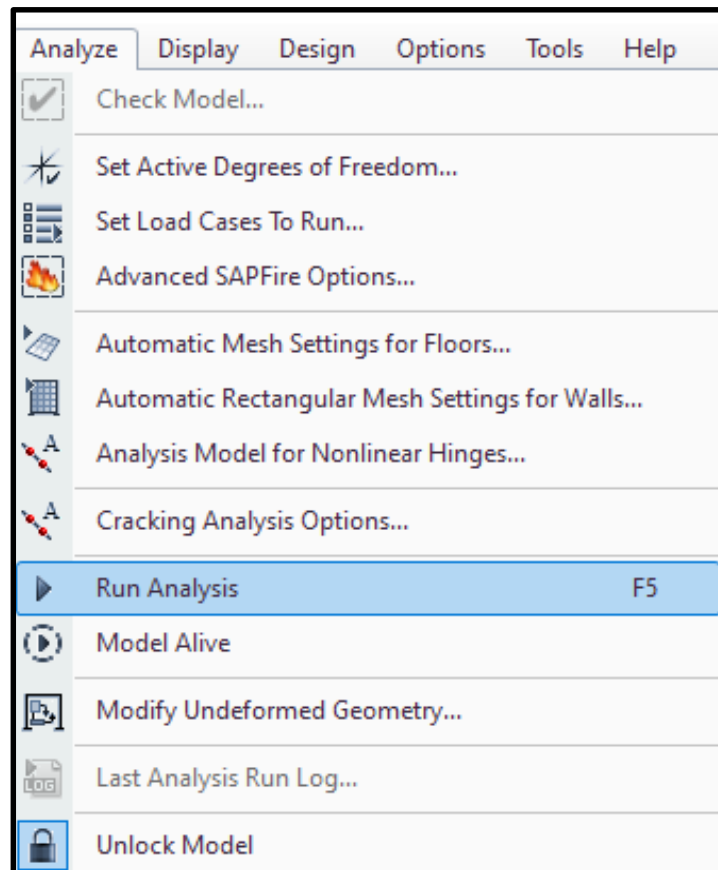
**Figure (IV.16) : Définition de type de déplacement  
Suivant l'axe Y-Y.**



#### **IV.4 Analyse:**

Pour cette Version de logiciel on a plusieurs méthodes pour obtenir les résultats de l'analyse non linéaire Pushover.

Pour notre cas on utilise la méthode qui indiquée sur la **figure (IV.17)** par ce que elle nous donne les résultats complets (linéaire et non linéaire).



**Figure (IV.17) : Représente l'analyse non linéaire (Pushover).**

#### **IV.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a présenté les étapes d'application de l'analyse non linéaire par la méthode Pushover sur notre bâtiment. L'analyse Pushover consiste à appliquer à la structure une distribution de forces latérales incrémentées de façon progressive jusqu'à ce que le déplacement au sommet de la structure atteigne un déplacement cible.

**Chapitre V :**  
**Résultat de l'analyse  
non linéaire**

### **V.1. Introduction :**

Dans ce chapitre, on interprète nos résultats issus de l'analyse Pushover, dans l'évaluation de la vulnérabilité sismique de notre structure au séisme selon les deux sens X et Y.

### **V.2 Résultats de l'analyse Pushover selon la direction X-X :**

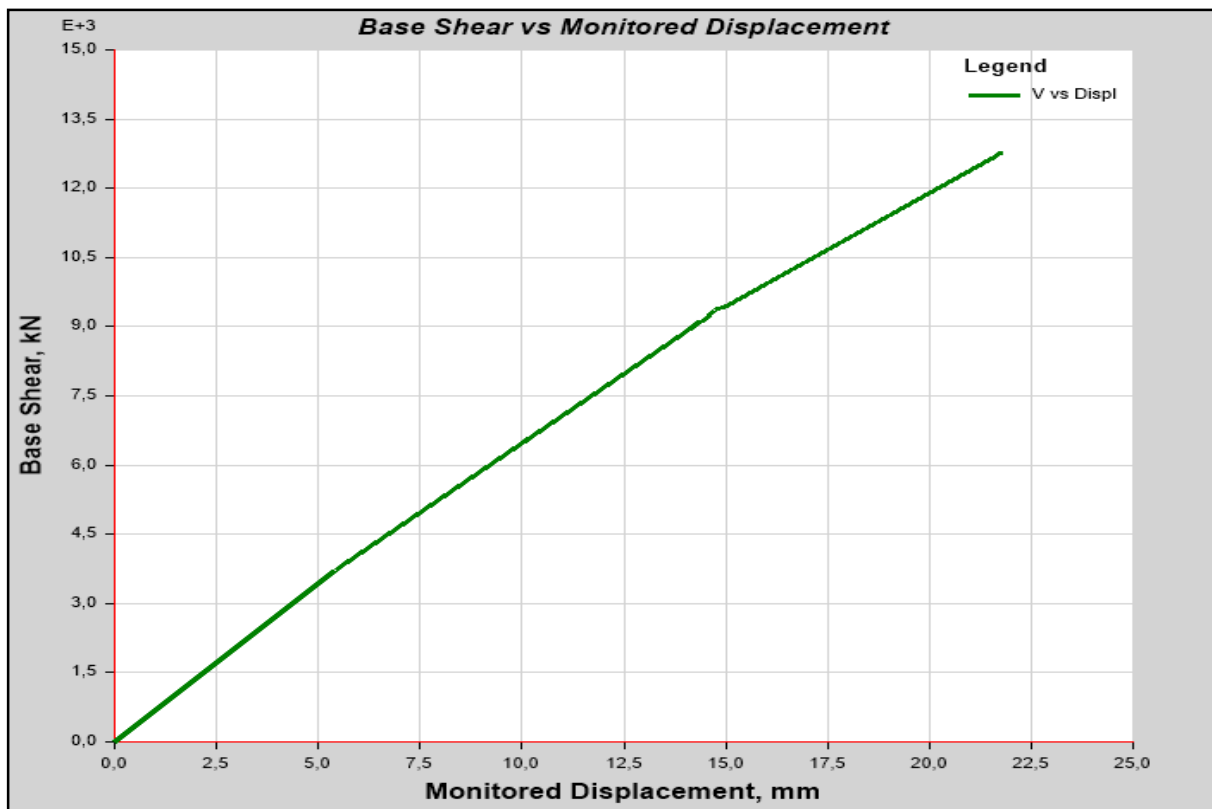
#### **V.2.1 Courbe de capacité de la structure (V-D) :**

La courbe de capacité de la structure représente l'effort horizontal à la base du bâtiment en fonction du déplacement, elle est formée d'une phase à caractère élastique linéaire (figure 4.1), suivie par une phase non linéaire correspondant à la formation des rotules de flexion et de cisaillement, jusqu'au moment de la rupture.

Pour visualiser la courbe de capacité :

#### **Display ^ Static Pushover Curve.**

Dans la fenêtre qui apparaît Figure (V. 01), on choisit le type de chargement Pushover défini précédemment dans la case "Static Nonlinear Case" suivant X ou bien suivant Y



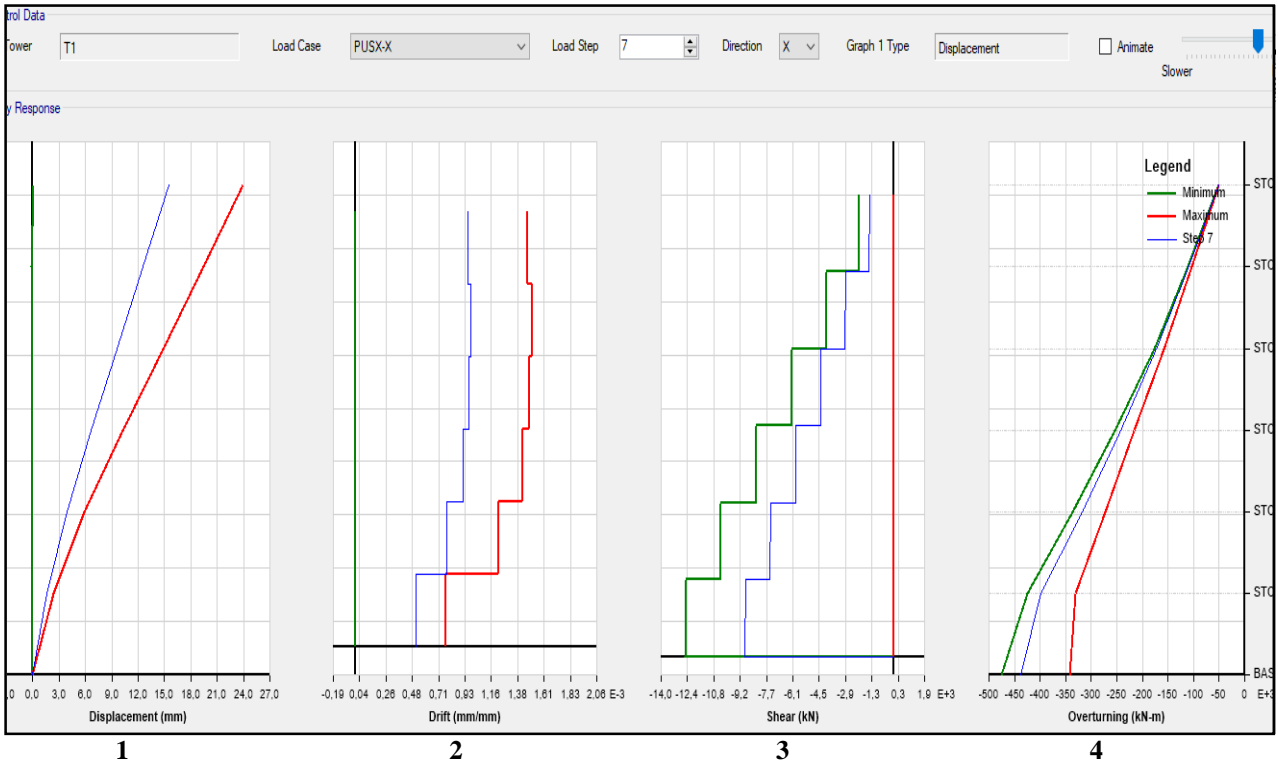
**Figure (V. 01) : Courbe de Capacité : effort tranchant à la base (V) - déplacement au Sommet (D) selon le sens (X-X).**

<b>Pas (Step)</b>	<b>La force à la base (KN)</b>	<b>Déplacement (mm)</b>
0	0	0
1	3718,984	5,412
2	8983,807	14,187
3	8988,162	14,188
4	8989,960	14,189
5	8986,458	14,19
6	9140,966	14,37
7	9105,721	14,407
8	9349,651	14,741
9	9439,850	14,999
10	12733,325	21,717
11	12794,850	21,726
12	12700,209	21,733

**Tableau V.1 : L'effort tranchant en fonction du déplacement sens X.**

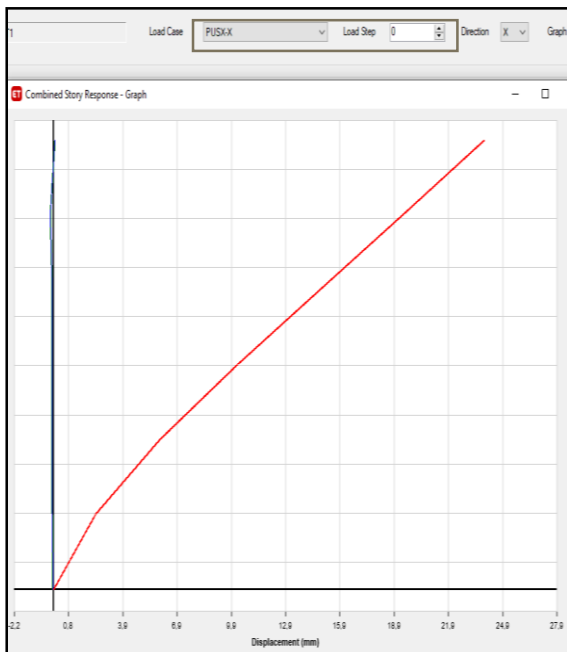
### V.2.2 Courbe de déplacement de la structure :

On peut aussi voir les courbes de déplacement et l'Effort Tranchant et l'amortissement et les moments des différents étages par la variation des charges Push X



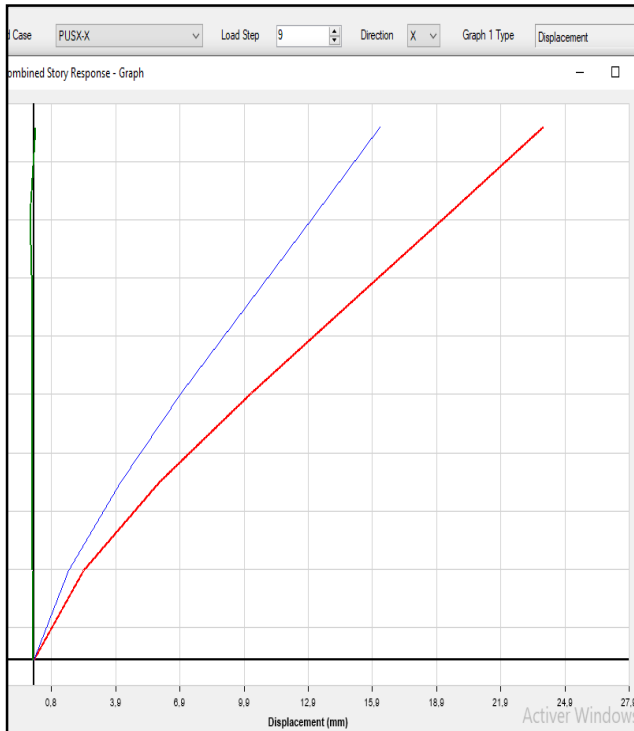
**Figure (V. 02) :** Les courbes qui représentent la variation de Dipl (1) et amortissement(2) et Effort Tranchant(3) et les moments(4) des différents étages par la variation des charges Push X.

On insistant sur le déplacement (courbe 01) :



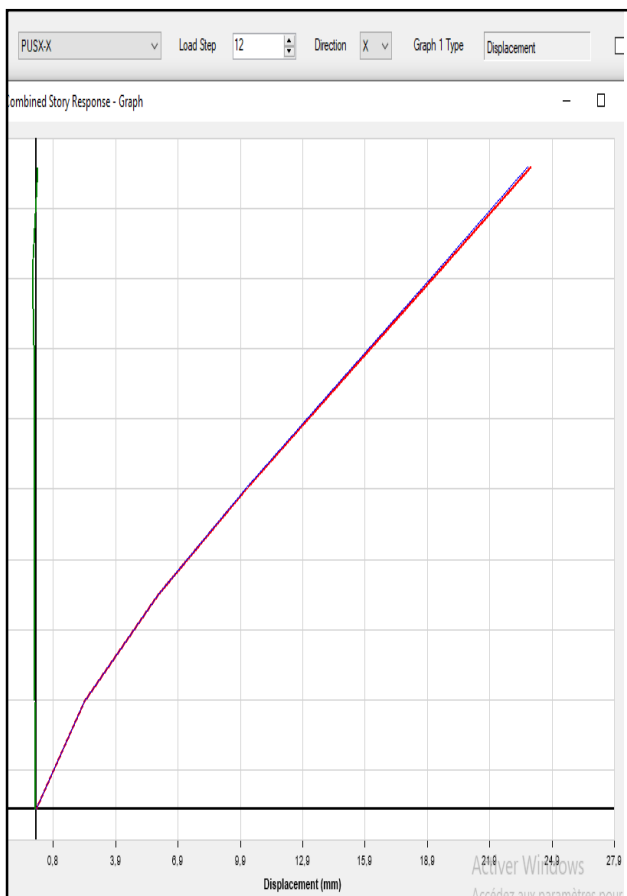
*Les déplacements restants nuls si on n'applique pas une charge non linéaire. La courbe en bleu confondu avec la courbe en vert et les deux courbes prendraient la même allure comme il est indiqué dans la figure (V. 03).*

**Figure (V. 03) :** Le déplacement autour des étages de la structure (Step 0) suivant X.



*Les valeurs des déplacements augmentent à la somme de la structure si on applique une charge non linéaire (Step 9).*

**Figure (V. 04) : Le déplacement autour des étages de la structure (Step 9) suivant X.**



*Avec l'augmentation de la charge non linéaire appliquée les valeurs des déplacements de la structure augmentent et atteint le max. (Step 11,12).*

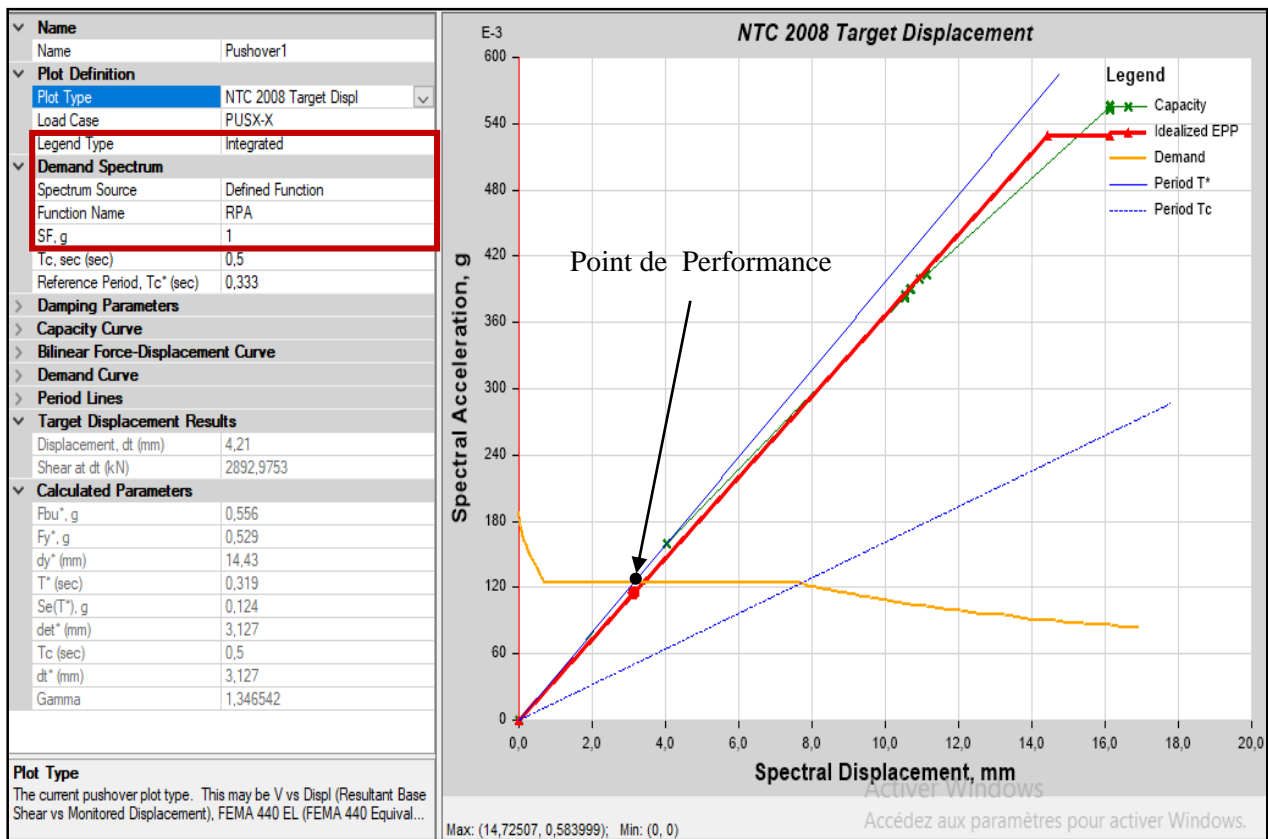
**Figure (V. 05) : Le déplacement autour des étages de la structure (Step 12) suivant X.**

### V.2.3 Courbe de capacité spectrale (NTC 2008) :

La méthode du spectre de capacité est une méthode qui permet une comparaison graphique entre la capacité de la structure et la demande de tremblement de terre.

La capacité de résistance latérale de la structure est représentée par une courbe force-déplacement obtenue à partir de l'analyse Pushover, et la demande de tremblement de terre est représentée par ces courbes des spectres de réponse.

L'avantage de cette version de ETABS (18.0.02) que on peut introduire le spectre de repense (**RPA**) comme il est indiqué dans la figure ci-après :



**Figure (V. 6) : Courbe vulnérabilité (Capacité- Demande) obtenue par la méthode NTC 2008 sens (X).**

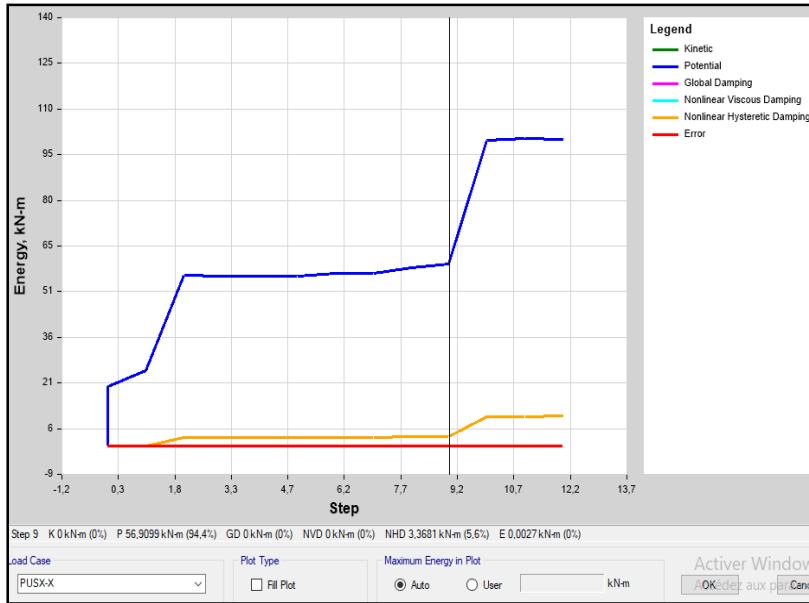
L'intersection de la courbe de capacité avec les courbes de demande rapproche la performance prévue et les réponses maximales de la structure sous un séisme donné. Cette méthode graphique montre la relation entre la capacité du bâtiment (la courbe en vert) et la demande sismique (la courbe en jaune).

<b>S<sub>d</sub></b> Spectre de déplacement	<b>S<sub>a</sub></b> Spectre d'accélération	<b>T<sub>e</sub></b> La période équivalente
<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>sec</b>
0	0	0,319
4,003	0,158742	0,319
10,538	0,383203	0,333
10,539	0,384853	0,332
10,54	0,384874	0,332
10,567	0,387546	0,331
10,581	0,381972	0,334
10,755	0,387909	0,334
10,782	0,383523	0,336
10,791	0,38788	0,335
10,798	0,38565	0,336
10,82	0,389552	0,334
11,219	0,400082	0,336
11,226	0,401034	0,336
11,233	0,400071	0,336
11,246	0,402736	0,335
11,261	0,403159	0,335
11,353	0,403886	0,336
11,354	0,406473	0,335
11,408	0,396806	0,34
13,582	0,465004	0,343
13,862	0,47204	0,344
13,885	0,473374	0,344
14,777	0,502033	0,344
14,779	0,503101	0,344
14,783	0,50217	0,344
14,791	0,501759	0,344
14,791	0,502846	0,344
14,791	0,500143	0,345

**Tableau IV. 02 : La capacité spectrale de la structure suivant sens X.**

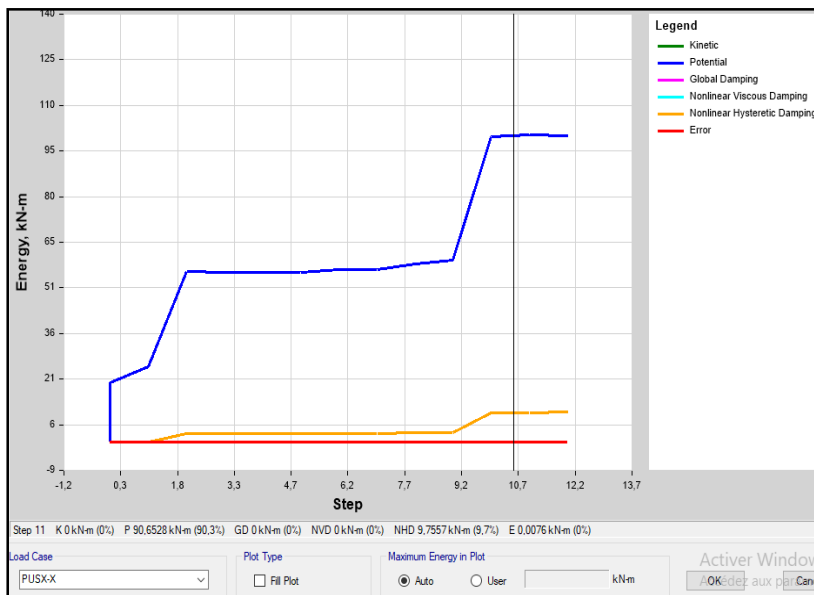


**V.2.4 Courbes de l'énergie et l'amortissement :**



Avant la charge Push X qui correspondent au step 09 (l'état élastique de note structure), l'énergie potentiel du bâtiment reste constante et un amortissement visqueux équivalent constante aussi sur la valeur de 5%.

**Figure (V. 7) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant X (step 09).**



Après la charge Push X supérieure à la step 09 on voit que l'énergie et l'amortissement augmente (l'état élastoplastique), et après restantes constantes (**l'état plastique**), et la valeur d'amortissements max ne dépasse pas la valeur de 9,80%.

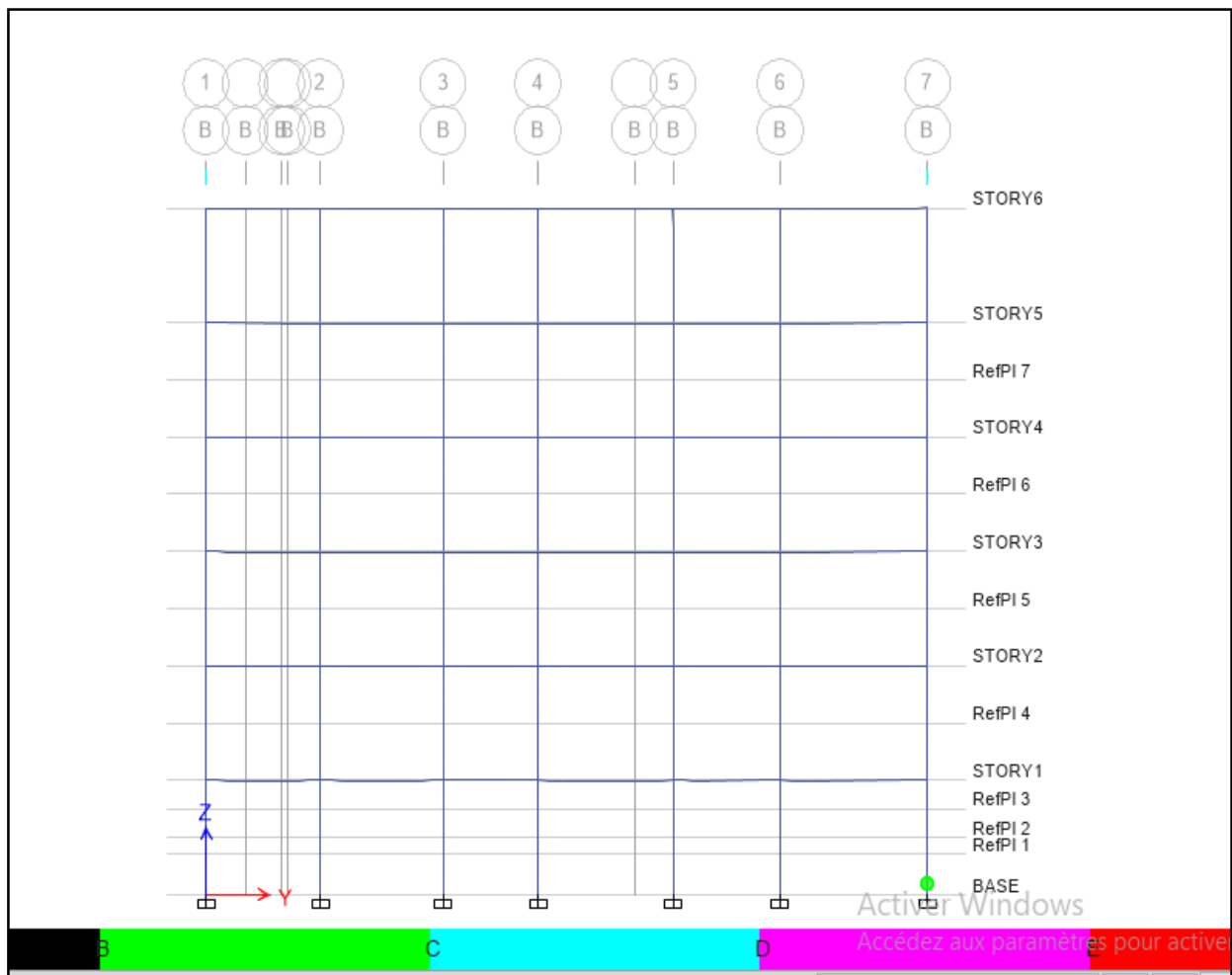
**Figure (V. 8) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant X (step 11).**

Selon l'analyse des courbes amortissements Visqueux équivalent on voit que les valeurs varies entre 5% et  $9,80\% \leq 15\%$ .

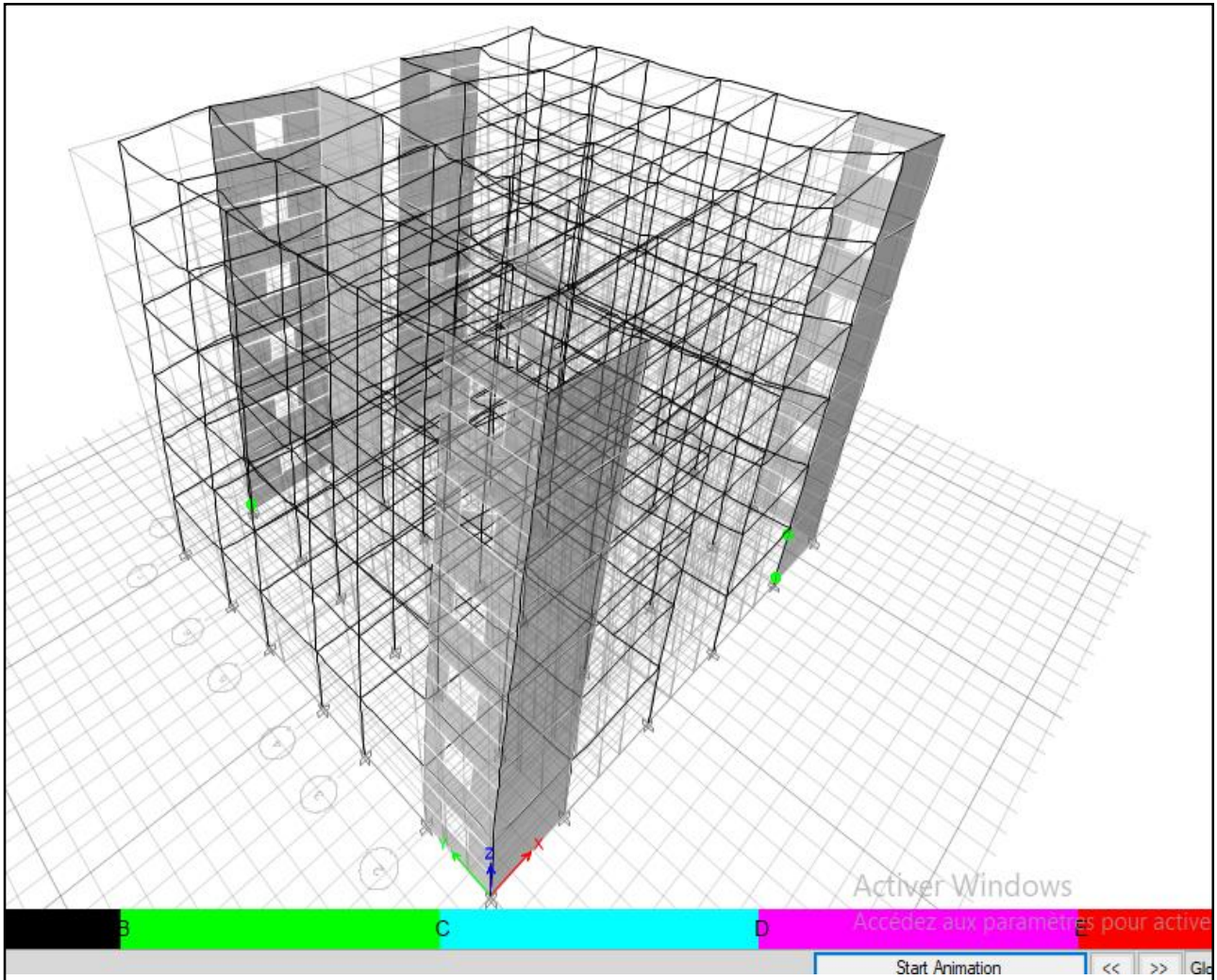
C'est à dire les valeurs est petites, et le point de performance est égale à **3,15mm** sous un effet d'une force latérale égalé a **2161,57 KN** donc la construction est sur le face à un endommagement négligeable.

**V.2. 5 Formation des rotules plastiques (mécanisme de ruine) :**

Après la distribution des rotules plastiques dans la structure, et après chaque étape (Step) de chargement de l'analyse Pushover, on a remarqué que les premières rotules plastiques de type (B) se forment au niveau de la base de la structure dans les deux portiques (B et E), exactement au niveau des poteaux de la base (figures V.9, V.10 et V.11). On a des rotules plastiques de type (B et IO) apparaissent progressivement sur les poutres et les poteaux jusqu'à le pas 10 de chargement Pushover suivant X.



**Figure (V. 9) : La première rotule en Pas 1/12 suivant X.**



**Figure (V. 10) : Les premières rotules en Pas 1/12 suivant X (vue en 3D).**

A une phase très avancée du chargement, on constate l'apparition des rotules de type de ruine (CP), au niveau du RDC et le 1<sup>ère</sup> niveau (figure V. 10), il indique que la construction est sur le point de faire face à un effondrement partiel ou total, comme il indique que le grand dommage subit par les éléments structuraux sur tous les poteaux, avec la probabilité d'une très grande dégradation dans la rigidité des systèmes de résistance de chargement latéral avec la présence d'une marge infime contre l'effondrement (flambements des poteaux), à ce niveau et en présence d'une grande dégradation des systèmes de résistances de chargement latéral, il est impératif pour les éléments principaux des systèmes de résistance aux forces de gravité doit continuer à résister. Il peut exister un grand danger à cause de la chute des débris structuraux et il n'est pas pratique techniquement de réparer la

structure, sécuritairement il est inutilisable, par l'existence de répliques, qui peut entraîner l'effondrement de la construction.

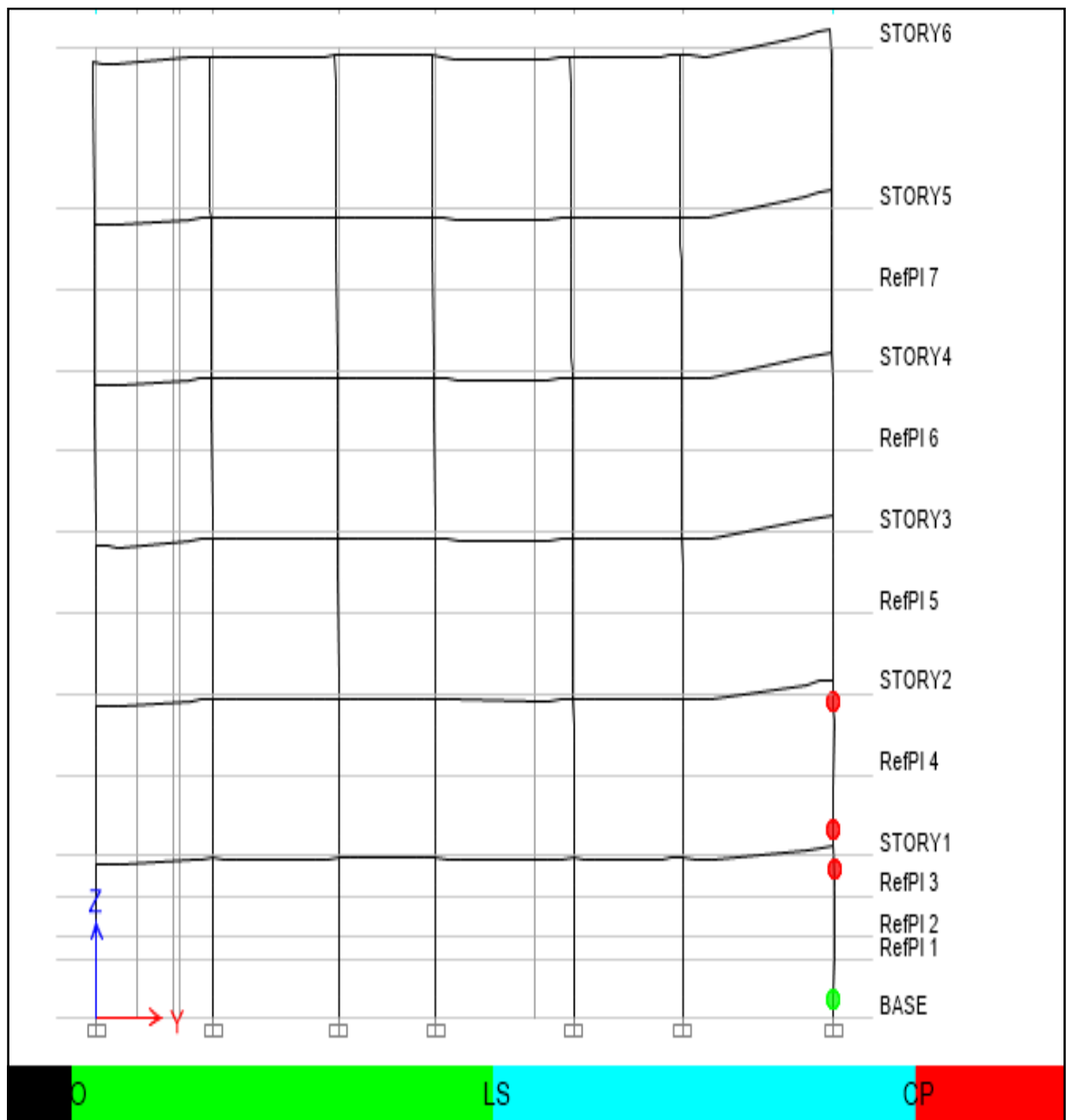


Figure (V. 11) : L'apparition des rotules de ruine en pas 12/12.

### **V.2.6 Transformation de système à plusieurs degrés de liberté au système à un seul degré de liberté :**

La courbe Pushover bilinéaire idéalisée sens X donnée par logiciel ETABS 18.0.02 en rouge (Figure V. 6), pour définir les propriétés du système à un seul degré de liberté équivalent,

Donc on a :

$K_e$  : La rigidité élastique effective.

$$K_e = \frac{V_{bx}}{\Delta_x} = 2892,975 / 4,21 \times 10^{-3} = 687167,458 \text{ KN/m}$$

$K_s$  : La rigidité raidie ou adouci.

$$K_s = K_e \left( \frac{T_1}{T'} \right)^2$$

Avec

$T_1$  : La période initiale du système à un seul degré de liberté équivalent est donnée par logiciel ETABS 18.0.02

$T' = 0,319$  donnée par logiciel ETABS 18.0.02

$$K_s = 687167,458 (0,36 / 0,319)^2 = 875157,50 \text{ KN/m}$$

### **V.2.7 Demande en ductilité ( $\mu_d$ ) :**

Quand une structure est soumise à un tremblement de terre sévère, les éléments constituant la structure sont soumis à de grandes déformations. Si les éléments n'ont pas assez de ductilité, ils subiront des dommages et la structure pourrait s'effondrer. La ductilité ou « la capacité de déformation » est souvent utilisée dans le concept d'ingénierie sismique et est considérée comme l'un des paramètres les plus critiques dans l'évaluation de la performance sismique des structures. Dans la présente étude, le rapport de ductilité a été choisi comme un indicateur pour quantifier la capacité de ductilité.

Donc la demande en ductilité est un critère qui situe le degré de pénétration de la structure dans le domaine post élastique par une valeur  $\mu_d \text{ max} = 5,0$ , alors on a :

$$\mu_d = \frac{D_u}{D_p}$$

$D_u$  : Déplacement ultime de la structure.

$D_p$  : Le déplacement imposé à la structure (Point de performance).

$$D_u = 21,72 \text{ mm}$$

$$D_p : 3,15 \text{ mm}$$

Donc :

$$\mu_d = \frac{21,72}{3,15} = 6,895$$

A mesure que le facteur ( $\mu_d$ ) est grand, le degré de pénétration de la structure dans le domaine plastique est important

### **V.2.8 Raideur de la structure au point de performance ( $K_p$ ) et indicateur de dégradation global de la structure ( $I_d$ ) :**

A l'état élastique limite de la structure correspond à un déplacement élastique limite  $D_e = 5,41$  mm, et un effort tranchant élastique limite  $V_e = 3718,98$  KN

Soit une raideur initiale (élastique) :

$$K_e = V_e / D_e = 687426,987 \text{ KN/m.}$$

A mesure que les éléments de la structure se plastifient, la structure subit des dommages qui se traduisent par une diminution de sa résistance initiale ( $K_e$ ).

Au point de performance, la raideur de la structure est de :

$$K_p = V_p / D_p = 2161,57 * 10^3 / 3,15 = 686212,698 \text{ KN/m}$$

$$I_d = \left(1 - \frac{K_p}{K_e}\right) \cdot 100\%$$

$$I_d = 43,82 \%$$

Ainsi, au point de performance, la plastification de la structure engendre une diminution de la raideur initiale de 43,82 %.

### **V.2.9 Degré de dégradation :**

L'un des paramètres représentatif de l'évolution des degrés de dommages dans une structure ou d'un élément structural est l'indice de dommages ou indice d'endommagement ("Damage Index",  $D_I$ ). Cet indice est normalisé et discrétisé en une série de valeurs partant de "0", indiquant que la structure n'a subi aucun dommage structurel, jusqu'à la valeur de "1" indiquant que la structure a atteint sa capacité maximale et une instabilité structurelle au voisinage de la rupture ou l'effondrement total. Par exemple si  $D_I > 1$ , le bâtiment est complètement effondré et irrécupérable, si par contre  $D_I = 0,7$ , le bâtiment sera considéré comme récupérable et donc peut être conservé avec un dispositif de renforcement adéquat. Plusieurs modèles existent dans la littérature.

Il existe 4 niveaux ou degrés de dommages : faibles, modérés, importants et très importants, L'indice de dommages est défini par rapport au déplacement latéral comme suit :

$$DI = \frac{\delta_m - \delta_y}{\delta_u - \delta_y}$$

$\delta_m$  : est le déplacement maximum dans la zone non-linéaire (point de performance).

$\delta_y$  : est le déplacement élastique (sans endommagement).

$\delta_u$  : est le déplacement ultime (ruine totale).

En se basant sur les degrés de dommages structurels, une équivalence entre l'indice de dommages précédemment défini  $D_I$  et l'état de dégradation est donnée au Tableau selon Park.

Degrés de dommage	Indice de dommage	Etat de dommages
0	$D_I < 0,1$	Aucun dégât
1	$0,1 < D_I < 0,25$	Léger
2	$0,25 < D_I < 0,40$	Modéré
3	$0,40 < D_I < 1,00$	Important
4	$D_I > 1,00$	Ruine

**Tableau V. 03 : Equivalence entre l'indice de dommages et l'état de dommages (Park and Ang).**

Donc :

$$DI = \frac{3,15 - 0,9}{21,73 - 0,9} = 0,12$$

$$0,1 < 0,12 < 0,25$$

On un degré de dommage de classe 1 ce que signifié une dégradation de la structure de type Léger.

### V.3 Résultats de l'analyse Pushover selon la direction Y-Y :

#### V.3.1 Courbe de capacité de la structure (V-D) :

Pour Visualiser la courbe de capacité :

**Display ^ Static Pushover Curve.**

Dans la fenêtre qui apparaît (Figure V. 12), on choisit le type de chargement Pushover défini précédemment dans la case "Static Nonlinear Case" suivant Y.

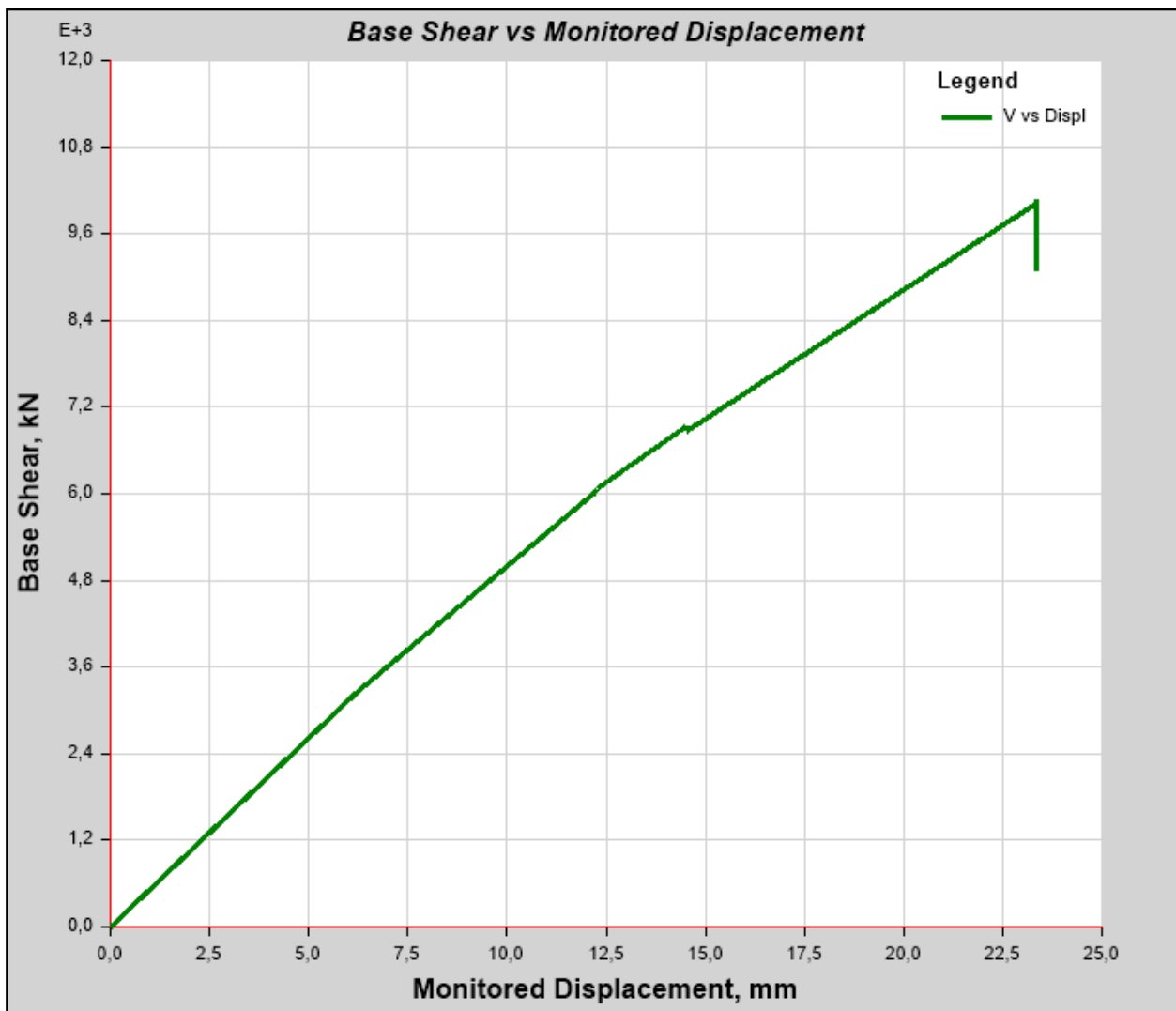


Figure (V. 12) : Courbe de Capacité : effort tranchant à la base (V) - déplacement au sommet (D) selon le sens (Y).

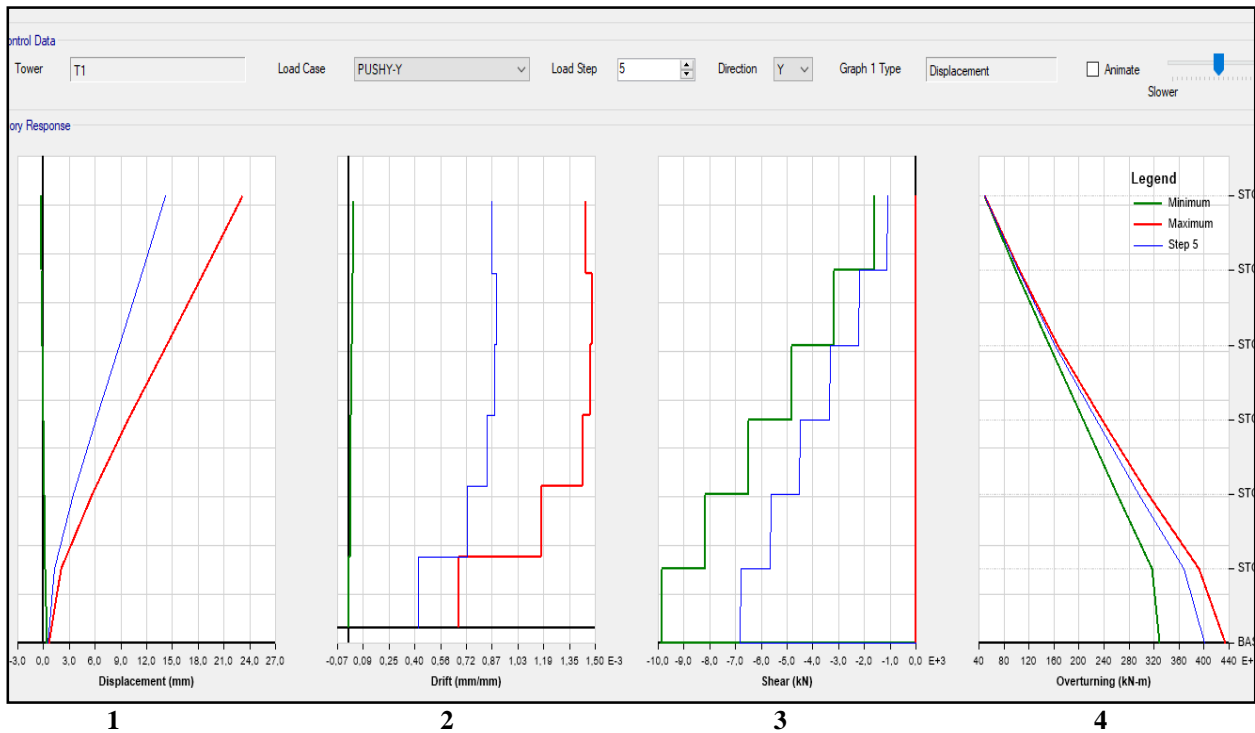


<b>Pas (Step)</b>	<b>La force à la base (KN)</b>	<b>Déplacement (mm)</b>
0	0	0
1	3234,5099	6,162
2	6019,7344	12,239
3	6073,0131	12,258
4	6068,7806	12,278
5	6932,7334	14,519
6	6852,261	14,519
7	10016,6705	23,348
8	10065,2752	23,349
9	10032,9009	23,351
10	9956,765	23,352
11	9889,1304	23,353
12	9850,7617	23,353
13	9815,2717	23,353
14	9651,5864	23,353
15	9152,6809	23,353
16	9059,3921	23,353

**Tableau V. 04 : L'effort tranchant en fonction du déplacement sens Y.**

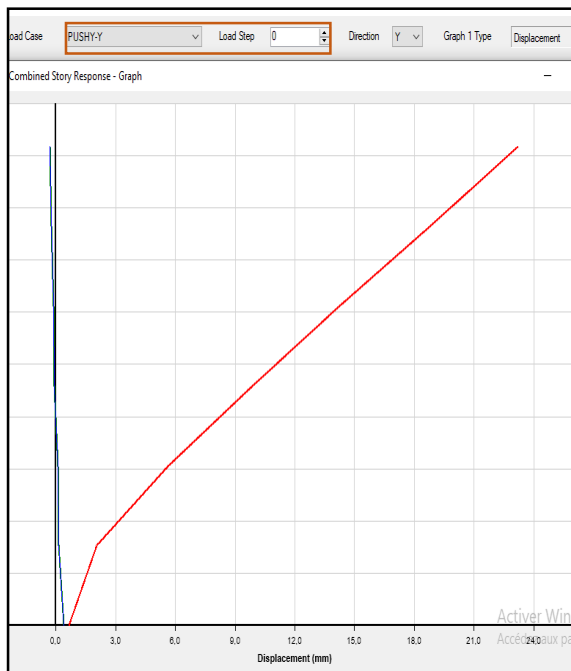
### V.3.2 Courbe de déplacement de la structure :

On peut aussi voir les courbes de déplacement et l'Effort Tranchant et l'amortissement et les moments des différents étages par la variation des charges Push Y.



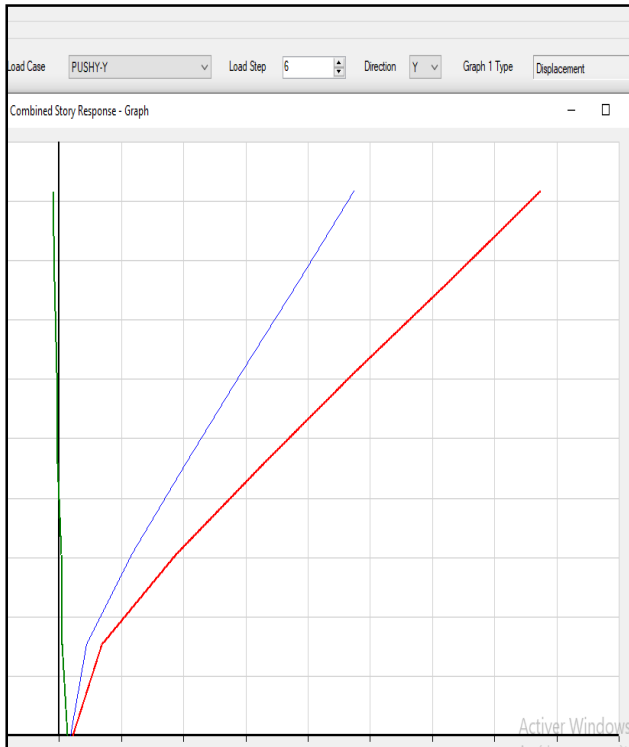
**Figure (V. 13)** Les courbes qui représentent la variation de Dipl (1) et amortissement(2) et Effort Tranchant(3) et les moments(4) des différents étages par la variation des charges Push Y

On insistait sur le déplacement (courbe 01) :



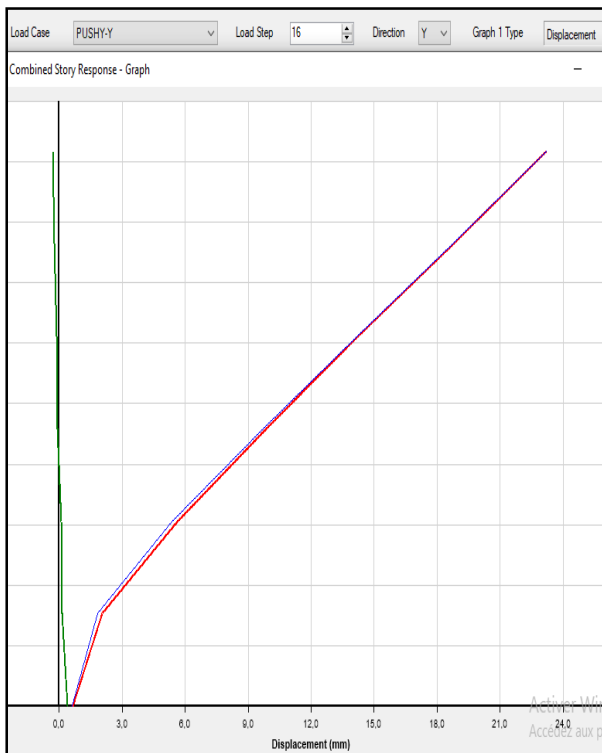
*Les déplacements restants nuls si on n'applique pas une charge non linéaire. La courbe en bleu confondu avec la courbe en vert et les deux courbes prendraient la même allure comme il est indiqué dans la figure (V. 14).*

**Figure (V. 14)** Le déplacement autour des étages de la structure (Step 0) suivant Y.



*Les valeurs des déplacements augmentent à la somme de la structure si on applique une charge non linéaire (Step 6).*

**Figure (V. 15) Le déplacement autour des étages de la structure (Step 6) suivant Y.**



*Avec l'augmentation de la charge non linéaire appliquée les valeurs des déplacements de la structure augmentent et atteint le **max**. (Step 07,08... ,16).*

**Figure (V. 16) Le déplacement autour des étages de la structure (Step 12) suivant Y.**

### V.3.3 Courbe de capacité spectrale (NTC 2008) :

L'intersection de la courbe de capacité avec les courbes de demande rapproche la performance prévue et les réponses maximales de la structure sous un séisme donné. Cette méthode graphique montre la relation entre la capacité du bâtiment (la courbe en vert) et la demande sismique (la courbe en jaune).

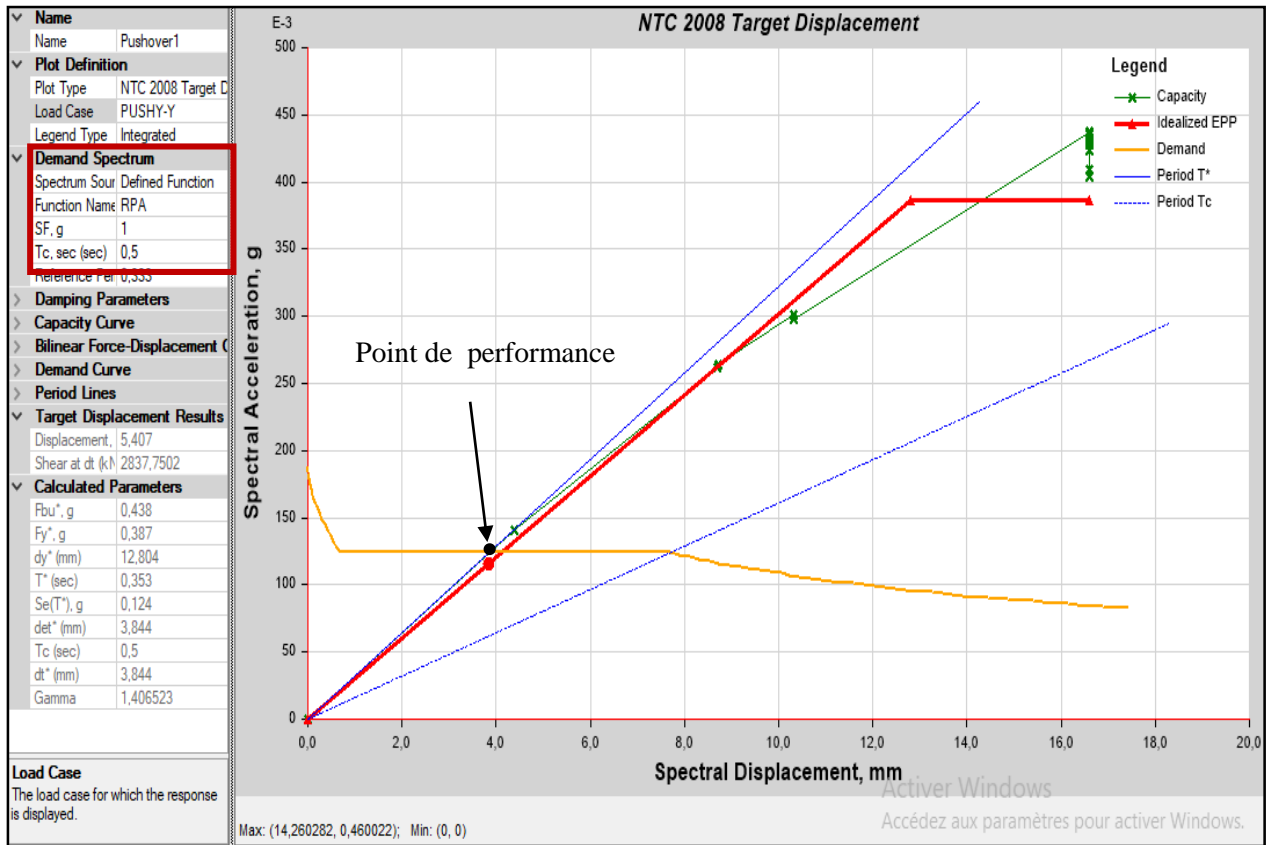
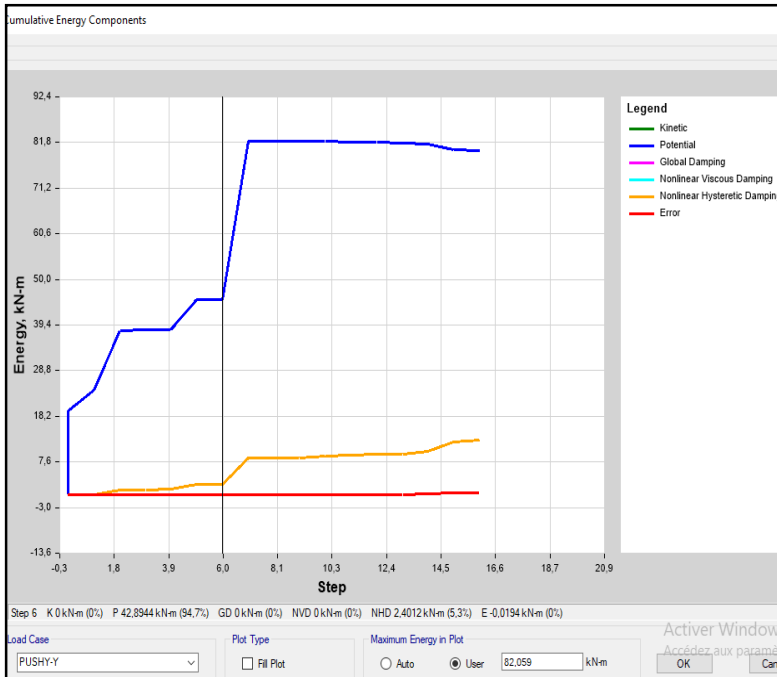


Figure (V. 17) : Courbe vulnérabilité (Capacité- Demande) obtenue par la méthode NTC 2008 sens (Y).

Spectre de déplacement <b>S<sub>a</sub></b> <b>mm</b>	Spectre d'accélération <b>S<sub>a</sub></b> <b>g</b>	La période équivalente <b>T<sub>e</sub></b> <b>sec</b>
0	0	0,353
4,35	0,140338	0,353
8,51	0,258433	0,364
8,701	0,26137	0,366
8,701	0,263105	0,365
8,702	0,262907	0,365
8,703	0,26331	0,365
8,71	0,26257	0,365
8,71	0,258061	0,369
8,71	0,257117	0,369
8,71	0,256845	0,369
8,71	0,257619	0,369
8,711	0,255302	0,371
8,711	0,25092	0,374
8,711	0,247744	0,376
8,711	0,250282	0,374
8,711	0,24825	0,376
8,711	0,250423	0,374
8,712	0,250404	0,374
8,714	0,250525	0,374
8,719	0,247958	0,376
8,752	0,251003	0,375
8,754	0,250597	0,375
8,778	0,251582	0,375
9,593	0,271406	0,377
9,669	0,270931	0,379
10,505	0,291625	0,381
10,505	0,290769	0,381
10,506	0,291095	0,381
10,507	0,291057	0,381
10,53	0,291937	0,381
10,536	0,291985	0,381
14,341	0,379517	0,39
14,623	0,382398	0,392
14,654	0,385911	0,391
14,654	0,384344	0,392
14,654	0,364423	0,402
14,654	0,362682	0,403
14,654	0,362407	0,403
14,654	0,361934	0,404
14,654	0,361986	0,404
14,654	0,361811	0,404
14,654	0,361749	0,404
37,019	0,753361	0,445
63,857	1,126635	0,478
86,223	1,435759	0,492

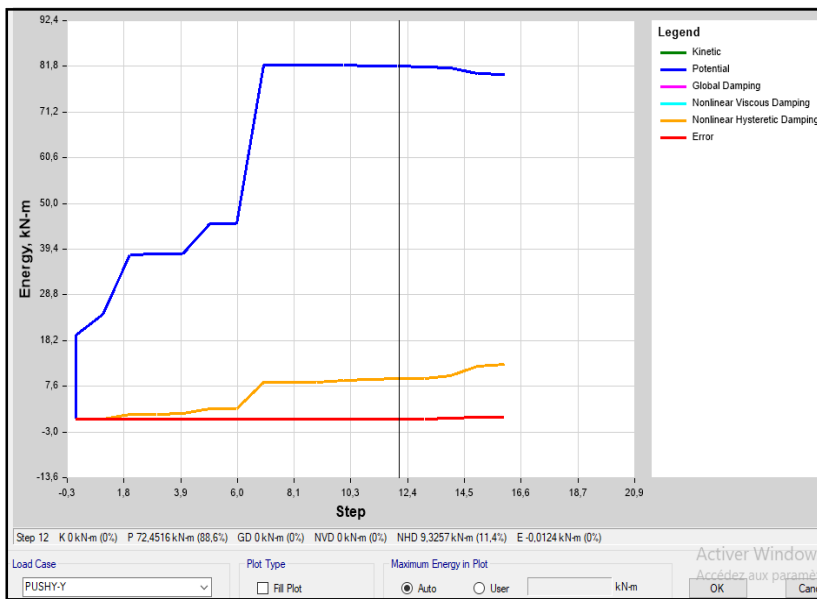
**Tableau V. 05 : La capacité spectrale de la structure suivant sens Y.**

**V.3.4 Courbes de l'énergie et l'amortissement :**



Si la charge Push Y inférieure au pas 06, l'énergie potentiel de notre bâtiment augmente et après reste constante et un amortissement Visqueux équivalent augmente aussi à partir de 0% jusqu'à la valeur de 5,30%.

**Figure (V. 18) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant Y (step 06).**



Après l'application d'une charge Push Y supérieure à la step 07 on voit que l'énergie et l'amortissement augmentent avec des valeurs considérables et contiennent constante, et après la charge Push (step 12) l'énergie va démunie et l'amortissement augmente jusqu'à une valeur max de 15,30%.

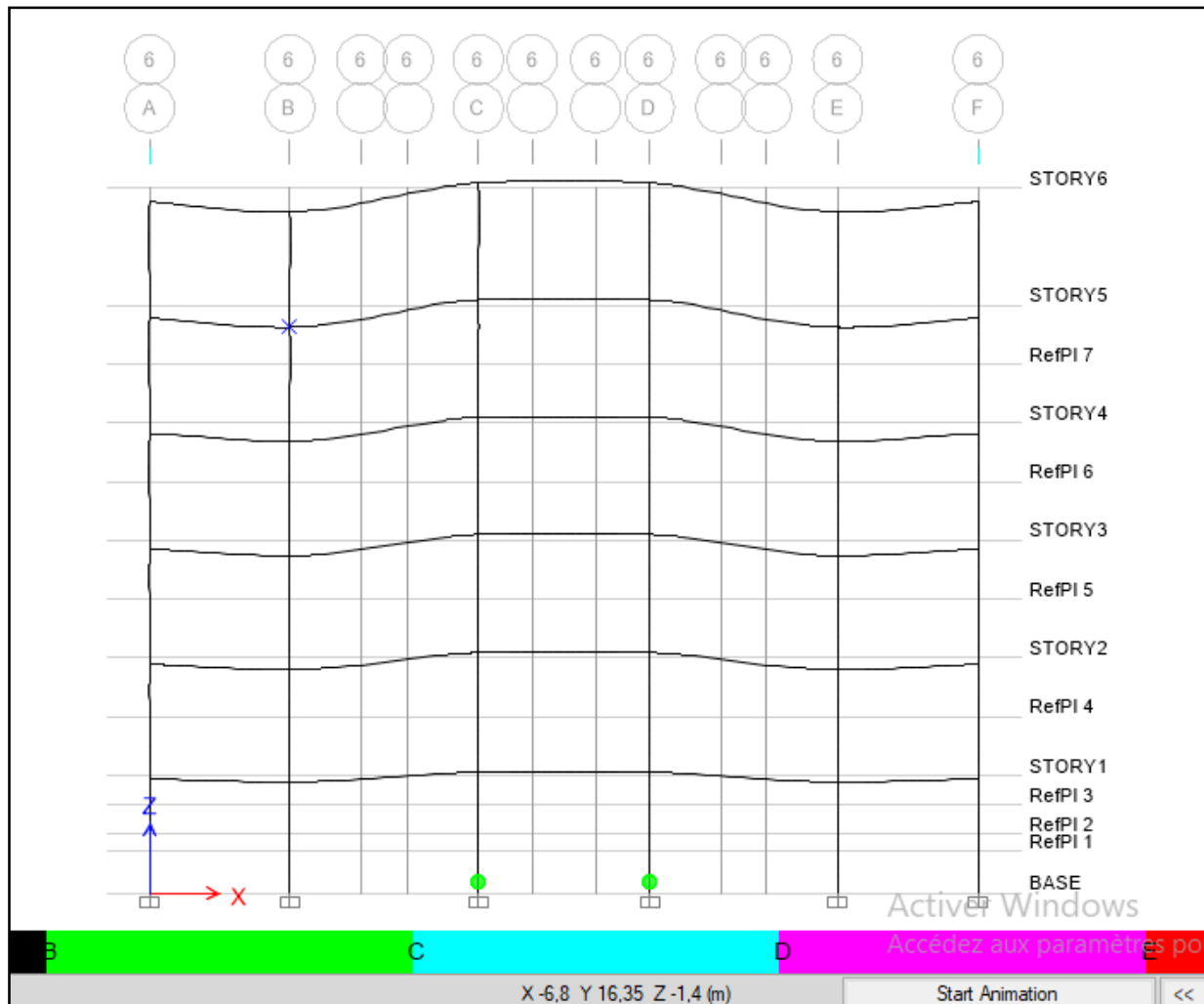
**Figure (V. 19) : Courbes de l'énergie et l'amortissement suivant Y (step 12).**

Selon l'analyse des courbes amortissements visqueux équivalent on voit que les valeurs varient entre 0% et 15,30%  $\geq 15\%$

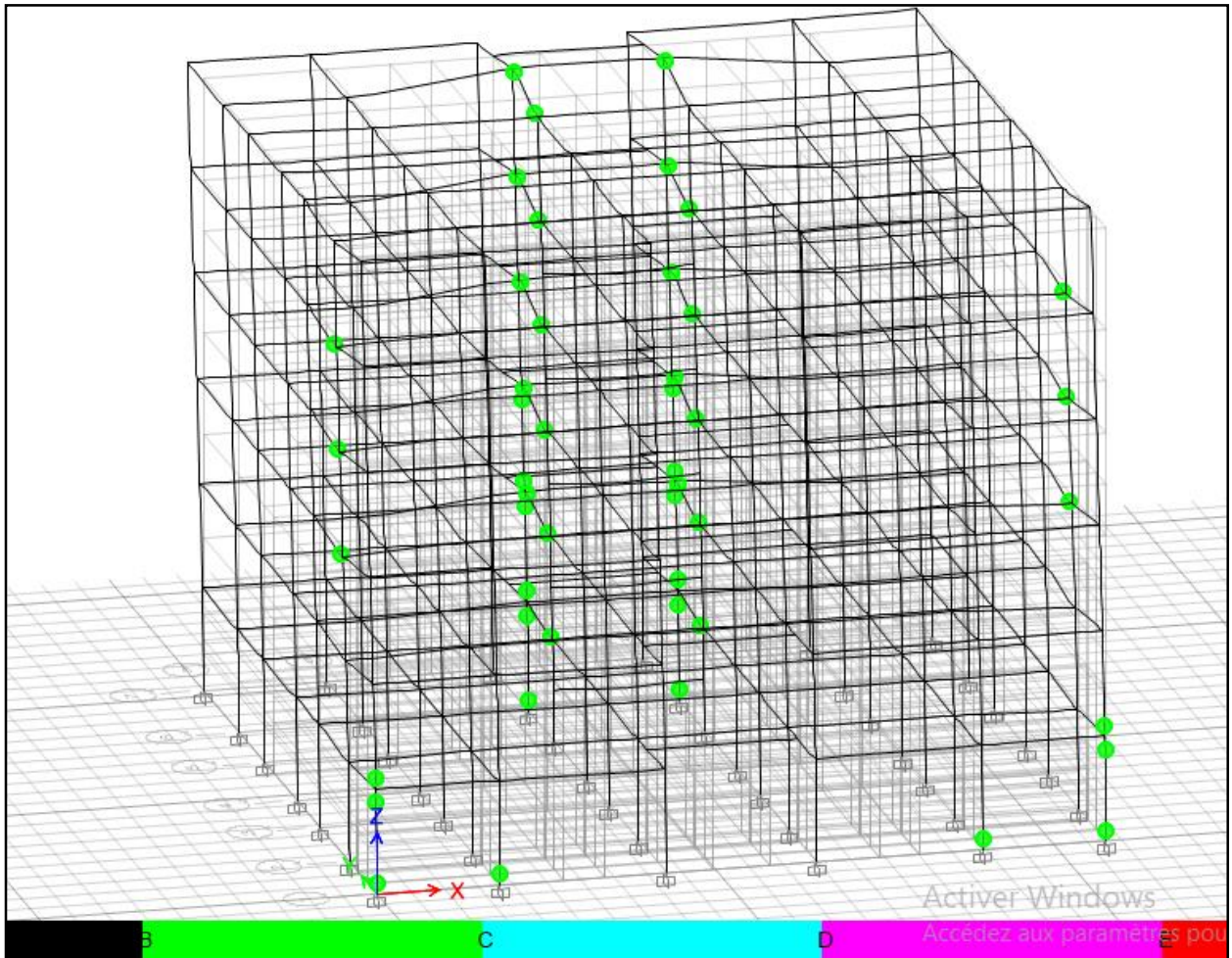
C'est à dire les valeurs est petites, et le point de performance est égale à **3,99 mm** sous un effet d'une force latérale égalé a **2096,07 KN** donc la construction est sur le face à un endommagement négligeable.

**V.3. 5 Formation des rotules plastiques (mécanisme de ruine) :**

Après la distribution des rotules plastiques dans la structure, et après chaque étape (Step) de chargement de l'analyse Pushover suivant la direction Y, on a remarqué que les premières rotules plastiques de type (B) se forment aussi au niveau de la base de la structure dans le portique (06) et exactement au niveau des poteaux (figures V.20, V.21). On a des rotules plastiques de type (B et IO) apparaissent progressivement sur les poutres et les poteaux jusqu'à le pas 10 de chargement Pushover suivant Y.



**Figure (V. 20) : La première rotule en Pas 5/16 suivant Y.**



**Figure (V. 21) : Les rotules type B en Pas 16/16 suivant Y (vue en 3D).**

A une phase très avancée du chargement, on constate une augmentation des rotules types (B) se forment au niveau des différents étages de la structure (poteaux et poutres).



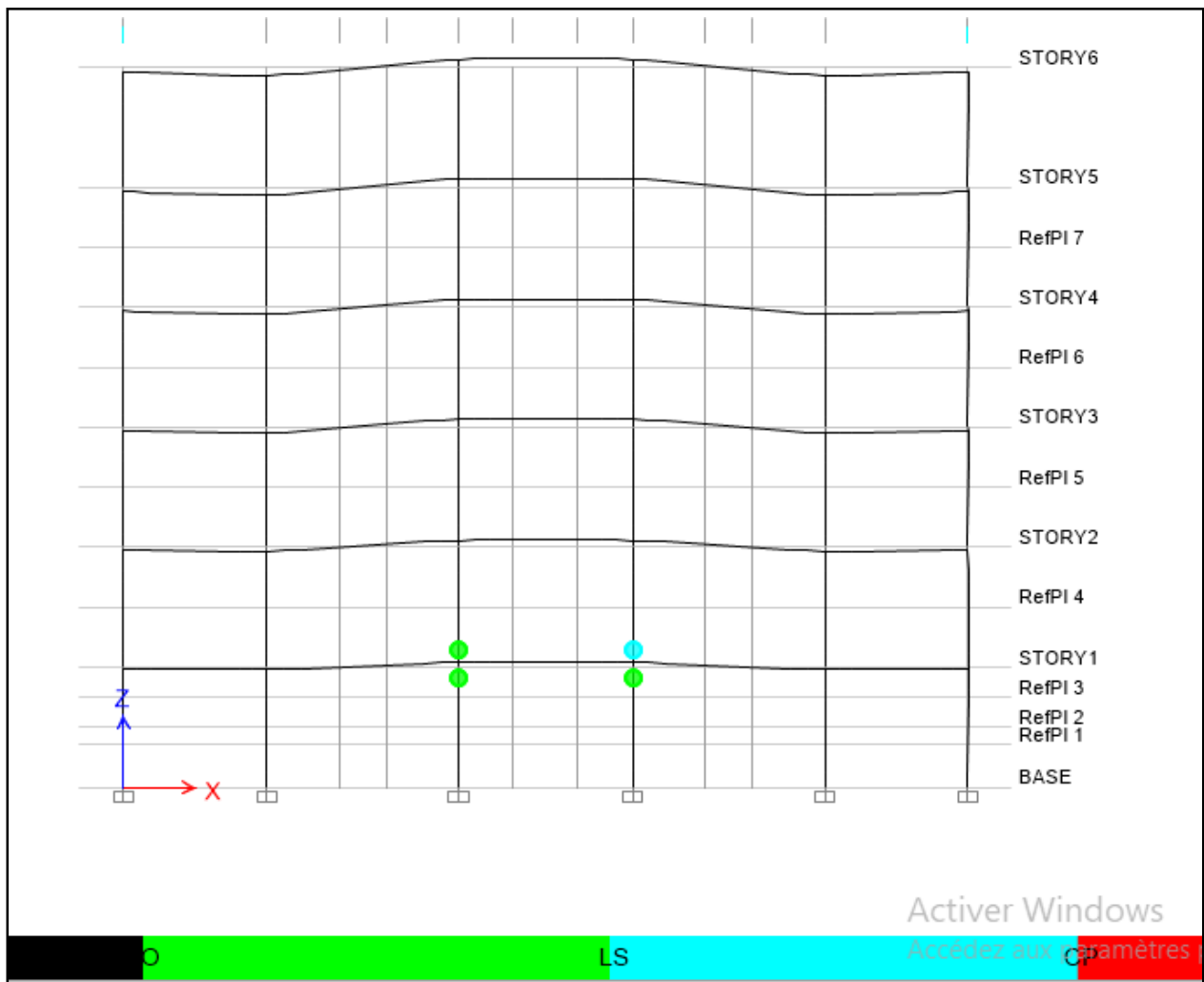


Figure (V. 22) : L'apparition des rotules type LS en pas 06/16.

### **V.3.6 Transformation de système à plusieurs degrés de liberté au système à un seul degré de liberté :**

La courbe Pushover bilinéaire idéalisée sens Y donnée par logiciel ETABS 18.0.02 en rouge (Figure V.17), pour définir les propriétés du système à un seul degré de liberté équivalent.

Donc on a :

$K_e$  : La rigidité élastique effective.

$$K_e = \frac{V_{by}}{\Delta y} = 3234,51 / 6,16 \times 10^{-3} = 525082,79 \text{ KN/m}$$

$K_s$  : La rigidité raidie ou adouci.

$$K_s = K_e \left( \frac{T_1}{T'} \right)^2$$

Avec

$T_1$  : La période initiale du système à un seul degré de liberté équivalent est donnée par logiciel ETABS 18.0.02

$T' = 0,353$  donnée par logiciel ETABS 18.0.02

$$K_s = 525082,79 (0,36 / 0,353)^2 = 546114,08 \text{ KN/m}$$

### **V.3.7 Demande en ductilité ( $\mu_d$ ) :**

$$D_u = 23,35 \text{ mm}$$

$$D_p = 3,99 \text{ mm}$$

Donc :

$$\mu_d = \frac{23,35}{3,99} = 5,85$$

A mesure que le facteur ( $\mu_d$ ) est grand, le degré de pénétration de la structure dans le domaine plastique est important

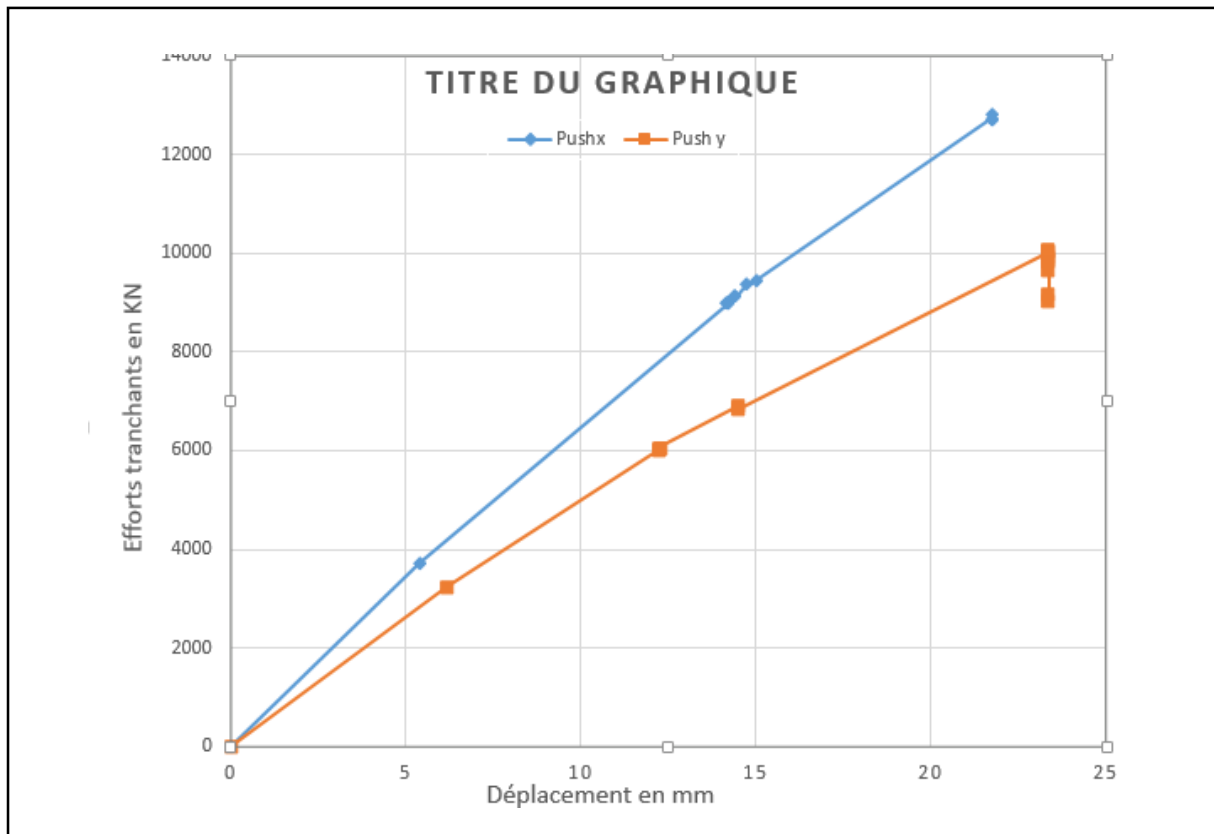
### **V.3.8 Degré de dégradation :**

$$DI = \frac{6,16 - 1,1}{23,35 - 1,1} = 0,247$$

$$0,1 < 0,247 < 0,25$$

On a un degré de dommage de classe 1 ce que signifié une dégradation de la structure de type Léger.

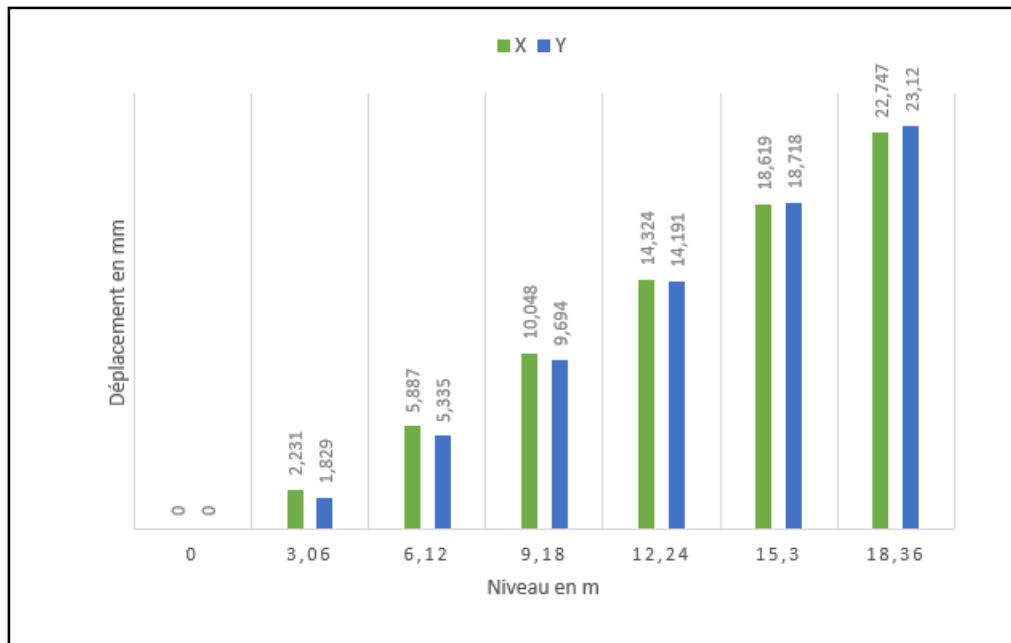
#### **V.4 Comparaison :**



**Figure (V. 23) : Courbe de capacité sens (X) et (Y).**

#### **Commentaire :**

La résistance globale de la structure selon le sens X est supérieure à celle du sens Y cela est dû aux distributions des voiles. Donc la structure entre dans le domaine plastique selon le sens X rapidement par rapport au sens Y.



**Figure (V. 24) : Graph de déplacement des niveaux suite la charge non linéaire maximale suivant (X) et (Y).**

**Commentaire :**

Les valeurs des déplacements est petites dans les maximales des chargements non linéaire dans les deux sens X et Y.

**V.5 Conclusion :**

D'après les calculs et l'analyse des résultats dans les deux sens X et Y, on conclue que notre structure est bien résistée au séisme et aussi la disposition des voiles est bonne dans les deux sens et le sens Y est plus vulnérable à l'action sismique que le sens X.

## *Conclusion générale*

Ce projet de fin d'étude nous a permis de concrétiser l'apprentissage théorique de notre formation de MASTER et surtout d'apprendre les différentes techniques de calcul, les concepts et les règlements régissant le domaine du génie civil d'une part, et d'autre part d'acquérir des connaissances sur l'utilisation des logiciels.

Les conclusions importantes obtenues au cours de ce travail sont :

-La modélisation de la construction est une étape importante en maxime que la prévisibilité du ferrailage dépend des efforts internes obtenus, de ce fait il faut la feindre le principalement avoir possible chez s'examiner davantage du comportement évidence du agencement en cas de ébranlement et ainsi assurer une agréable dédit comme sa siècle de vie.

-Les voiles transmettent les efforts à la base du bâtiment et sont par la suite absorbées par le sol. Il est généralement reconnu que la modélisation du comportement des voiles notamment dans le domaine non linéaire est bien plus complexe que celle des éléments linéaire (poutre et poteaux).

-La capacité de résistante de notre structure sous l'effet de la force « Push X » est nettement supérieure par rapport à la force « Push Y ».

-L'analyse non linière est devenue nécessaire pour estimer la capacité sismique de ces structures existantes ainsi que le positionnement des rotules plastiques et son degré de dégradation.

-Les voiles de contreventement et leurs dispositions jouent un rôle très important pour améliorer la capacité sismique de la structure.

-L'analyse statique non linéaire a permis de montrer que la capacité sismique d'un bâtiment en béton armé est devient importante si le contreventement assurer par des voiles qu'étés bien dimensionnés et bien positionnés.

Nous pensons que cette étude doit être complétée par des études complémentaires :

-Etude de l'influence de la variation de l'emplacement des voiles sur la capacité sismique d'un Bâtiment en béton armé ;

-Etude et analyse non linéaire d'un bâtiment en béton arme avec irrégularité en plan et en élévation ;

- Analyse Pushover d'une structure en béton armé composée de plusieurs étages(R+8, R +10, R +15,...etc).

En fin nous espérons que ce projet sera une base et que cette soit appréciée à sa juste valeur et qu'elle va servir un guide et un modèle pour futures promotions.

**Références**  
**Bibliographiques**

**Références Bibliographiques**

- [1] BARKOU Mouhamed Amin, Application de La méthode d'analyse statique non-linéaire «Pushover »sur un bâtiment R+4, Université L'Arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2018/ 2019.
- [2] Application de la méthode d'analyse statique non-linéaire sur un bâtiment R+3 A.El ghoulbzouria -Kissi Benaissab - Zakaria El alamia - A.Ezziania – M.El Youbia – A. Khamlichic–O. MOUHATc.
- [3] AIT RAMDANE Idir, Comportement sismique d'ossature en portiques en béton armée en tenant compte de l'interaction murs de remplissage en maçonnerie-cadres des portiques, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013/2014.
- [4] RABAH Romeissaa et TADJER Sabrina, Effet des ouvertures dans les murs voiles sur le comportement global des bâtiments en béton armé, Université ibn khaldoun de Tiaret, 2015 ,2016.
- [5] ANKIK Djamel, Incidence des périodes fondamentales proposées par les règlements parasismiques sur la performance sismique des bâtiments, Mémoire de magister, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012/2013.
- [6] H. Krawinkler, pushover analysis: why, how, when, and when not to use it, structural engineers association of California, 17-36.
- [7] OĞUZ Sermin, Evaluation of Pushover analysis procedures for frame structures, Thèse de masters. Middle East technical university, 2005.
- [8] MAZARI Ali, Analyse du comportement sismique de structures en portiques en béton armé dimensionnées suivant RPA et analysées en statique non linéaire suivant les schémas de distribution des forces sismiques recommandées par l'Eurocode 8, Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [9] Eurocode 8 (2003) : " Calcul des structures pour leur résistance aux séismes", Partie1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.
- [10] DTR NTC 08 normes technique de construction italienne.
- [11] BOUAZA A et BOUABDELLI A, Influence des types de contreventement sur le comportement non linéaire d'un bâtiment en béton armé, Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master, 2014/ 2015.
- [12] RABAH Romeissa et TADJER Sabrina, Effet des ouvertures dans les murs voiles sur le comportement global des bâtiments en béton armé, Université ibn khaldoun de Tiaret, 2015 /2016.
- [13] Rajesh.M. N, S.K. Prasad, Seismic performance study on RC wall buildings from pushover analysis, IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, 2014.



[14] W. DJALIL Amadeus, Consulte renforcement des bâtiments analyse pushover, Association Française du Génie Parasismique, 2013/2014.

### Règlements et livres

- ❖ DTR B C 2-48 RPA1999/Version2003:Règles parasismiques algériennes.
- ❖ DTR B C 2-41 CBA1993:Règles de conception et de calcul des structures en Béton armé.
- ❖ DTR B.C.2.2 : Charge permanente et charge d'exploitation.
- ❖ D.T.R. C 2-4.7RN2013 : Document d'accompagnement du DTR RNV (Exemples d'application).
- ❖ Cours de béton armé BAEL 91(Jean-Pierre Mougin).

### MÉMOIRES

- ❖ Naim Elhachemi Riadh et Gadoum Zouhir, Étude technique et analyse sismique d'une structure en béton armé (2019 ,2020) Centre Universitaire de Tissemsilt.

### LOGICIELS

- ❖ Logiciel d'analyse des structures ETABS version 18.0.02.....Modélisation.
- ❖ EXCEL 2013.
- ❖ WORD 2013.
- ❖ AUTO CAD 2013.....Dessin.
- ❖ SOCOTEC.....Calcul.

# **Annexes**

## *Annexe 01*

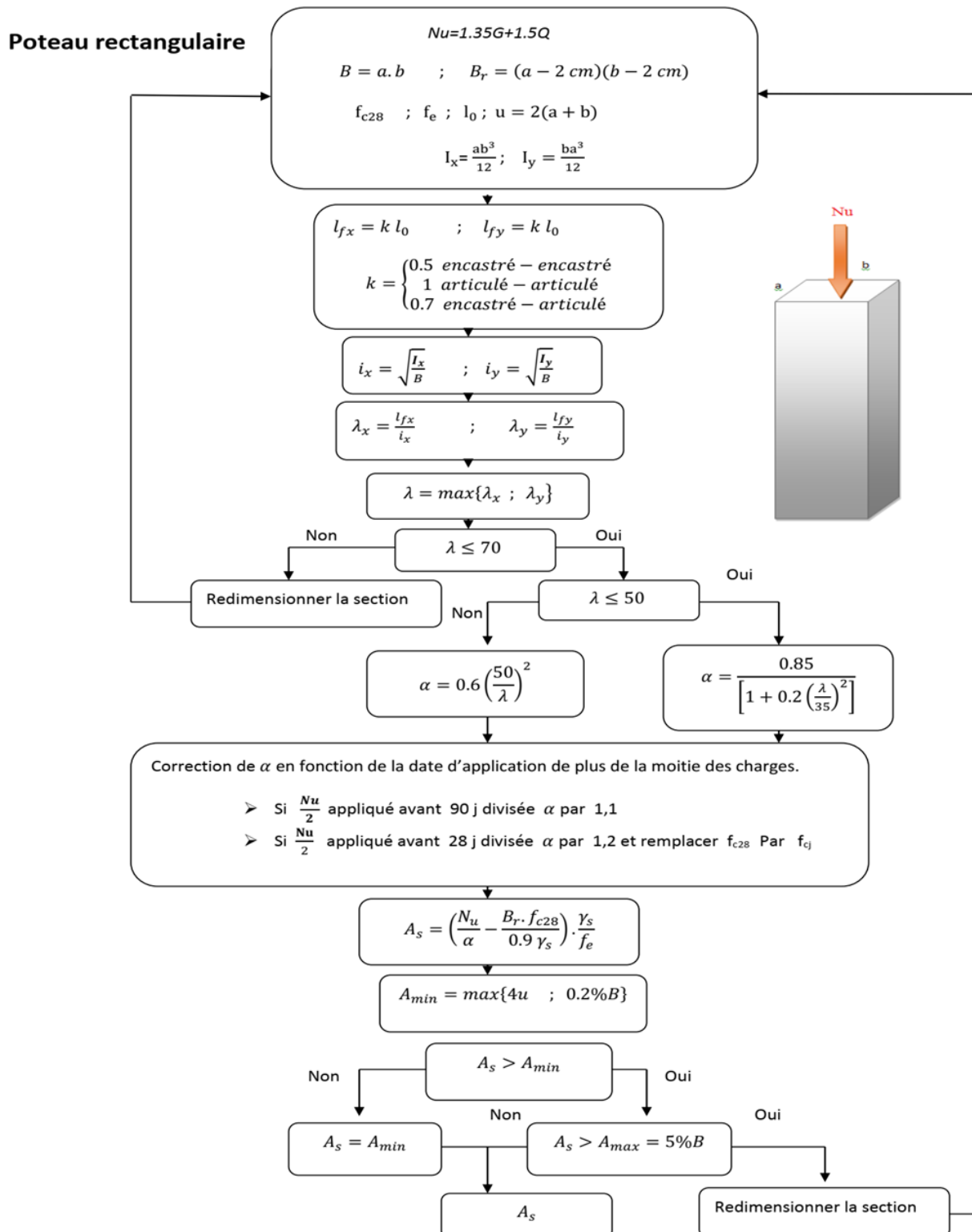
### SECTION RÉELLES D'ARMATURES

Section en cm<sup>2</sup> de N armature  $\phi$  en mm.

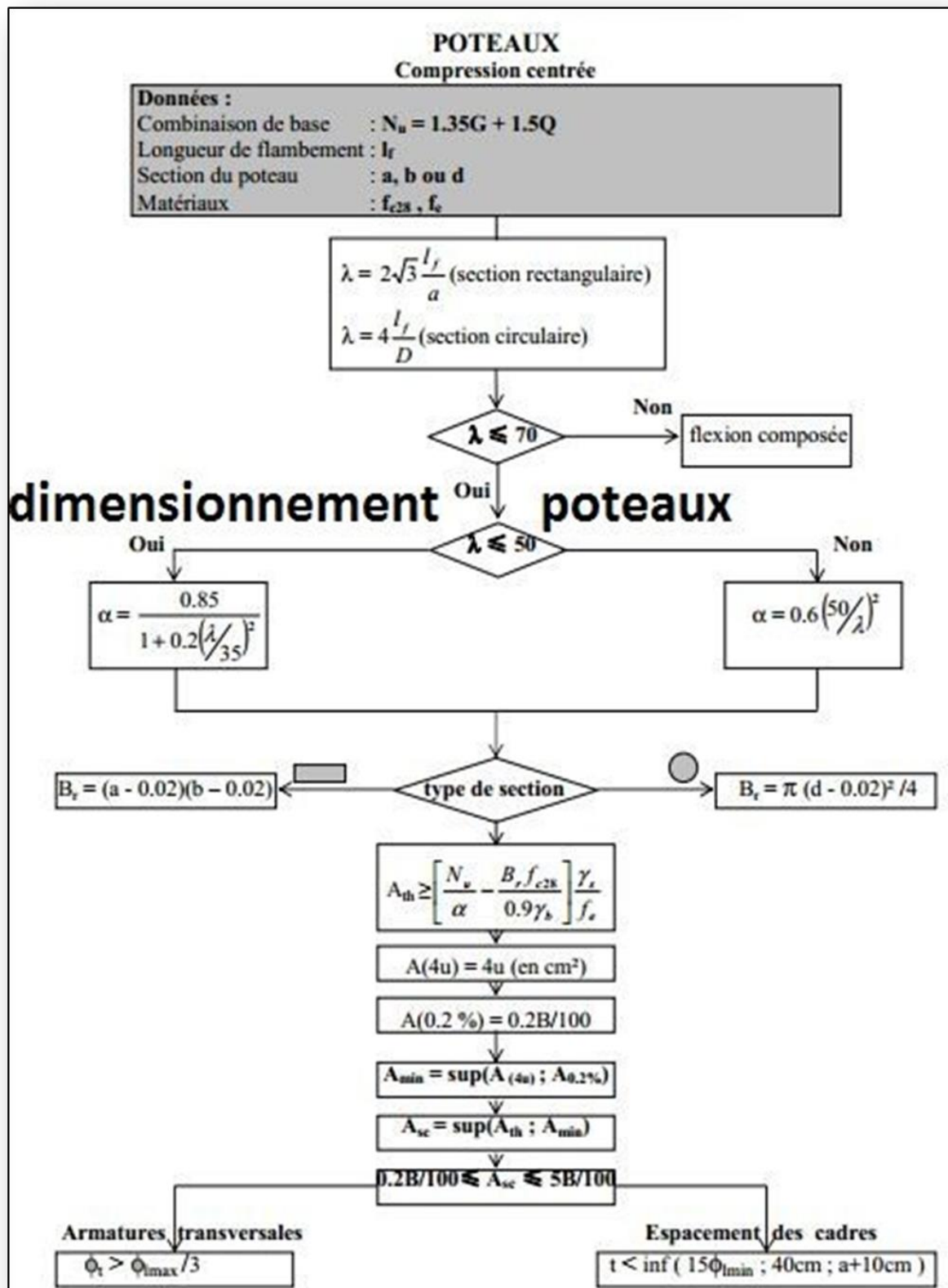
$\Phi$	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0,2	0,28	0,5	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,63	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,53
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,10
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,66
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	138,23
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,55	163,36
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,59	175,93
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,09	30,16	47,12	73,63	120,64	188,50
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,68	201,06
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,72	213,63
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,76	226,20
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	93,27	152,81	238,76
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,85	251,33

## Annexe 02

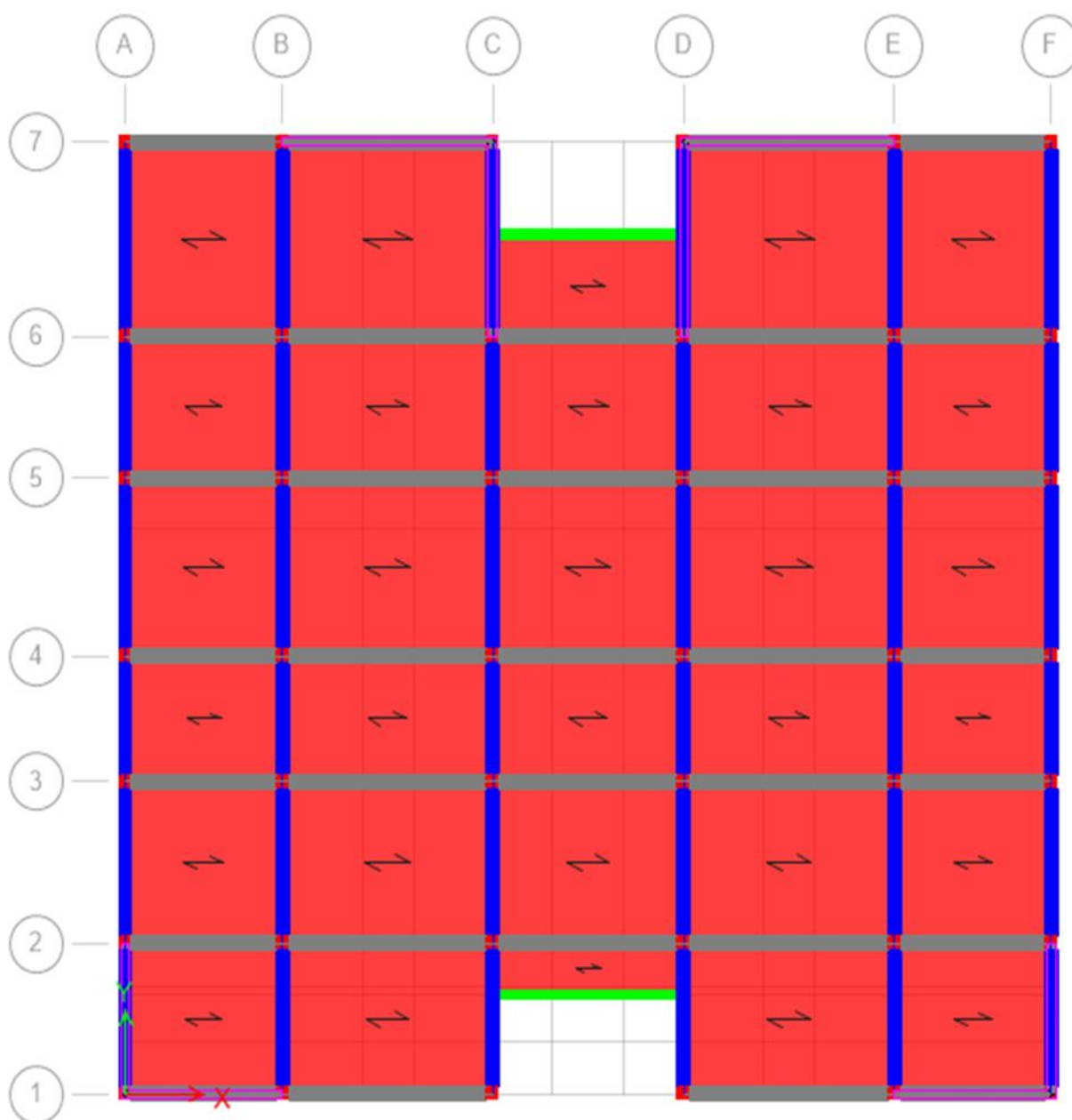
### Compression simple



## Annexe 03

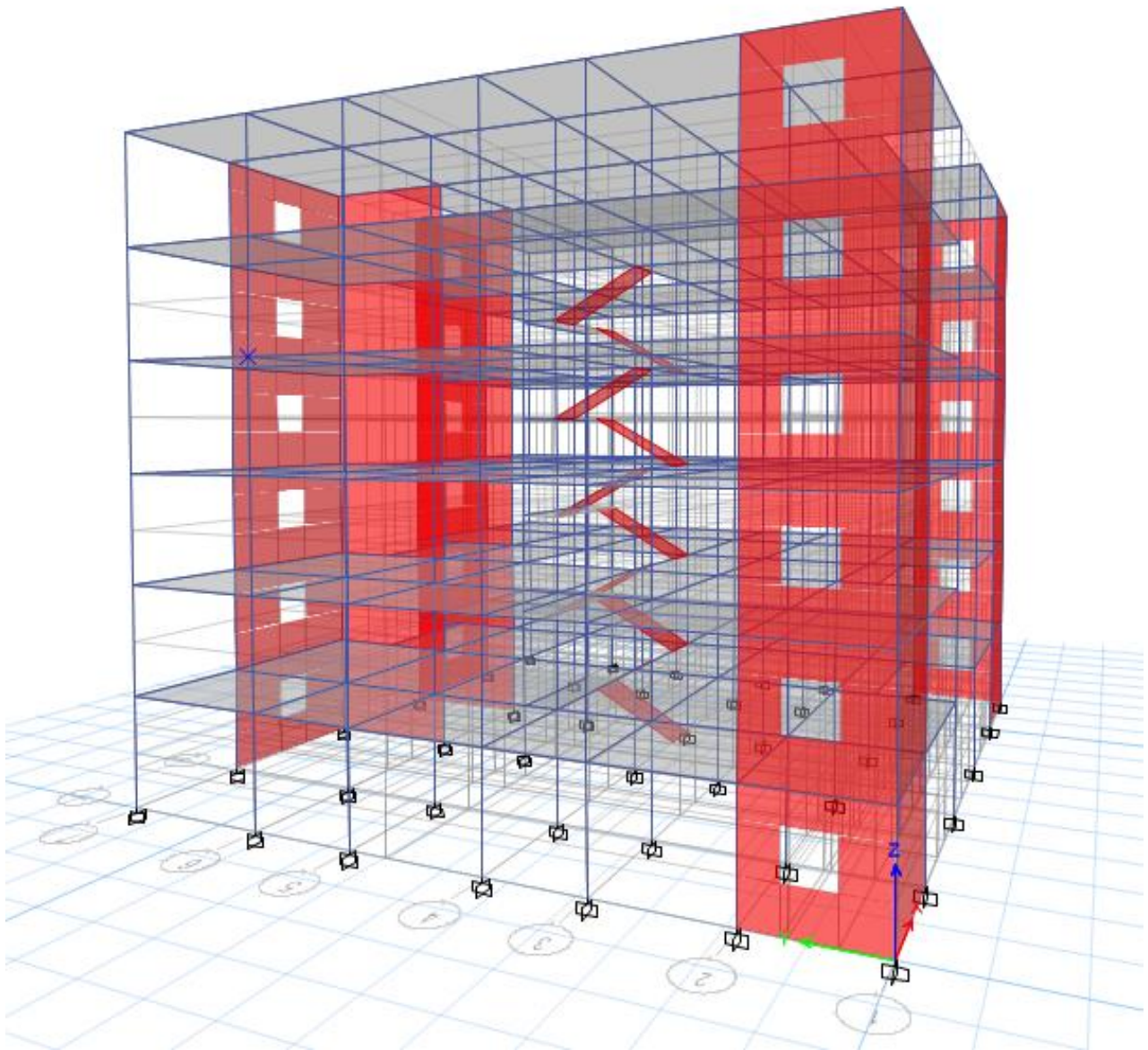


## Annexe 04



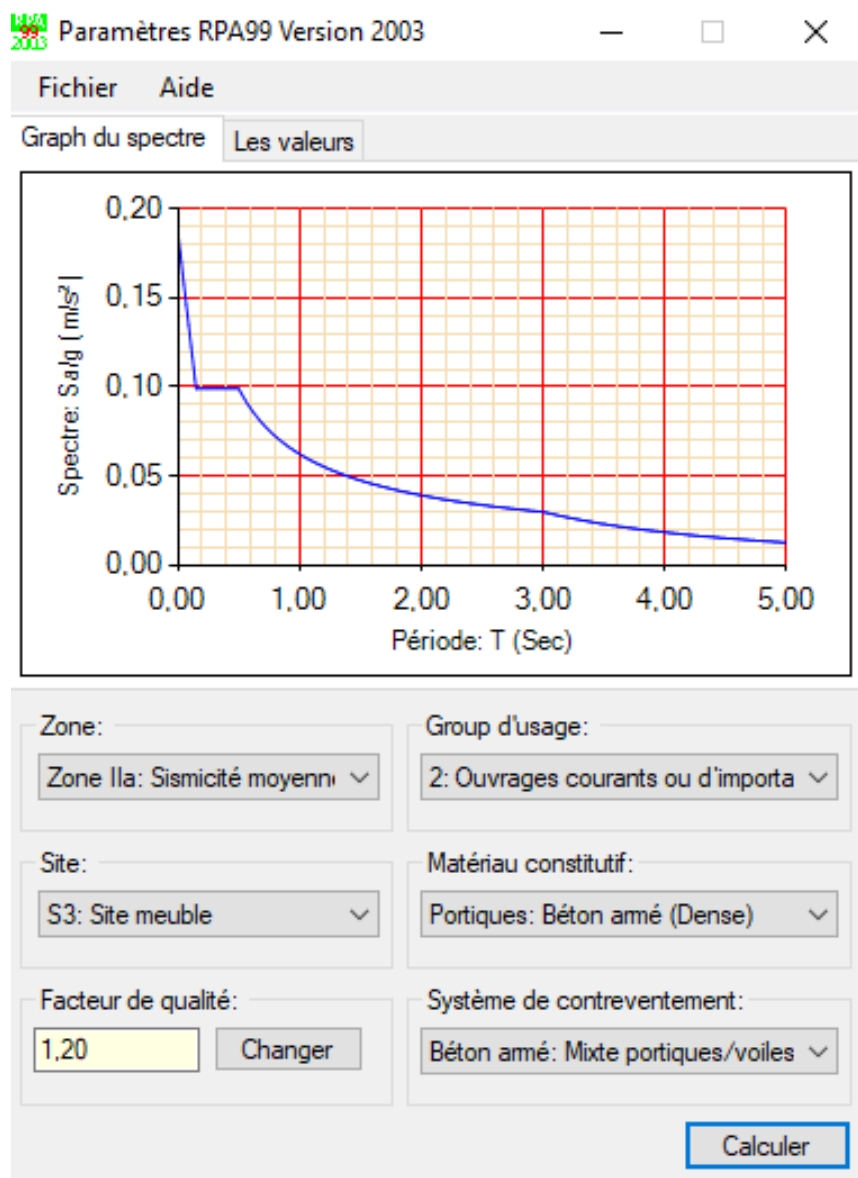
Vue en plan selon ETABS

## Annexe 05



Vue 3D selon ETABS

## Annexe 06



Spectre de reponse