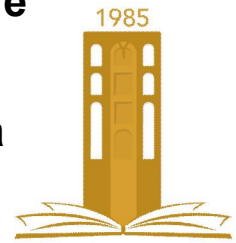


جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Structures

THEME

Etude de l'effet P-Delta sur les structures
élancées

Dirigé par :

Mr. BOULAOUAD Abderrachid

Présenté par :

Amriou ibrahim

Promotion : 2015/2016.

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH, de nous avoir donné le courage, la santé et la patience de mener à bien ce modeste travail de fin d'étude.

Je remercie mes parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute ma vie.

Nos plus grands remerciements vont à notre promoteur Mr A. BOULAOUAD qui nous a guidés pour la réalisation de cette étude et le soutien scientifique et moral.

Et je remercie les membres de Jury qui ont accepté de juger notre modeste travail de fin d'étude.

A decorative border with a repeating floral and leaf pattern in black and white surrounds the text.

Dédicaces

Je dédie ce travail:

A ma très chère mère

A mon très cher père

A mes chers frères et mes chères sœurs

A toute ma famille.

A tous mes amis surtout "de classe

Génie Civil promotion 2016.

- Sommaire
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- ملخص
- Résumé
- Abstract
- Introduction générale :
- Synthèses bibliographiques :
- **Chapitre I théorie de l'effet du second ordre**..... 3
- I-1.) Définition de l'effet P-Delta..... 3
- I-2) . Les types d'effet P-Delta..... 3
- I-3) Le besoin d'une analyse du second ordre 6
- I-4.) Types de non linéarités 6
- I-5) Techniques pratiques d'analyses du second ordre 7
- I-6) limitation L'effet P-Delta.....11
- **Chapitre II :Etude comparative entre surfase et hauteur**12
- II-1) présentation de la structure12
- II-2) présentation de logiciel « robot2011 »13
- II-3) .Méthodologie17
- II-4) Influence de la hauteur :17
- II-4-1) déplacement étage22
- II-4-2) déplacement relatif27
- II-4 -3) Moment étage31
- II-5) Influence de la surface :32
- II-5-1) déplacement étage32
- II-5-2) déplacement relatif.....40
- II-5-3) Moment étage48
- **Chapitre III :conclusion**57
- Conclusion et Perspectives58
- Recommandation59
- Les références

CHAPITRE I

Figure I-1- Estimation de l'effet du second ordre.....	3
Figure. I-2- système à 1 degré de liberté soumis à l'effet $P-\delta$	4
Figure I-3-Système à 2 degrés de liberté soumis à l'effet $P-\Delta$	5
FigureI-4-Portique modélisé par des diagonales négatives.	9

Chapitre II :

Figure II-1- Vue en plan de la structure.	12
Figure II-2- les différents type de structures.....	14
Figure II-1- le déplacement Variante 1.....	23
Figure II-2-le déplacement Variante 2	23
Figure II-3-le déplacement Variante 3	24
Figure II-4-le déplacement Variante 4	24
Figure II-5-le déplacement Variante 5.....	25
Figure II-6-le déplacement Variante 6.....	25
Figure II -7-déplacement des différentes variantes	26
Figure II-8-le déplacement Variante1	27
Figure II-9- le déplacement Variante 2	27
Figure II-10-le déplacement Variante 3.....	28
Figure II-11-le déplacement Variante 4.....	28
Figure II-12-le déplacement Variante 5.....	29
Figure II-13- le déplacement Variante 6.....	29
Figure II-14-déplacement relatif des différentes variantes	30
Figure II-15- moment relatif des différentes variantes.....	31
Figure II-16- déplacement étage des différentes variantes	37
Figure II-17 déplacement étage des différentes variantes	37
Figure II-18 déplacement étage des différentes variantes.....	38
Figure II-19 déplacement étage des différentes variantes	38
Figure II-20 déplacement étage des différentes variantes:	39
Figure II-21 déplacement étage des différentes variantes.....	39
Figure II-22 déplacement relatif des différentes variantes	45
Figure II-23 déplacement relatif des différentes variantes.....	45
Figure II-24 déplacement relatif des différentes variantes	46
Figure II-25 déplacement relatif des différentes variantes	46

Figure II-27 déplacement relatif des différentes variantes	47
Figure II -28 moment les étage des différentes variantes	53
Figure II -29 moment les étage des différentes variantes	53
Figure II -30 moment les étage des différentes variantes	54
Figure II -31 moment les étage des différentes variantes	54
Figure II -32moment les étage des différentes variantes	55
Figure II -33 moment les étage des différentes variantes	55

CHAPITRE II :

Tableau II-1 présentation de la variation	17
Tableau II- 2 déplacement étage	17
Tableau II-3 déplacement étage	18
Tableau II-4 déplacement étage	19
Tableau II-5 déplacement étage.	19
Tableau II-6 déplacement étage	20
Tableau II-7 déplacement étage	21
Tableau II -8 déplacement étage	32
Tableau II -9 déplacement étage	32
Tableau II -10 déplacement étage	33
Tableau II-11 déplacement étage.....	34
Tableau II -12 déplacement étage.....	35
Tableau II -13 déplacement étage.....	36
Tableau II -14 déplacement étage	40
Tableau II -15 déplacement étage... ..	40
Tableau II -16 déplacement relatif	41
Tableau II -17 déplacement relatif	42
Tableau II -18 déplacement relatif.....	43
Tableau II -19déplacement relatif	44
Tableau II -20 moment étage	48
Tableau II -21 moment étage	48
Tableau II -22 moment étage	49
Tableau II -23 moment étage	50
Tableau II -24 moment étage	51
Tableau II -25moment étage	52

ملخص

مع تزايد عدد السكان عبر العالم، يتجه العمران الحديث نحو إنجاز بنايات عالية مع أرضية محدودة، وهذا ما يمكن أن يسبب مشاكل كبيرة على مستوى أمن السكان. وبالفعل، فإن هذه المنشآت تخضع لآثار ثانوية (عزوم) جراء القوى الأفقية (الرياح أو الزلازل) فيما يعرف ب: آثار P-Delta. فعلى هذه المنشآت أن تحقق شروط أمن وراحة السكان حسب ما تنص عليه القوانين المختصة. من الأهداف الأساسية لهذا البحث إبراز أهمية هذه الآثار على المنشآت العالية والحث على ضرورة الإهتمام بدراساتها.

Résumé

Avec le développement de l'urbanisation à travers le monde, les nouvelles constructions ont tendance à se développer en hauteur tout en réduisant la surface d'assise le plus possible. Ce type de construction peut causer de grands problèmes de stabilité et donc de sécurité.

En effet, les structures sujettes aux forces latérales (vent et/ou séisme) sont souvent soumises à des sollicitations secondaires dues au mouvement du point d'application des charges verticales. Ces effets du second ordre, communément connus sous le nom d'effet P-Delta, peuvent être importants.

De tels bâtiments doivent répondre aux critères de résistance, de déformation et de confort des usagers prescrits par les codes parasismiques.

Le but de notre travail est de mettre en évidence l'importance de l'effet P-Delta sur les structures élancées par application sur des structures régulières en faisant varier un certain nombre de paramètres dont le nombre d'étages.

Abstract

With the development of urbanization throughout the World, recent trends are to build high-rise constructions. This type of construction may cause great problems of stability and security.

Indeed, the structures subjected to lateral forces (wind or earthquake) often undergo secondary sollicitations due to change in position of vertical forces (gravity loads).

These second-order effects which are commonly known as P-Delta effects, may be important.

Such tall buildings must verify the criteria of safety and human comfort given by seismic codes.

The main aim of this work is to show up the importance of the P-Delta effect on tall buildings by numerical applications on regular structures and varying some parameters such as storey number.

Chapitre I : théorie de l'effet du second ordre

Introduction

Avec le développement de l'urbanisation à travers le monde, la construction de bâtiments élancés est devenue nécessaire et augmente de plus en plus surtout dans les agglomérations à forte densité de population où les terrains de constructions se font plus rares et plus coûteux. D'où la tendance des constructions nouvelles à se développer en hauteur tout en réduisant la surface d'assise le plus possible. Ce type de construction, bien qu'il s'impose comme solution au problème de la croissance démographique, peut causer de grands problèmes de stabilité et donc de sécurité dus essentiellement à une grande hauteur associée souvent à de faibles dimensions en plan. Ce problème est d'autant plus grave que la force latérale subie par la construction est grande. En effet, les structures sujettes aux forces latérales (vent et/ou séisme) sont souvent soumises à des sollicitations (moments) secondaires dues au mouvement du point d'application des charges verticales. Ces effets du second ordre sont communément connus sous le nom d'effet P-Delta,

En Dynamique des structures, on interprète souvent l'effet P-Delta par une dégradation de rigidité qui affecte les éléments résistants (poteaux) donnant lieu ainsi à des non linéarités qui sont dites géométriques puisqu'elles sont liées à la géométrie de la structure (hauteur). Ces non linéarités "géométriques", associées ou non aux non linéarités "matérielles", peuvent théoriquement occasionner une ruine anticipée de la structure par instabilité globale en présence de grands déplacements.

Plusieurs définitions du bâtiment élancé ont été données ; nous retenons celle de l'ATC (Applied Technology Council) et du PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) qui définissent les bâtiments élancés comme étant ceux qui dépassent 49 mètres de hauteur (160 feet), soit l'équivalent de 16 étages de 3 m de hauteur (PEER-ATC-72-1_report).

De tels bâtiments sont conçus pour être économiques tout en assurant une résistance suffisante aux forces latérales dues au vent ou... au séisme selon les critères de résistance, de déformation et de confort des usagers prescrits par les codes parasismiques. L'analyse de l'effet P-Delta est recommandée par plusieurs codes tels que l'ACI-318 et le LRFD. Dans Les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 2003) comme dans d'autres codes tels que l'EC 8, on se contente de limiter cet effet.

Le but de notre travail est de mettre en évidence l'importance de l'effet P-Delta sur les structures élancées par application sur des structures régulières en faisant varier un certain nombre de paramètres dont le nombre d'étages et la surface en plan afin d'étudier à la fois l'effet de l'accroissement du nombre d'étages et celui du rapport hauteur /surface.

Notre travail est présenté en trois chapitres. Après une brève introduction-problématique, il nous a paru utile de définir dans le premier chapitre la notion d'effet P-Delta. Le second chapitre a été

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

réservé aux applications numériques effectuées à l'aide du logiciel Robot. L'analyse des résultats fait l'objet du troisième chapitre. Enfin, le tout est couronné par une conclusion et quelques recommandations.

Chapitre I : théorie de l'effet du second ordre

I.1 Définition de l'effet P-Delta.

L'effet P-Delta est un effet non linéaire (de second ordre) qui se produit dans chaque structure ou les éléments sont soumis à des charges axiales. Cet effet est étroitement lié à valeur de la force axiale appliquée (P) et le déplacement (Δ).

La valeur de l'effet P-delta dépend de

- ✓ La valeur de la force axiale appliquée
- ✓ La rigidité ou la souplesse de la structure globale
- ✓ La souplesse des éléments de la structure

En contrôlant la souplesse, la valeur de l'effet P-delta est souvent gérée de telle façon à être considérée négligeable et donc ignoré dans le calcul.

I-1-1 Deuxième ordre, troisième ordre, ..., second ordre

L'explication physique du flambement a montré que celui-ci se produit lorsqu'il y a divergence des flèches successives du premier ordre, deuxième ordre, troisième ordre, etc. Cette interprétation est toutefois purement mathématique puisqu'en réalité l'ensemble des phénomènes d'ordres successifs allant de 2 à l'infini se résume à un seul effet que l'on désignera, dans le cadre de cet ouvrage, par effet du second ordre. [1]

I.2 Les type d'effet P-Delta.

Il y'a deux types d'effet P-Delta :

a - Petite effet ($P - \delta$) pour un système à un degré de liberté :

Nature de l'effet du second ordre :

Pour montrer l'effet du second ordre sur une structure, considérons l'oscillateur simple suivant :

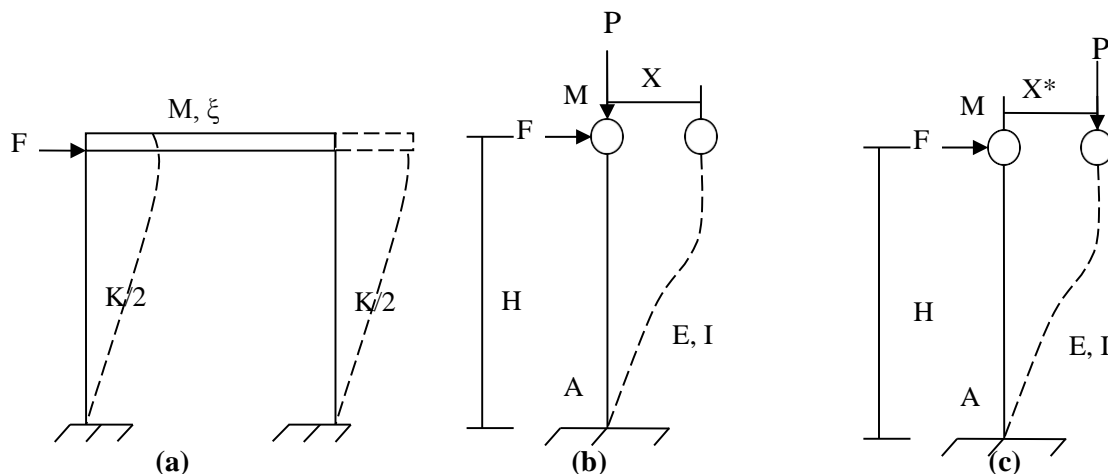


Fig. (I-1) : Estimation de l'effet du second ordre :

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

- (a) : Bâtiment à un étage
- (b) : Oscillateur simple (premier ordre)
- (c) : Oscillateur simple (second ordre)

De la figure (1-1), en ne tenant pas compte de l'effet du second ordre, on déduit le moment d'encastrement en A (M_A) et le déplacement horizontal statique de l'oscillateur (X) :

$$M_A = F \cdot H \text{ et } X = \frac{F}{K} = \frac{H^3}{24EI} \cdot F, \text{ d'où : } X = \frac{H^2}{24EI} \cdot (M_A)$$

En introduisant l'effet du second ordre, la figure (1-1c) nous permet d'écrire :

$$M_A^* = F \cdot (H + P \cdot X^*) \text{ et } X^* = \frac{H^2}{24EI} \cdot (F \cdot (H + P \cdot X^*))$$

Il en résulte : $F = \left(\frac{12 \cdot EI}{H^3} - \frac{P}{H} \right) \cdot X^*$, c'est-à-dire : $F = \left(K - \frac{Mg}{H} \right) \cdot X^*$

Donc, l'effet du second ordre peut être interprété comme un affaiblissement de la rigidité K de l'oscillateur qui devient : $K^* = \left(K - \frac{Mg}{H} \right)$ ou, en utilisant la relation

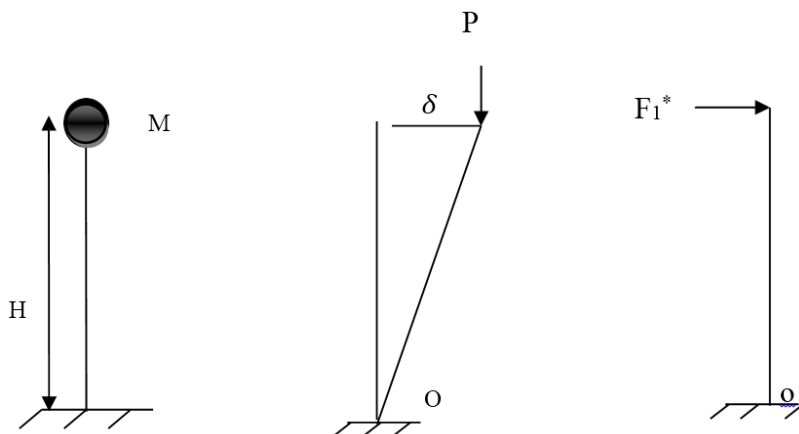
$$K = M \cdot \omega^2 : \quad K^* = K \left(1 - \frac{g}{H\omega^2} \right) \quad K^* = K(1 - \beta)$$

Où : β est un paramètre adimensionnel d'effet du second ordre défini par :

$$\beta = \frac{g}{H\omega^2}$$

a-1 Forces latérales équivalentes :

Considérons le système à 1 d.d.l de la figure (I-2)



(a) Système à 1 degré de liberté

(b) Effet P- δ

(c) Force latérale équivalente

Fig. (I-2) : système à 1 degré de liberté soumis à l'effet P- δ

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Pour que F^* soit équivalente à P , leurs effets (moment) par rapport à la base (point O) doivent être égaux, c'est-à-dire :

$F^* \cdot H = P \cdot \delta$ ce qui donne :

$$F^* = \frac{P \cdot \delta}{H}$$

Avec : $P = M \cdot g$ Cette force est ajoutée à la fore latérale initiale (1^{er} ordre) F pour donner la force

Totale : $F^t = F + F^*$

b- Effet (P-Δ) pour un système à plusieurs degrés de liberté

Introduction :

Comme pour l'O.S. , l'effet P- Δ pour être interprété comme un affaiblissement de rigidité de niveau et sa prise en compte est assurée en remplaçant par un système de force latérales équivalentes A noter que cet effet de stabilisant est beaucoup plus important pour l'oscillateur multiple à cause de sa masse et son élancement

a-1 Force latérale équivalentes : Considérons système à 2 d .d .l .de la figure (I-3) :

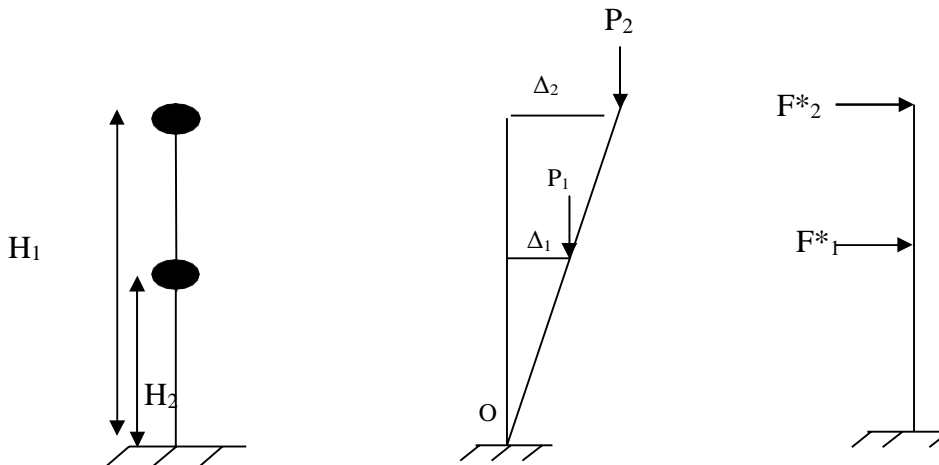


Fig. (I-3) Système à 2 degrés de liberté soumis à l'effet P- Δ

S'agissant de moment pour que F^*_1 et F^*_2 soient équivalentes respectivement à P_1 P_2 , leurs effets (moment) par rapport à la bas (point O) doivent être égaux ; c'est-à-

Dire : $F^*_1 \cdot H_1 = P_1 \cdot \Delta_1$ et $F^*_2 \cdot H_2 = P_2 \cdot \Delta_2$ Ce que donne :

$$F^*_1 = \frac{P_1 \cdot \Delta_1}{H_1} \quad \text{et} \quad F^*_2 = \frac{P_2 \cdot \Delta_2}{H_2} \quad \text{Avec : } P_1 = M_1 \cdot g \quad \text{et} \quad P_2 = M_2 \cdot g$$

Ces force sont ensuite ajoutées aux force latérale initiales (1^{er} ordre) F_1 et F_2 pour

Donner les force équivalentes totale : $F^t = F_1 + F^*_1$ et $F^t_2 = F_2 + F^*_2$

I-3 Le besoin d'une analyse du second ordre.

Les ingénieurs étaient conscients de l'effet P-Delta depuis des décennies. Mais à cause de l'absence des moyens de calcul précis, les ingénieurs à travers le monde font des vérifications empiriques et imposent certaines règles pour assurer que la valeur de l'effet de second ordre reste dans des limites raisonnables.

Actuellement, les moyens de calcul ont évolué ainsi que les facteurs d'amplification de l'effet de second ordre. Il est donc très nécessaire pour ingénieurs d'être plus informé sur ce phénomène pour bien réaliser les ouvrages.

I-4 Types de non linéarités

Les non-linéarités que l'on observe peuvent se classer en deux grandes catégories : la non-linéarité géométrique et la non-linéarité matérielle. Ces deux types de non-linéarité sont considérés lors de l'élaboration des différents logiciels d'éléments finis : ABAQUS, ANSYS, ADINA, ROBOT, CASTEM, FINELG, ...etc. [2]

a-Non linéarité géométrique

Cette non-linéarité est due aux déplacements mêmes de la structure. En effet, lorsque ces déplacements deviennent importants, l'équilibre du système ne peut plus être décrit dans la configuration initiale non déformée (théorie du premier ordre des déplacements) mais doit être étudié dans la configuration déformée (théorie au second ordre des déplacements). Au sein de cette catégorie, on peut distinguer les grands déplacements et les grandes rotations. La prise en compte de cette non-linéarité est fondamentale pour l'étude de stabilité de forme de pièces élancées, ou de structures élancées à nœuds déplaçables. Elle permet de prédire le niveau de charge critique pour le calcul au flambement.

b-Non linéarité matérielle

Elle peut provenir de la loi de comportement intrinsèque du matériau (loi de comportement élasto-plastique par exemple), de la fissuration du matériau, du comportement du béton tendu entre deux fissures, du mode d'assemblage entre les poteaux et les poutres d'une structure

I-5 Techniques pratiques d'analyses du second ordre.

I .5.1 Analyse approximative au flambement.

Dans cette méthode, la charge de flambement d'un seul niveau ou de la structure en entier est estimée. Tous les efforts dans la structure sont multipliés par un facteur μ qui est fonction du rapport des charges de gravité sur la charge de flambement. D'où, le calcul des éléments est effectué en prenant un facteur de la longueur effective égal à

I .5.2 Analyse P-Delta approximative.

Dans ce qui suit, trois méthodes d'analyse approximative de l'effet P-Delta seront présentées : la méthode Itérative, la méthode directe et la méthode des diagonales négatives. Les trois méthodes on montré leurs capacités à donner une bonne estimation des effets P-Delta.

a- La méthode itérative.

La méthode itérative d'analyse P-Delta est basée sur la simple idée de correction des déplacements de premier ordre, en rajoutant l'effort tranchant dû à l'effet P-Delta à l'étage considéré. Puisque les effets P-Delta sont de nature cumulative, cette correction et l'analyse correspondante doivent être effectuées jusqu'à convergence vers la solution. A chaque cycle d'itération, l'effort tranchant modifié à chaque étage est donnée par :

$$\sum V_i = \sum V_i^* + (\sum p)\Delta_{i-1}h$$

Avec $\sum V_i$ est l'effort tranchant modifié à la fin du i^{eme} cycle d'itération. $\sum V_1$ est l'effort tranchant de premier ordre, $\sum p$ est la somme de toutes les forces de gravité agissant au-dessus du niveau considéré, Δ_{i-1} est le déplacement latéral de l'étage obtenu par une analyse du premier ordre dans les cycles d'itération précédents, et h est la hauteur d'étage considérée. L'itération peut être arrêtée quand $\sum V_i \cong \sum V_{i+1}$ ou $\Delta_i \cong \Delta_{i+1}$.

Généralement pour les structures élastiques de rigidité raisonnable, la convergence s'obtient au bout de deux à trois cycles d'itération. Néanmoins, il faut noter que puisque les forces latérales sont modifiées pour tenir compte de l'effet P-Delta, l'effort tranchant obtenu pour chaque poteau est légèrement en erreur. Ceci reste vrai pour toutes les méthodes approximatives qui utilisent les forces latérales pour

b-Méthode directe d'analyse P-Delta.

La méthode directe d'analyse P-Delta est en fait une simplification de la méthode itérative. Utilisant cette méthode, une estimation des déflexions définitives est obtenue directement à partir de l'analyse du premier ordre. Cette simplification est basée sur l'hypothèse que la déflexion au niveau i , est uniquement proportionnelle à l'effort tranchant appliqué à ce niveau ($\sum V_i$). Cette hypothèse permet de traiter chaque niveau indépendamment des autres niveaux. Si F est la

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

déflexion causée par une charge unitaire latérale au niveau i , alors la déflexion de premier ordre Δ_1 est :

$$\Delta_1 = F \sum V_1$$

Après le premier cycle d'itération, on aura :

$$\Delta_2 = F \sum V_2 = F \left(\sum V_1 \right) \left(1 + \left(\sum P \right) \frac{F}{h} \right)$$

Après la $i^{\text{e me}}$ d'itération, on aura :

$$\Delta_{i+1} = F \sum V_1 \left(1 + \left(\sum P \right) \frac{F}{h} + \left(\sum P \right)^2 \frac{F^2}{h^2} + \dots + \left(\sum P \right)^i \frac{F^i}{h^i} \right)$$

L'équation ci-dessus est une série géométrique qui converge si $\left(\sum P \right) \frac{F}{h} < 1$ à la valeur Δ_{final} donnée par :

$$\Delta_{\text{final}} = \frac{F \sum V_1}{1 - \left(\sum P \right) \frac{F}{h}}$$

Mais si $F \sum V_1 = \Delta_1$, alors la flexion du second ordre finale sera :

$$\Delta_{\text{final}} = \frac{\Delta_1}{1 - \left(\sum P \right) \frac{\Delta_1}{\left(\sum V_1 \right) h}} = \mu \Delta_1$$

Avec

$$\mu = \frac{1}{1 - \left(\sum P \right) \frac{\Delta_1}{\left(\sum V_1 \right) h}} \text{ étant un facteur d'amplification par lequel les effets du premier ordre}$$

sont multipliés pour inclure l'effet du second ordre. Tous les efforts internes doivent être également multipliés par ce facteur. Le calcul des éléments peut se faire en considérant un facteur de la longueur effective égal à un.

Il est à noter que si $\left(\sum P \right) \frac{\Delta_1}{\left(\sum V_1 \right) h} = 1$, le déplacement du second ordre tend vers l'infini. Par conséquent, $\sum P = \left(\sum V_1 \right) h / \Delta_1$ peut être considéré comme étant la charge critique du système.

D'une façon similaire, $\sum (P_r^2) = \sum T_1 h / \theta$ peut être considéré comme la charge tensionnelle critique du système. Il est intéressant de noter que le facteur d'amplification est pratiquement le même que celui trouvé en considérant une analyse approximative de flambement.

Le terme $\left(\sum P \right) \frac{\Delta_1}{\left(\sum V_1 \right) h}$ est communément appelé l'indice de stabilité.

Il est en général admis que si l'indice de stabilité est inférieur à 0.0475 pour les trois axes du bâtiment, alors l'effet du second ordre peut être négligé. De plus, il est également mentionné que pour les valeurs de l'indice de stabilité compris entre 0.0475 et 0.20, la méthode directe

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

d'analyse P-Delta donne une bonne estimation des effets du second ordre. Enfin, les calculs pour lesquels l'indice de stabilité dépasse 0.2 doivent être quant à eux évités. Pour le RPA99/version 2003, si l'indice de stabilité est inférieur à 0.1 alors l'effet P-Delta peut être négligé et s'il est compris entre 0.1 et 0.2 on peut appliquer la méthode directe exposée ci-après.

c-Méthode des diagonales négatives.

La méthode des diagonales négatives permet une estimation directe de l'effet P-Delta à travers n'importe quelle analyse du 1^{er} ordre. Des éléments diagonaux fictifs avec une section négative sont insérés (voir figure I-4) pour simuler la réduction de la rigidité suite à l'effet P-Delta. La section des éléments diagonaux fictifs peut être alors obtenue par simple analogie à la loi de Hooke ($F=K\Delta$). Le cisaillement additionnel dû à l'effet P-Delta est $(\sum P)\Delta/h$, avec $\sum P$ étant la somme des forces de gravité et h est la hauteur d'étage. Le terme $\sum P/h$ est un terme de rigidité mais au lieu de résister au déplacement, il le provoque. Par conséquent, il peut être considéré comme une rigidité négative.

Il est évidemment clair qu'à cause des forces horizontales et verticales dans la diagonale, les forces axiales et l'effort tranchant dans les poteaux seront légèrement erronés. Ces erreurs peuvent être réduites en prenant les diagonales aussi longues que possible (voir figure I-).

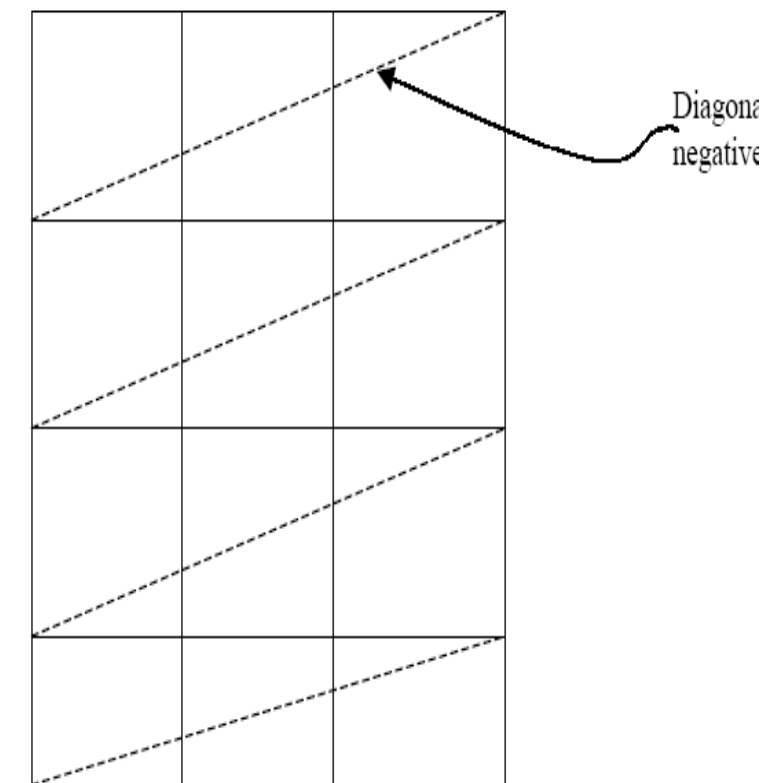


Figure (I-4) Portique modélisé par des diagonales négatives

I.5.3 Analyse P-Delta "exacte".

La formation des matrices de rigidité géométrique est la base de toute analyse dite "exacte" du second ordre. La même matrice reste essentielle pour toute procédure l'analyse du flambement par la méthode des éléments finis. Dans ce paragraphe, le Considérons un poteau déformé. En négligeant l'effet des déformations axiales de l'élément, les équations de la rotation pour ce poteau peuvent s'écrire sous la forme :

$$M_t = \frac{EI}{L} (4\theta_t + 2\theta_b - 6\frac{\Delta_t}{L} + 6\frac{\Delta_b}{L})$$

$$M_b = \frac{EI}{L} (2\theta_t + 4\theta_b - 6\frac{\Delta_t}{L} + 6\frac{\Delta_b}{L})$$

En considérant l'équilibre du système, on trouve :

$$F_t = \frac{M_t + M_b - P(\Delta_t - \Delta_b)}{L}$$

$$F_t = -F_b$$

Après quelques transformations, on obtient :

$$F_t = \frac{6EI}{L^2} (\theta_t + \theta_b) + 12(\frac{EI}{L^3} - \frac{P}{L})(\Delta_t - \Delta_b)$$

Puisque cette équation est dérivée de l'équilibre à l'état déformé, il s'agit donc d'une matrice du second ordre. La matrice de rigidité, peut donc s'écrire sous la forme compacte suivante :

$$[K] = [K_f] - [K_g]$$

La matrice $[K_f]$ est la matrice standard du premier ordre (rigidité matérielle) et $[K_g]$ la matrice de rigidité géométrique.

L'analyse de la matrice du second ordre est par nature itérative. En effet, la matrice de rigidité inclue des termes P/L . Mais l'effort axial P n'est connu qu'après l'analyse effectuée. Pour le premier cycle de la procédure de calcul, la force axiale peut être prise égale à zéro, ce qui revient à une analyse standard du premier ordre. Dans toutes les itérations suivantes, les efforts obtenus sont utilisés pour l'analyse suivante jusqu'à la convergence vers la solution. Si le comportement non-linéaire du matériau est considéré, la matrice de rigidité matérielle doit également être révisée à chaque étape de l'analyse.

L'effet P-Delta dans le règlement parasismique Algérien (RPA99).

Le RPA99/version 2003 préconise que les effets de 2^{ème} ordre ou les effets P-Delta peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta_k = \frac{P_k \Delta_k}{V_k h_k} \leq 0.10$$

Si : $\theta_k < 0,10$, les effets de 2^{ème} ordre sont négligés.

Si : $0.10 < \theta_k < 0.20$: il faut augmenter les effets de l'action sismique calculés par un facteur égale à $1/(1 - \theta_k)$.

Si $\theta_k > 0.20$: la structure est potentiellement instable et doit être redimensionnée.

Avec :

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'.

Δ_K : déplacement relatif du niveau K par rapport au niveau 'K-1'.

H_K : hauteur de l'étage 'K' [4]

Chapitre II : Etude comparative entre surface et hauteur

II-1 Description de la structure

La structure étudiée est régulière en béton armé, contreventée par voile avec un nombre d'étage et surface en plan variant de R+5 à R+30 et de S1 (=14x14 m²) à S5 (=28x2 m²)

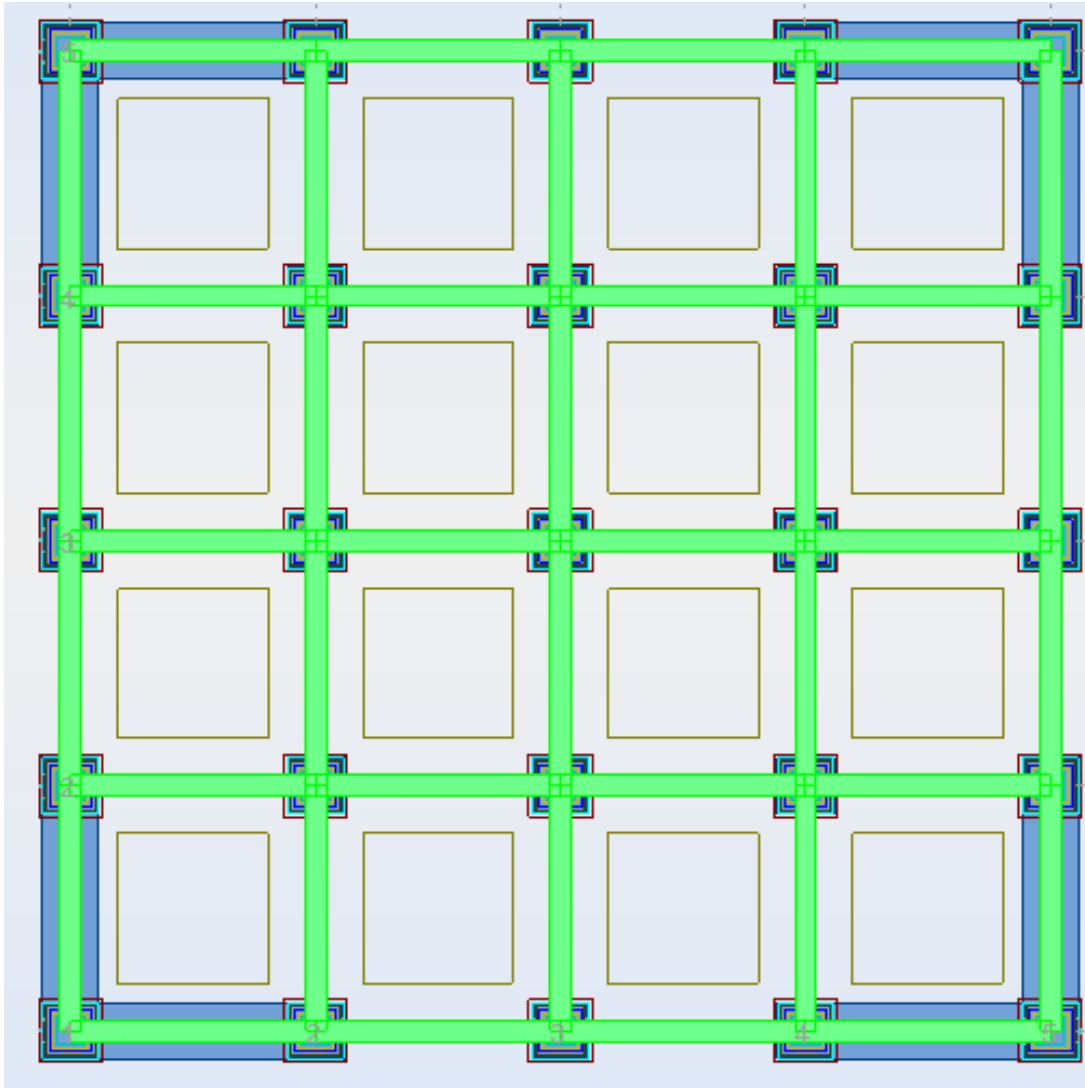


Figure (II-1) Vue en plan de la structure.

II-2 Etude comparative entre surface et hauteur :

-1-présentation de logiciel "ROBOT2011" :

Le logiciel **robot 2011 (ROBOT Structural Analysis)** est un progiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par robot est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

ROBOT 2011 est un logiciel de calcul et d'optimisation des structures. Il utilise la méthode d'analyse par éléments finis pour étudier les structures planes et spatiales de type :

- ✓ Treillis.
- ✓ Portiques.
- ✓ Structures mixtes.
- ✓ Grillages de poutres.
- ✓ Plaques.
- ✓ Coques.
- ✓ Contraintes planes.
- ✓ Déformation planes.
- ✓ Eléments axisymétriques.
- ✓ Eléments volumiques

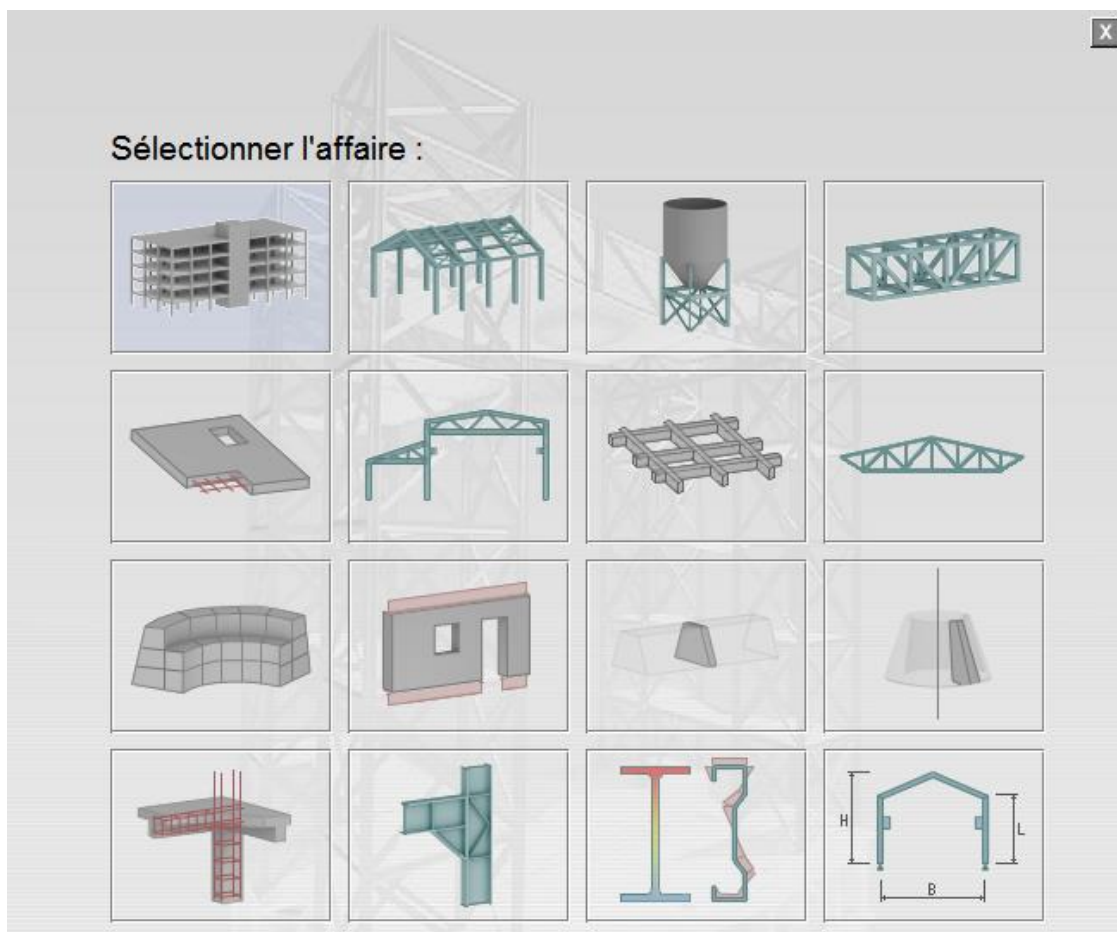


Figure (II-2) les différents type de structures.

Les caractéristiques principales du logiciel robot 2011 sont les suivantes :

Définition de la structure en mode graphique par un éditeur conçu à cet effet.

Possibilité de présentation des différents types de résultats de calcul (efforts internes, déplacements, travail simultané en plusieurs fenêtres ouvertes etc.).

Possibilité de calculer (ou dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre (architecture, multi thread)

Possibilité d'effectuer plusieurs types d'analyse des structures (statique et dynamique).

Possibilité de composer librement les impressions (note de calcul, captures d'écran, composition de l'impression, copie des objets vers d'autres logiciels).

II-2-a-Modalisation :






Robot 2011 permet de modéliser tout type de structure en 2D ou en 3D composées d'éléments barres, poutres, éléments surfaciques ou volumiques. Il permet d'introduire parfaitement la géométrie, le chargement, les matériaux, les conditions aux frontières voir même les règlements et normes adoptés.

II-2-b-Généralités sur le ROBOT 2011 :

- ❖ Le logiciel ROBOT 2011, permet de modéliser tous les éléments du bâtiment, soit élément porteurs (poteau, poutre, voile, fonction.....)ou non porteur (cloison,..)
- ❖ La modélisation des planchers par le logiciel ROBOT 2011 ne présente aucune difficulté même s'ils sont conçus en corps creux.
- ❖ Conditions aux limites : possibilité de considérer des appuis rigides (encastrement appuis simples ou doubles) comme il est possible d'introduire la caractéristique du sol de fondation pour l'étude de l'interaction sol-structure.
- ❖ Le ROBOT 2011 permet de calcul la section d'acier pour chaque élément de la structure suivant le BAEL91. Le logiciel propose même un choix du nombre de barres et de croquis de ferrailage... etc.
- ❖ Possibilités d'utilisation des câbles de précontrainte dans le système ROBOT 2011.
- ❖ Le ROBOT 2011 nous permet d'obtenir nos résultats sous forme de plans d'exécution.
- ❖ Les résultats obtenus peuvent être présentés en mode graphique (diagrammes) ou en mode texte (tableaux).
- ❖ Le logiciel ROBOT2011 permet d'générer automatiquement les fondations au premier niveau.
- ❖ Le ROBOT2011 est un logiciel professionnel adapté aux constructions en acier, en béton, en bois, en béton armé, ou mixtes (béton, acier).
- ❖ Le robot millénium permet d'effectuer les vérifications selon plusieurs normes et règlements algériens

II-2-c- les différents types d'analyse disponible dans ROBOT 2011 :

Dans la version actuelle de ROBOT 2011, les différents types d'analyse disponibles sont les suivant :

-  Analyse statique linéaire.
-  Analyse statique non- linéaire.
-  Analyse p-Delta.
-  Analyse modal (vibrations propres des structures).
-  Analyse harmonique.

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

- ✚ Analyse sismique suivant différents norme (norme européenne ES8, normes français PS69, PS92 et AFPS 90, norme algérienne RPA 99/v2003...etc.).
- ✚ Analyse spectrale.
- ✚ Analyse temporelle.
- ✚ Analyse non linéaire due aux barres travaillant en traction /compression seule et analyse des structures câblées
- ✚ . Analyse push over.
- ✚ Analyse élasto - plastique des barres (cette analyse est disponible uniquement pour les profilés).

II-2-d-Modélisation de la structure :

a- Modalisation des éléments structuraux :

1)-les poutres et les poteaux sont modélisés par des éléments « Poutre-poteau»

- Les poutres entre deux nœuds de même niveau «i»
- Les poteaux entre deux de différents niveaux «i et i+1».

2)-les voiles sont représentés par des éléments coques<voile à quatre nœuds.

3)-chaque plancher a été modélisé par un diaphragme rigide. Ces planchers sont supposés indéformables dans leurs plans

b-Modélisation de la masse :

La masse des planchers est calculée de manière à quantité βQ RPA99/version 2003(dans notre cas $\beta =0.2$) correspondant à la surcharge d'exploitation.

La masse des éléments concentrés non structuraux, comme l'acrotère et les murs extérieurs (maçonnerie), a été répartie sur les Poutres concernées. [5]

II-3 Méthodologie :

Cette partie est une analyse d'un bâtiment avec le même surface en Modifiant le nombre d'étages (hauteurs des bâtiments)

En premier lieu, on a étudié l'influence de la hauteur des structures sur la réponse de la structure à l'action sismique

Les variantes traitées sont regroupés sur le tableau suivant :

Variante	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Surface (m ²)	14*14	16*16	20*20	24*24	28*28

Variante	1	2	3	4	5	6
H(m)	18	33	48	63	78	93

Tableau II-1 présentation de la variation

II-4 Influence de la hauteur des structures

Variante 1 : (R+5) :

Le tableau ci – dessous présente les déplacements (absolu et relatif) dans chaque étage

Etage	MY [kN.m]	UX [cm]	dr UX [cm]	FX [k]	P [KN]	θ_k
1	25513.8	0	0	2213.65	2825.3867	0
2	19445.1	0.1	0.1	2052.87	2825.3867	0.00183508
3	13613.18	0.3	0.1	1822.71	2825.3867	0.0020668
4	8457.23	0.4	0.1	1526.32	2825.3867	0.00246815
5	4217.78	0.5	0.1	1137.95	2825.3867	0.0033105
6	1455.72	0.6	0.1	607.33	2825.3867	0.00620286

Tableau II- 2 déplacement d'étage

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Variante 2 : (R+10) :

Le tableau ci – dessous présente les déplacements (absolu et relatif) dans chaque étage

Etage	MY [kN.m]	UX [cm]	dr UX [cm]	FX [kN]	P [KN]	θ_k
1	72513.26	0.1	0.1	3786.53	3922.5555	0.00138123
2	63415.62	0.2	0.2	3473.01	3922.5555	0.00301184
3	54084.14	0.4	0.2	3249.69	3922.5555	0.00321881
4	45250.36	0.7	0.2	3027.51	3922.5555	0.00345503
5	36919.86	0.9	0.3	2769.97	3922.5555	0.0056644
6	29263.4	1.2	0.3	2435.77	3922.5555	0.00644159
7	21825.16	1.5	0.3	2129.23	3584.8713	0.00673459
8	15274.48	1.8	0.3	1932.31	3584.8713	0.0074209
9	9618.91	2.1	0.3	1660.07	3584.8713	0.00863788
10	5038.88	2.4	0.3	1299.87	3584.8713	0.01103148
11	2462.14	2.7	0.3	1144.08	3584.8713	0.01253364

Tableau II-3 déplacement étage

Variante 3 : (R+15) :

Le tableau ci – dessous présente les déplacements (absolu et relatif) dans chaque étage

Etage	MY kN.m]	UX [cm]	drUX[cm]	FX [kN]	P[KN]	θ_k
1	115743.71	0.1	0.1	4697.85	4335.2805	0.00123043
2	105870.37	0.2	0.2	4213.47	4335.2805	0.00274376
3	95402.29	0.5	0.2	3985.34	4335.2805	0.00290082
4	85430.79	0.7	0.3	3797.21	4335.2805	0.00456681
5	75943.46	1	0.3	3584.38	4335.2805	0.00483797
6	67072.08	1.4	0.3	3304.76	4335.2805	0.00524732
7	58400.43	1.7	0.4	3049.64	3922.5555	0.00685992
8	50099.23	2.1	0.4	2921.52	3922.5555	0.00716076
9	42248.17	2.5	0.4	2747.4	3922.5555	0.00761458
10	34781.07	2.8	0.4	2535.85	3922.5555	0.00824982
11	27842.19	3.2	0.4	2269.58	3922.5555	0.00921769

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

12	20859.44	3.6	0.4	1996.18	3584.8713	0.00957795
13	14694.78	4	0.4	1881.52	3584.8713	0.01016163
14	9343.49	4.3	0.4	1666.83	3584.8713	0.01147046
15	5001.06	4.7	0.4	1383.42	3584.8713	0.01382032
16	2742.78	5	0.3	1427.7	3584.8713	0.01004377

Tableau II-4 déplacement d'étage

Variante 4 : (R+20) :

Le tableau ci – dessous présente les déplacements (absolu et relatif) dans chaque étage

Etage	MY [kNm]	UX [cm]	dr UX [cm]	FX [kN]	P[KN]	θ_k
1	164716.24	0.1	0.1	5444.21	4823.0464	0.00118121
2	154337.49	0.3	0.2	4814.96	4823.0464	0.00267115
3	142828.11	0.5	0.2	4601	4823.0464	0.00279536
4	131691.35	0.8	0.3	4442.25	4823.0464	0.00434289
5	121005.36	1.1	0.3	4267.01	4823.0464	0.00452124
6	110907.57	1.5	0.4	4039.63	4823.0464	0.00636764
7	101159.11	1.9	0.4	3833.7	4335.2805	0.00603112
8	91534.95	2.3	0.4	3704.77	4335.2805	0.00624101
9	82329.73	2.7	0.4	3536.78	4335.2805	0.00653744
10	73511.45	3.1	0.4	3344.46	4335.2805	0.00691337
11	65199.52	3.6	0.4	3097.85	4335.2805	0.00746372
12	56846.53	4	0.5	2881.22	3922.5555	0.00907614
13	48809.27	4.5	0.5	2823.93	3922.5555	0.00926028
14	41164.82	4.9	0.5	2696.65	3922.5555	0.00969735
15	33854.32	5.4	0.4	2515.45	3922.5555	0.00831672
16	27065.79	5.8	0.4	2291.84	3922.5555	0.00912817
17	20201.35	6.3	0.4	1963.43	3584.8713	0.00973771
18	14204.49	6.7	0.4	1860.88	3584.8713	0.01027434
19	9042.44	7.1	0.4	1656.66	3584.8713	0.01154088
20	4885.45	7.5	0.4	1413.62	3584.8713	0.01352507
21	2853.78	7.9	0.4	1547.03	3584.8713	0.01235872

Tableau II-5 déplacement étage

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Variante 5 : (R+25) :

Le tableau ci – dessous présente les déplacements (absolu et relatif) dans chaque étage

Etage	MY [kNm]	UX [cm]	drUX[cm]	FX [kN]	P [kN]	θ_k
1	218619.91	0.1	0.1	6047.36	5385.8533	0.00118748
2	208102.62	0.3	0.2	5334.33	5385.8533	0.00269242
3	195779.44	0.5	0.2	5141.39	5385.8533	0.00279346
4	183575.39	0.8	0.3	4994.23	5385.8533	0.00431366
5	171753.47	1.2	0.3	4835.47	5385.8533	0.00445529
6	160485.6	1.5	0.4	4641.73	5385.8533	0.00618833
7	149663.2	2	0.4	4475.85	4823.0464	0.00574705
8	138726.62	2.4	0.4	4341.19	4823.0464	0.00592531
9	128134.15	2.9	0.5	4187.51	4823.0464	0.00767846
10	117915.47	3.4	0.5	4026.91	4823.0464	0.00798469
11	108210.83	3.8	0.5	3828.02	4823.0464	0.00839955
12	98654.74	4.4	0.5	3652.62	4335.2805	0.00791264
13	89218.97	4.9	0.5	3584.65	4335.2805	0.00806268
14	80188.18	5.4	0.5	3457.56	4335.2805	0.00835904
15	71512.7	5.9	0.5	3292.88	4335.2805	0.00877708
16	63343.93	6.4	0.5	3071.07	4335.2805	0.00941101
17	55094.34	7	0.5	2830.82	3922.5555	0.00923774
18	47208.51	7.5	0.5	2782.62	3922.5555	0.00939775
19	39748.25	8	0.5	2654.15	3922.5555	0.00985263
20	32639.07	8.5	0.5	2473.04	3922.5555	0.01057418
21	26066.65	9	0.5	2273.89	3922.5555	0.01150028
22	19413.83	9.4	0.5	1907.22	3584.8713	0.01253088
23	13637.9	9.9	0.5	1816.64	3584.8713	0.01315568
24	8686.88	10.3	0.4	1627.18	3584.8713	0.01174997
25	4715.25	10.8	0.4	1415.42	3584.8713	0.01350787
26	2858.44	11.2	0.4	1584.62	3584.8713	0.01206555

Tableau II-6 déplacement étage

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Variante 6 : (R+30)

Le tableau ci – dessous présente les déplacements (absolu et relatif) dans chaque étage

Etage	MY [kNm]	UX [cm]	dr UX [cm]	FX [kN]	P [kg]	θ_k
1	277142.39	0.1	0.1	6646.34	6023.7011	0.00120842
2	266806.84	0.3	0.2	5907.01	6023.7011	0.00271935
3	253875.6	0.5	0.3	5734.63	6023.7011	0.00420163
4	240730.93	0.8	0.3	5585.75	6023.7011	0.00431362
5	227891	1.2	0.4	5420.16	6023.7011	0.00592721
6	215609.58	1.6	0.4	5230.68	6023.7011	0.00614192
7	203870.48	2	0.4	5077.59	5385.8533	0.00565712
8	191832.5	2.5	0.5	4926.75	5385.8533	0.00728791
9	180054	3	0.5	4772.14	5385.8533	0.00752402
10	168603.95	3.5	0.5	4618.9	5385.8533	0.00777364
11	157643.07	4.1	0.5	4448.49	5385.8533	0.00807143
12	146955.43	4.6	0.6	4312.8	4823.0464	0.00894648
13	136188.17	5.2	0.6	4241.64	4823.0464	0.00909657
14	125784.77	5.8	0.6	4129.84	4823.0464	0.00934282
15	115745.2	6.4	0.6	3993.06	4823.0464	0.00966286
16	106225.44	6.9	0.6	3810.49	4823.0464	0.01012583
17	96811.95	7.5	0.6	3622.21	4335.2805	0.00957488
18	87564.19	8.1	0.6	3567.1	4335.2805	0.00972281
19	78754.75	8.7	0.6	3436.92	4335.2805	0.01009108
20	70308.6	9.3	0.6	3262.43	4335.2805	0.0106308
21	62367.6	9.9	0.6	3042.37	4335.2805	0.01139975
22	54316.18	10.4	0.6	2782.27	3922.5555	0.01127872
23	46608.65	11	0.6	2746.91	3922.5555	0.01142391
24	39300.42	11.5	0.5	2626.34	3922.5555	0.00995696
25	32312.37	12.1	0.5	2452.15	3922.5555	0.01066426
26	25827.47	12.6	0.5	2275.37	3922.5555	0.0114928
27	19229.18	13.1	0.5	1895.71	3584.8713	0.01260696
28	13485.68	13.6	0.5	1815.66	3584.8713	0.01316278

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

29	8564.64	14.1	0.5	1626.14	3584.8713	0.01469685
30	4637.94	14.5	0.5	1413.36	3584.8713	0.01690945
31	2861.93	15	0.4	1594.26	3584.8713	0.01199259

Tableau II-7 déplacement étage

Vérification de l'effet P- Δ :

D'après le RPA 99/V2003, les valeurs de θ_k de calcul à partir des formules numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formule empiriques appropriées de plus de 1%.

II-4-1 déplacement d'étage

Le déplacement étage d'un bâtiment est une notion importante en conception.

Parasismique car si elle proche ou identique à celle de la rotation des structure

- Les déplacements dans chaque étage des différentes variantes sont représentés au graphe
Suivant :

Variante 1 : (R+5)

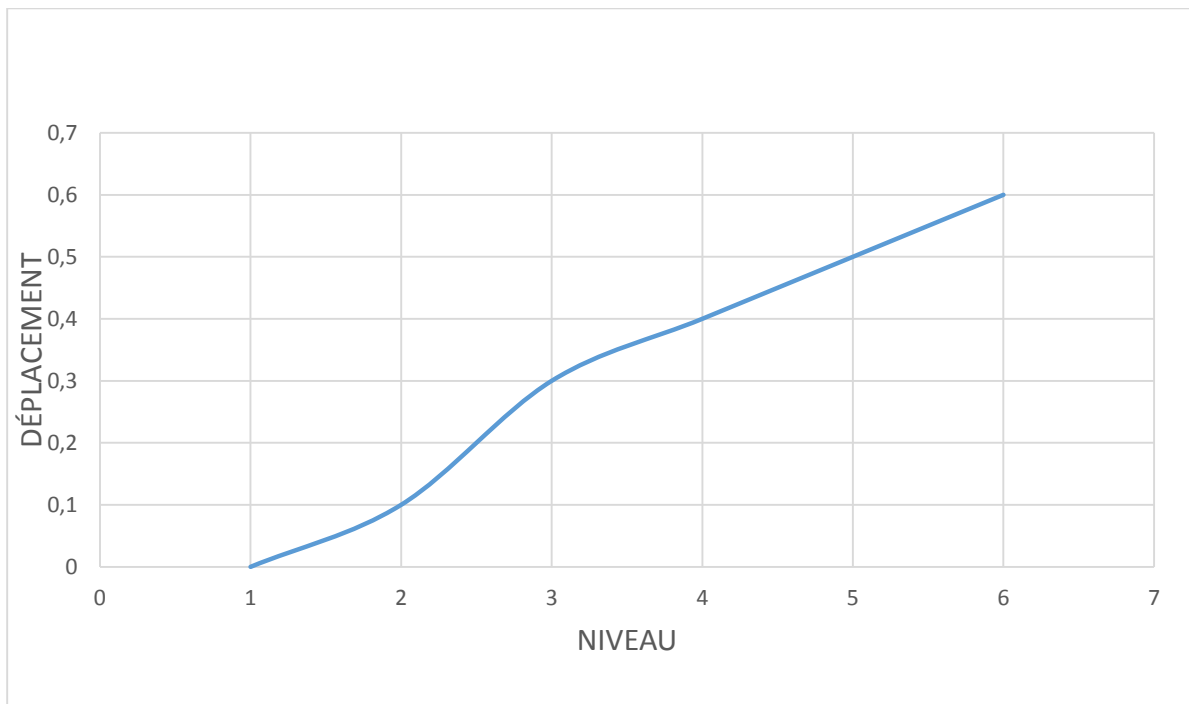


Figure II-1 le déplacement Variante 1

Variante 2 : (R+10)

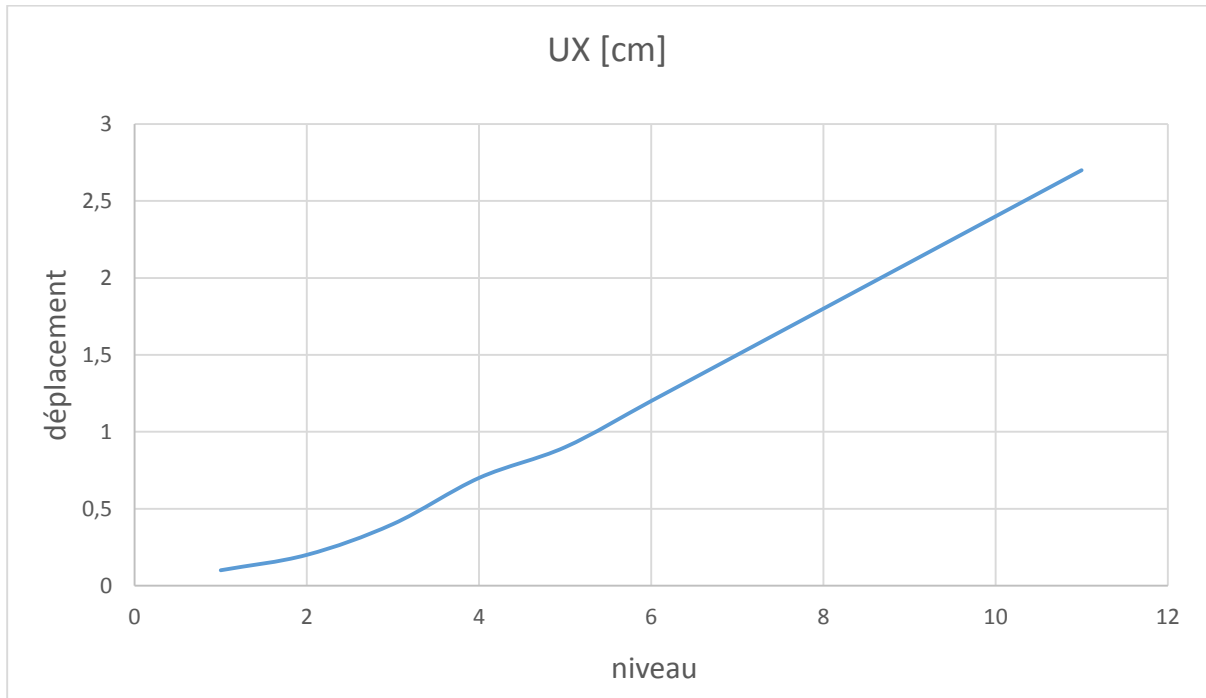


Figure II-2 le déplacement Variante 2

Variante 3 : (R+15)

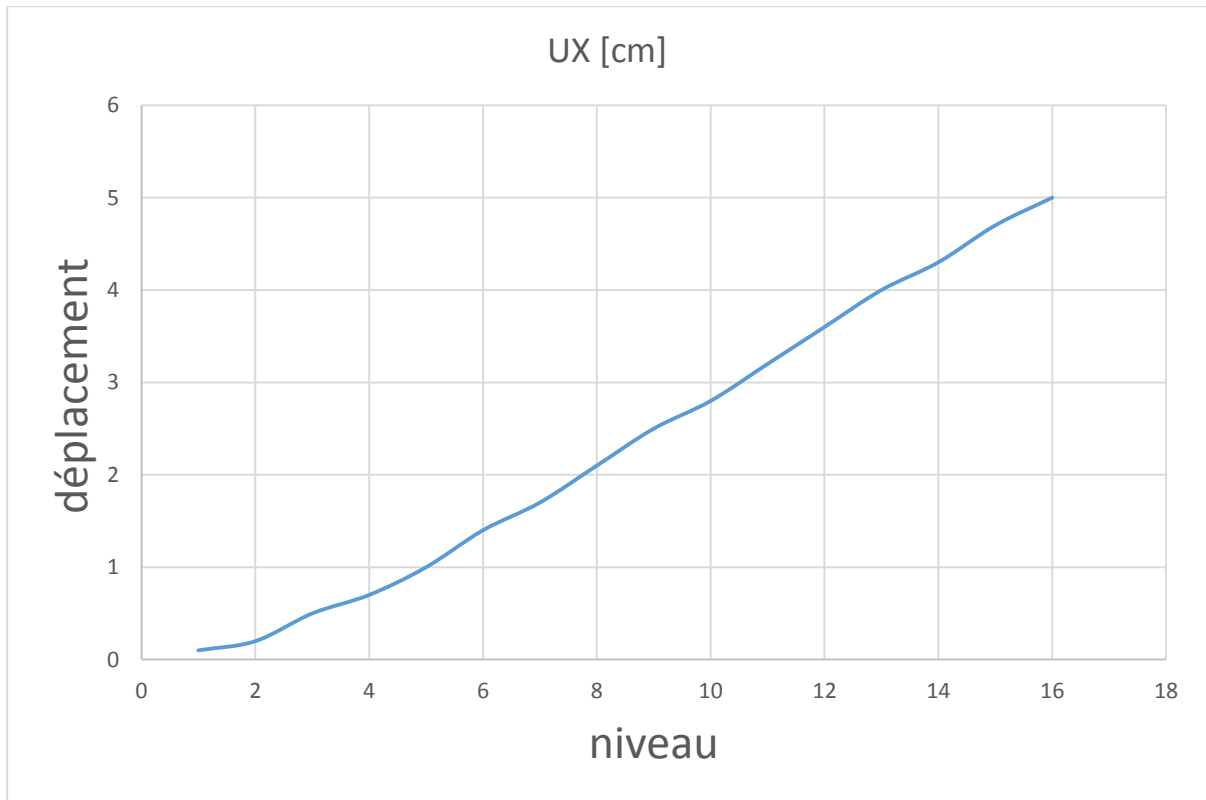


Figure II-3 le déplacement Variante 3

Variante 4 : (R+20)

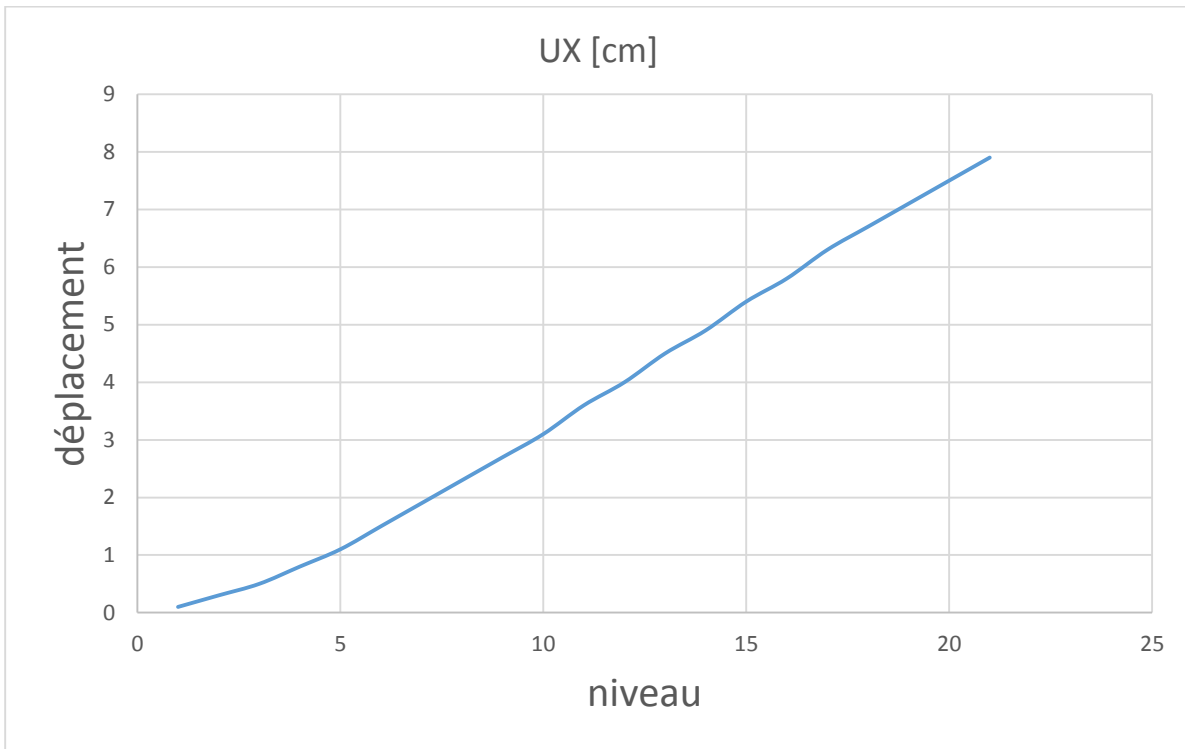


Figure II-4 le déplacement Variante 4

Variante 5 : (R+25)

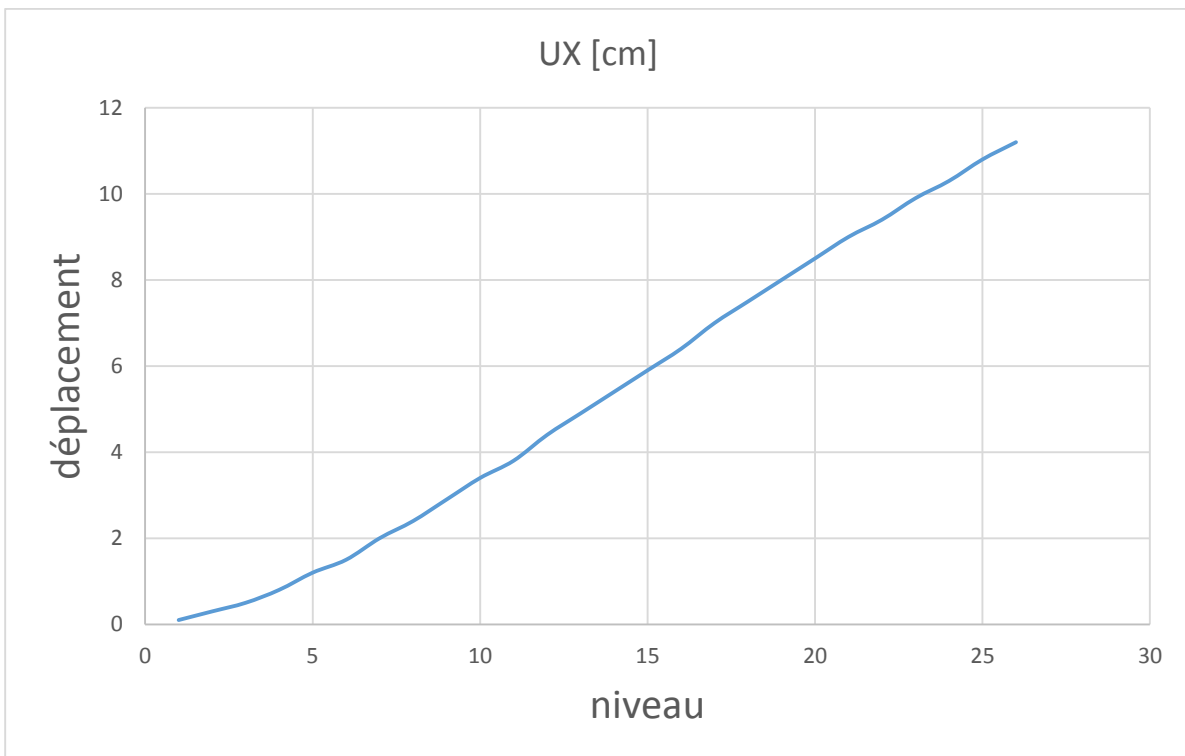


Figure II-5 le déplacement Variante 5

Variante 6 : (R+30)

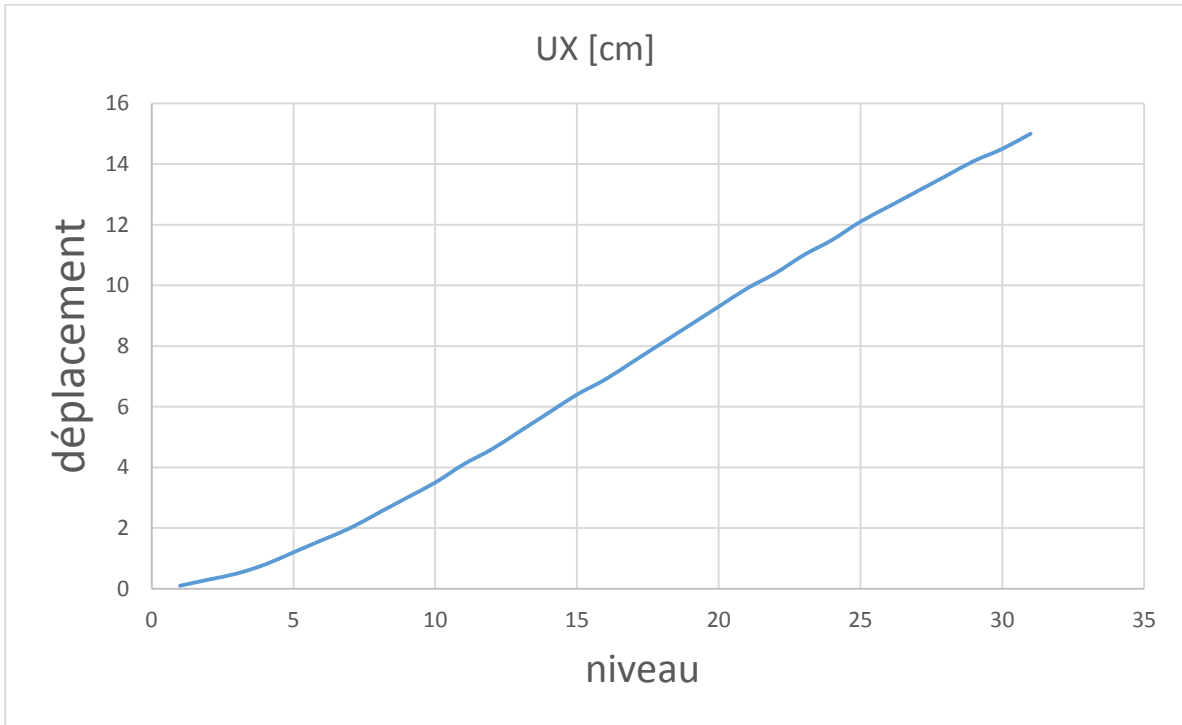


Figure II-6 le déplacement Variante 6

Les déplacements maximaux des différentes variantes sont représentés au graphe suivant :

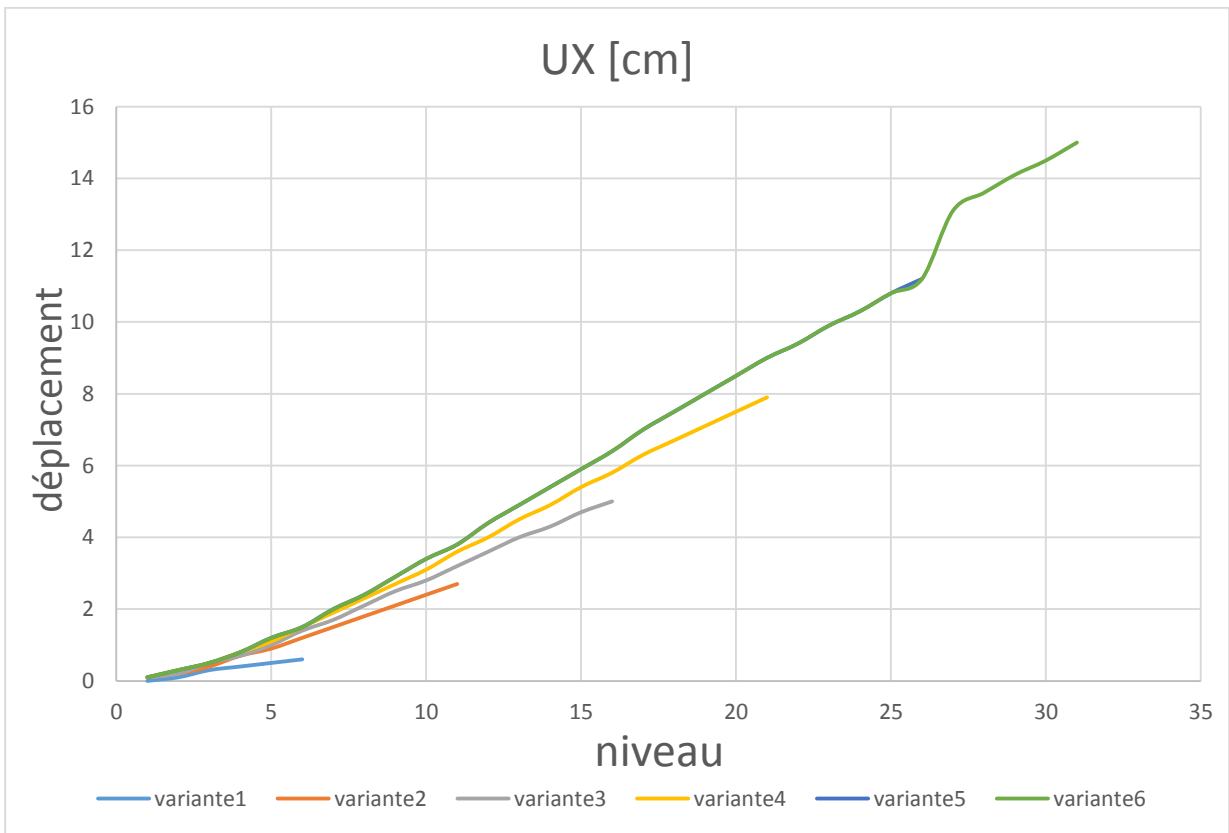


Figure II -7 déplacement des différentes variantes

II-4-2 déplacement relatif

- Les déplacements relatifs dans chaque étage des différentes variantes sont représentée au

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

graphe suivant :

Variante 1 : (R+5)

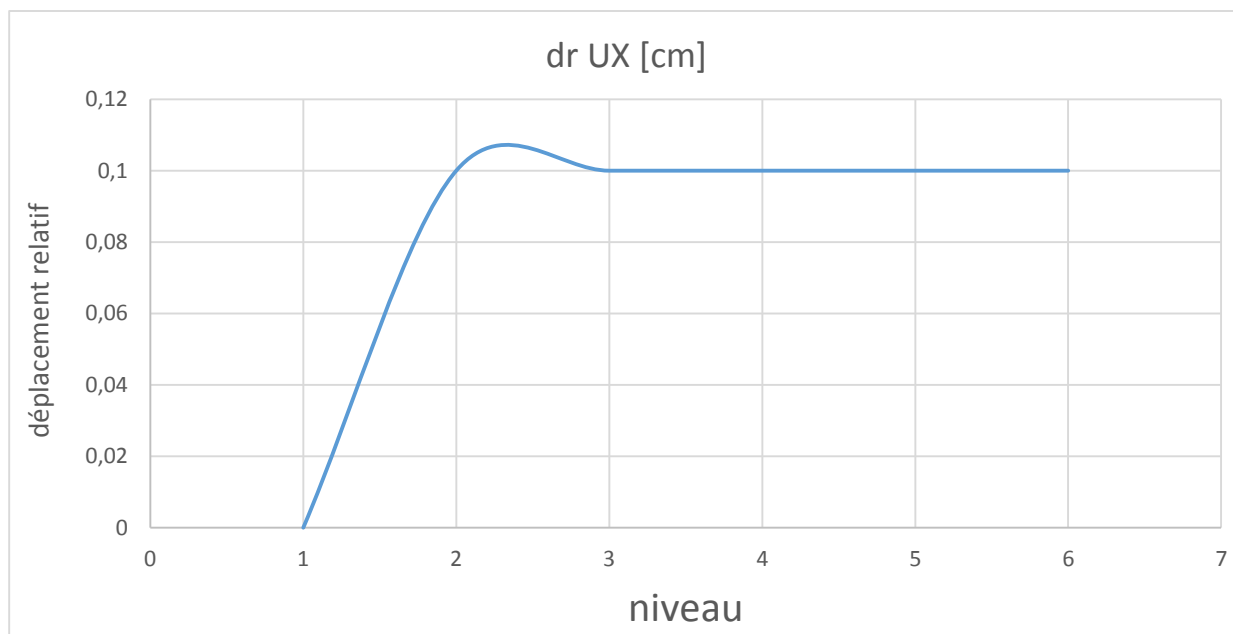


Figure II-8 le déplacement Variante1

Variante2 :(R+10)

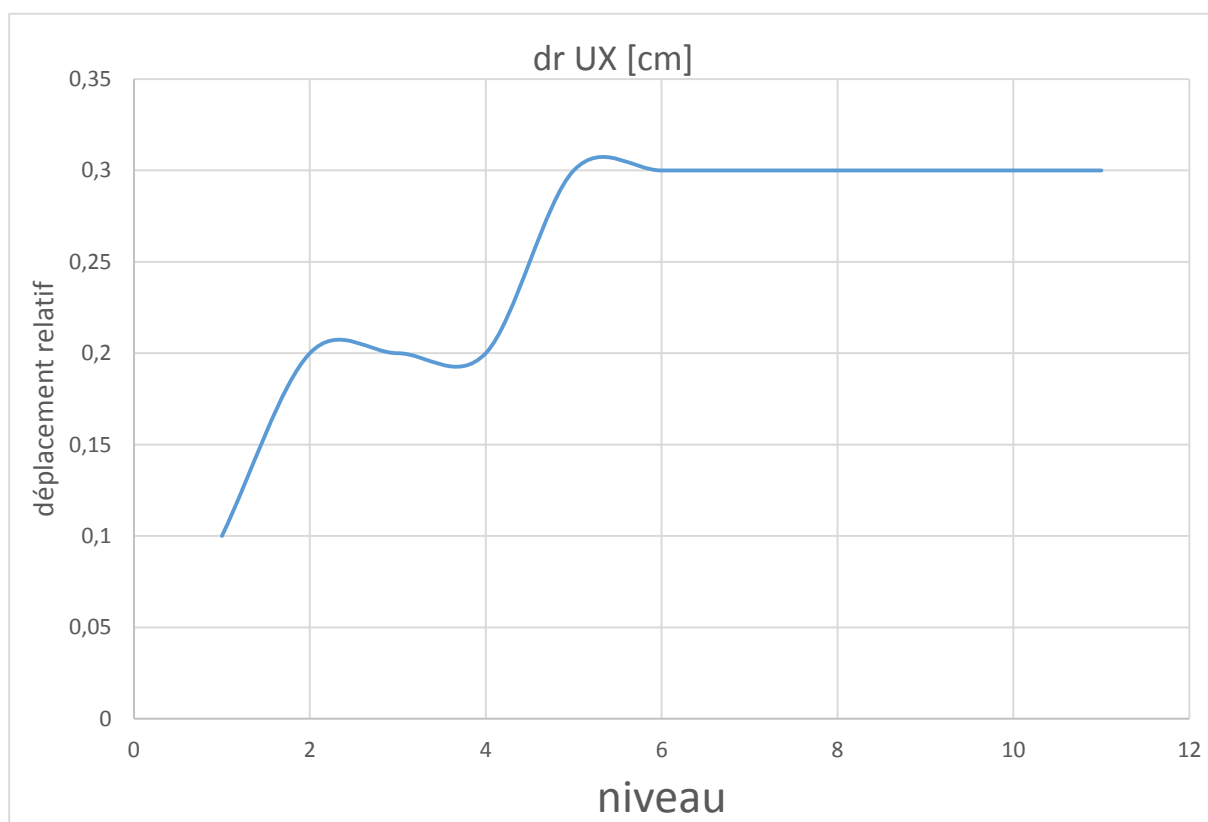


Figure II-9 le déplacement Variante 2

Variante 3 : (R+15)

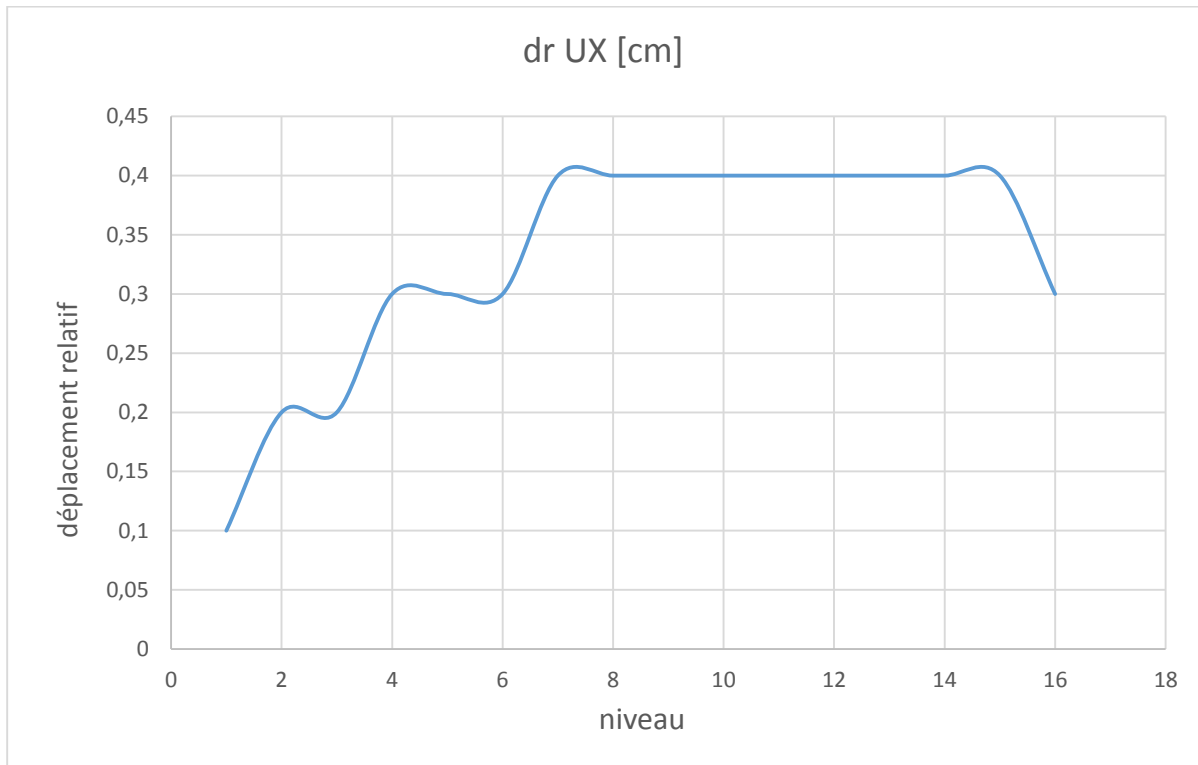


Figure II-10 le déplacement Variante 3

Variante 4 : (R+20)

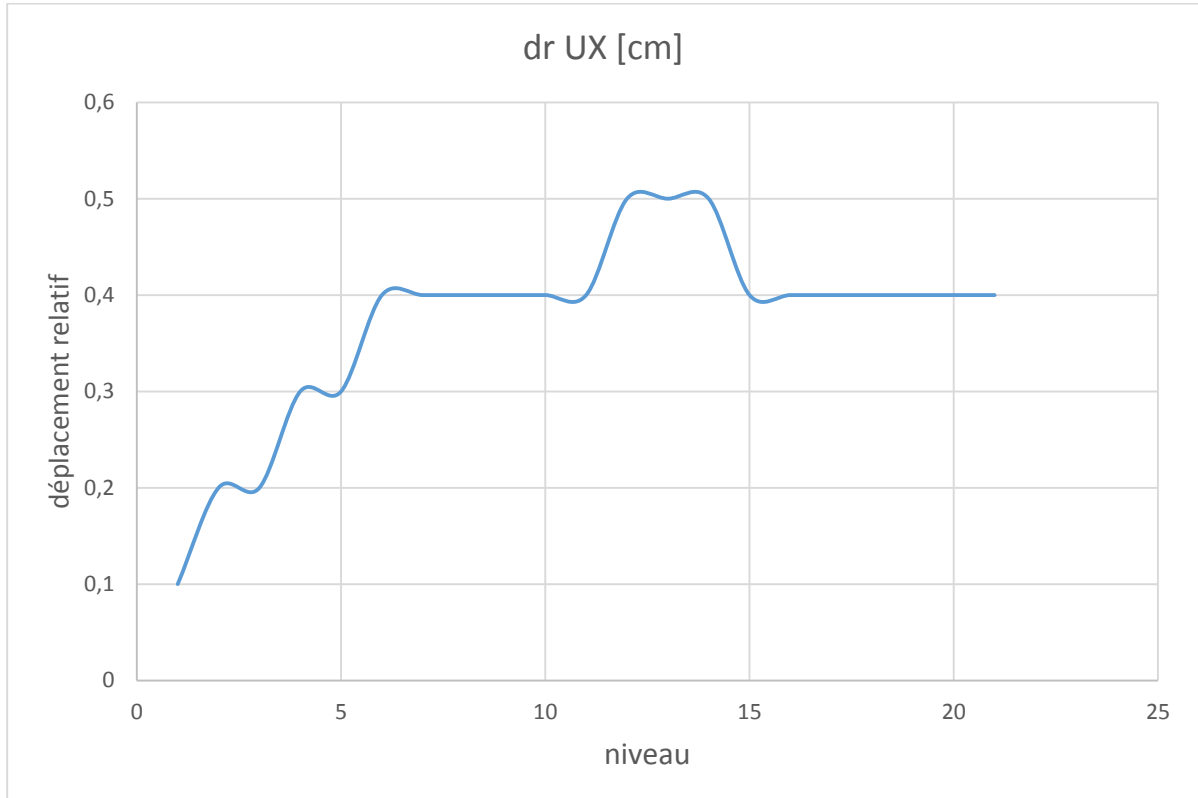


Figure II-11 le déplacement Variante 4

Variante 5 : (R+25)

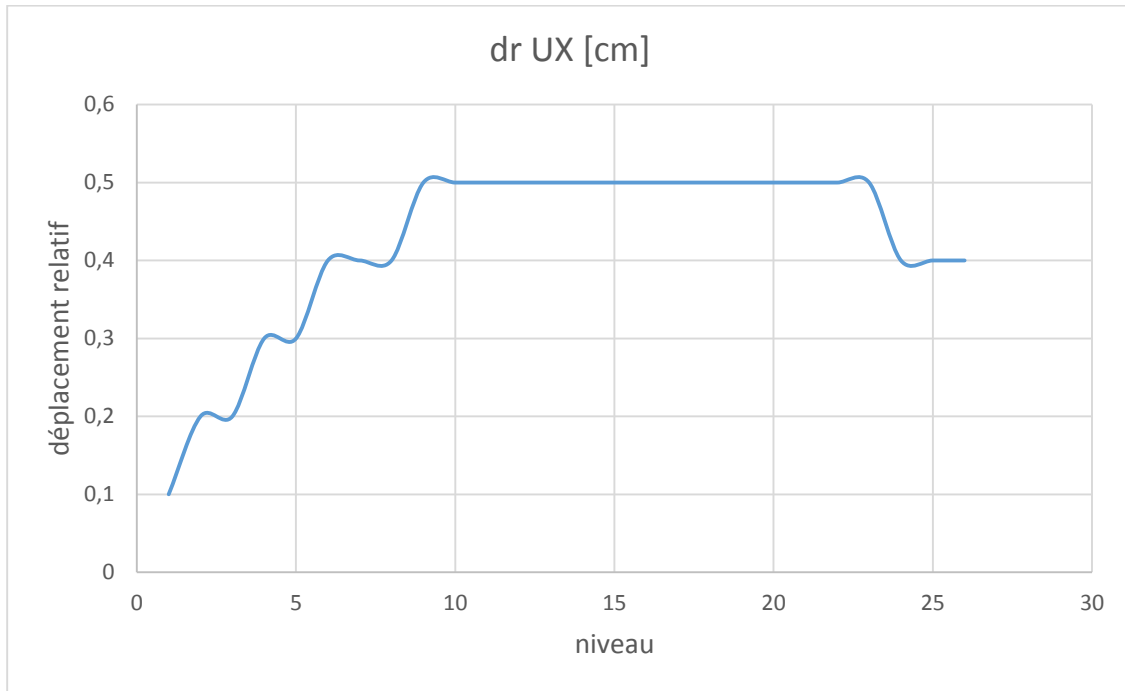


Figure II-12 le déplacement Variante 5

Variante6 : (R+30)

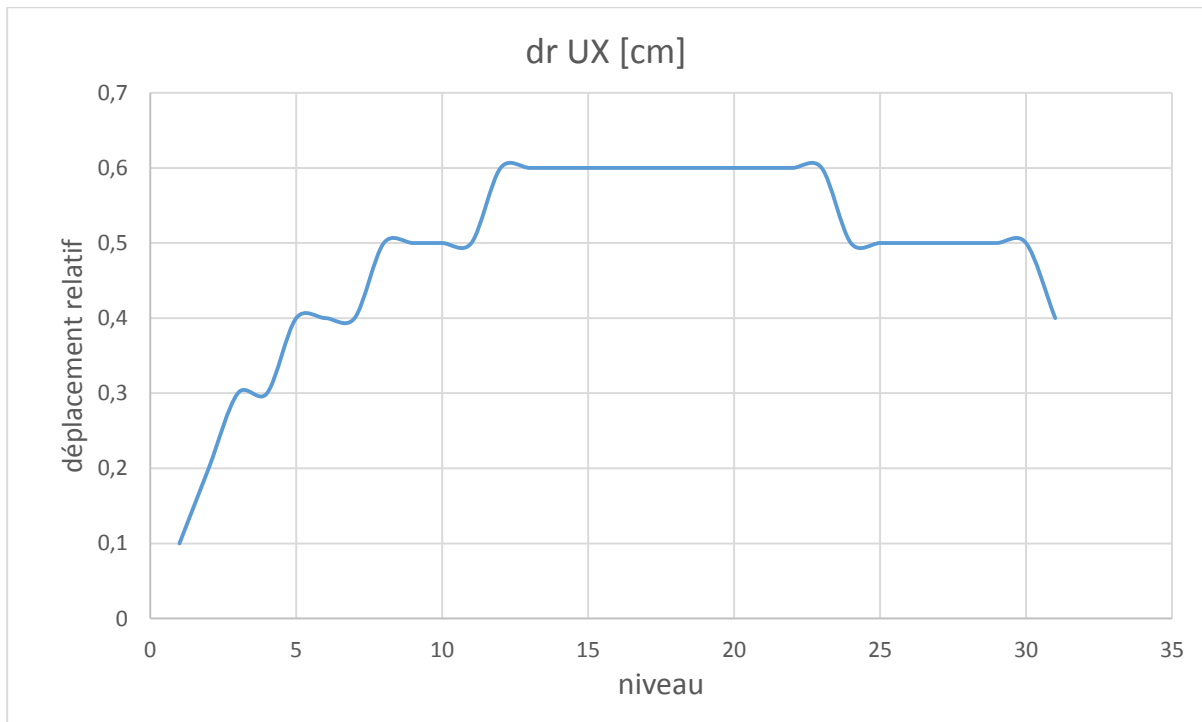


Figure II-13 le déplacement Variante 6

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Les déplacements relatifs maximaux des différentes variantes sont représentés au graphe suivant :

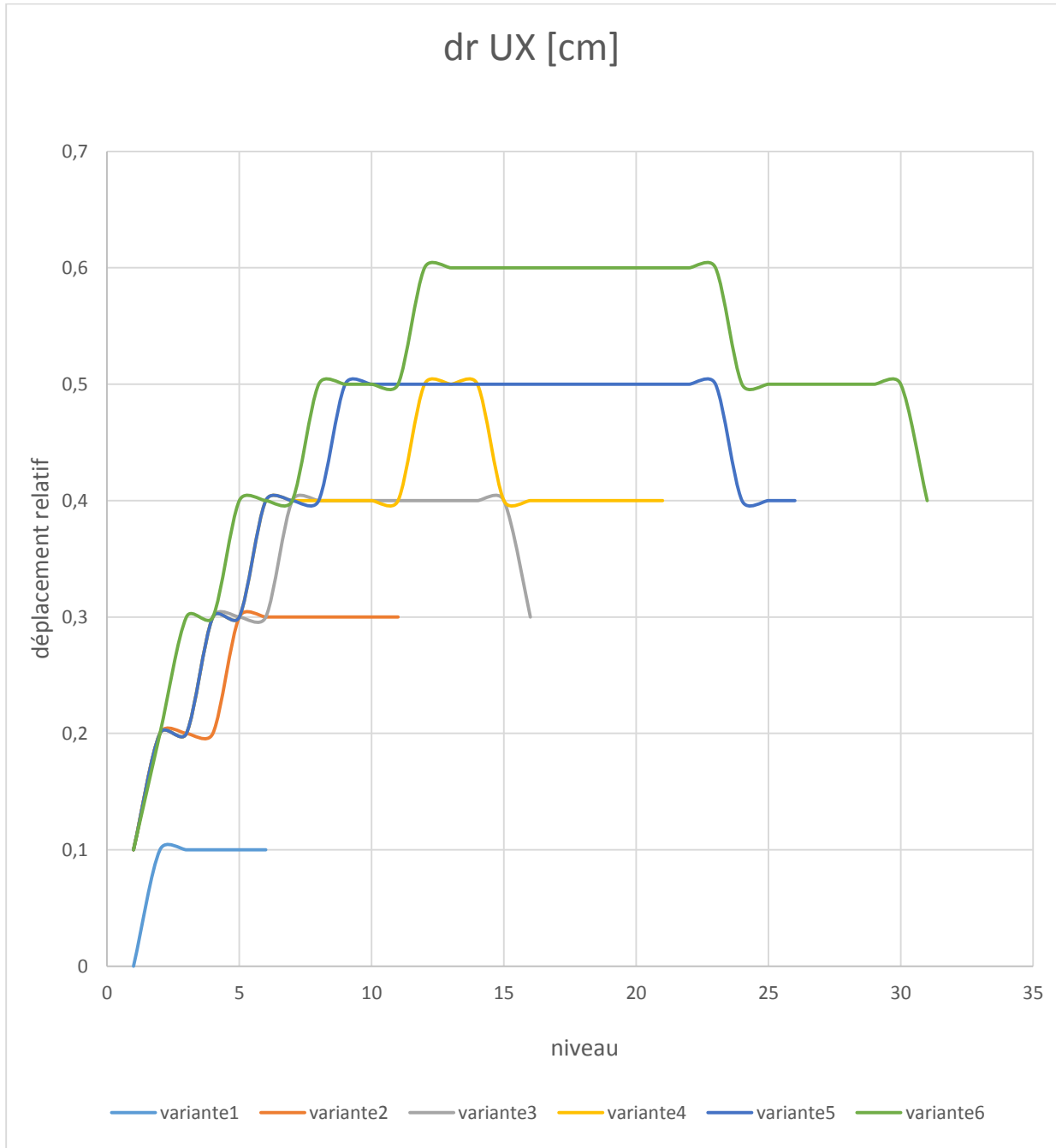


Figure II-14 déplacement relatif des différentes variantes

II-4 -3 Moment étage

- Les moments dans chaque étage des différentes variantes sont représentée au graphe suivant :

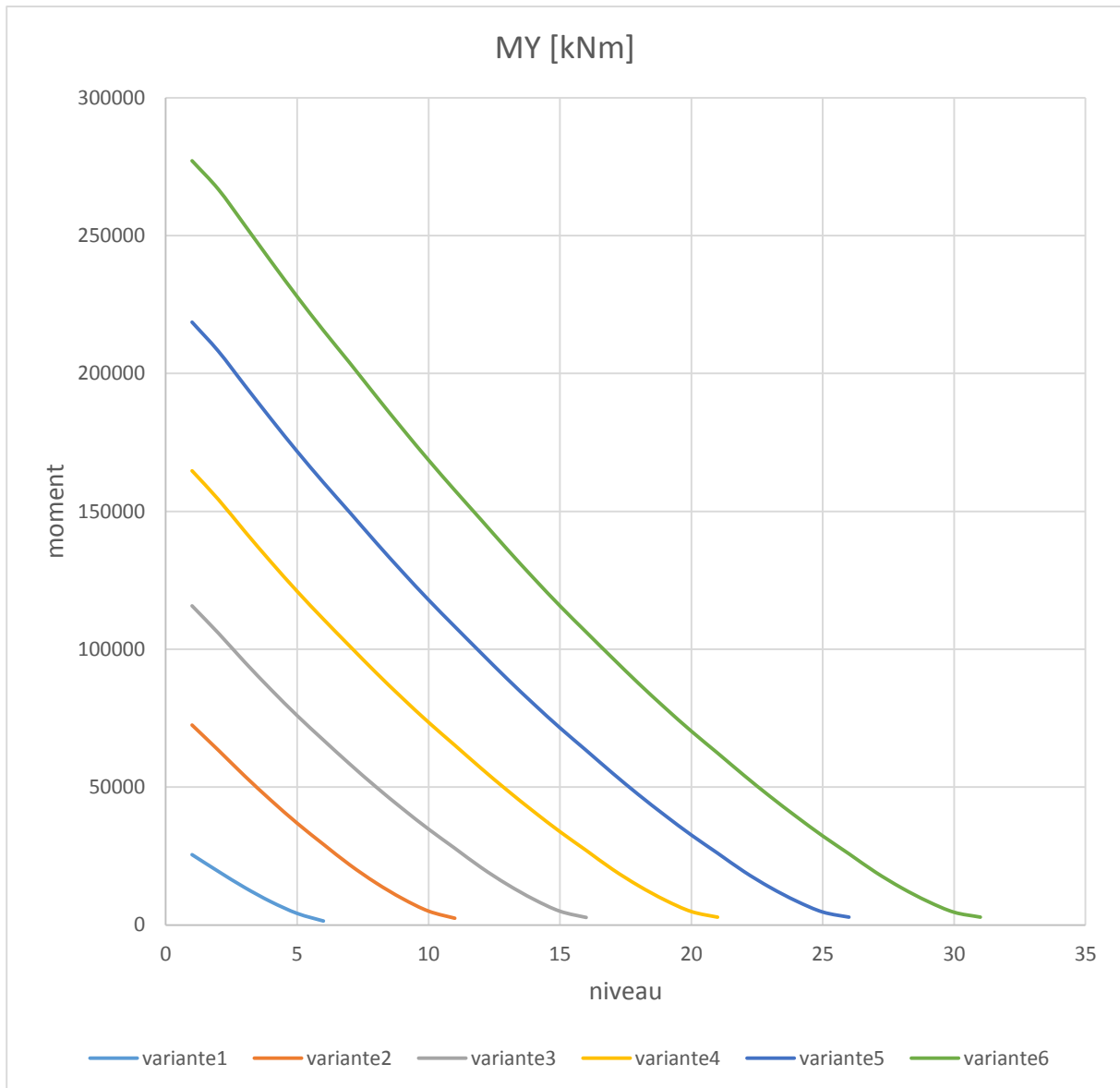


Figure II-15 moment des différentes variantes

II-5 : Influence de la géométrie des structures (surface)

Cette partie est une analyse d'un bâtiment avec les mêmes hauteurs en Modifiant la géométrie (surface des bâtiments)

En premier lieu on a étudié l'influence de la surface des structure sur la réponse de la structure a l'action sismique

II-5-1 déplacement étage :

Les tableaux ci – dessous présents les déplacements des étages dans chaque cas et chaque variante (S1 ; S2 ; S3 ; S4 ; S5) :

cas1 : R+5

Etage	UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0	0	0.1	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.6
4	0.4	0.4	0.6	0.8	0.9
5	0.5	0.5	0.9	1	1.1
6	0.6	0.6	1	1.2	1.4

Tableau II -8 déplacement étage

cas2 : R+10

Etage	UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5
3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9
4	0.7	0.7	0.8	0.9	1.3
5	0.9	0.9	1.1	1.3	1.8
6	1.2	1.2	1.4	1.6	2.2
7	1.5	1.5	1.8	2	2.8
8	1.8	1.8	2.1	2.4	3.3
9	2.1	2.1	2.5	2.8	3.8
10	2.4	2.4	2.8	3.1	4.2

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

11	2.7	2.7	3.1	3.4	4.6
----	-----	-----	-----	-----	-----

Tableau II -9 déplacement étage

cas 3 : R+15

Etage	UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9
4	0.7	0.7	0.9	1	1.4
5	1	1	1.2	1.4	1.9
6	1.4	1.4	1.6	1.8	2.5
7	1.7	1.7	2	2.3	3.1
8	2.1	2.1	2.4	2.7	3.7
9	2.5	2.5	2.9	3.2	4.3
10	2.8	2.9	3.3	3.6	4.9
11	3.2	3.3	3.7	4.1	5.5
12	3.6	3.7	4.2	4.6	6.1
13	4	4.1	4.6	5	6.7
14	4.3	4.5	5	5.4	7.2
15	4.7	4.9	5.4	5.8	7.7
16	5	5.3	5.8	6.2	8.1

Tableau II -10 déplacement étage

cas 4 : R+20

Etage	UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

4	0.8	0.8	0.9	1.1	1.2
5	1.1	1.1	1.3	1.5	1.6
6	1.5	1.5	1.7	1.9	2.1
7	1.9	1.9	2.2	2.4	2.6
8	2.3	2.3	2.6	2.9	3.2
9	2.7	2.7	3.1	3.4	3.7
10	3.1	3.2	3.6	4	4.3
11	3.6	3.7	4.1	4.5	4.8
12	4	4.2	4.6	5	5.4
13	4.5	4.6	5.2	5.6	5.9
14	4.9	5.1	5.7	6.1	6.5
15	5.4	5.6	6.2	6.6	7
16	5.8	6.1	6.7	7.1	7.5
17	6.3	6.5	7.2	7.6	8
18	6.7	7	7.6	8.1	8.5
19	7.1	7.5	8.1	8.6	8.9
20	7.5	7.9	8.5	9	9.3
21	7.9	8.3	8.9	9.4	9.7

Tableau II-11 déplacement étage

cas 5 : R+25

Etage	UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8
4	0.8	0.8	0.9	1.1	1.2
5	1.2	1.2	1.3	1.5	1.7
6	1.5	1.5	1.8	2	2.2

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

7	2	2	2.3	2.5	2.8
8	2.4	2.4	2.8	3.1	3.4
9	2.9	2.9	3.3	3.6	3.9
10	3.4	3.4	3.8	4.2	4.6
11	3.8	3.9	4.4	4.8	5.2
12	4.4	4.5	5	5.4	5.8
13	4.9	5	5.6	6	6.4
14	5.4	5.6	6.1	6.6	7
15	5.9	6.1	6.7	7.2	7.6
16	6.4	6.7	7.3	7.8	8.2
17	7	7.2	7.9	8.4	8.8
18	7.5	7.8	8.4	9	9.4
19	8	8.3	9	9.5	10
20	8.5	8.8	9.5	10.1	10.5
21	9	9.4	10.1	10.6	11
22	9.4	9.9	10.6	11.1	11.5
23	9.9	10.4	11.1	11.6	12
24	10.3	10.9	11.6	12.1	12.4
25	10.8	11.4	12	12.5	12.8
26	11.2	11.8	12.5	12.9	13.2

Tableau II -12 déplacement étage

cas 6 : R+30

Etage	UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8
4	0.8	0.8	1	1.1	1.2

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

5	1.2	1.2	1.4	1.5	1.7
6	1.6	1.6	1.8	2	2.2
7	2	2	2.3	2.6	2.8
8	2.5	2.5	2.9	3.1	3.4
9	3	3	3.4	3.7	4
10	3.5	3.6	4	4.3	4.6
11	4.1	4.1	4.6	5	5.2
12	4.6	4.7	5.3	5.6	5.9
13	5.2	5.3	5.9	6.3	6.6
14	5.8	5.9	6.5	6.9	7.2
15	6.4	6.5	7.2	7.6	7.9
16	6.9	7.1	7.8	8.2	8.5
17	7.5	7.7	8.5	8.9	9.2
18	8.1	8.4	9.1	9.5	9.8
19	8.7	9	9.8	10.1	10.4
20	9.3	9.6	10.4	10.8	11
21	9.9	10.2	11	11.4	11.6
22	10.4	10.8	11.6	12	12.2
23	11	11.4	12.2	12.5	12.7
24	11.5	12	12.8	13.1	13.3
25	12.1	12.6	13.4	13.6	13.8
26	12.6	13.2	13.9	14.1	14.3
27	13.1	13.7	14.5	14.7	14.8
28	13.6	14.3	15	15.2	15.2
29	14.1	14.8	15.5	15.6	15.6
30	14.5	15.3	16	16.1	16
31	15	15.8	16.4	16.5	16.4

Tableau II -13 déplacement étage

Les déplacements maximaux des différentes variantes sont représentés au graphe suivant :
cas1 (R+5)

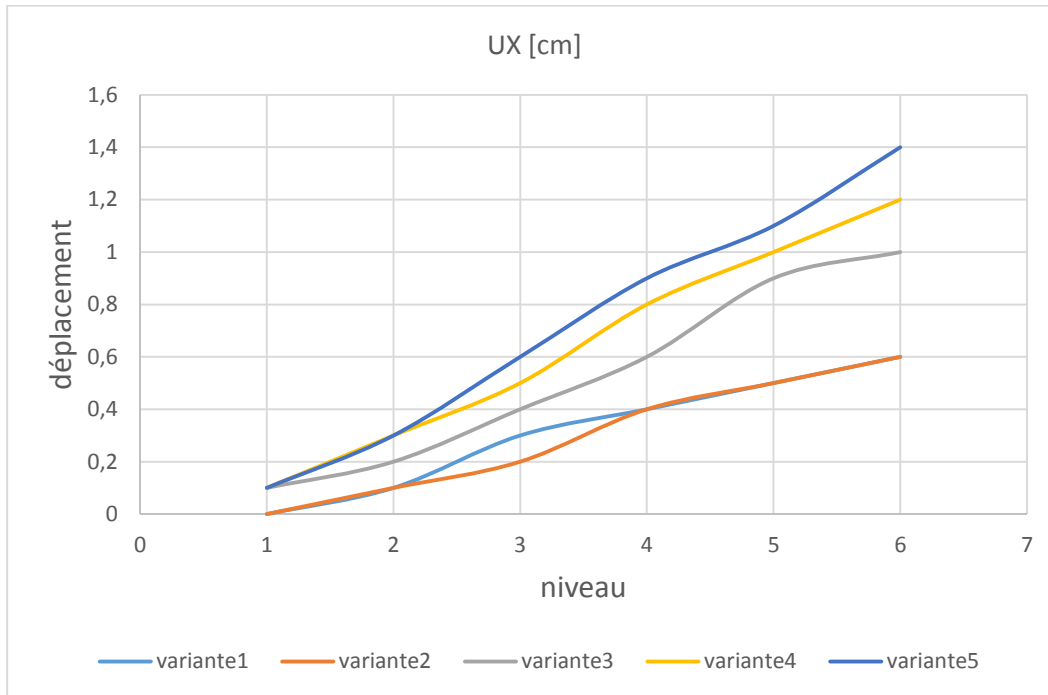


Figure II-16 déplacement étage des différentes variantes

cas 2 : R+10

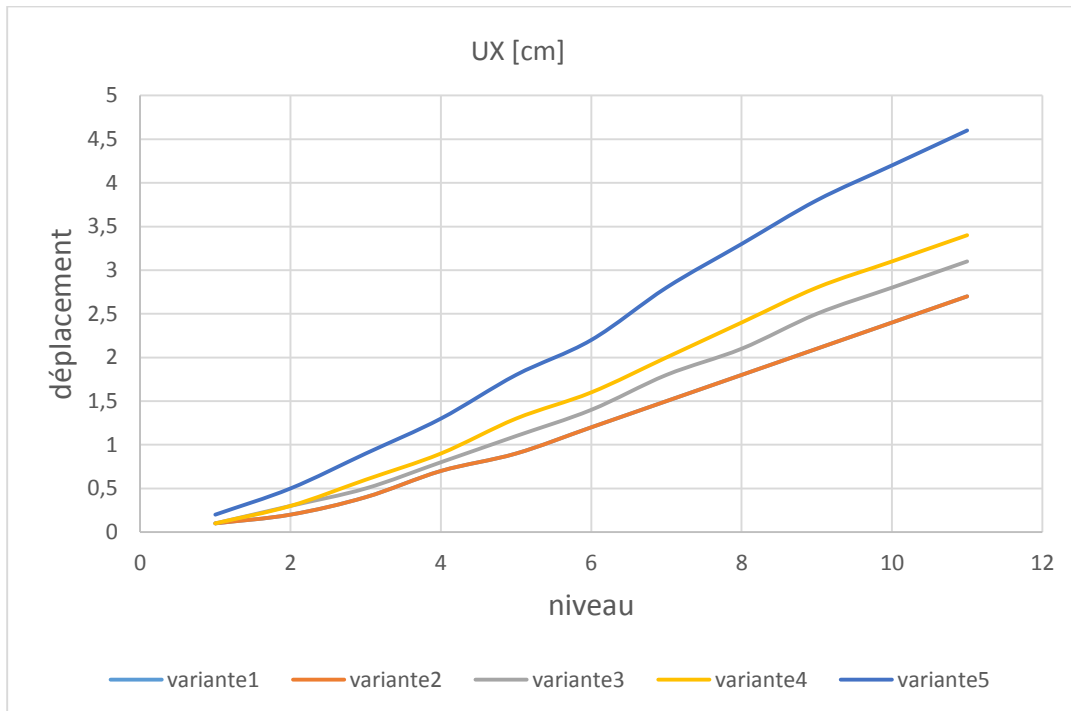


Figure II-17 déplacement étage des différentes variantes

cas 3 :R+15

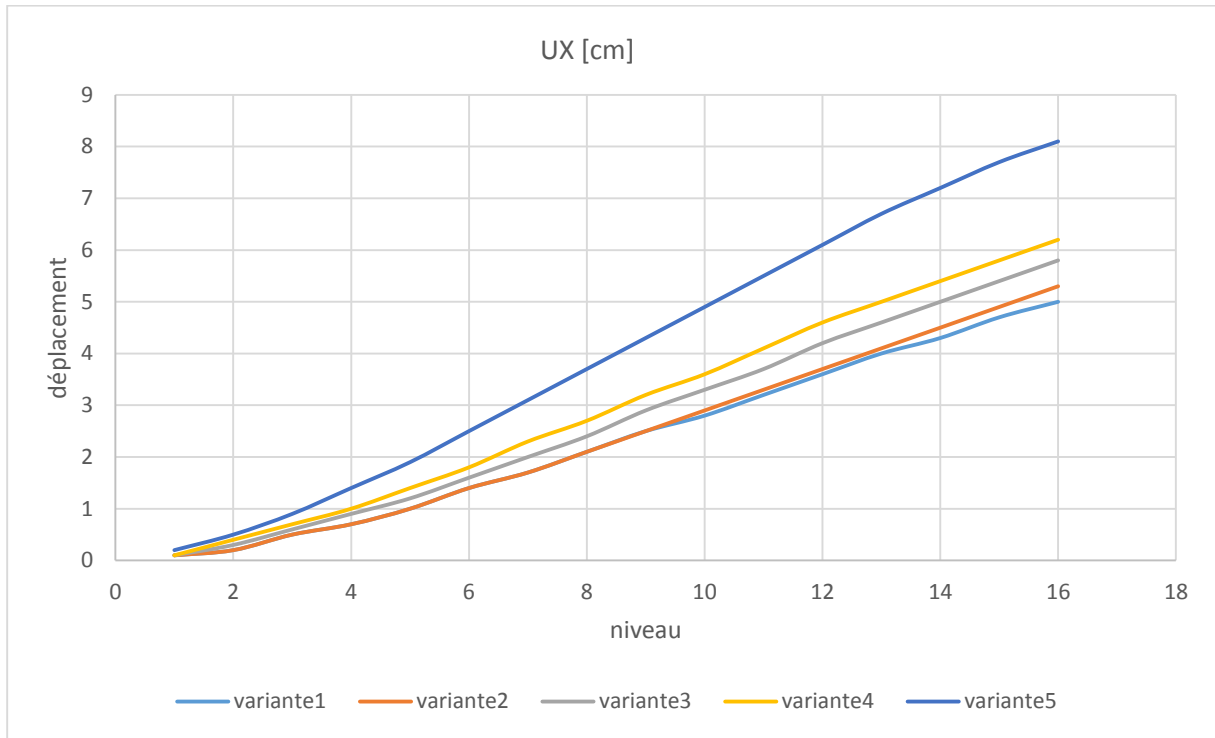


Figure II-18 déplacement étage des différentes variantes

cas 4 :R+20

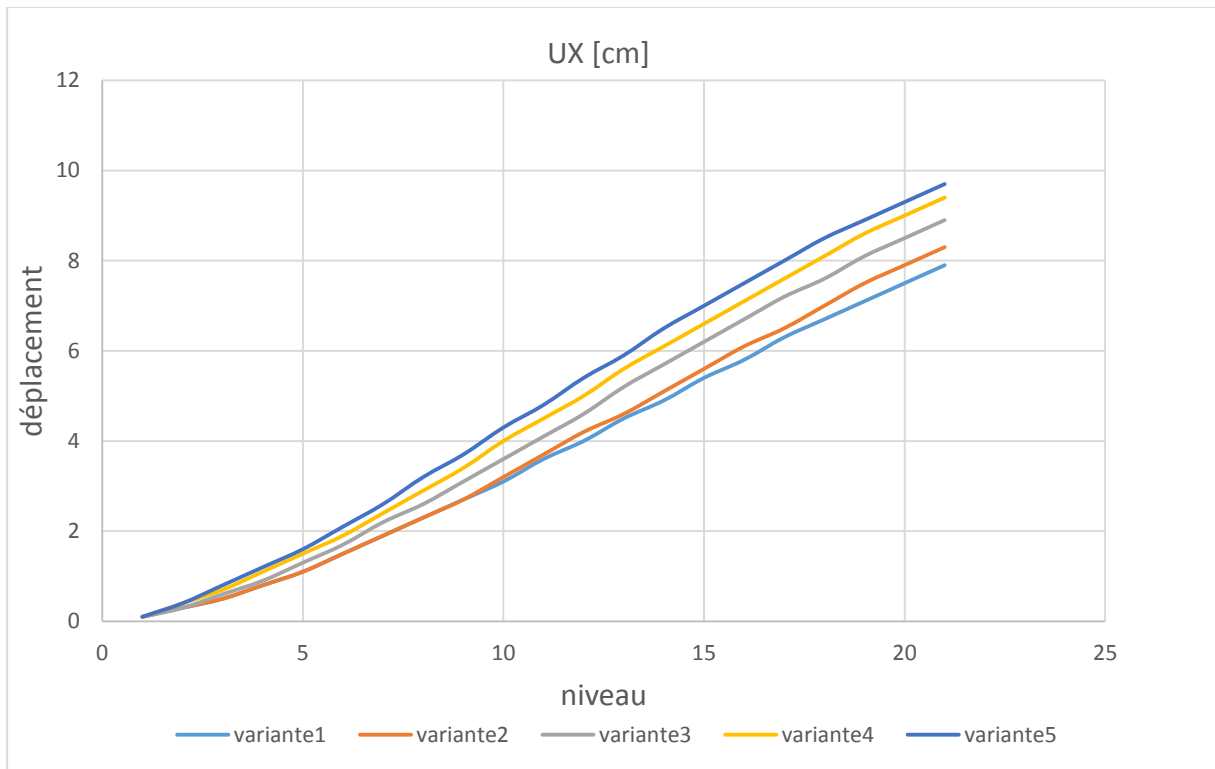


Figure II-19 déplacement étage des différentes variantes

cas 5 :R+25

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

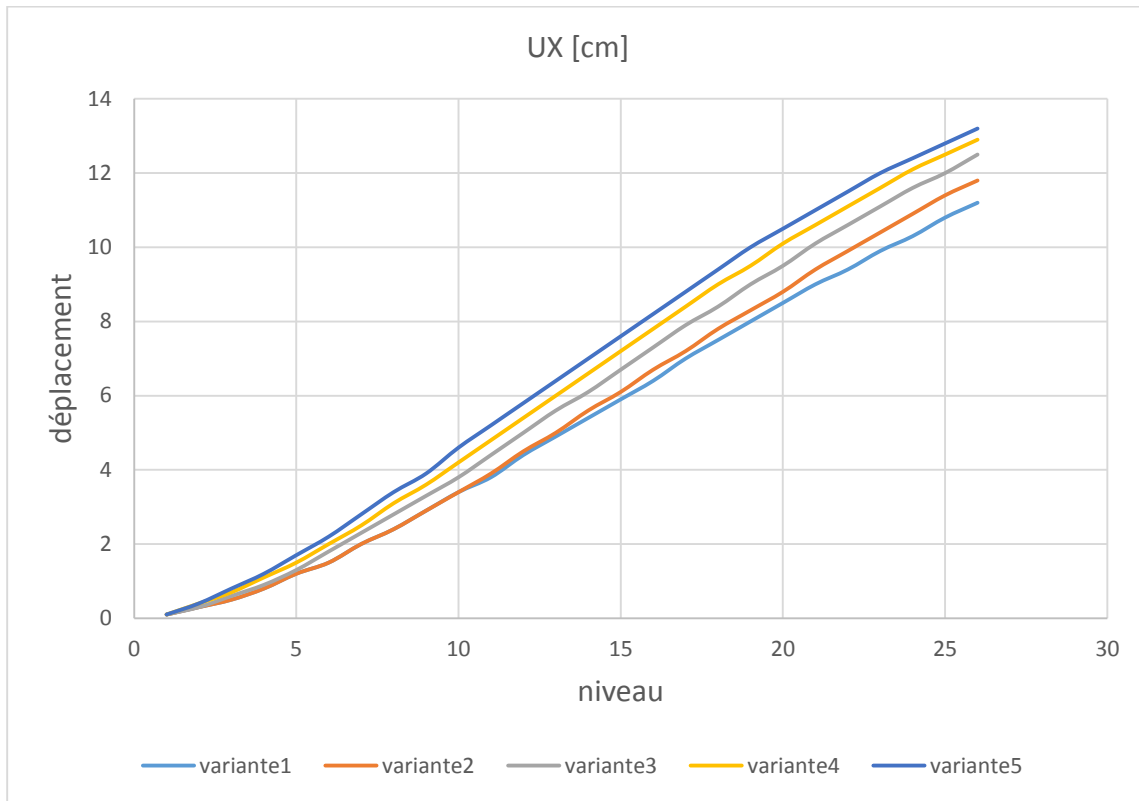


Figure II-20 déplacement étage des différentes variantes

cas 6 :R+25

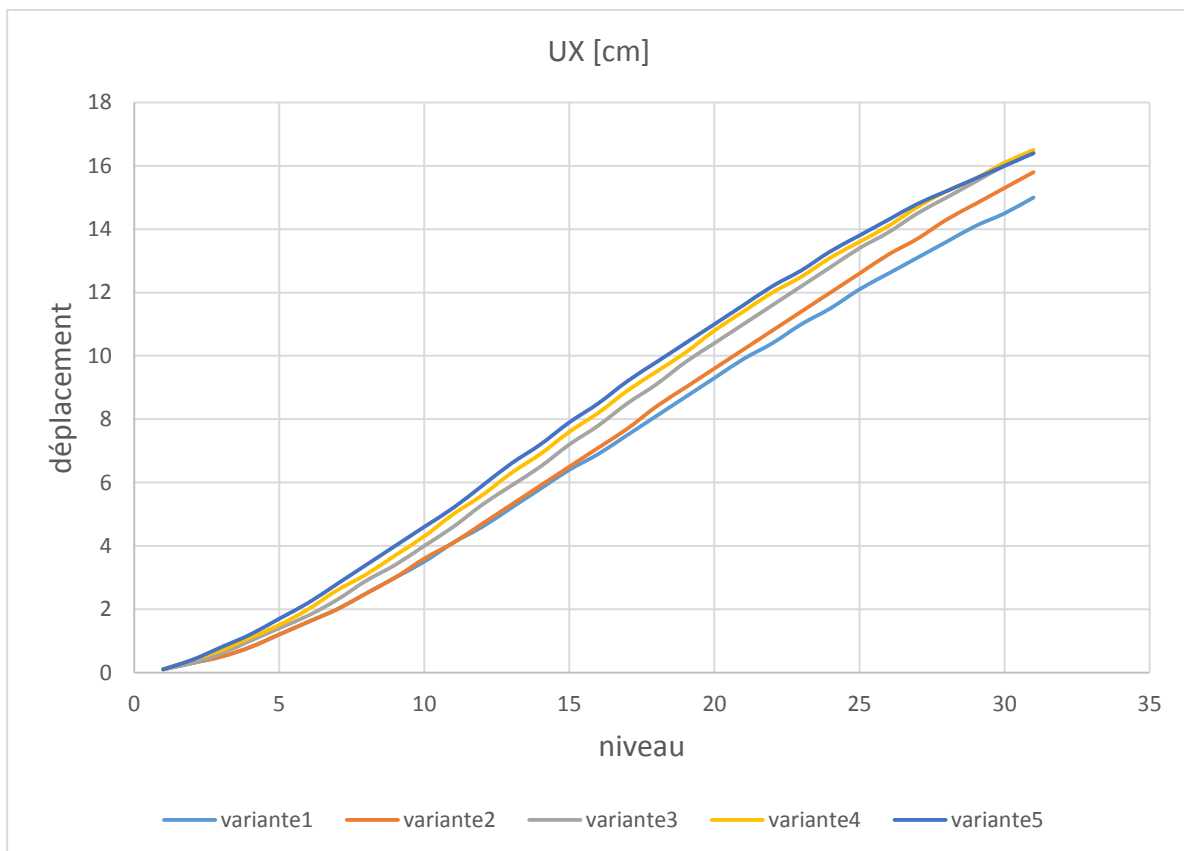


Figure II-21 déplacement étage des différentes variantes

II-5-2 déplacement relatif

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Les tableaux ci – dessous présents les déplacements relatif dans chaque cas et chaque variante (S1 ; S2 ; S3 ; S4 ; S5) :

cas1 : R+5

Etage	dr UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0	0	0.1	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3

Tableau II -14 déplacement relatif

cas2 : R+10

Etage	dr UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
7	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
8	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
9	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
11	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Tableau II-15 déplacement relatif

cas3 : R+15

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Etage	dr UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
7	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
8	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
9	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
10	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
11	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
12	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
13	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
14	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
15	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
16	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3

Tableau II -16 déplacement relatif

cas4 : R+20

Etage	dr UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
7	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
8	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

9	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
10	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
11	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
12	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
13	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
14	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
15	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
16	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
17	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
18	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
19	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4
20	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
21	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

Tableau II -17 déplacement relatif

cas 5 : R+25

Etage	dr UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
7	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
8	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
9	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
10	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
11	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
12	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
13	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

14	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
15	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
16	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
17	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
18	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
19	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
20	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
21	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
22	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
23	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
24	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4
25	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4
26	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4

Tableau II -18 déplacement relatif

cas 6 : R+31

Etage	dr UX [cm]				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
7	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
8	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
9	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
10	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
11	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
12	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

13	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
14	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
15	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
16	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
17	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
18	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
19	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
20	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
21	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
22	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
23	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
24	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5
25	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5
26	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
27	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5
28	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
29	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
30	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
31	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3

Tableau II -19 déplacement relatif

Les déplacements maximaux des différentes variantes sont représentés au graphe suivant :

cas 1 : R+5

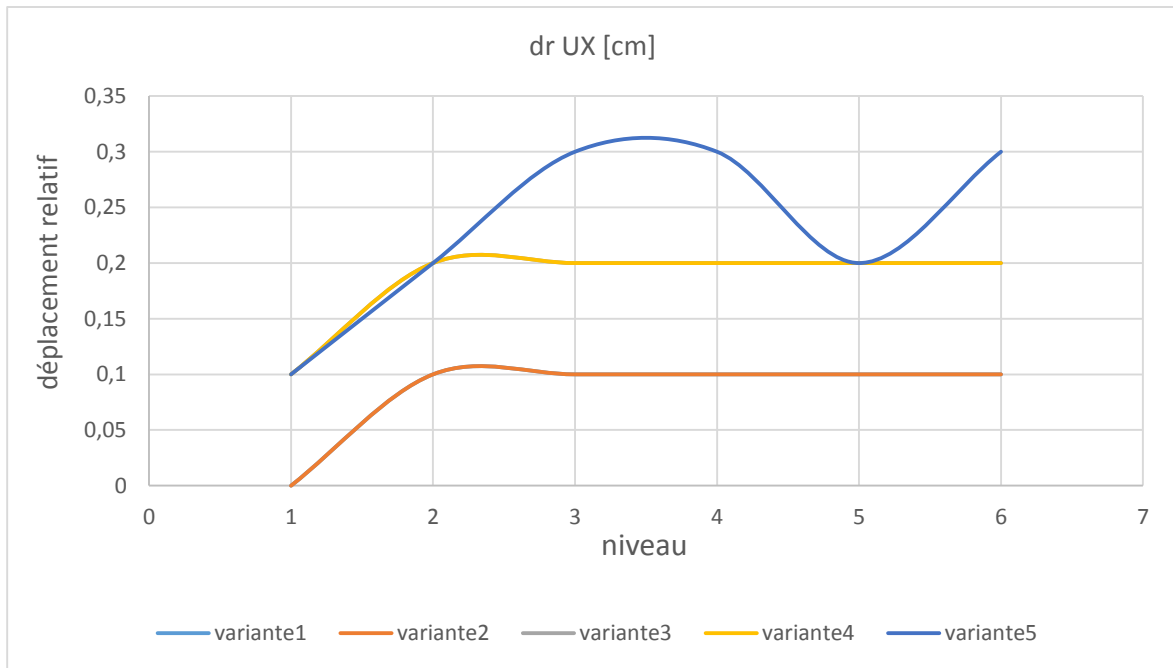


Figure II-22 déplacement relatif des différentes variantes

cas 2 : R+10

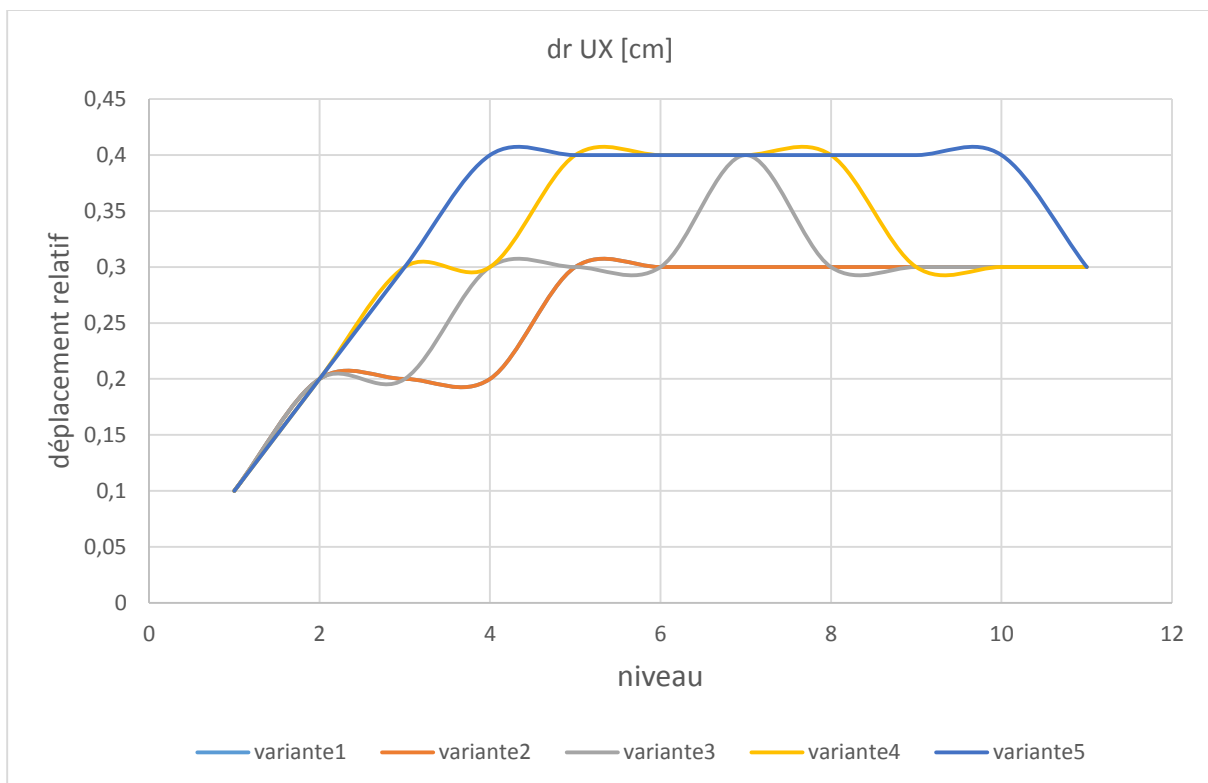


Figure II-23 déplacement relatif des différentes variantes

cas 3 : R+15

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

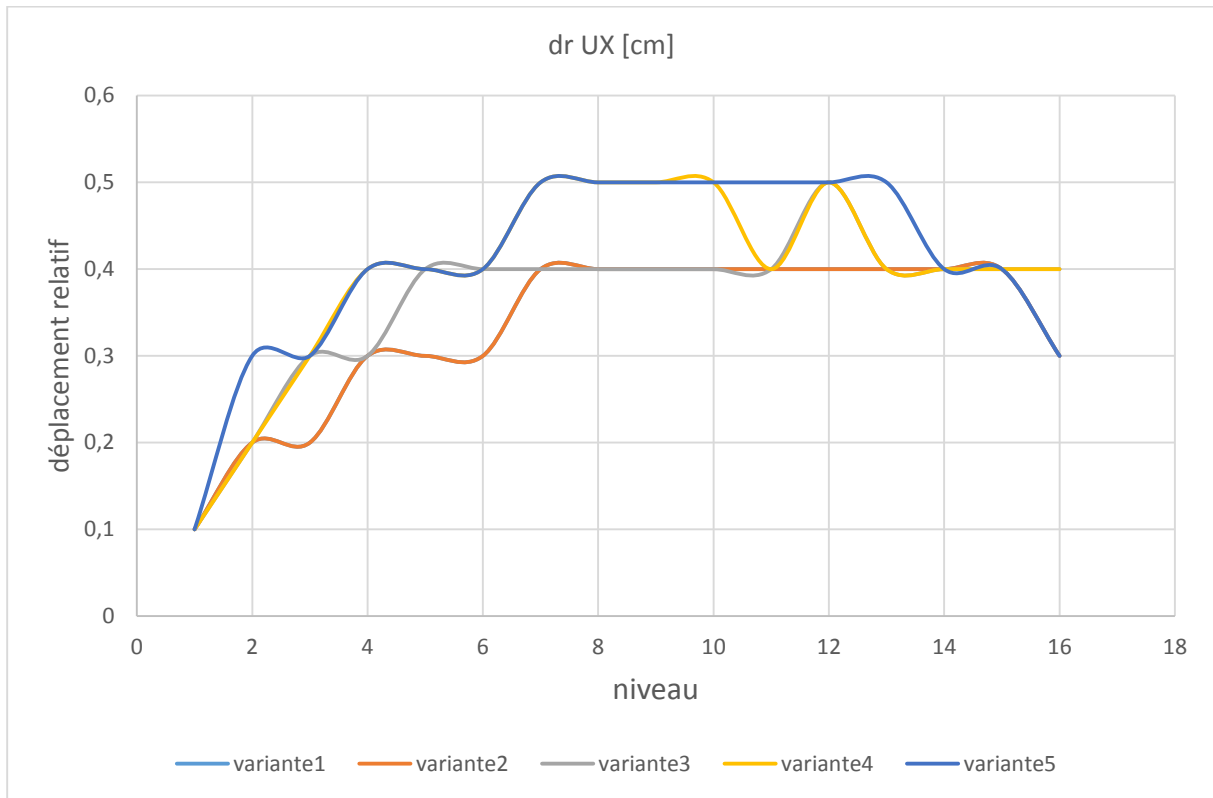


Figure II-24 déplacement relatif des différentes variantes

cas 4 : R+20

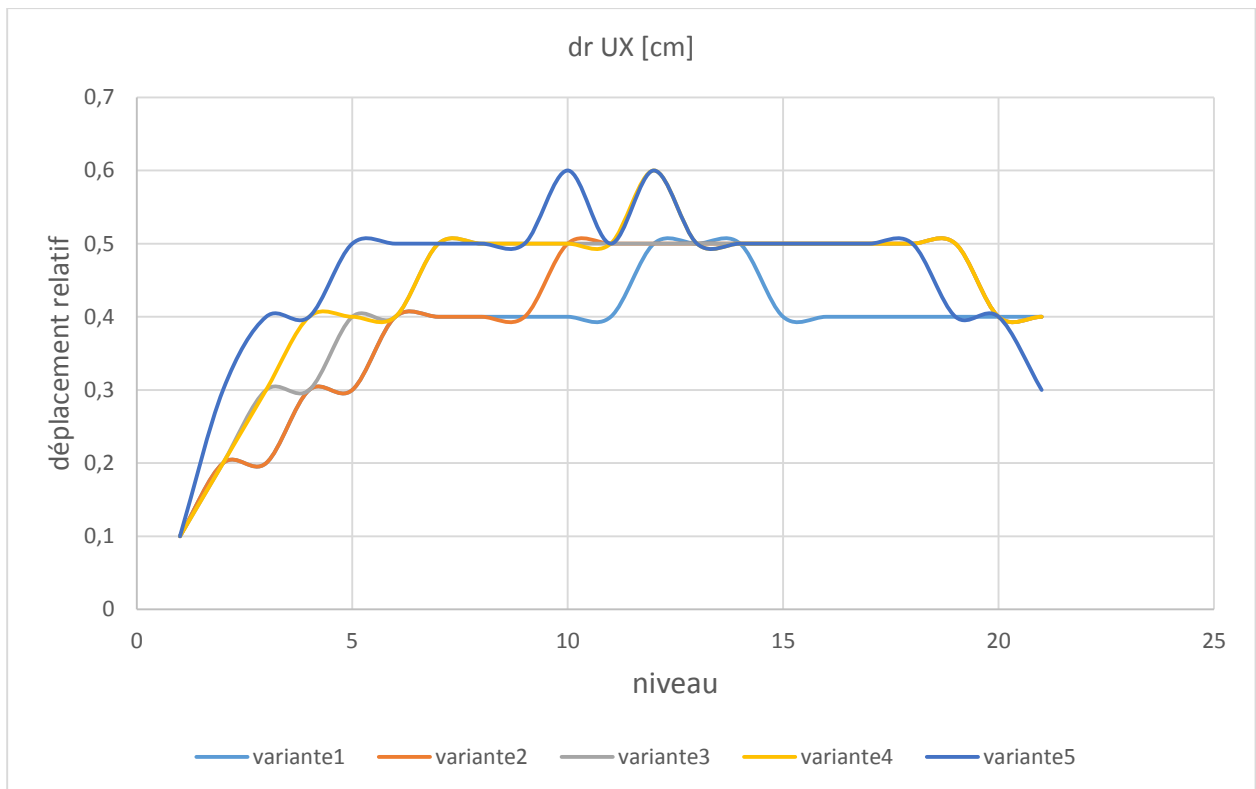


Figure II-25 déplacement relatif des différentes variantes

cas 5 : R+25

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

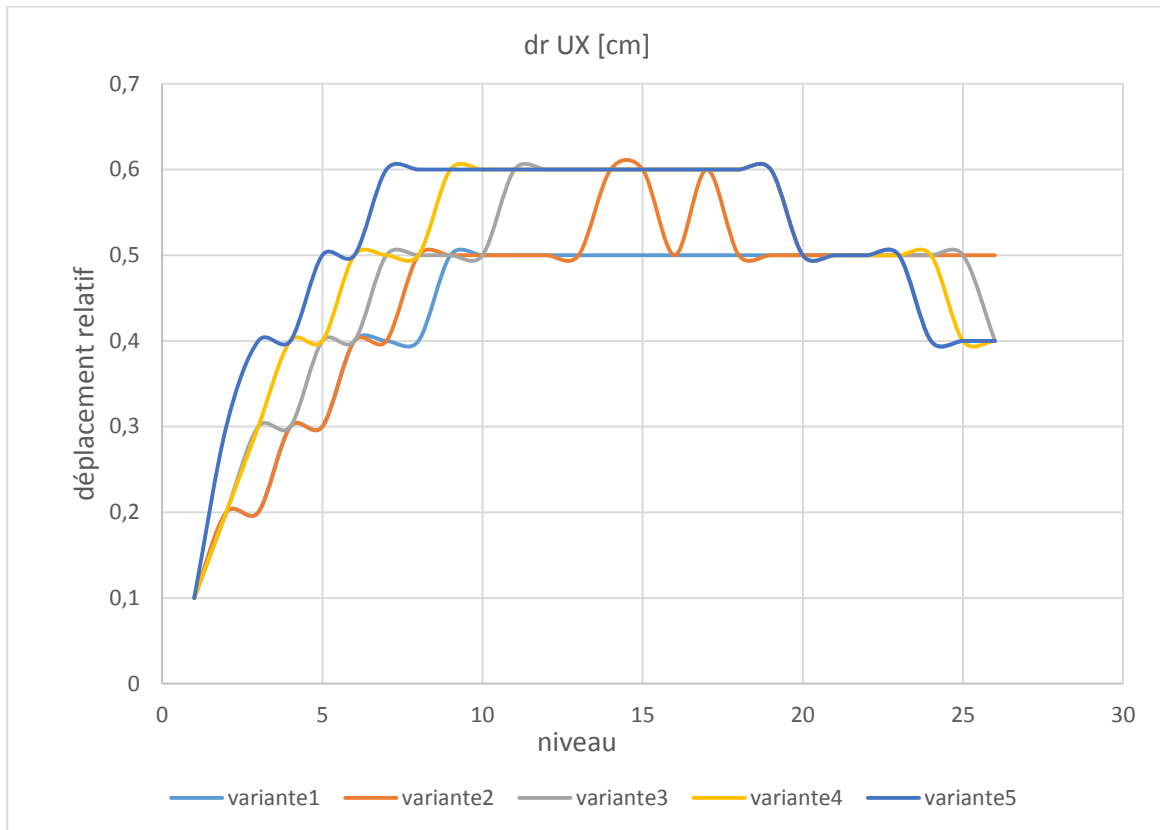


Figure II -26 déplacement relatif des différentes variantes

cas 6 : R+30

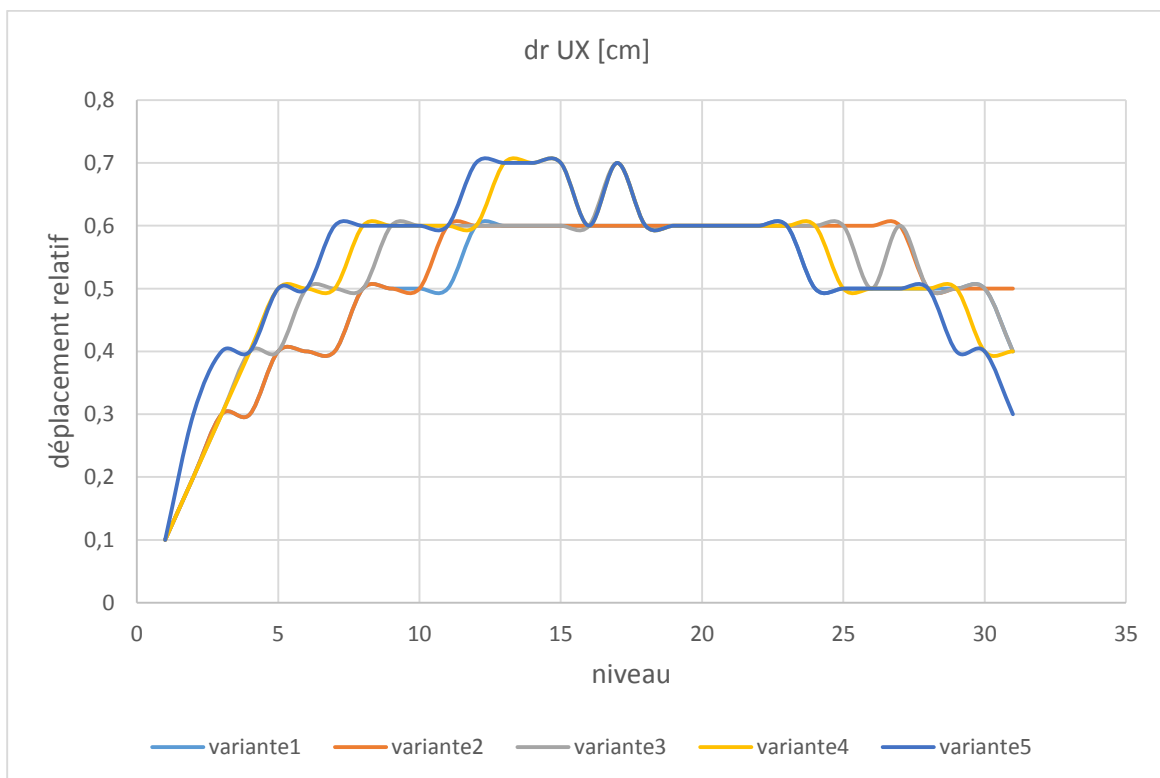


Figure II -27 déplacement relatif des différentes variantes

II-5-3 Moment étage :

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Les tableaux ci – dessous présents les moments dans chaque cas et chaque variante (S1 ; S2 ; S3 ; S4 ; S5)

cas 1 : R+5

Etage	moment				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	25513.8	86936.16	56953.37	73195.3	91764.6
2	19445.1	66761.43	43659.12	56297.49	70771.8
3	13613.18	47276.9	30717.5	39784.29	50200.23
4	8457.23	29994.53	19288.59	25265.75	32212.73
5	4217.78	15518.11	9899.74	13307.28	17360.02
6	1455.72	5573.37	4061.73	6309.31	9266.68

Tableau II -20 moment étage

cas 2 : R+10

Etage	moment				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	72513.26	84740.12	114775.27	161290.77	240307.62
2	63415.62	74067.58	100610.63	141834.18	211652.02
3	54084.14	63164.35	85911.02	121265.81	181038.16
4	45250.36	52865.24	72130.46	102008.09	152768.88
5	36919.86	43167.18	59209.99	83877.22	126474.6
6	29263.4	34231.6	47244.67	66927.04	101767.34
7	21825.16	25606.86	35690.51	51288.09	78223.28
8	15274.48	17944.8	25298.64	37154.56	56553.05
9	9618.91	11311.19	16338.37	24898.66	38105.77
10	5038.88	5913.77	8960.31	14954.66	22574.3
11	2462.14	3016.32	5432.02	11448.66	15815.47

Tableau II -21 moment étage

cas 3 : R+15

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Etage	moment				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	115743.71	133212.4	183160.15	178168.36	391711.88
2	105870.37	121735.51	167909.84	164151.23	361381
3	95402.29	109649.92	151357.21	148213.29	326237.9
4	85430.79	98188.43	135738.83	133013.01	292934.31
5	75943.46	87327.36	121017.89	118553.55	261519.79
6	67072.08	77191.28	107261.33	104843.61	231768.82
7	58400.43	67336.69	93967.82	91576.8	203380.67
8	50099.23	57893.52	81079.36	78649.68	175414.71
9	42248.17	48962.19	68924.77	66564.54	149271.82
10	34781.07	40432.15	57282.93	55109.68	124376.79
11	27842.19	32450.66	46248.42	44277.87	100521.24
12	20859.44	24431.79	35206.18	33671.12	77451.28
13	14694.78	17265.69	25216.74	24248.05	56577.29
14	9343.49	11023.98	16586.75	16395.92	39142.15
15	5001.06	5921.89	9428.64	9903.45	24271.96
16	2742.78	3500.17	6357.37	7340.24	17685.77

Tableau II -22 moment étage

cas 4 : R+20

Etage	moment				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	164716.24	188013.76	260932.74	349097.72	452075.4
2	154337.49	175952.16	245184.05	329226.92	427764.87
3	142828.11	162730.9	227057.55	305240.82	397030.99
4	131691.35	150005	209490.77	281788.27	366668.87
5	121005.36	137848.56	192673.72	259287.39	337455.86
6	110907.57	126399.91	176728.83	237821.47	309442.93
7	101159.11	115387.56	161399.2	217241.3	282674.35
8	91534.95	104553.06	146130.05	196559.44	255610

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

9	82329.73	94212.95	131558.97	176812.2	229744.49
10	73511.45	84294.62	117605.05	157913.13	204987.04
11	65199.52	74924.53	104387.45	139929.12	181338.01
12	56846.53	65515.04	91305.52	122401.34	158600.23
13	48809.27	56407.39	78558.05	105254.58	136331.74
14	41164.82	47733.37	66562.45	89267.58	115704.31
15	33854.32	39396.6	55096.87	74061.65	96148.43
16	27065.79	31600.79	44326.05	59679.51	77545.94
17	20201.35	23717.57	33603.2	45630.46	59686.55
18	14204.49	16750.27	24103.21	33185.43	43941.5
19	9042.44	10740.58	16035.55	22798.03	31018.55
20	4885.45	5862.27	9368.06	14027.12	19756.76
21	2853.78	3768.23	6718.06	10346.32	14449.02

Tableau II -23 moment étage

cas 5 : R+25

Etage	moment				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	218619.91	248252.77	332948.62	466790.62	606307.63
2	208102.62	235991.57	316405.09	447266.27	582997.07
3	195779.44	221893.48	298072.71	421893.57	550791.83
4	183575.39	208011.16	279798.38	396139.68	517494.71
5	171753.47	194613.53	262140.85	371075.02	484865.72
6	160485.6	181878.27	245606.24	346992.91	453341.6
7	149663.2	169658.42	228722.16	323928.96	423200.64
8	138726.62	157362.97	212078.23	300335.43	392254.48
9	128134.15	145483.78	196039.38	277410.62	362137.74
10	117915.47	134023.89	180582.17	255227.77	332960.82
11	108210.83	123144.98	166233.59	233944.21	304855.81
12	98654.74	112437.12	151304.58	213344.44	277857.68
13	89218.97	101853.04	137155.59	192709.92	250739.81
14	80188.18	91731.46	123496.68	173165.47	225069.92

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

15	71512.7	81988.89	110403.02	154542.92	200629.35
16	63343.93	72793.75	98056.41	136916.91	177404.24
17	55094.34	63502.32	85478.48	119785.32	155154.73
18	47208.51	54557.23	73771.97	103073.12	133423.39
19	39748.25	46086.8	62570.9	87538.24	113332.23
20	32639.07	37975.62	51862.71	72732.32	94245.09
21	26066.65	30426.69	42033.54	58686.8	76052.06
22	19413.83	22771.98	31543.15	44915.33	58550.68
23	13637.9	16050.47	23178.07	32739.82	43205.31
24	8686.88	10287.42	16341.69	22599.96	30666.02
25	4715.25	5641.26	11875.74	14044.75	19715.97
26	2858.44	3853.35	10100.19	10455.99	14443.02

Tableau II –24 moment étage

cas 6 : R+30

Etage	moment				
	variante1	variante2	variante3	variante4	variante5
1	277142.39	313705.4	441123.55	427378.73	743269.24
2	266806.84	301521.34	425849.01	414413.68	722799.43
3	253875.6	286725.08	405842.46	395969.6	691583.38
4	240730.93	271796.57	385174.45	376354.44	657699.69
5	227891	257273.45	364892.78	356840.61	623772.26
6	215609.58	243423.07	345409.06	337905.2	590730.32
7	203870.48	230188.21	326759.2	319711.52	559112.24
8	191832.5	216683.9	307593.47	300935.11	526421.51
9	180054	203501.01	288813.32	282465.43	494263.66
10	168603.95	190678.79	270512.61	264397.03	462823.3
11	157643.07	178411.77	252916.65	246898.27	432347.9
12	146955.43	166445.72	235837.9	229922.51	403091
13	136188.17	154400.93	218536.79	212693.84	373298.79

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

14	125784.77	142772.46	201856.34	196066.66	344570.82
15	115745.2	131533.58	185760.34	180025.26	316842.79
16	106225.44	120874.01	170432.51	164684.86	290206.97
17	96811.95	110333.45	155447.36	149811.8	264683.39
18	87564.19	99962.5	140547.13	135113.6	239033.51
19	78754.75	90094.39	126442.18	121265.97	214771.62
20	70308.6	80610.39	112947.44	107981.1	191606.02
21	62367.6	71676.23	100212.31	94687.17	169547.34
22	54316.18	62614.54	87578.32	83075.41	148433.05
23	46608.65	53879.62	75293.75	71601.47	127758.63
24	39300.42	45587.56	63788.49	60384.82	108600.99
25	32312.37	37609.13	52785.75	49699.03	90342.86
26	25827.47	30156.9	42458.14	39844.82	72925.54
27	19229.18	22572.3	32157.31	29688.09	56211.22
28	13485.68	15917.24	23110.48	21115.71	41635.71
29	8564.64	10217.46	15492.72	14632.56	29721.59
30	4637.94	5623.71	9224.17	9377.42	19194.76
31	2861.93	3916.98	6898.26	7328.38	13946.36

Tableau II -25 moment étage

Etude de l'effet P-Delta sur les structures élancées

Les moments étage des différentes variantes sont représentés aux graphes suivant :

cas 1 : R+5

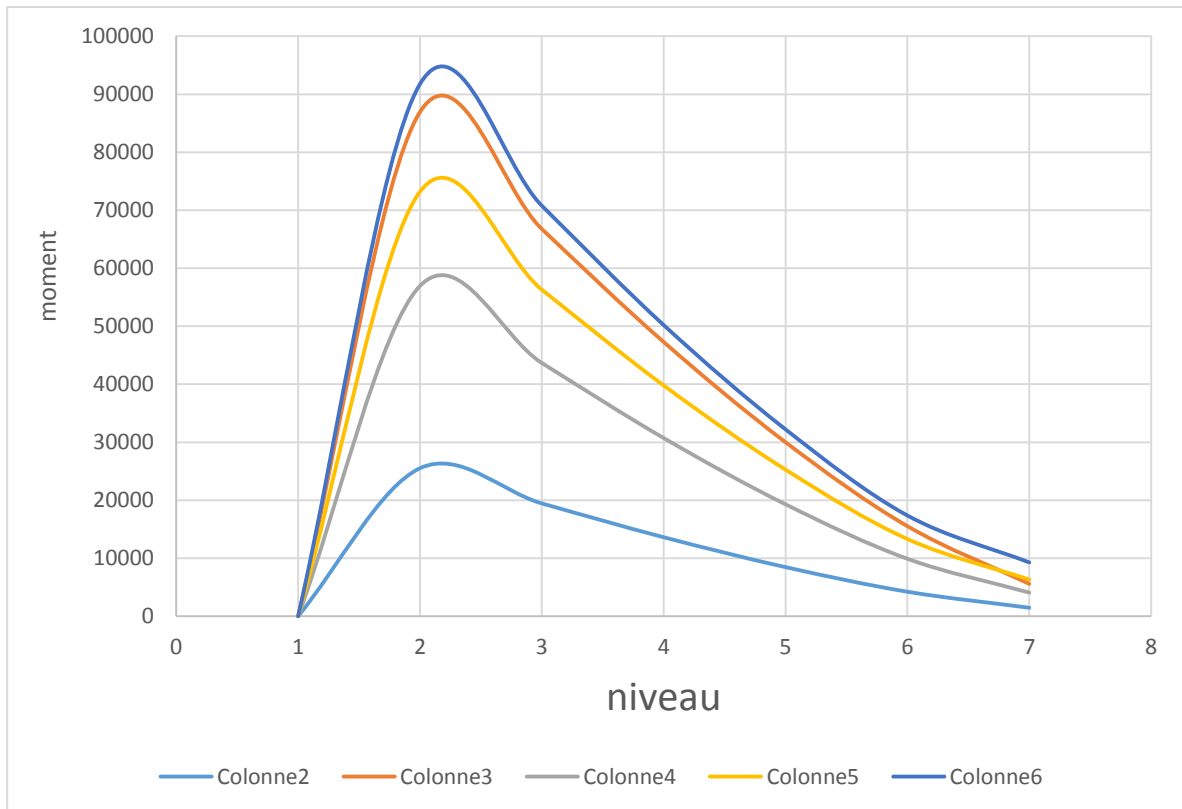


Figure II -28 moment les étage des différentes variantes

cas 2 : R+10

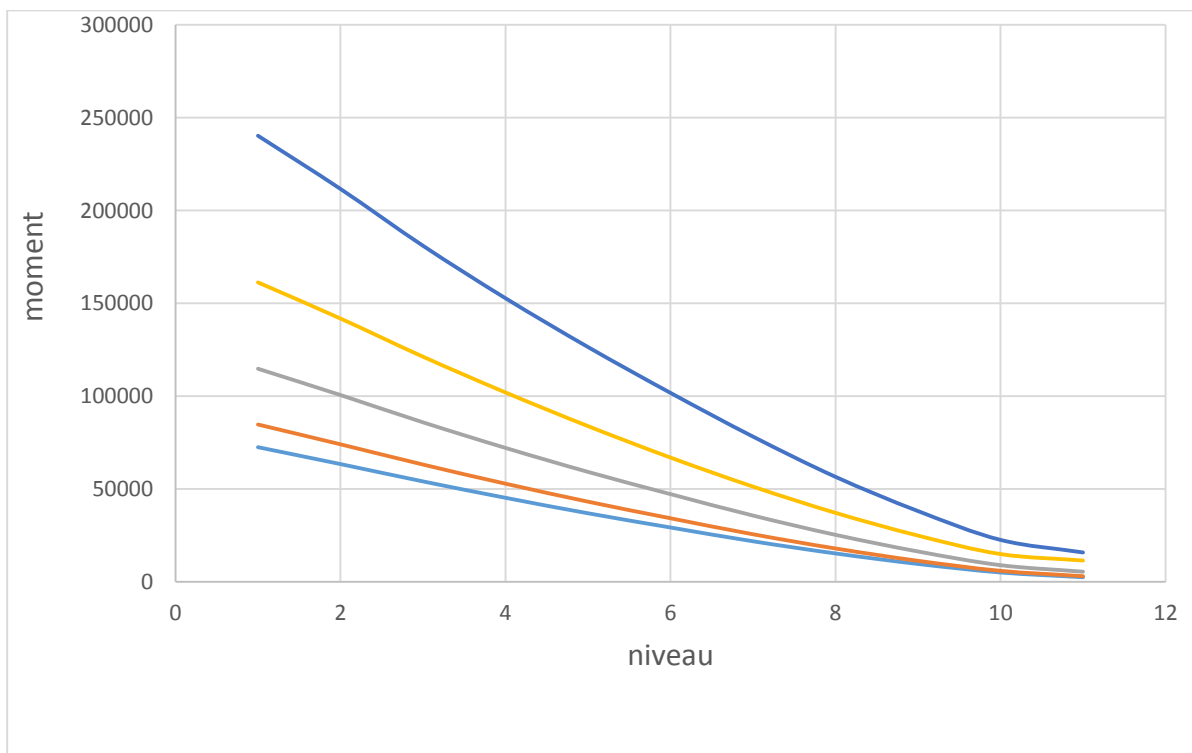


Figure II -29 moment les étage des différentes variantes

cas 3 : R+15

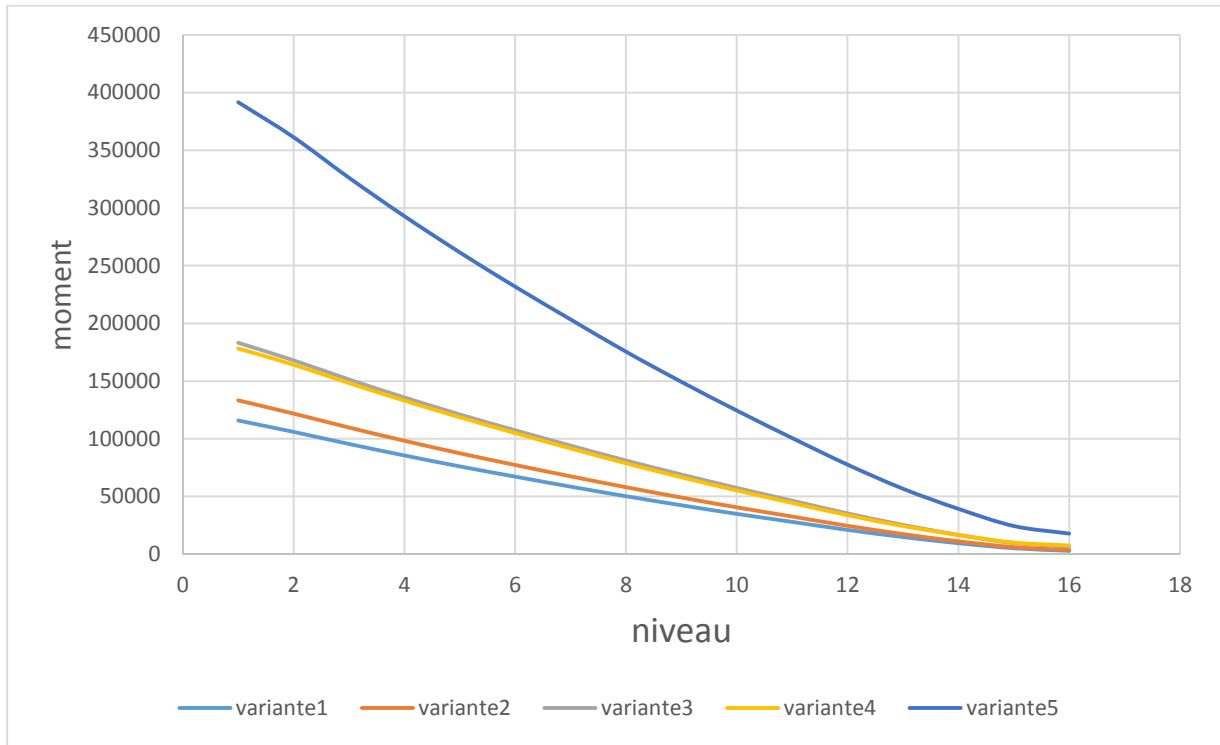


Figure II -30 moment les étage des différentes variantes

cas 4 : R+20

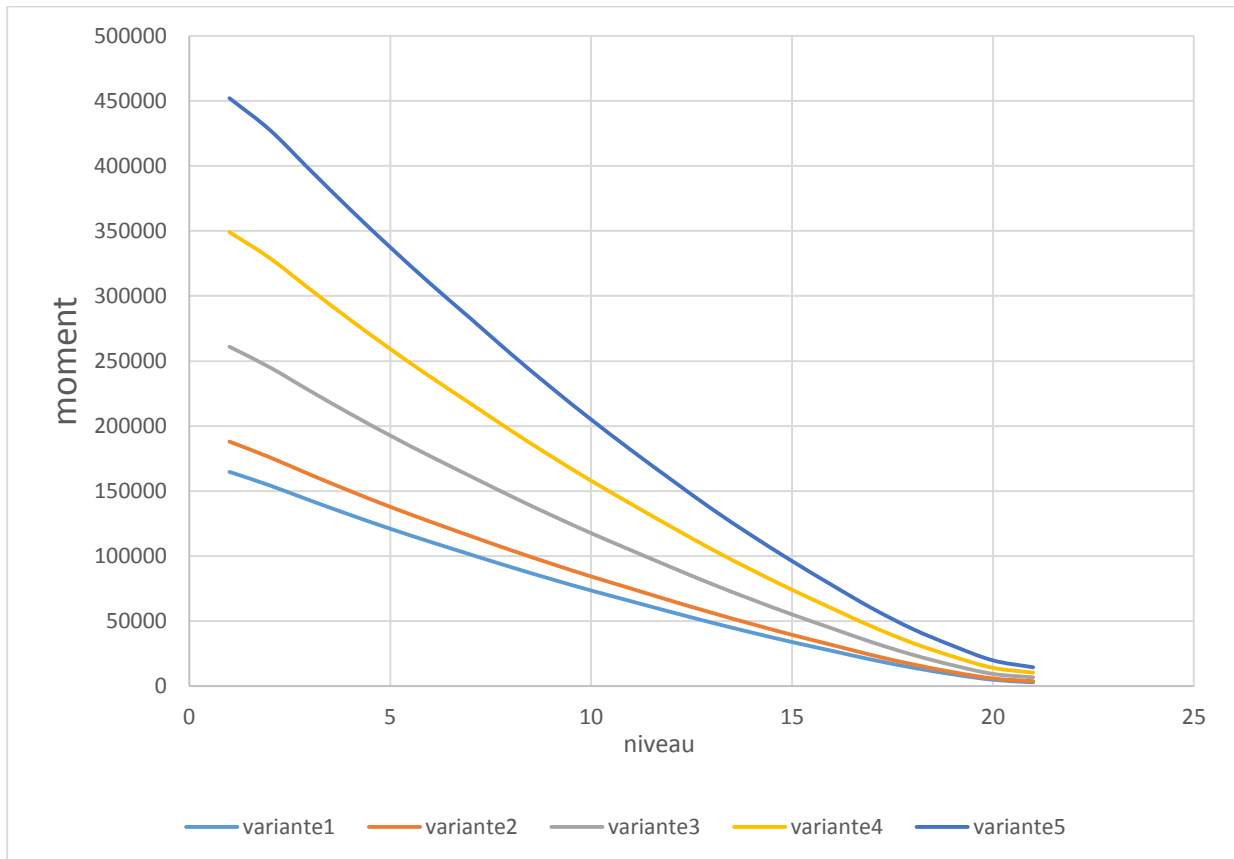


Figure II-31 moment les étage des différentes variantes

cas 5 : R+25

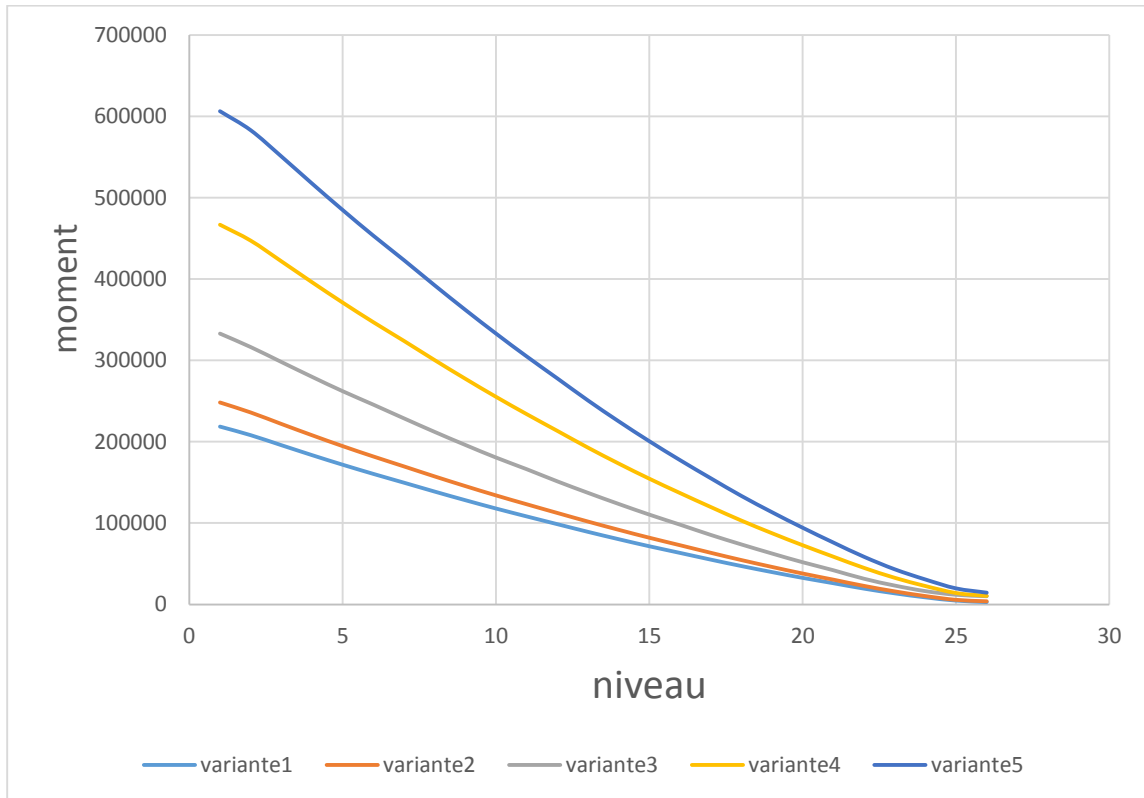


Figure II-32 moment les étage des différentes variantes

cas6:R+3

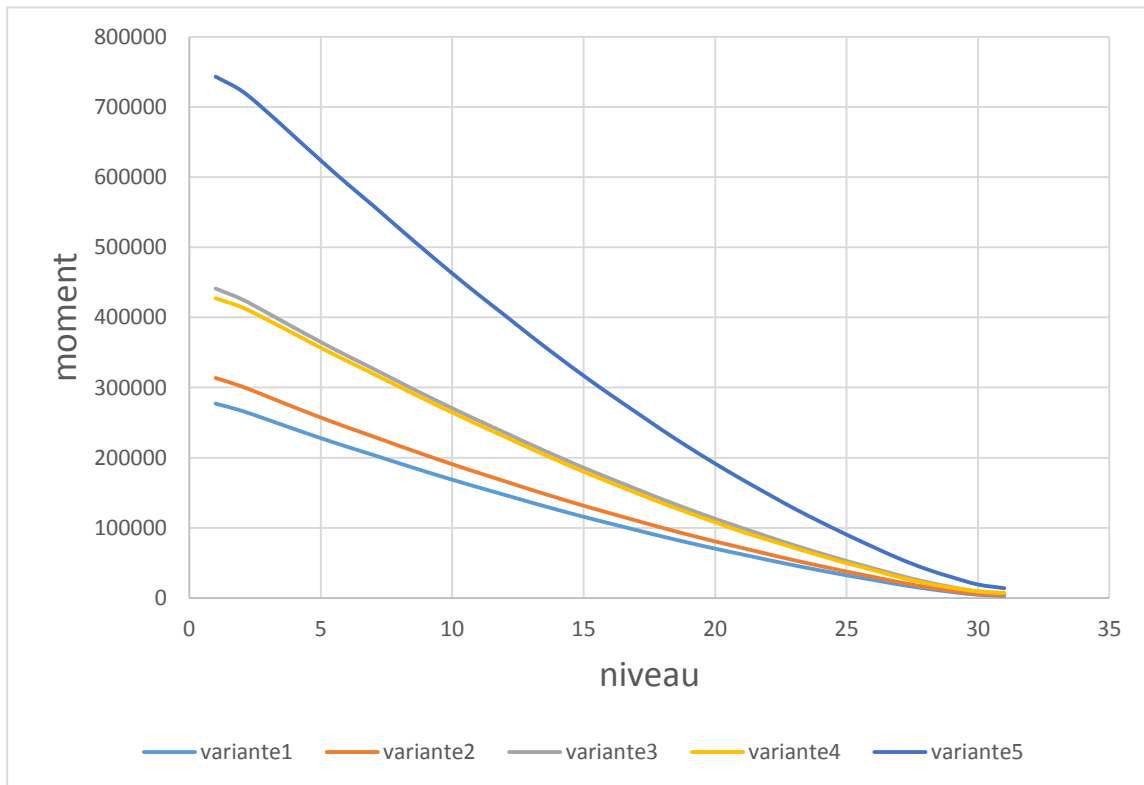


Figure II-33 moment les étage des différentes variantes

Chapitre III : Analyse des résultats

En observant les résultats donnés par les différentes applications, on peut énoncer les remarques et commentaires suivants :

I) Remarques

1) Effet du paramètre hauteur (nombre d'étages)

- Le déplacement d'étage augmente avec le nombre d'étages (cf. Figure II-7)
- Le déplacement inter-étages augmente avec le nombre d'étages (cf. Figure II-14)
- Le moment max au niveau RDC augmente avec le nombre d'étages (cf. Figure II-15)

2) Effet du paramètre surface en plan

- Le déplacement d'étage augmente avec le nombre d'étages (cf. Figure II-16.17.18.19.20.21)
- Le déplacement inter-étages augmente avec le nombre d'étages (cf. Figure II-22, 23, 24, 25,26, et 27)
- Le moment max au niveau RDC augmente avec le nombre d'étages (cf. Figure II-28,29, 30, 31,32, et 33)

3) Effet des deux paramètres en même temps

- Pour un nombre d'étages supérieur à 16, le déplacement inter-étages diminue avec la surface (cf., Figures II-24, 25, 26 et 27)

II) Commentaires

- 1) Les trois premières remarques montrent que l'augmentation du nombre d'étages a un effet néfaste sur la structure
- 2) Les trois autres remarques montrent que l'augmentation de la surface en plan n'a pas l'effet favorable prévu
- 3) Par contre, La dernière remarque est intéressante dans le sens où elle nous indique clairement que l'effet favorable prévu de l'augmentation de surface se fait sentir après un certain nombre d'étages (16 dans notre cas).

Cela nous incite à rechercher le rapport optimal entre le nombre d'étages et la surface en plan.

C'est ce que nous proposons comme perspective.

Le déplacement relatif d'étage augmenté avec la surface de structure augmenté

Conclusion et Perspectives

Ce travail m'a permis de réaliser les objectifs suivants:

- Mettre en pratique les connaissances acquises durant le cursus universitaire, notamment dans le domaine de RDM, Béton armé et Dynamique des structures.
- Me familiariser avec l'outil informatique

En plus de ça, les résultats de cette étude me permettent de tirer la conclusion suivante:

- ✓ L'importance de l'effet P-Delta se fait de plus en plus ressentir dans les villes modernes qui ont tendance à se développer verticalement avec des immeubles de grande hauteur et des surfaces d'assise réduites (structures élancées). Ce qui pose un grand problème de stabilité vis-à-vis des forces latérales (vent et surtout séisme).
- ✓ Les Règles Parasismiques Algériennes (RPA 2003) se contentent de limiter cet effet par une condition forfaitaire qui semble insuffisante.

Les perspectives de ce travail pourraient être:

- ✓ Elargir l'étude à des structures plus complexes
- ✓ Faire intervenir l'effet du vent
- ✓ Chercher une relation optimale du rapport entre la hauteur du bâtiment et la surface en plan.

Recommandations:

- ✓ Rendre l'analyse de l'effet P-Delta obligatoire pour les structures qui dépassent 20 étages.

NOTATIONS & SYMBOLES

R.P.A : Règles Parasismiques Algériennes

P- Δ : second ordre

d.d.l : degrés de liberté

O.S. : oscillateur simple

F : force

M: Masse

K : rigidité

ω = pulsation

g: accélération de la pesanteur

H : hauteur d'étage

v_i : effort tranchant

Δ : déplacement étage

dr_{UX} : déplacement relatif

d_{UX} : déplacement étage

Références Bibliographiques

[1] **PIERRE** **Elatteur** Calculer-Une-Structure-De-La-Théorie-a-l-Exemple, cademial'harmattan

[2] **Cours analyse non linéaire** (2ème année master) Université Mohamed Boudiaf - M'sila

[3] **ABASSI moussa** :Etude d'un bâtiment R+8 avec l'étude de l'influence **De P-Delta**, école national des travaux publiques-2005

[4] **Règles parasismiques algérienne** « RPA 99/VERSION 2003»

[5] **RoboBAT- Servis Technique** «manuel d'utilisation Robot Béton armé».

Les logiciels :

ROBOT 2011.