

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
Département de : Génie Civil et Hydraulique

C:.....
R:.....

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures

Thème

**Etude numérique de l'effet de la flexibilité des portiques sur les
voiles associés soumis à des charges horizontales**

Présenté par : CHARANE Mounir
MOKADEM Imam Elmahdi

Soumis au jury composé de :

HAFSI Mustapha	M.A (A)	U.K.M. Ouargla	Président
MEZIANI Nedjma	M.A (A)	U.K.M. Ouargla	Examinatrice
DJIREB Samir	M.C (B)	U.K.M. Ouargla	Encadreur
KHELASSI Amar	M.A (A)	U.K.M. Ouargla	Co-Encadreur

Année Universitaire
2021/2022

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier nos encadreurs Mr. SAMIR DJIREB et KHELASSI AMAR d'avoir posé un sujet très intéressant et pour ses conseils, leur disponibilité et pour nous avoir fait profiter de leurs connaissances et de leurs qualités tant professionnelles qu'humaines.

Nos respectueux remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté sur notre travail.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous aidés dans ce travail de près ou de loin.

DÉDICACES

je dédie ce travail à :

- ❖ Mes chers parents, qui m'ont toujours encouragé et soutenu dans mes études
Jusqu'à atteindre ce stade de formation.
- ❖ Toutes ma famille CHARANE et MOKHADAME.
- ❖ Mes amies.
- ❖ A toute la Promotion 2022

Tous les enseignants qui m'ont dirigé vers la porte de la réussite.

Résumé

Les voiles en béton armé sont des éléments principaux qui représentent l'un des systèmes de contreventement qui permettent à la structure de résister les efforts générés par des phénomènes externes tels que le séisme et le vent, en particulier à haute altitude. le système combiné du voile-portique présente un état compliqué en raison des comportements différents connus entre les deux éléments. par conséquent, ce travail vise à étudier l'influence de la flexibilité du portique sur le comportement du voile associé. trois modèles numériques sont traités en examinant les déplacements et les sollicitations dans le voile en béton armé soumis aux efforts horizontaux. les résultats obtenus montrent que l'ajout direct du portique au voile, dans le même plan de contreventement, est considérablement minimisé les moments fléchissant dans le voile en béton armé. d'autre part, l'association entre les deux éléments en examinant le problème d'interaction, montre que voile en béton armé reprend le maximum de l'effet de cisaillement près de la base. Cependant, on peut observer le cas inverse pour le cadre.

Mots clés : Systèmes de contreventement, système combiné, modèles numériques efforts horizontaux, déplacements, flexibilité

Abstract

Reinforced concrete shear walls are the main elements that represent one of the bracing systems that allow the structure to resist the forces generated by external phenomena such as earthquakes and wind, especially at high altitudes. The combined shear wall-frame system exhibits a complicated condition due to the known different behaviours between the two elements. Therefore, this work aims to study the influence of the flexibility of the frame on the behaviour of the associated Reinforced concrete shear wall. Three numerical models are processed by examining the displacements and the stresses in the reinforced concrete shear wall subjected the horizontal forces. The obtained results show that the direct addition of the frame to the shear wall, in the same bracing plane, is considerably minimized the bending moments in the reinforced concrete shear wall. On the other hand, the association between the two elements by examining the interaction problem shows that the reinforced concrete shear wall picks up the maximum of the shear effect near the base. However, it can be observed the opposite case for the frame.

Keywords: the bracing systems, The combined shear, the horizontal forces, the flexibility the displacements, numerical model

ملخص

تعتبر جدران القص الخرسانية المسلحة من العناصر الرئيسية التي تمثل أحد أنظمة الصد التي تسمح للهيكل بمقاومة القوى الناتجة عن الظواهر الخارجية مثل الزلازل والرياح ، خاصة في الارتفاعات العالية. يعد نظام الصد المركب جدار القص-إطار حالة معقدة بسبب السلوكيات المختلفة و المعروفة لكل من العنصرين. لذلك ، يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير مرونة الإطار على سلوك جدار القص الخرساني المسلح المشترك. تمت دراسة ثلاثة نماذج عددية من خلال فحص الإزاحات و كذا الاجهادات التي تعرض لها جدار القص الخرساني المسلح تحت تأثير القوى الأفقية. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الإضافة المباشرة للإطار إلى جدار القص ، في نفس مستوى التدعيم ، قد قللت إلى حد كبير من عزوم الانحناء الناتجة في جدار القص الخرساني المسلح. من ناحية أخرى ، فإن الارتباط بين العنصرين من خلال فحص مشكلة التفاعل القائم بينهما, يوضح أن جدار القص الخرساني المسلح يتحمل الحد الأقصى من تأثير قوى القص و هذا بالقرب من القاعدة. بينما تم ملاحظة الحالة المعاكسة لذلك بالنسبة للإطار.

الكلمات المفتاحية : نظام الصد المركب, نماذج عددية, أنظمة الصد, القوى الأفقية, المرونة, الإزاحة

Table des Matières

Remerciements.....	I
Dédicaces	II
Résumé.....	III
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	X
Liste des abreviations.....	XI
Introduction générale.....	2
Chapitre 1 : Généralité sur les Systèmes de contreventement	
1.1 Introduction	4
1.2 Les voiles.....	4
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Classification des voiles	4
1.2.3 Rôles des voiles de contreventement :	4
1.2.4 Modes du comportement des refends:	5
1.2.5 Modes de rupture des voiles courts :	5
1.2.6 pré dimensionnement des voiles	6
1.2.7 Sollicitation des voiles.....	8
1.3 Les poteux.....	9
1.3.1 Définition	9
1.3.2 Les types des poteaux	9
1.3.3 Prédimensionnement des poteaux.....	10
1.4 Les Poutres	11
1.5 Conclusion.....	11

Chapitre 2 : Détermination des sollicitations sous charges horizontales

2.1 Introduction	12
2.2 Cas du voile plein.....	12
2.3 Cas du voile avec ouvertures	14
2.4 Approche itérative de Fuentes.....	20
2.5 Exemple numérique.....	21
2.6 Conclusion	34

Chapitre 3 : Simulation numérique

3.1 Introduction	32
3.2 Etude paramétrique	32
3.2.1 Voile plein associé avec un portique dans le même plan	32
3.2.2 Voile avec une seule file d'ouvertures	36
3.2.3 Interaction Voile-Portique	39
3.3 Conclusion	46
Conclusion générale.....	47
Références bibliographiques.....	48

Liste des figures

Figure	Page
Figure 1.1 : Différent type des voiles	5
Figure 1.2: Mode de rupture des voiles élancés	6
Figure 1.3: Mode de rupture des voiles	6
Figure 1.4: coupe de voile en élévation	7
Figure 1.5: les coupes des voiles	8
Figure1.6: Sollicitation des voiles plane	8
Figure 1.7: sollicitations voile avec une seule d'ouverture	9
Figure 1.8: les sections des poteaux	10
Figure 2.1: :voile plein avec la force horizontale	12
Figure 2.2: Modèle de console	12
Figure 2.3: voile avec charge horizontal	16
Figure 2.4: Voile une seule file d'ouverture	17
Figure 2.5: linteau	19
Figure 2.6: Schéma des sollicitations –résultants	21
Figure 2.7: Refend associé avec un portique	22
Figure 2.8: Déformation et moments d'un système portique-refend.	23
Figure 2.9: Déplacements au droit des nœuds de jonction d'un système portique-voile	24
Figure 2.10: Moments de la console	25
Figure 2.11: Valeurs de rotations pour 1er, 2e, 3e et 13e cycle	29
Figure 2.12: Valeurs des moments.	29
Figure 2.13: Système de forces au droit des nœuds	30
Figure 2.14: Système de forces et des moments intégralement opposés	31
Figure 2.15: Nouvelles sollicitations exercées sur la console	32
Figure 2.16: Moments et efforts obtenus au 23 ^e Itération	34
Figure 3.1: Modèle numérique d'un voile associé avec un portique dans le même plan (Adopté de Fuentes, 1983)	37
Figure 3.2: Moment fléchissant dans le voile pour le cas associé et non associé avec le portique (Résultats du modèle numérique)	38
Figure 3.3: Taux de réduction de la valeur du moment fléchissant engendré par l'association Voile-Portique	38

Figure 3.4: Moment fléchissant aux nœuds de jonction entre le voile et le portique	39
Figure 3.5: Déplacement latéral du modèle étudié, estimé à chaque niveau	40
Figure 3.6: Dimension des éléments constituant le voile avec une seule file d'ouvertures	41
Figure 3.7: Moment fléchissant à chaque niveau, A) Trumeau à la gauche, B) Trumeau à la droite	41
Figure 3.8: Efforts normaux à chaque niveau, A) Trumeau à la gauche, B) Trumeau à la droite	42
Figure 3.9: Effort tranchant et Moment fléchissant agissant sur le linteau	42
Figure 3.10: Comparaison entre les résultats analytiques et numériques en déterminant les sollicitations engendrées au linteau	43
Figure 3.11: Modèle numérique de l'interaction voile-portique, $L_p=3m$	44
Figure 3.12: Effet de la flexibilité du portique sur le modèle étudié a) Déplacement horizontal à mi-hauteur, b) Déplacement horizontal au sommet	44
Figure 3.13: Taux de cisaillement porté par le voile et le portique, pour $L_p=3,0m$	45

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau 2.1: les données	13
Tableau 2.2: étape du calcul	13
Tableau 2.3: Caractéristique du modèle (voile plein)	16
Tableau 3.1: Caractéristique du modèle numérique N°.3	44

liste des abreviations

σ_c : contrainte béton armé

f_{c28} : compression du béton 28 jours

Nu : charge de compression

e: épaisseur du voile en (m).

he: hauteur d'étage en (m).

Z : hauteur du bâtiment en (m).

A_i : zone de section

Y_G : bars de centre de gravité

I : moment d'inertie

E': module de deformation longitudinal

Z: hauteur du bâtiment en (m).

HL(i) : hauteur du linteau (i) en (m).

ai : largeur de l'ouverture (i) en (m).

Li : largeur trumeau (i) en (m).

C_i : distances entre les centres de gravité de deux trumeaux consécutifs

$\pi^{(i)}$: Effort tranchant

f : déformation du système

θ: rotation

$M^{(j)}$: Moment d'encastrement

N_1^j : Effort normal

T_1^j : Effort tranchant

Ψ_h : Déplacements relatifs dans le plan horizontal

Ψ_v : Déplacements relatifs dans le plan verticale

γ : Poids volumique

V : Coff. Poisson

L_p : Longueur/poutre

A :Section/poutre

Introduction Générale

Les voiles en béton armé sont des éléments importants dans les constructions à grande hauteur, vis-à-vis leur résistance contre les conséquences des effets majeurs dangereux, comme le cas de séisme et le vent. D'après l'aspect architectural, ces éléments peuvent être accompagnés par un attachement direct ou indirect avec un autre système de contreventement différent tel que les portiques. Ce dernier type est généralement caractérisé par un comportement différent que les voiles. Selon l'effet d'un ensemble des forces horizontales appliquées à chaque étage, il est constaté que pour un nombre d'étage important, le voile prend la déformation du mode flexionnel, par contre, le portique se comporte avec un mode de caractère de cisaillement. L'objectif de ce travail est d'investiguer l'influence de la flexibilité des portiques sur le comportement du voile associé.

Le premier chapitre consiste à éclaircir les différentes notions de base reliées aux voiles et portique, en définissant les conditions de dimensionnement, les modes de ruptures et les procédés de calcul des sollicitations, spécialement dans le cas des voiles avec file d'ouvertures. Dans ce contexte, le deuxième chapitre est bien détaillé la détermination des sollicitations d'un exemple qui représente une association directe voile-portique par l'exploitation de la méthode de Fuentes (1983). Dans le troisième chapitre, une étude paramétrique est effectuée en tenant compte, l'influence de la flexibilité des poutres composant le portique sur le déplacement et les sollicitations engendrées dans le voile associé. Cette étude paramétrique est subdivisée en trois exemples à traiter : le premier étudié représente, le cas proposé par Fuentes, un voile plein attaché directement au portique dans le même plan, le deuxième exemple représente un voile avec une seule file d'ouvertures, où la flexibilité du linteau peut jouer un effet important sur le comportement global du voile. Finalement, le troisième exemple qui représente l'association indirecte du portique avec le voile, qui définit la nature de l'interaction entre eux.

Enfin, le travail réalisé est terminé par une conclusion générale en donnant les importants résultats obtenus.

CHAPITRE I

1.1 Introduction

L'utilisation des voiles en béton armé dans les structures est l'un des moyens de contreventement le plus fréquent du fait que ces éléments présentent un comportement très satisfaisant vis-à-vis des charges latérales. Ils jouent donc un rôle primordial dans la sécurité et la stabilité des constructions lors des séismes. Un des objectifs actuels dans le domaine de la recherche est l'amélioration des méthodes d'évaluation du comportement non linéaire des voiles lors d'un séisme majeur. En effet, une bonne analyse de ce comportement exige des approches de modélisation très complexes pour être considérées comme fiables et robustes. Plusieurs techniques de modélisations ont été proposées par plusieurs chercheurs variant des modèles relativement simplifiés à des modèles très raffinés.

1.2 Les voiles

1.2.1 Définition

Les voiles ou murs de contreventement sont définis comme des éléments verticaux à deux dimensions dont la raideur hors plan est négligeable. dans leur plan, ils présentent généralement une grande résistance et une grande rigidité vis-à-vis des forces horizontales. par contre, dans la direction perpendiculaire à leur plan, ils offrent très peu de résistance vis-à-vis des forces horizontales et ils doivent être contreventés par d'autres murs ou par des portiques .[2]

1.2.2 Classification des voiles

Voile pleine où -voile sans raidisseur (figure1-1a) -voile avec raidisseur (figure1-1b) -voile avec une seule file d'ouverture (figure1-1c) -voile avec plusieurs files d'ouvertures (figure1-1d)

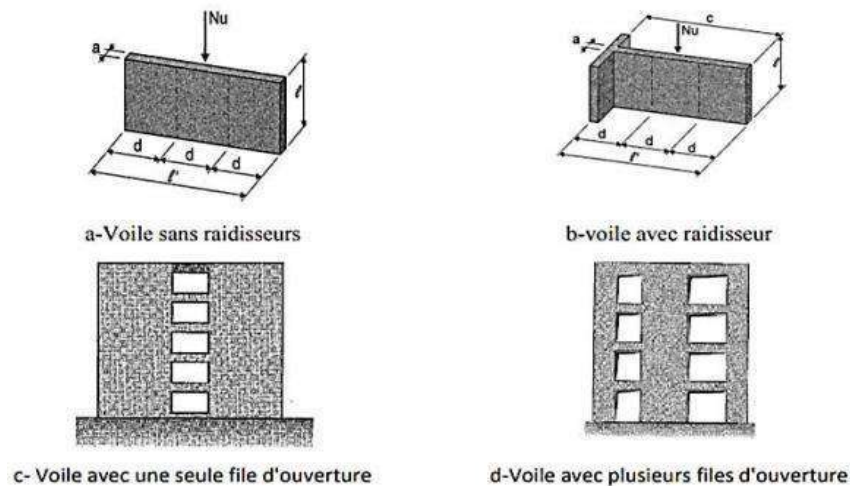


Figure 1.1 : Différent type des voiles.[5]

1.2.3 Rôles des voiles de contreventement :

- De reprendre les charges permanentes et d'exploitation apportée par les planchers
- De participer au contreventement de la construction (vent et séisme)
- D'assurer une isolation acoustique entre deux locaux, en particulier entre logements, chambres d'hôtels, etc.
- De servir de cloisons de séparation entre locaux

1.2.4 Modes du comportement des refends:

1.2.4.1 Modes rupture des voiles élancés.[5]

Il existe deux modes de comportements différents :

Rupture en flexion

- ❖ Mode de Rupture par plastification des armatures verticales tendues et écrasement du béton comprimé : C'est le schéma de ruine le plus satisfait qui correspond à la formation d'une rotule plastique dans la partie inférieure du voile avec une importante dissipation d'énergie .on observe ce mode de ruine dans les voiles très élancés. Soumis à un effort normal de compression faible et à un cisaillement modéré.
- ❖ Mode de Rupture par écrasement du béton : Ce mode de ruine se rencontre pour les voiles assez fortement armés soumis à un effort normal important .cette mode est moins ductile que le premier mode, surtout dans le cas d'une section rectangulaire.

Rupture en flexion-effort tranchant :

- ❖ Ce mode de rupture par plastification des armatures verticales de flexion et des armatures transversales. C'est ce qui se produit les voiles moyennement élancés où la flexion n'est plus prépondérante et où les armatures horizontales sont insuffisante

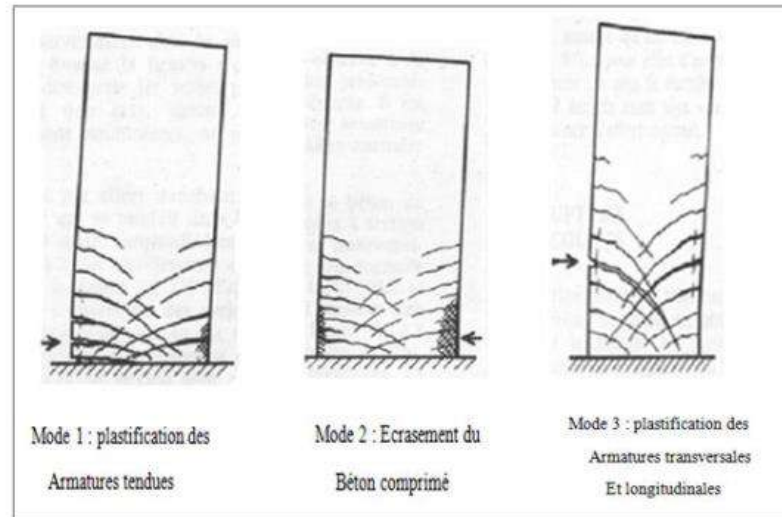


Figure 1.2: Mode de rupture des voiles élancés.[5]

1.2.5 Modes de rupture des voiles courts .[5]

Dans ce cas, l'effort tranchant est généralement prépondérant sur la flexion. Les principaux modes de rupture sont ceux de la figure ci-dessous on distingue trois cas :

- ❖ Rupture par glissement à l'encastrement, Ce mode de rupture conséquence de la plastification progressive des armatures verticales est accompagné d'importants glissements qui réduisent d'une façon significative la raideur et la dissipation hystérétique. Ce type de rupture peut aussi être obtenu lorsque les armatures verticales réparties sont insuffisantes.
- ❖ Rupture diagonale avec plastification ou rupture des armatures le long des fissures diagonales, Ce mode est rencontré dans les voiles moyennement armés sollicités par un faible effort normal

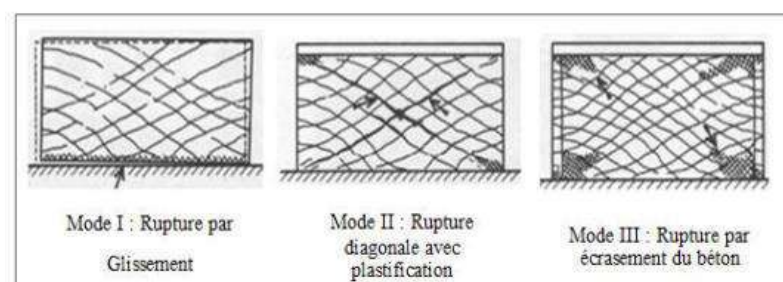


Figure 1.3: Mode de rupture des voiles.[5]

1.2.6 pré dimensionnement des voiles.[3]

L'épaisseur du voile doit satisfaire les 3 conditions du [RPA99/2003] suivantes

- $a \geq h_e / 20$ pour les voiles simples tel que: h_e la hauteur libre d'étage
- $a \geq 15\text{cm}$

- $L \geq 4.e$ avec L : la largeur du voile
- L : Porté du voile.
 e : Épaisseur du voile

Le redimensionnement des murs en béton armé est justifié par l'article 7.7.1. Ils servent d'une part à contreventer le bâtiment en reprenant les efforts horizontaux (séisme et vent).

- Les actions horizontales sont celles dues au séisme ou au vent.
- Les voiles assurant le contreventement sont continus jusqu'aux fondations.
- Seuls les efforts de translation seront pris en compte (ceux de la rotation ne sont pas pris en compte dans le cadre du redimensionnement).

D'après l'article 7.7.1 des RPA 99/Version 2003,

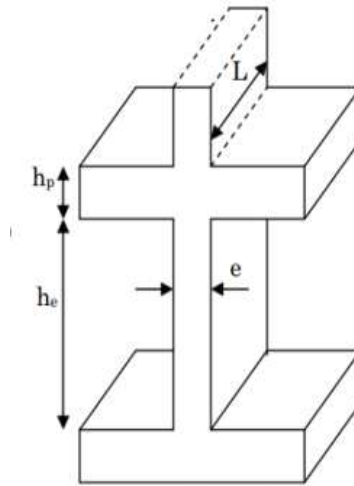


Figure 1.4: coupe de voile en élévation.[3]

L'épaisseur minimale est de 15cm. De plus, l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage (h_e) et des conditions de rigidité aux extrémité comme indiquée sur la figure suivante:

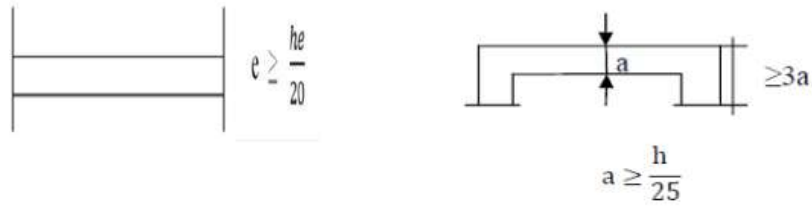


Figure 1.5: les coupes des voiles.[3]

1.2.7 Sollicitation des voiles

Le modèle le plus simple d'un voile est celui d'une console parfaitement encastree à la base, La figure 1.6 montre l'exemple d'un élément de section rectangulaire, soumis à

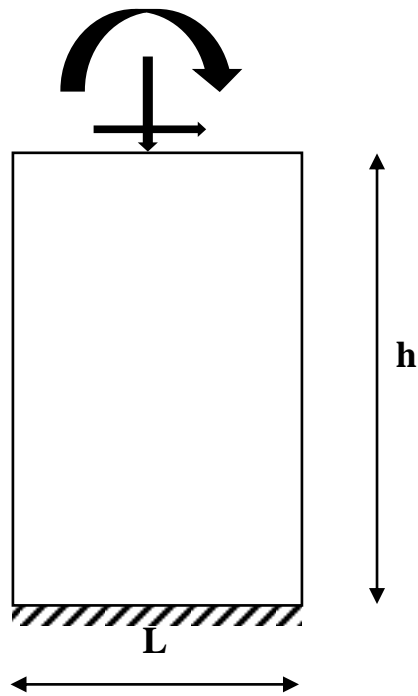


Figure 1.6: Sollicitation des voiles plane

une charge verticale N et une charge horizontale V en tête.

Le voile est donc sollicité par un effort normal N , un effort tranchant V constant sur toute la hauteur, et un moment fléchissant qui est maximal dans la section d'encastrement.

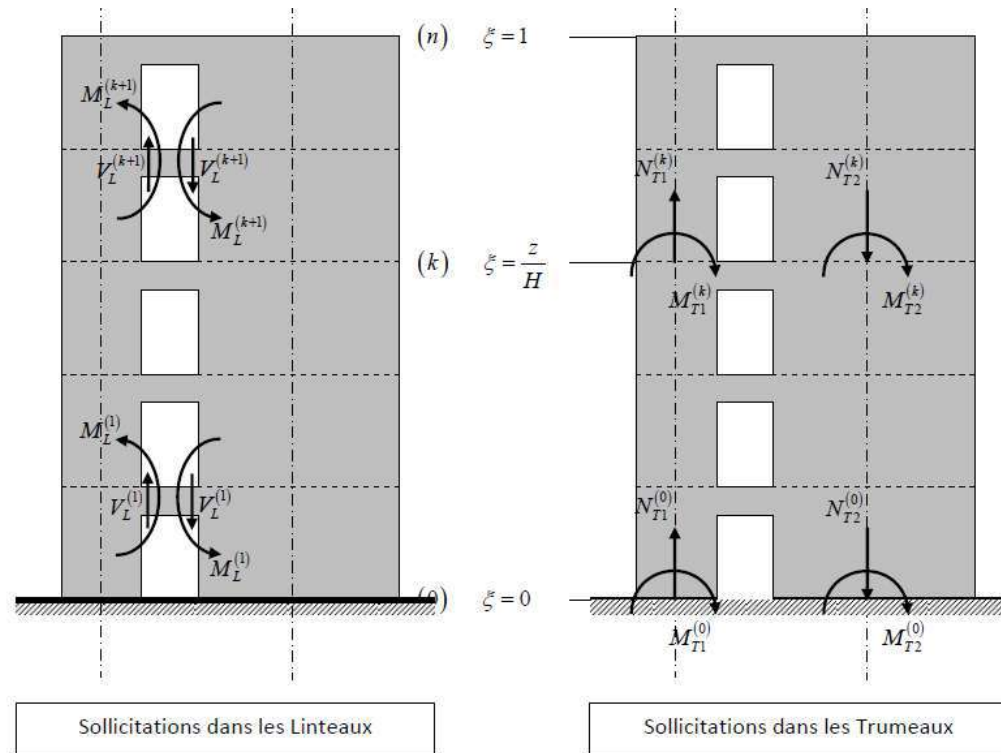


Figure 1.7: sollicitations voile avec une seule d'ouverture.[4]

1.3 Les poteaux

1.3.1 Définition

Ce sont des éléments porteurs, en béton armé, participant à la reprise des efforts sismiques et les efforts verticaux pour les acheminer vers la base.[2]

On peut trouver trois sortes de poteau BA :

- 1- Poteau isolé.
- 2- Poteau incorporé dans l'épaisseur d'un mur d'agglos.
- 3- En extrémité d'un mur

1.3.2 Les types des poteaux

Les types des poteaux se diffèrent en fonction de la nature des matériaux les constituant, On trouve alors : [2]

- ❖ Poteau en Acier
- ❖ Poteau en Béton Armé
- ❖ Poteau en Bois

Les Sections des poteaux

Des aspects les plus attrayants du béton armé pour l'architecte, réside dans la possibilité de diversifier les formes des poteaux et des colonnes. Ci après quelques-unes des formes possibles et envisageables avec le matériau béton armé.[2]

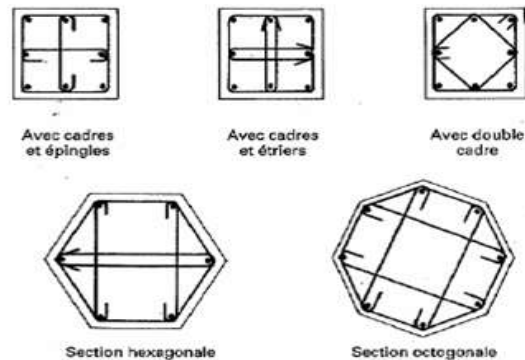


Figure 1.8: les sections des poteaux

1.3.3 Pré dimensionnement des poteaux En Béton Armé

Le pré dimensionnement des poteaux se fait selon 3 critères :

- ❖ Critère de résistance.
- ❖ Critère de stabilité de forme (flambement).
- ❖ Conditions de **RPA 99/version 2003**
- ❖ Selon le **BAEL99**

Le poteau qu'on va étudier est le poteau le plus sollicité, Supposons un poteau de section quelconque A soumis à une charge de compression N centrée.

Sous l'action de la charge N, se développe à l'intérieur de toute section du poteau une contrainte (pression) de compression ayant pour valeur.[3]

$$\sigma_c = \frac{N}{A} \quad (1-1)$$

Le Matériaux béton ayant une contrainte limite en compression à 28 jours (à ne pas dépasser) Notée f_{c28} , il serait alors logique d'écrire l'équation de résistance suivante.

$$\sigma_c \leq f_{c28} \quad (1-2)$$

Ainsi, connaissant l'effort Normal ultime sollicitant un poteau que l'on notera désormais N_u (dû aux seules charges verticales), ainsi la contrainte caractéristique en compression du béton f_{c28} prise égale à 25 Mpa, il devient alors facile à déterminer la section du poteau comme:

$$A \geq \frac{N_u}{f_{c28}} \quad (1-3)$$

A : représente la section du poteau

$A = a \times b$ pour un poteau rectangulaire de cotés a et b

$A = a^2$ pour un poteau carré de coté a

$A = \pi \times d^2/4$ dans le cas d'un poteau circulaire de diamètre d

1.4 Les Poutres

Ce sont les poutres susceptibles de reprendre les charges provenant des poutrelles, elles sont disposées perpendiculairement aux poutrelles. [2]

Selon le BAEL91 le pré dimensionnement des poutres se fait en utilisant la condition suivante :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \quad (1-4)$$

$$0.3h \leq b \leq 0.7h \quad (1-5)$$

1.5 Conclusion

Nous avons présenté une généralité sur les système de contreventement des voiles et les modes de ruptures et les procédés de calcul des sollicitations .

CHAPITRE II

2.1 Introduction

Afin de connaître l'effet des efforts horizontaux sur les structures en béton, nous avons mené une étude analytique sur l'effet des efforts horizontaux sur les éléments porteurs de la structure et les forces résistantes, ainsi que sur la connaissance de l'effet combiné entre eux.

2.2 Cas du voile plein .[2]

Les voiles ou murs de contreventement peuvent être généralement définis comme des éléments verticaux à deux dimensions dont raideur hors plan est négligeable, dans leur plan, ils présentent généralement une grande résistance et une grande rigidité vis-à-vis des forces horizontales.

pour calculer les forces horizontales appliquées, les voiles sont simulés comme des consoles avec les mêmes forces lui sont appliquées comme dans la figure suivante

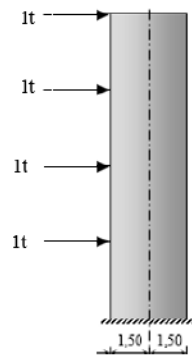


Figure 2.1: voile plein avec la force horizontale

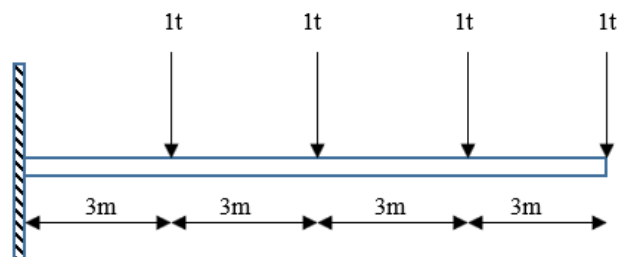


Figure 2.2:Modèle de console

Nous avons déterminé les sollicitations Comme présenté ci-dessous :

le tableau 2.1 présenté les données de ntre propbème

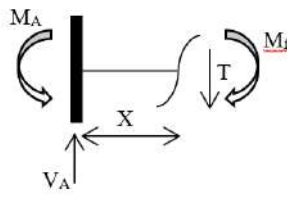
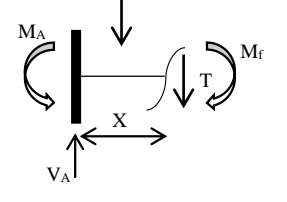
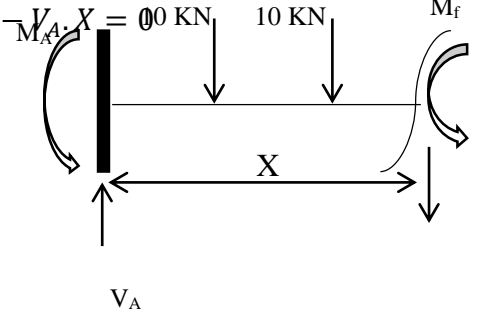
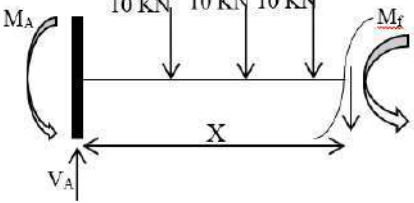
Tableau 2.1 les données

<p>$e = 0.3$ m : épaisseur du voile en (m). $h_e = 3$ m : hauteur d'étage en (m). $Z = 3$ m : hauteur du bâtiment en (m). A_i = zone de section Y_G = bars de centre de gravité I = moment d'inertie</p>

Les étapes de calcul des sollicitation sont résumés dans le tableau 2.2

Tableau 2.2 : étape du calcul

Sollicitation et Déformation	étape du calcul	Résultats
Déformation	$f_1 = \frac{\sum A_{1i} \times Y_{1i}}{EI}$ $f_2 = \frac{\sum A_{2i} \times Y_{2i}}{EI}$ $f_3 = \frac{\sum A_{3i} \times Y_{3i}}{EI}$ $f_4 = \frac{\sum A_{4i} \times Y_{4i}}{EI}$	$f_1 = 0,8254$ cm $f_3 = 0,5429$ cm $f_2 = 0,2825$ cm $f_4 = 0,0825$ cm
	<p><u>travée (1-1) $0 \leq X \leq 3$</u></p> <p>$V_A = 40$ KN</p> $\sum M/A = 0 \rightarrow M_A - 10(3) - 10(6) - 10(9) - 10(12) = 0$ $\sum M/G = 0 \rightarrow M_A + M_f - V_A \cdot X = 0$	$M_A = 300$ KN.m $V_A = 40$ KN <u>travée (1-1)</u> $M_{(0)} = -300$ KN.m $M_{(3)} = -180$ KN.m

<p>Moment fléchissant</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Travée (2-2) $3 \leq X \leq 6$</p> $\sum M/G = 0 \rightarrow M_A + M_f + 10(X - 3) - V_A(X) = 0$ <div style="text-align: center;">  </div> <p>Travée (3-3) $6 \leq X \leq 9$</p> $\sum M/A = 0 \rightarrow M_A - M_f + 10(X - 6) + 10(X - 3) - V_A \cdot X = 0$ <div style="text-align: center;">  </div> <p>Travée (4-4) $9 \leq X \leq 12$</p> $\sum M/A = 0 \rightarrow M_A - M_f + 10(X - 9) + 10(X - 6) + 10(X - 3) - V_A \cdot X = 0$ <div style="text-align: center;">  </div>	<p>Travée (2-2)</p> <p>$M_{(3)} = -180 \text{ KN.m}$</p> <p>$M_{(6)} = -90 \text{ KN.m}$</p> <p>Travée (3-3)</p> <p>$M_{(6)} = -90 \text{ KN.m}$</p> <p>$M_{(9)} = -30 \text{ KN.m}$</p> <p>Travée (4-4)</p> <p>$M_{(9)} = -30 \text{ KN.m}$</p> <p>$M_{(12)} = 0 \text{ KN.m}$</p>
----------------------------------	---	--

Effort tranchant	<u>travée (1-1) $0 \leq X \leq 3$</u>	<u>travée (1-1)</u>
	$T(X)=M'_f(X)$	$T_{(0)} = 40 \text{ KN}$
	$T(X)=V_A$	$T_{(3)} = 40 \text{ KN}$
	<u>Travée (2-2) $3 \leq X \leq 6$</u>	<u>Travée (2-2)</u>
$T(X)=V_A-10$	$T_{(3)} = 30 \text{ KN}$	
		$T_{(6)} = 30 \text{ KN}$
	<u>Travée (3-3) $6 \leq X \leq 9$</u>	<u>Travée (3-3)</u>
$T(X)=V_A-20$		$T_{(6)} = 20 \text{ KN}$
		$T_{(9)} = 20 \text{ KN}$
	<u>Travée (4-4) $9 \leq X \leq 12$</u>	<u>Travée (4-4)</u>
$T(X)=V_A-30$		$T_{(6)} = 10 \text{ KN}$
		$T_{(9)} = 10 \text{ KN}$

2.3 Cas du voile avec ouvertures

2.3.1 méthodes du calcul

On utilise la méthode d'albige's et goulet

❖ Hypothèses : .[1]

Cette méthode est basée sur les hypothèses générales suivantes :

- Les efforts localisés transmis par les linteaux peuvent être considérés comme répartis le long de la fibre moyenne de chaque élément du voile.
- Les éléments du voile (trumeaux) subissent le même déplacement horizontal au niveau de chaque étage.

Ces deux hypothèses conduisent à admettre qu'un refend présentant des ouvertures peut être assimilé, du point de vue de la résistance aux efforts horizontaux, à la structure constituée par deux éléments de refend liés par des linteaux uniformément distribués sur la hauteur du bâtiment. Il est admis en outre que :

- La hauteur (h_e) de l'étage est constante.
- Les linteaux qui lient les deux trumeaux du voile ont tous les mêmes caractéristiques géométriques

- Les linteaux ont une inertie transversale faible vis-à-vis de celle des trumeaux

la Vérification de l'équilibre extérieur :

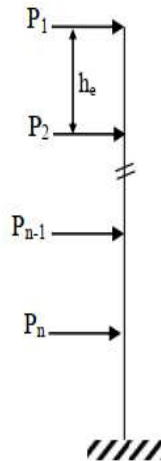


Figure 2.3: voile avec charge horizontal

$$M_{\text{ext}} = M_{\text{int}}$$

$$M_{\text{int}} = \sum_{k=1}^{m+1} M_{tr}^k + \sum_{k=1}^m (N_k \cdot \sum_{i=k}^m c_i) \quad (2-1)$$

$$M_{\text{ext}} = h_e \cdot [P_1 \cdot n + P_2 \cdot (n - 1) + \dots + P_n]$$

tableau 2.3: Caractéristique du modèle (voile plein)

<p>E: module de déformation longitudinale du matériau constituant les trumeaux en (t/m²).</p> <p>E': module de déformation longitudinale du matériau constituant les linteaux en n (t/m²). Généralement ; E = E'</p> <p>e: épaisseur du voile en (m).</p> <p>he: hauteur d'étage en (m).</p> <p>Z: hauteur du bâtiment en (m).</p> <p>HL(i) : hauteur du linteau (i) en (m).</p> <p>ai : largeur de l'ouverture (i) en (m).</p> <p>Li : largeur trumeau (i) en (m).</p> <p>Ci : distances entre les centres de gravité de deux trumeaux consécutifs => (i+1) en (m)</p> <p>Pi: forces horizontales appliquées en chaque niveau en Tonne</p>
--

Remarque.1 :

L'action des forces horizontales (vent ou séisme) peuvent changer de sens, il s'avère donc nécessaire de tenir compte du changement de signe des différentes sollicitations (M, T, N) en particulier (M, N), dans les combinaisons d'action avec ceux des charges verticales et par conséquent dans le calcul du ferrailage de différents éléments du voile.

Cette méthode de calcul est valable quel que soit la nature de l'action horizontale (vent, séisme).

- Voile à une seule file d'ouvertures.

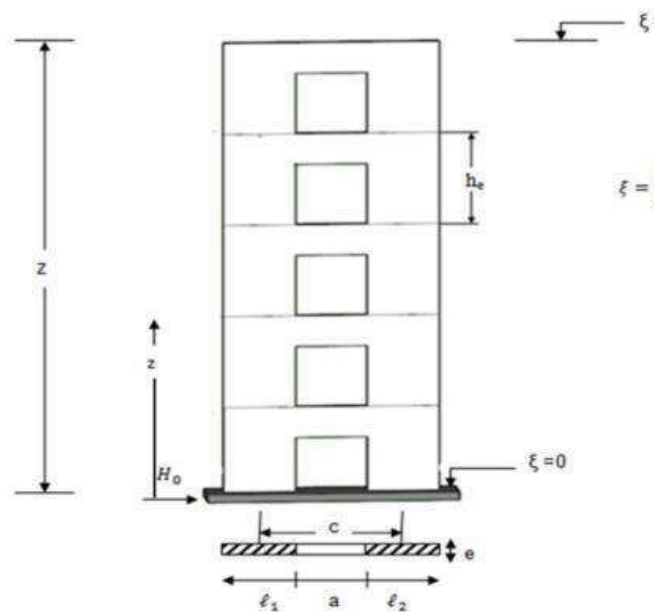


Figure 3.4: Voile une seule file d'ouvertures.[5]

2.3.2 Étapes de calcul

- Voile à une seule file d'ouvertures.

Suivant l'importance de l'intervention des linteaux dans la stabilité du voile sous l'action des forces horizontales, on distinguera par la suite trois cas pour lesquels on donnera des procédures de calculs particulières. Grâce à la valeur du coefficient α représentant le degré de concordance du voile, il est possible de fixer approximativement les limites d'application suivante.[1]

➤ **Évaluation de la valeur de α**

Calcul de la section et l'inertie de chaque trumeau

Voir l'annexe

- Inertie du linteau:

$$I = \frac{e \times h_L^3}{12} \quad (2-2)$$

Moment statique de chacun des trumeaux par rapport au centre de gravité de l'ensemble.

$$m = \frac{c}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}} \quad (2-3)$$

- Inertie totale du voile :

$$I = I_1 + I_2 + m \cdot c$$

$$\omega = \sqrt{\left[\frac{12 \cdot E' \cdot i}{E(I_1 + I_2)} \frac{I}{m} \frac{c}{a^3 \cdot h_e} \right]} \quad (2-4)$$

Cas général: E=E

$$\omega = \sqrt{\left[\frac{12 \cdot E' \cdot i}{E(I_1 + I_2)} \frac{I}{m} \frac{c}{a^3 \cdot h_e} \right]} \quad (2-5)$$

Cas général. [1]

Voiles à moyennes ouvertures $1 \leq \alpha \leq 10$

La méthode d'Albigès-Goulet est basée sur les deux hypothèses principales suivantes:

a): Les efforts localisés transmis par les linteaux à chaque niveau peuvent être considérés comme répartis le long de la fibre moyenne de chaque élément de refend (trumeaux); ceci n'est valable que si les éléments de refend ont une largeur suffisante vis-à-vis de la hauteur de l'étage.

b): Les éléments de refend (trumeaux) subissent le même déplacement horizontal à chaque étage.

Il est admis en outre que:

- Le bâtiment est élevé (nombre étage ≥ 7).
- La hauteur (h_e) de l'étage est constante.
- Les linteaux ont tous les mêmes caractéristiques géométriques.
- L'inertie (i) des linteaux est faible vis-à-vis de celle de chacun des éléments de refend (trumeaux) I_1 et I_2 .
- Les refends présentent sur toute la hauteur du bâtiment des caractéristiques géométriques et mécaniques constantes.
- Les deux éléments de refend sont encastres à leur base.
- Les efforts horizontaux sont supposés être uniformément répartis sur toute la hauteur du bâtiment.
- Effort tranchant T , à la section d'encastrement des linteaux en chaque niveau est: La position de la section d'encastrement des linteaux dans les éléments de refend peut être définie avec une Précision suffisante.
- L'attention doit être attirée sur la variation notable des efforts calculés, en fonction de la position de cette section

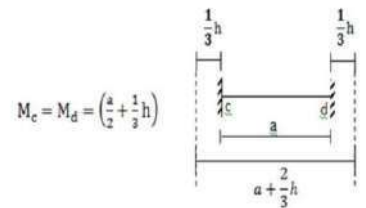


Figure 2.5: lindeau

Détermination de l'effort tranchant H_0 à la base du voile

$$H_0 = P_1 + P_2 + \dots + P_{n-1} \quad (2-6)$$

Sollicitations au niveau des linteaux.

Effort tranchant π , à la section d'encastrement des linteaux en chaque niveau est:

$$\pi^{(i)} = H_0 \frac{m \cdot H_e}{I} \cdot \Phi \quad (2-7)$$

Moment d'encastrement (M) en chaque niveau est:

$$M^{(j)} = \pi^{(j)} \cdot \frac{a}{2} \quad (2-8)$$

Remarque importante:

Au voisinage de la section d'encastrement, on étudie le linteau le plus sollicité situé au niveau correspondant à la valeur de ξ d'environ 0.1 à 0.3, et on ferraille pratiquement d'une manière identique les autres linteaux jusqu'à la base du voile.

• **Sollicitation au niveau des trumeaux.**

Moments fléchissant dans les trumeaux en chaque niveau:

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot H_0 \cdot Z \cdot \left[\frac{(1 - \varepsilon)^2}{2} - \frac{c \cdot m}{I} \cdot \psi \right] \quad (2-9)$$

$$M_2 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot H_0 \cdot Z \cdot \left[\frac{(1 - \varepsilon)^2}{2} - \frac{c \cdot m}{I} \cdot \psi \right] \quad (2-10)$$

Effort normal en chaque niveau:

$$N_1^j = \pi_1^1 + \pi_1^2 + \dots + \pi_1^{(j-1)} = \sum_{i=1}^{j-1} \pi_1^i \quad (2-11)$$

$$N_2^j = \pi_2^1 + \pi_2^2 + \dots + \pi_2^{(j-1)} = \sum_{i=1}^{j-1} \pi_2^i \quad (2-12)$$

Effort tranchant en chaque niveau:

$$T_1^j = T^j \cdot \frac{I_1}{I_1 + I_2}, \quad T_2^j = T^j \cdot \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad (2-13)$$

(j): indique le niveau.

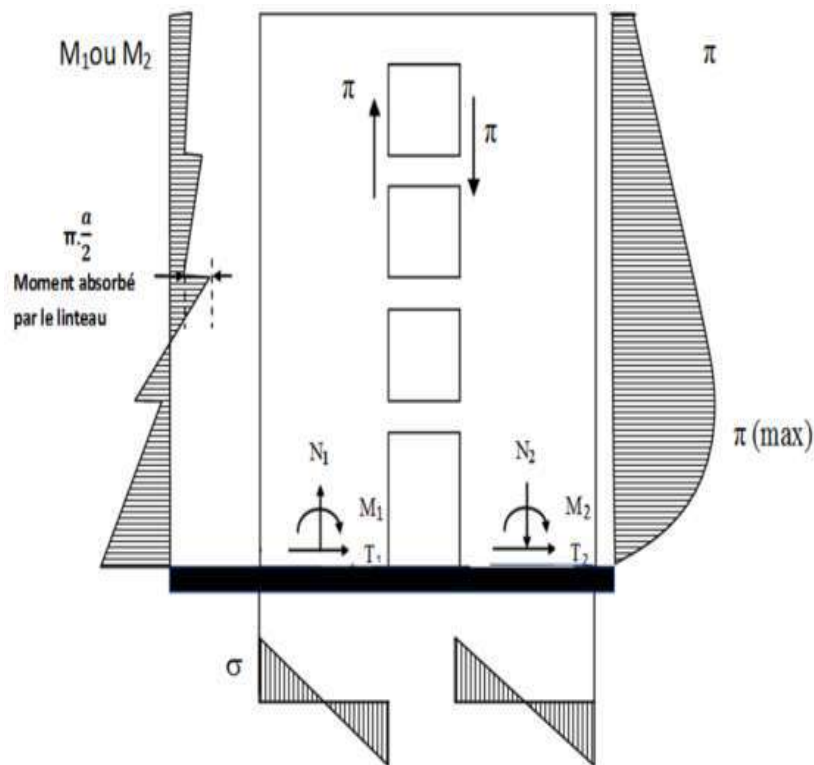


Figure 2.6: Schéma des sollicitations –résultats.[4]

2.4 Approche itérative de Fuentes

➤ Hypothèses de calcul .[4]

Ce cas correspondant à celui représenté sur la figure 2.6, par exemple. Le calcul d'un tel système peut être effectué en procédant en deux phases :

Dans une première phase, on suppose que tout l'effort est repris par le refend. La déformation du mur, sous une telle sollicitation, impose alors au portique un déplacement semblable à celui du refend.

la seconde phase du calcul, on détermine les « réactions » du portique dans l'hypothèse où il est soumis aux mêmes déplacements que le refend. Sous l'effet de ces « réactions », le refend prend une nouvelle position.

Nous avons ainsi deux cas limites entre lesquels se situe la flèche exacte du système

portique-refend.

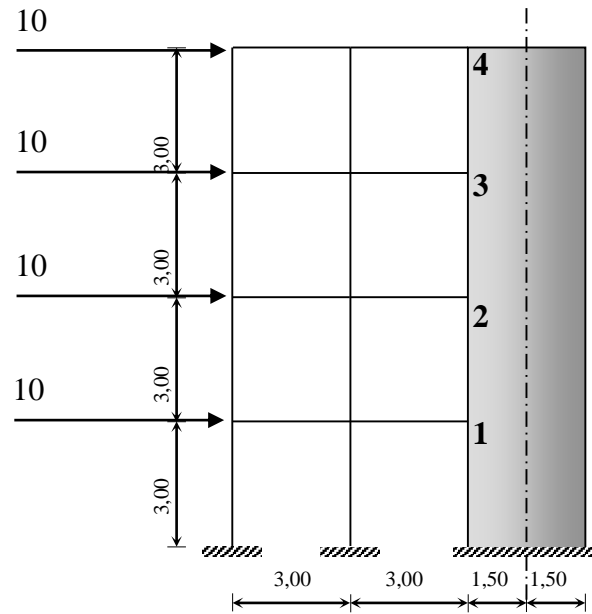


Figure 2.7: Refend associé avec un portique

Le problème peut être résolu par itération et par conséquent, il nécessite l'utilisation du programme, qu'on a formulé.

On choisit, à chaque niveau, un déplacement correspondant à la moyenne de deux déplacements calculés au cours des deux étapes précédentes. A cette flèche, imposée au portique, correspondent des « réactions » bien déterminées.

Le refend est ainsi soumis à la totalité de l'effort extérieur diminué des « réactions » du portique. Il faut vérifier que, dans une telle sollicitation, le refend prend effectivement la déformation choisie.

S'il n'en est pas ainsi, on devra à nouveau fixer une flèche moyenne entre celle précédemment choisie et celle qui vient d'être calculée.

Le processus se poursuit jusqu'à ce que l'équilibre soit obtenu.

Réactions du portique

Elles sont déterminées à partir des déplacements imposés, à chaque niveau, au portique.

Le calcul des rotations des nœuds nous permet de connaître les moments dans les traverses (poutres) et les poteaux. La somme des efforts tranchants, dans les poteaux d'un même étage, représente précisément la réaction du portique pour le niveau considéré.

La déformation du système portique-refend, ainsi que les moments qui en résultent, sont représentés sur la figure ci-après.

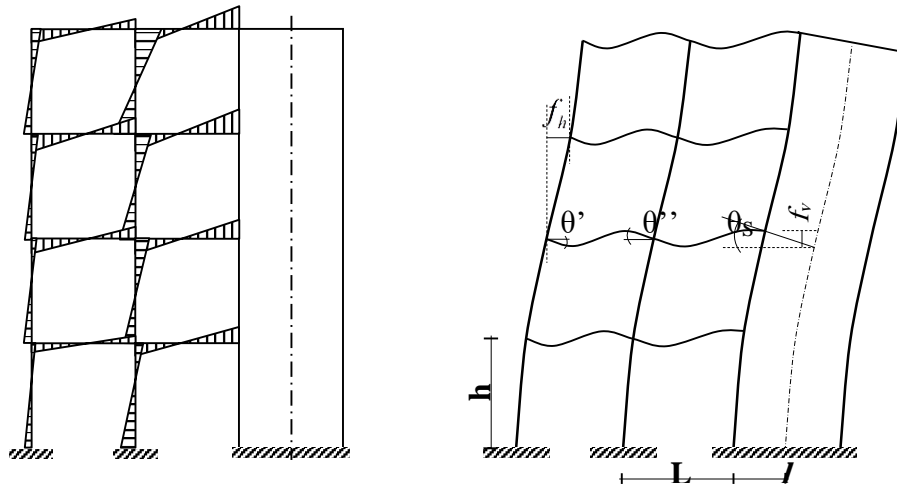


Figure 2.8: Déformation et moments d'un système portique-refend.

On doit noter qu'à l'effort horizontal, déterminé à chaque étage, vient s'ajouter l'effort du moment d'encastrement de la poutre dans le refend. Ce moment est calculé en tenant compte du déplacement vertical du parement intérieur du refend (ce déplacement s'exprime en fonction de la rotation du refend au niveau considéré).

Pour calculer les rotations dans les portique. Nous devons exprimer que chaque nœud est en équilibre, en écrivant que la somme des moments au droit de ce nœud est nulle.

La première valeur de la rotation d'un nœud sera établie en supposant que la rotation du nœud, à l'extrémité opposée de la barre qui aboutit au nœud considéré, est nulle.

Les nœuds seront partagés en deux groupes afin d'accélérer la convergence. Les rotations obtenues après douze ou treize tours (cycles), au cours desquels on a écrit que les nœuds sont en équilibre, permettent d'avoir des résultats très suffisants pour la détermination des réactions.

2.5 Exemple numérique

Considérons un refend de 3 m de la largeur et 0.30 m d'épaisseur, lié à un portique dont les poteaux ont une inertie de $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ et les poutres une inertie de $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$. La longueur des poteaux et des poutres est de 3 m. la hauteur du bâtiment correspond à 4 niveaux. Chaque niveau est soumis à une force horizontale de 1 tonne (**Figure.2.9**).

Il faut préciser qu'il s'agit là d'un portique très rigide (poteaux 31,5x70) et poutres (31,5x55,5) qui permettra de mettre en évidence les différentes phases du calcul.[4]

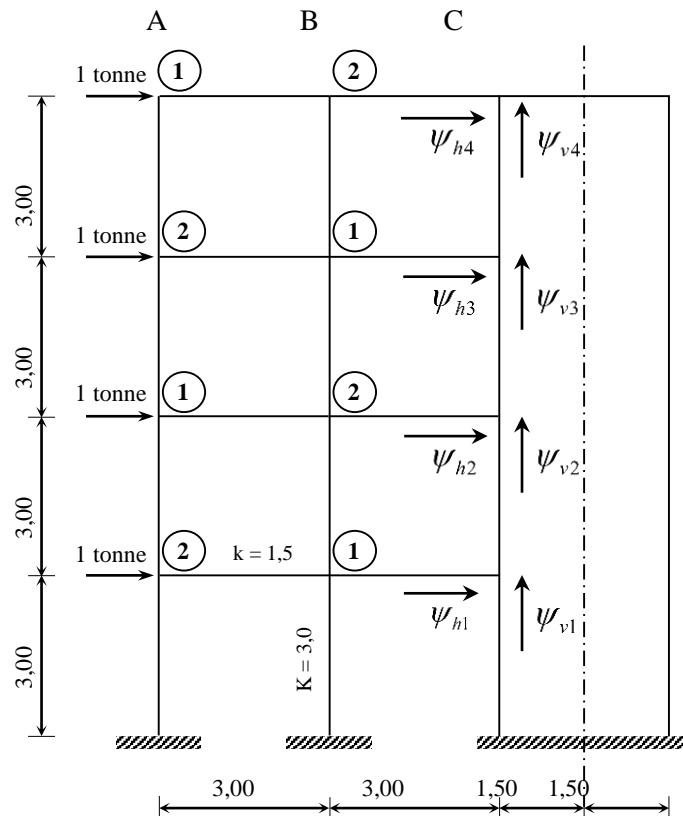


Figure2.9: Déplacements au droit des nœuds de jonction d'un système portique-voile

Inertie du refend : $\frac{0,30 \times 3,00^3}{12} = 0,675m^4$

La flèche d'un refend, ayant ces caractéristiques, soumis à une série de forces R_1, R_2, R_3, R_4 est facilement obtenu par la méthode de « Verechtchagino ».

Définissons le diagramme des moments (Figure.2.10).

Nous obtenons ainsi :

$$f_{h4} = \frac{576.R_4 + 364,5.R_3 + 180.R_2 + 49,5.R_1}{0,675.E}$$

$$f_{h3} = \frac{364,5.R_4 + 243.R_3 + 126.R_2 + 36.R_1}{0,675.E}$$

$$f_{h2} = \frac{180.R_4 + 126.R_3 + 72.R_2 + 22,5.R_1}{0,675.E}$$

$$f_{h1} = \frac{49,5.R_4 + 36.R_3 + 22,5.R_2 + 9.R_1}{0,675.E}$$

Pour $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1$ tonne.

$$f_{h4} = \frac{1,733}{E} \quad , \quad f_{h3} = \frac{1,140}{E}$$

$$f_{h2} = \frac{5,93}{E} \quad , \quad f_{h1} = \frac{173,3333}{E}$$

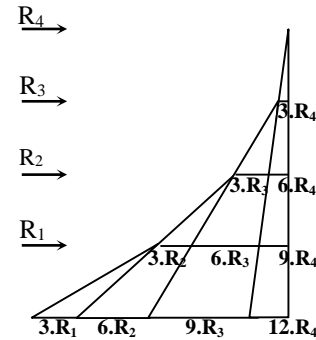


Figure 2.10: Moments de la console

Alors que la rotation, à chaque niveau, a pour valeur :

$$\theta_{S4} = \frac{2,00}{E} \quad , \quad \theta_{S3} = \frac{1,9333}{E}$$

$$\theta_{S2} = \frac{1,666}{E} \quad , \quad \theta_{S1} = \frac{1,066}{E}$$

Dans l'hypothèse où le refend reprend à lui seul toutes les forces extérieures, les données permettant de déterminer les réactions du portique sont les suivantes :

a) Déplacements relatifs dans le plan horizontal.

$$\psi_{h4} = \frac{f_{h4} - f_{h3}}{h} = \frac{1,733 - 1,140}{3.E} = \frac{5,933}{3.E} = \frac{1,977}{E}$$

$$\psi_{h3} = \frac{f_{h3} - f_{h2}}{h} = \frac{1,140 - 5,933}{3.E} = \frac{5,467}{3.E} = \frac{1,822}{E}$$

$$\psi_{h2} = \frac{f_{h2} - f_{h1}}{h} = \frac{5,933 - 1,733}{3.E} = \frac{4,20}{3.E} = \frac{1,40}{E}$$

$$\psi_{h1} = \frac{f_{h1}}{h} = \frac{1,733}{3.E} = \frac{0,577}{E}$$

b) Déplacements verticaux des poutres, au droit du parement intérieur du refend.

$$f_{v4} = \theta_{S4} \cdot l_v = \frac{2,00}{E} \cdot 1,5 = \frac{3,00}{E} \quad \text{d'où} \quad \psi_{v4} = \frac{f_{v4}}{L_t} = \frac{3,00}{3.E} = \frac{1,00}{E}$$

$$f_{v3} = \theta_{S3} \cdot l_v = \frac{1,933}{E} \cdot 1,5 = \frac{2,90}{E} \quad \text{d'où} \quad \psi_{v3} = \frac{2,90}{3.E} = \frac{0,966}{E}$$

$$f_{v2} = \theta_{S2} \cdot l_v = \frac{1,667}{E} \cdot 1,5 = \frac{2,50}{E} \quad \text{d'où} \quad \psi_{v2} = \frac{2,50}{3.E} = \frac{0,833}{E}$$

$$f_{v1} = \theta_{S1} \cdot l_v = \frac{1,066}{E} \cdot 1,5 = \frac{1,60}{E} \quad \text{d'où} \quad \psi_{v1} = \frac{1,60}{3.E} = \frac{0,533}{E}$$

c) Raideurs des barres.

$$\text{Pour les poutres} \quad K_t = \frac{I_t}{L_t} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Pour les poteaux} \quad K_p = \frac{I_p}{L_p} = \frac{9,0 \cdot 10^{-3}}{3} = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

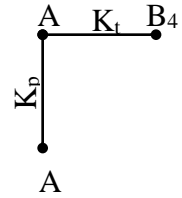
Calcul des rotations

Les nœuds sont partagés en deux groupes (FIG.2.9).

Pour le groupe 1, on suppose, dans un premier temps, que les autres extrémités des barres aboutissant au nœud considéré, ont une rotation nulle, on doit écrire :

- **Nœud : A₄** (l'indice 4 désigne le 4^e niveau).

$$M_{A_4 A_3} + M_{A_4 B_4} = 0$$



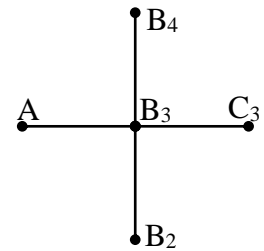
Soit :

$$2.E.K_p \cdot (2.\theta_{A_4} + \theta_{A_3} - 3.\psi_{h_{A_4 A_3}}) + 2.E.K_t \cdot (2.\theta_{A_4} + \theta_{B_4} - 3.\psi_{h_{A_4 B_4}}) = 0$$

$$2.E.3 \cdot (2.\theta_{A_4} - 3.\frac{5,933}{3.E}) + 2.E.1,5 \cdot (2.\theta_{A_4}) = 0 \quad \underline{E.\theta_{A_4} = 1,977}$$

- **Nœud : B₃**

$$M_{B_3 A_3} + M_{B_3 B_4} + M_{B_3 B_2} + M_{B_3 C_3} = 0$$



$$2.E.K_t \cdot (2.\theta_{B_3} + \theta_{A_3} - 3.\psi_{h_{B_3 A_3}}) + 2.E.K_p \cdot (2.\theta_{B_3} + \theta_{B_4} - 3.\psi_{h_{B_3 B_4}}) +$$

$$2.E.K_p \cdot (2.\theta_{B_3} + \theta_{B_2} - 3.\psi_{h_{B_3 B_2}}) + 2.E.K_t \cdot (2.\theta_{B_3} + \theta_{S_3} + 3.\psi_{v_3}) = 0$$

$$2.E.1,5 \cdot (2.\theta_{B_3}) + 2.E.3 \cdot (2.\theta_{B_3} - 3.\frac{5,933}{3.E}) + 2.E.3 \cdot (2.\theta_{B_3} - 3.\frac{5,466}{3.E})$$

$$+ 2.E.1,5 \cdot (2.\theta_{B_3} + \frac{1,933}{E} + 3.\frac{2,90}{3.E}) = 0 \quad \underline{E.\theta_{B_3} = 1,497}$$

- **Nœud : A_2**

$$M_{A_2A_3} + M_{A_2A_1} + M_{A_2B_2} = 0$$

$$2. E. 3. (2.\theta_{A_2} - 3. \frac{5,467}{3.E}) + 2. E. 3. (2.\theta_{A_2} - 3. \frac{4,20}{3.E}) + 2. E. 1,5. (2.\theta_{A_2}) = 0$$

$$\underline{E. \theta_{A_2} = 1,933}$$

- **Nœud : B_1**

$$M_{B_1A_1} + M_{B_1B_2} + M_{B_1C_1} + M_{B_1O} = 0$$

$$2. E. 1,5. (2.\theta_{B_1}) + 2. E. 3. (2.\theta_{B_1} - 3. \frac{4,20}{3.E}) + 2. E. 1,5. (2.\theta_{B_1} + 3. \frac{1,066}{3.E} + \frac{1,60}{E})$$

$$+ 2. E. 3. (2.\theta_{B_1} - 3. \frac{1,733}{3.E}) = 0$$

$$\underline{E. \theta_{B_1} = 0,766}$$

Pour le groupe 2, on se servira des valeurs du groupe 1 pour rechercher les rotations, on aura ainsi en ;

- **Nœud : B_4**

$$M_{B_4A_4} + M_{B_4B_3} + M_{B_4C_4} = 0$$

$$2.E.K_t.(2.\theta_{B_4} + \theta_{A_4} - 3.\psi_{h_{B_4A_4}}) + 2. E. K_p.(2.\theta_{B_4} + \theta_{B_3} - 3.\psi_{h_{B_4B_3}}) + 2.E.K_t.(2.\theta_{B_4} + \theta_{S_4} + 3.\psi_{v_4}) = 0$$

$$2. E. 1,5. (2.\theta_{B_4} + \frac{1,977}{E}) + 2. E. 3. (2.\theta_{B_4} + \frac{1,497}{E} - 3. \frac{5,933}{3.E})$$

$$+ 2. E. 1,5. (2.\theta_{B_4} + \frac{2,00}{E} + 3. \frac{3,00}{3.E}) = 0$$

$$\underline{E. \theta_{B_4} = 0,236}$$

- **nœud : A_3**

$$M_{A_3A_4} + M_{A_3A_2} + M_{A_3B_3} = 0$$

$$2. E. 3. (2.\theta_{A_3} + \frac{1,977}{E} - 3. \frac{5,933}{3.E}) + 2. E. 3. (2.\theta_{A_3} + \frac{1,933}{E} - 3. \frac{5,466}{3.E})$$

$$+ 2. E. 1,5. \left(2.\theta_{A_3} + \frac{1,497}{E} \right) = 0$$

$$\underline{E. \theta_{A_3} = 1,348}$$

- ***nœud* : B_2**

$$M_{B_2A_2} + M_{B_2B_3} + M_{B_2B_1} + M_{B_2C_2} = 0$$

$$2. E. 1,5. \left(2.\theta_{B_2} + \frac{1,933}{E} \right) + 2. E. 3. \left(2.\theta_{B_2} + \frac{1,497}{E} - 3. \frac{5,467}{3.E} \right)$$

$$+ 2. E. 3. \left(2.\theta_{B_2} + \frac{0,766}{E} - 3. \frac{4,20}{3.E} \right) + 2. E. 1,5. \left(2.\theta_{B_2} + \frac{1,66}{E} - 3. \frac{2,50}{3.E} \right) = 0$$

$$\underline{E. \theta_{B_2} = 0,725}$$

- ***Nœud* : A_1**

$$M_{A_1A_2} + M_{A_1B_1} + M_{A_10} = 0$$

$$2. E. 3. \left(2.\theta_{A_1} + \frac{1,933}{E} - 3. \frac{4,20}{3.E} \right) + 2. E. 1,5. \left(2.\theta_{A_1} + \frac{0,766}{E} \right)$$

$$+ 2. E. 3. \left(2.\theta_{A_1} + -3. \frac{1,733}{3.E} \right) = 0$$

$$\underline{E. \theta_{A_1} = 0,723}$$

On devra poursuivre la recherche des rotations, en observant le même procédé jusqu'à ce que l'équilibre sera vérifié dans les nœuds du portique.

A la fin du 13^e cycle, on peut remarquer que les nœuds du portique sont en équilibre, et par conséquent on peut déterminer la valeur des moments à partir des rotations obtenues sur la figure ci-dessous, sur lequel on a noté la valeur des rotations au premier, deuxième, troisième et treizième cycle.

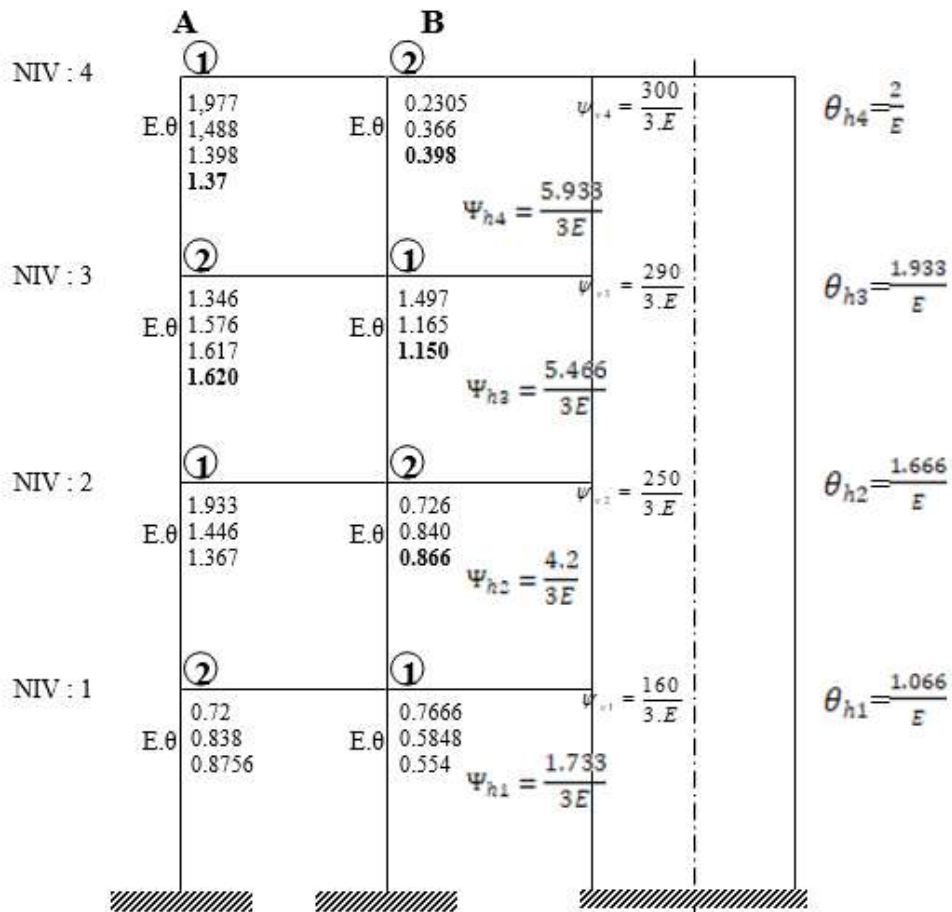


Figure2.11: Valeurs de rotations pour 1er, 2e, 3e et 13e cycle

Dans l'exemple choisi, les moments ont pour valeur :

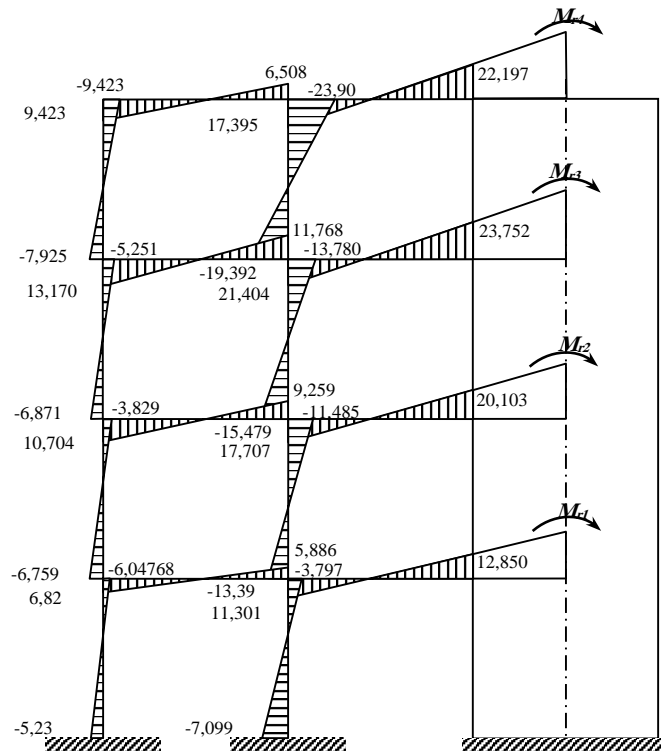


Figure2.12: Valeurs des moments.

La somme des moments dans les poteaux de l'étage 4 est par suite

$$\sum M = -60,645 \text{ KN.m}$$

d'où la valeur de l'effort tranchant d'étage aux niveaux 4, 3, 2 et 1 :

$$T_4 = \frac{60,64}{3} = 20,215 \text{ KN}$$

$$T_3 = \frac{41,387 - 60,648}{3} = -6,419 \text{ KN}$$

$$T_2 = \frac{35,463 - 41,387}{3} = -1,974 \text{ KN}$$

$$T_1 = \frac{16,186 - 35,463}{3} = -6,425 \text{ kN}$$

Ce diagramme des moments peut être remplacé par un système de forces au droit des nœuds :

Par exemple : Élément (A₃-A₄)

$$\sum M = -7,925 - 9,423 = -17,349 \text{ kN.m}$$

$$T_{A_3} = -T_{A_4} = \frac{\sum M}{h_e} = -5,783 \text{ kN.}$$

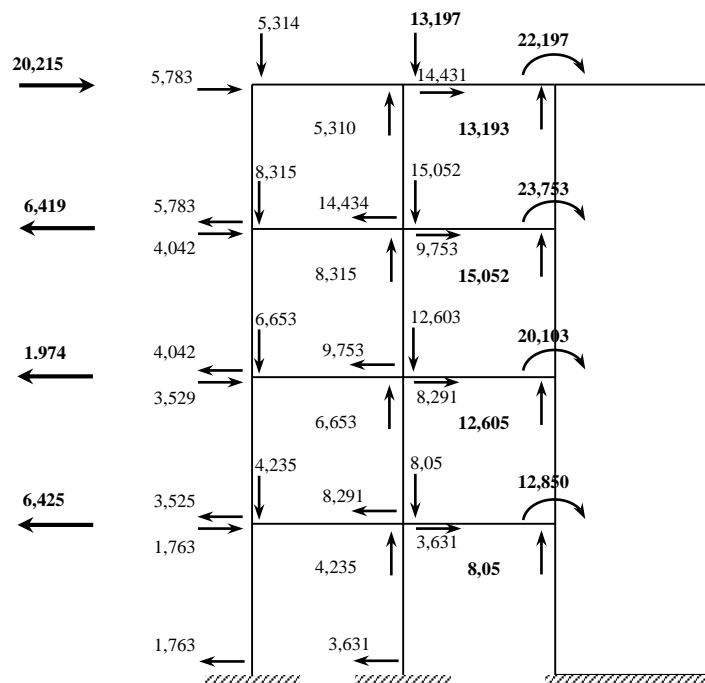


Figure 2.13: Système de forces au droit des nœuds

De sorte que les réactions du portique, appliquées au refend, sont représentées par le système de forces et des moments intégralement opposés.

Les efforts verticaux et les moments, existant le long du parement intérieur du refend, peuvent être remplacés par un moment appliqué dans l'axe vertical du refend et une force située sur ce même axe, à chaque niveau.

On a ainsi :

$$\text{au } 4^{\text{e}} \text{ niveau } M_{r4} = 41,994 \text{ KN.m}$$

$$\text{au } 3^{\text{e}} \text{ niveau } M_{r3} = 46,332 \text{ kN.m}$$

$$\text{au } 2^{\text{e}} \text{ niveau } M_{r2} = 39,008 \text{ kN.m}$$

$$\text{au } 1^{\text{er}} \text{ niveau } M_{r1} = 2492,6675 \text{ kN.m}$$

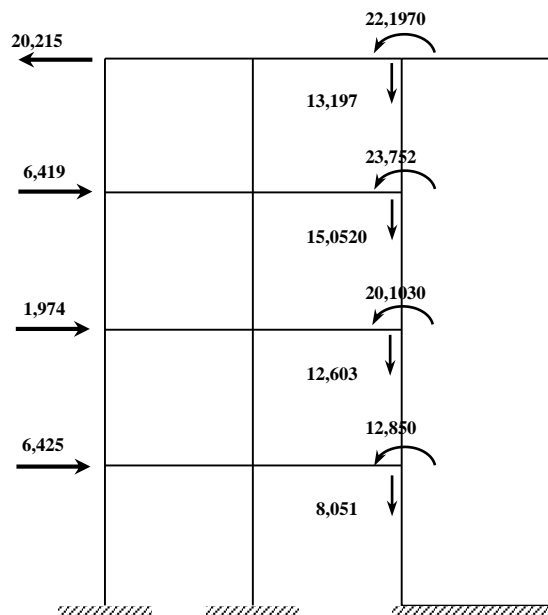


Figure 2.14: Système de forces et des moments intégralement opposés.

Calculons les nouvelles flèches du refend, soumis à ces moments, d'une part, ainsi qu'à la superposition de l'effort horizontal de 1 tonne (à chaque niveau) et des réactions horizontales du portique, d'autre part.

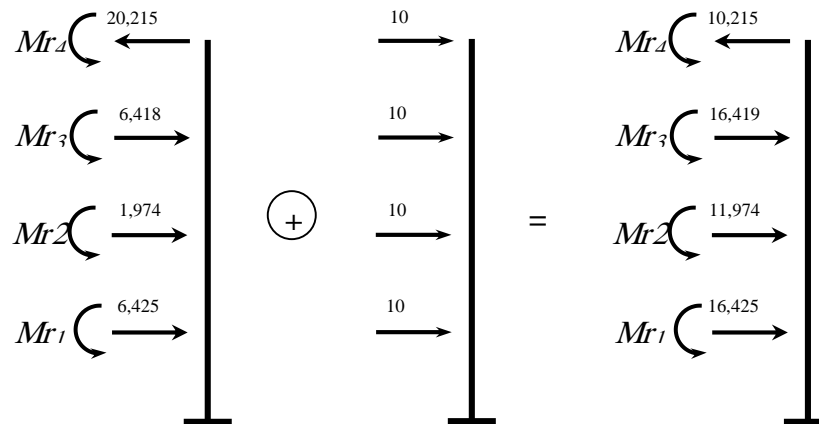


Figure 2.15: Nouvelles sollicitations exercées sur la console.

Les efforts horizontaux résultants donnent une flèche égale à :

$$f_{h4} = \frac{4,572}{E} \quad , \quad f_{h3} = \frac{3,506}{E}$$

$$f_{h2} = \frac{2,165}{E} \quad , \quad f_{h1} = \frac{0,744}{E}$$

Les moments donnent une flèche égale à :

$$f_{h4} = \frac{-13,396}{E} \quad , \quad f_{h3} = \frac{-8,210}{E}$$

$$f_{h2} = \frac{-3,894}{E} \quad , \quad f_{h1} = \frac{-1,015}{E}$$

D'où la flèche du refend après application des réactions du portique :

$$f'_{h4} = \frac{-8,849}{E} \quad , \quad f'_{h3} = \frac{-4,708}{E}$$

$$f'_{h2} = \frac{-1,728}{E} \quad , \quad f'_{h1} = \frac{-0,270}{E}$$

Pour chaque niveau, nous avons maintenant deux flèches limites entre lesquelles se situe la flèche exacte de chaque niveau.

La première itération consiste à adopter une flèche moyenne.

$$f_{hmoy_k} = \frac{f_{h_k} + f'_{h_k}}{2} \quad k=1,4$$

$$f_{hmoy_4} = \frac{-8,849 + 17,333}{2.E} = \frac{4,242}{E}$$

$$f_{hmoy_3} = \frac{-4,704 + 11,40}{2.E} = \frac{3,347}{E}$$

$$f_{hmoy_2} = \frac{-1,728+5,933}{2.E} = \frac{2,102}{E}$$

$$f_{hmoy_1} = \frac{-0,270+1,7333}{2.E} = \frac{0,731}{E}$$

D'où f_{hmoy_k} devient f_{hk} , $k = 1,4$.

Si R'_1, R'_2, R'_3, R'_4 sont les efforts qu'il faut appliquer au refend pour obtenir cette flèche moyenne, nous devons écrire :

$$\frac{5,76.R'_4+3,64.R'_3+1,8.R'_2+0,49.R'_1}{0,675.E} = \frac{4,242}{E}$$

$$\frac{3,645.R'_4+2,43.R'_3+1,26.R'_2+0,36.R'_1}{0,675.E} = \frac{3,345}{E}$$

$$\frac{1,80.R'_4+1,26.R'_3+0,72.R'_2+0,225.R'_1}{0,675.E} = \frac{2,102}{E}$$

$$\frac{0,495.R'_4+0,36.R'_3+0,225.R'_2+0,09.R'_1}{0,675.E} = \frac{0,731}{E}$$

Pour résoudre ce système d'équation, on utilise la méthode *d'élimination de Gauss* :

D'où l'on tire ;

$$R'_4 = -1,18893 \text{ T} \quad , \quad R'_3 = 1,87393 \text{ T}$$

$$R'_2 = 1,13590 \text{ T} \quad , \quad R'_1 = 1,68989 \text{ T}$$

On note ici, que le processus se poursuit jusqu'à ce que l'équilibre soit vérifié, d'où la flèche du refend « $f_{hk}^{L+1} = f_{hk}^L$ » avec une précision de : $\Delta f_{hk} = ||f_{hk}^L - f_{hk}^{L+1}|| \leq 10^{-06}$, $k = 1,4$

A titre indicatif, on donne ci-après le diagramme des forces et les moments obtenus à la fin de **12^e cycle** de la **23^e itération** :

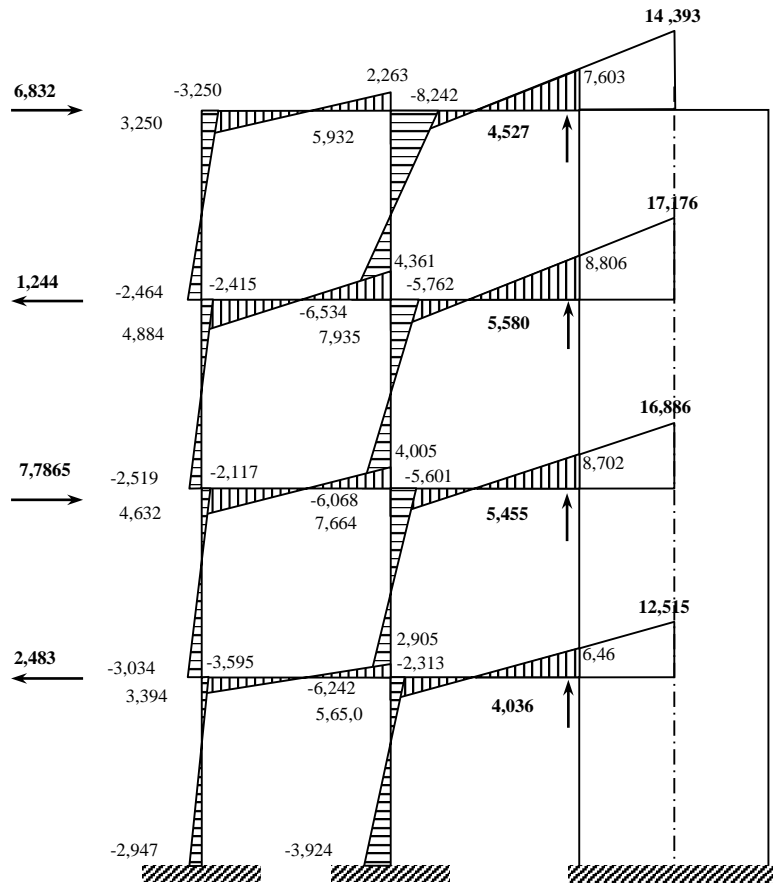


Figure 2.16: Moments et efforts obtenus au 23^e Itération.

2.5 Conclusion

Cette investigation est tenue pour vérifier le taux d'influence développé entre les éléments flexibles et ceux supposés rigides, en examinant le déplacement horizontal

CHAPITRE III

3.1. Introduction

Ce chapitre consiste à étudier l'influence de la flexibilité des éléments linéaires tels que les poutres et les linteaux, associés aux éléments rigides tels les voiles. L'étude paramétrique est effectuée pour trois types de modèles. Le premier modèle est celui élaboré par Fuentes (1983), en déterminant les sollicitations engendrées aux éléments par une méthode itérative. Le deuxième modèle choisi, représente l'influence de la flexibilité du linteau sur les trumeaux en composant un voile avec une seule file d'ouvertures, sollicité par un ensemble des forces horizontales. Finalement, un troisième modèle choisi, en traitant l'état de l'interaction entre le voile et le portique sans tenir en compte une association directe entre eux.

3.2. Etude paramétrique

3.2.1. Voile plein associé avec un portique dans le même plan

3.2.1.1. Présentation du modèle N° 1

La figure 3.1 représente un modèle numérique adopté du cas traité précédemment par Fuentes (1983). Le modèle représente un voile plein en béton armé ayant une largeur de 3m, attaché directement avec un portique en béton armé dont les dimensions sont données comme suit : les poutres sont définies par une section transversale ($b=31,5\text{cm}$; $h=55,5\text{cm}$). Par ailleurs, les poteaux sont caractérisés par une section transversale ($b=31,5\text{cm}$; $h=70,0\text{cm}$). Le modèle numérique comprend RDC+3 étage avec une hauteur identique $h_e=3\text{m}$. Ce modèle est subit d'un ensemble des forces horizontales identiques égalent 10KN par niveau. Les conditions d'appuis, des éléments constituant le modèle, sont définies par des encastremements parfaits. Ce modèle numérique est modélisé par le code SAP2000 V16 basé sur la méthode des éléments finis. A cet effet, le voile est discrétisé par des éléments quadrilatères (Thin-Shell) avec une épaisseur $e=30\text{cm}$. Par contre, les éléments de portique sont simulés par des éléments linéaires (Beam). Le module d'élasticité utilisé est supposé égale $E=2,1.10^7 \text{KN/m}^2$ avec un coefficient de Poisson $\nu=0,2$. Durant le processus de calcul, l'effet du poids propre des éléments du modèle est négligé afin de prendre en compte sauf que l'effet du chargement horizontal.

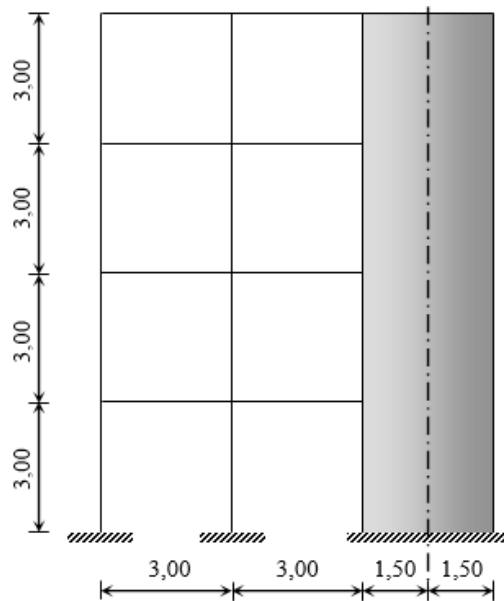


Figure 3.1: Modèle numérique d'un voile associé avec un portique dans le même plan
(Adopté de Fuentes, 1983).[1]

L'objectif de cette simulation est d'étudier le comportement du voile quand il sera accompagné avec un portique ; en traitant cet effet sur les déplacements, les contraintes et les sollicitations engendrés aux différents éléments.

3.2.1.2. Résultats et discussions

a) Association Voile-Portique

La figure 3.2 montre la variation du moment de flexion calculé à la base voile à chaque niveau. Les résultats obtenus sont calculés à l'état du voile associé et non associé avec le portique du modèle numérique. Dans le cas non associé qui représente le comportement d'une console, les valeurs du moment fléchissant sont progressivement augmentées jusqu'à une valeur maximale à la base égale à 300KN.m. Cependant, avec l'ajout d'un portique dans le même plan du contreventement, on constate réduction remarquable aux valeurs du moment fléchissant dans tous les niveaux. Cette réduction est produite à cause de la dissipation d'énergie au cours du déplacement du modèle sous l'effet de l'ensemble des forces horizontales appliquées. Cette dissipation d'énergie est définie par la déformabilité du portique en fonction de la flexibilité des poutres.

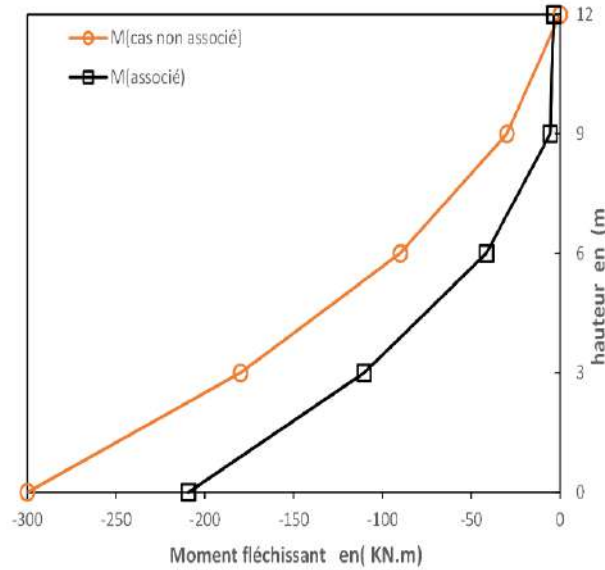


Figure 3.2: Moment fléchissant dans le voile pour le cas associé et non associé avec le portique (Résultats du modèle numérique)

b) Taux de réduction

La figure 3.3 montre la variation du taux de réduction de la valeur du moment fléchissant à chaque niveau. Les résultats obtenus sont calculés en comparaison entre les valeurs estimées pour le cas du voile seul et celui correspondant à l'association avec le portique dans le même plan. On constate que le taux de réduction engendré par le portique prend une tendance à la hausse avec la hauteur du modèle jusqu'à le dernier niveau ; où il revient à une valeur tend vers à zéro.

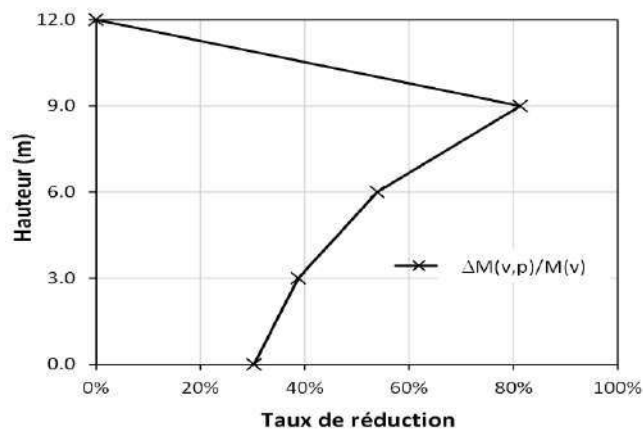


Figure 3.3: Taux de réduction de la valeur du moment fléchissant engendré par l'association Voile-Portique

c) Moments fléchissant au droit des nœuds de jonction

La figure 3.4 montre la comparaison du moment fléchissant au droit des nœuds de jonction entre le portique et le voile. Les valeurs estimées sont tenues du modèle numérique et celles obtenues par la méthode itérative de Fuentes. Les valeurs approchées de la méthode itérative sont calculées jusqu'à la 23^{ème} itérations. On constate que les valeurs numériques sont plus importantes.

d) Déplacement latéral

La figure 3.5 montre le déplacement latéral du modèle étudié, produit par l'effet de l'ensemble des forces horizontales appliquées à chaque niveau. Les résultats sont obtenus par la comparaison entre le cas non associé (voile seul) du modèle numérique et celui associé correspondant à la méthode itérative de Fuentes (1983) et le modèle numérique modélisé par le code SAP2000-V16. Le cas non associé montre que le voile est subit d'un déplacement important quasi-linéaire, où le déplacement maximal est de l'ordre de 0,08 cm. Cette faible valeur donne une idée que le voile est rigide à cause de sa section transversale ($e=30\text{cm}$; $L=300\text{cm}$) vis-à-vis la hauteur totale $H=12\text{m}$. Avec l'introduction du portique dans contreventement contre les forces appliquées, le déplacement horizontal est devenu plus minimisé surtout au-delà du premier niveau. D'après les résultats de la figure 3.5, on constate que les valeurs de la méthode itérative sont divergentes par rapport aux résultat numériques.

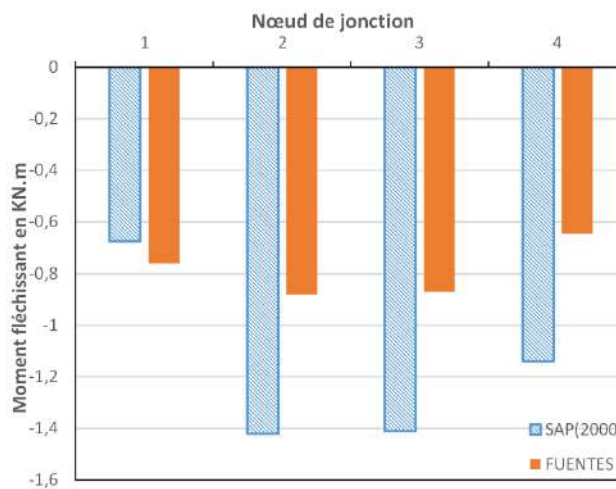


Figure 3.4: Moment fléchissant aux nœuds de jonction entre le voile et le portique

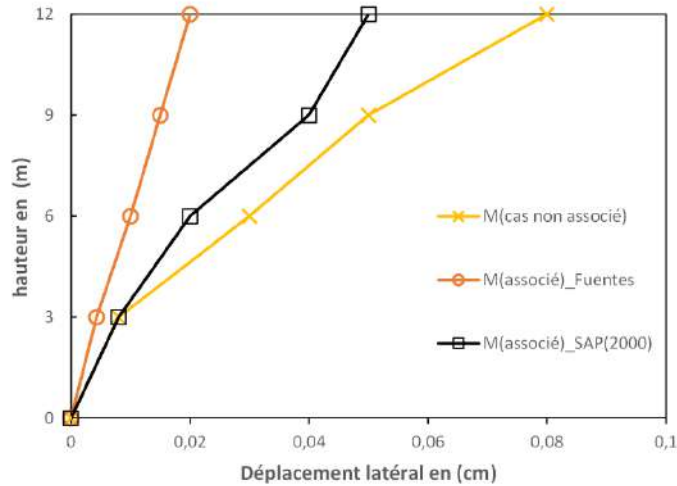


Figure 3.5: Déplacement latéral du modèle étudié, estimé à chaque niveau

3.2.2. Voile avec une seule file d'ouvertures

3.2.2.1. Présentation du modèle N°.2

La figure 3.6 présente les dimensions des composants (Trumeaux ; Linteau) d'un voile avec une seule file d'ouvertures (RDC+3) équivalent d'une hauteur totale égale 12m. Les trumeaux sont choisis de largeur $L=2\text{m}$. Par ailleurs, le linteau est considéré avec une largeur $L=3\text{m}$. L'étude paramétrique est conçue à investiguer la flexibilité du linteau par la réduction de la hauteur (h_{Linteau}), comme indiqué sur la figure 3.6. Cette variation de la section transversale met en évidence le comportement du linteau à se changer d'un élément rigide à un élément flexible de type-poutre.

3.2.2.2. Résultats et discussions

a) Moment fléchissant dans les trumeaux

La figure 3.7, a et b présente la variation du moment fléchissant à chaque niveau, engendré dans les trumeaux encadrants le linteau. Les courbes sont obtenues pour une hauteur du linteau variée entre 2, 1,5, 1 et 0,5m. On constate que les résultats dans les deux trumeaux sont presque identiques à cause de la même inertie caractérisée les deux éléments. Cependant, il est clair que les valeurs des moments fléchissant correspondants à $h_{\text{Linteau}}=0,5\text{m}$, sont plus importantes. A cet effet, on constate qu'il est donc conseillé d'augmenter la hauteur du linteau afin de minimiser l'effet de la flexibilité de l'élément intermédiaire entre les trumeaux.

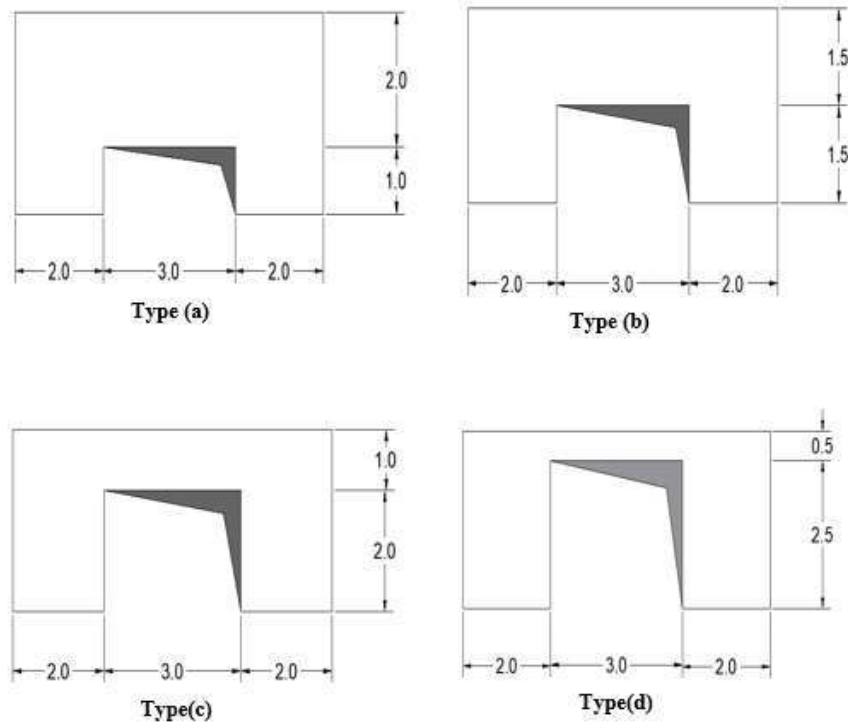


Figure 3.6: Dimension des éléments constituant le voile avec une seule file d'ouvertures

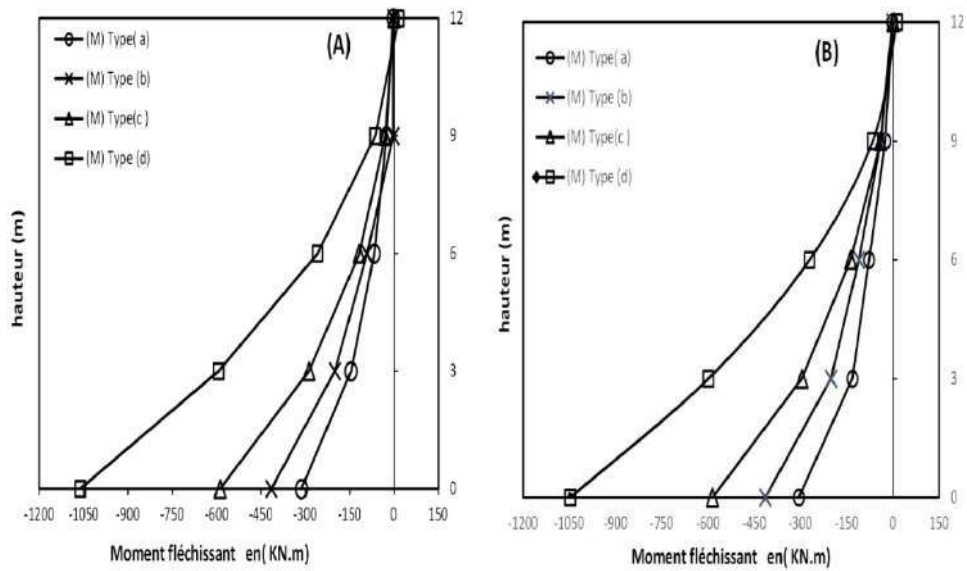


Figure 3.7: Moment fléchissant à chaque niveau, A) Trumeau à la gauche, B) Trumeau à la droite

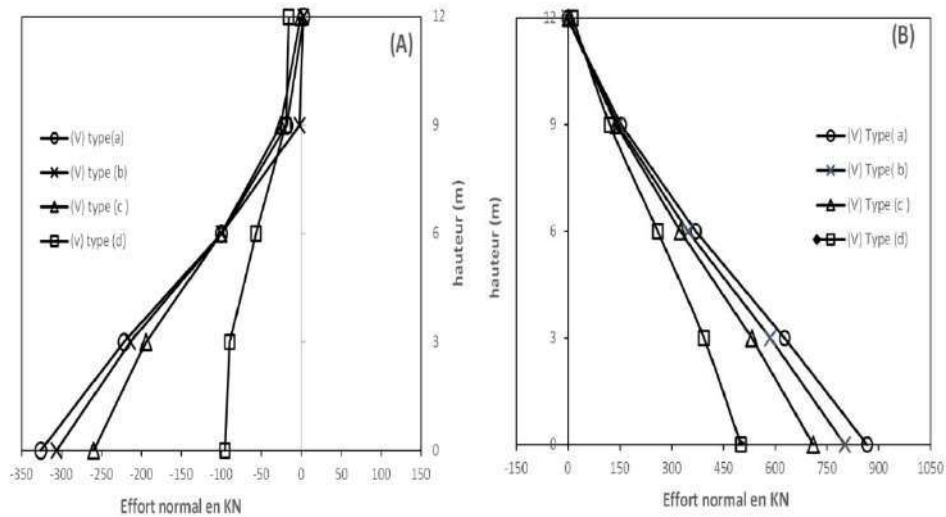


Figure 3.8: Efforts normaux à chaque niveau, A) Trumeau à la gauche, B) Trumeau à la droite

b) Efforts normaux dans les trumeaux

La figure 3.8, a et b montre la variation des efforts normaux dans les trumeaux en fonction de la variation de la hauteur du linteau. On constate que pour une hauteur de linteau variée de 2, 1,5 et 1m ; les valeurs sont approximatives et importantes par rapport au cas de $h_{\text{Linteau}}=0,5$ en représentant le comportement d'une poutre. Les résultats de ce dernier cas donnent une un état positif de point de vue économique par la réduction du taux de ferrailage engendré par l'effet des efforts normaux notamment au-dessous du 4^{ème} niveau.

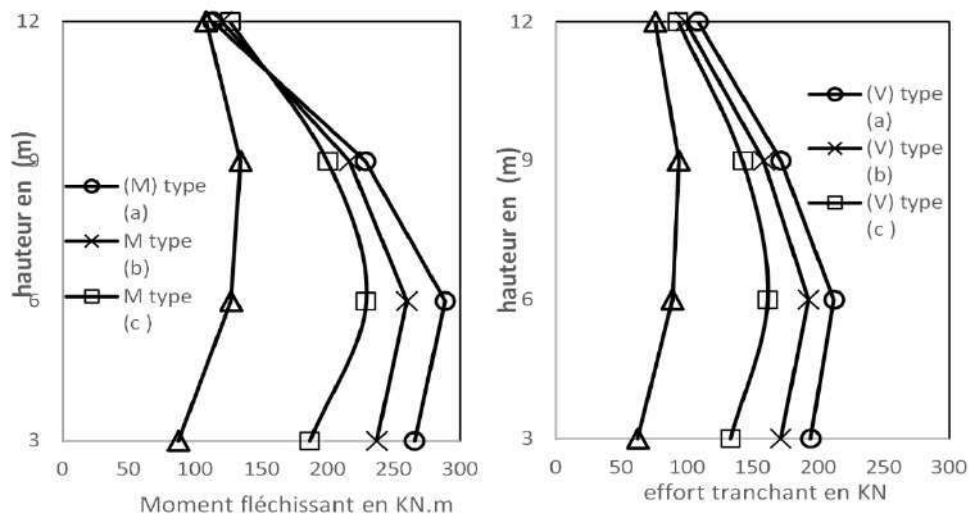


Figure 3.9: Effort tranchant et Moment fléchissant agissant sur le linteau

c) Sollicitations au droit du linteau

La figure 3.9 montre les résultats numériques de l'effort tranchant et du moment fléchissant, en fonction de la variation de la hauteur du linteau, on remarque que la variation du moment d'encastrement au niveau du linteau est similaire à celle de l'effort tranchant en raison de la relation proportionnelle entre eux. En général, la forme de variation de l'effort tranchant est presque identique que celle définie par les méthodes analytiques telles de Albigès et Goulet. On constate aussi que le cas (d) d'un linteau flexible minimise les sollicitations.

La figure 3.10 présente la comparaison de sollicitations du linteau entre les résultats analytiques calculés par la méthode de Albigès et Goulet, et ceux estimés numériquement par le code SAP2000-V16. On remarque un très bon accord entre les deux procédures. La variation du moment est similaire à celle de l'effort tranchant. On constate que les résultats numériques sont plus conservatifs au-delà de deuxième étage. Le cas contraire est remarqué dans la partie inférieure auprès de la base du voile.

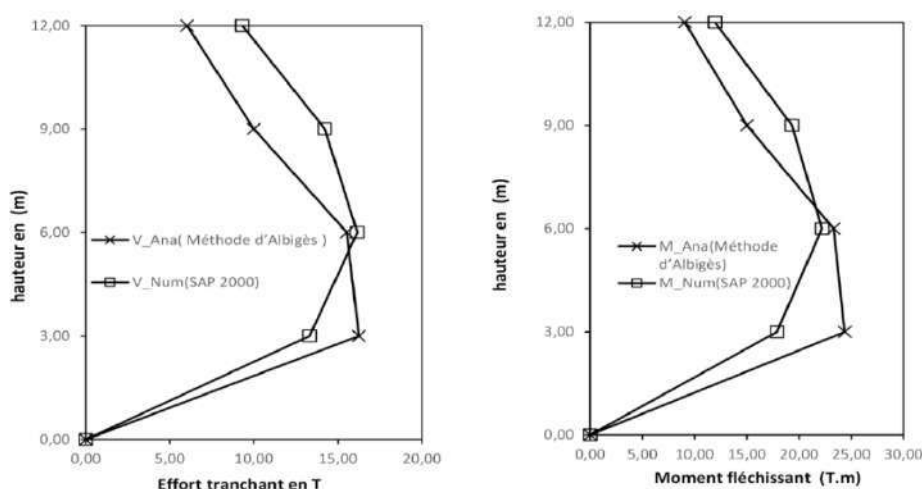


Figure 3.10: Comparaison entre les résultats analytiques et numériques en déterminant les sollicitations engendrées au linteau

3.2.3. Interaction Voile-Portique

3.2.3.1. Présentation du modèle N° 3

La figure 3.11 représente un modèle de l'interaction entre le voile et le portique. Ce type d'interaction représente l'association indirecte de la contribution de chaque élément, voile ou portique, à résister l'ensemble des forces horizontales appliquées. La condition d'interaction est assurée par le moyen du diaphragme rigide, c'est éventuellement le cas d'une dalle pleine. Le modèle représente une structure de RDC+9 caractérisée par les données affichées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1: Caractéristique du modèle numérique N°.3

Nombre de niveaux	$n = 10$
Module d'élasticité :	$E = 2.10^4 \text{ MPa}$
Poids volumique :	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
Coff. Poisson :	$\nu = 0,2$
Voile	
Epaisseur :	$e = 0,3 \text{ m}$
Longueur	$L_i = 3,0 \text{ m}$
Portique	
Longueur/poutre ;	$L_p = L_i = 3 \text{ m}$
Hauteur/poteau :	$h_e = 3,0 \text{ m}$
Section/poutre :	$55,5 \times 31,5 \text{ cm}$

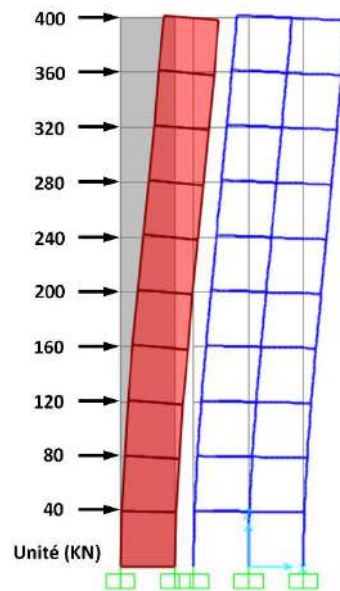


Figure 3.11: Modèle numérique de l'interaction voile-portique, $L_p = 3 \text{ m}$

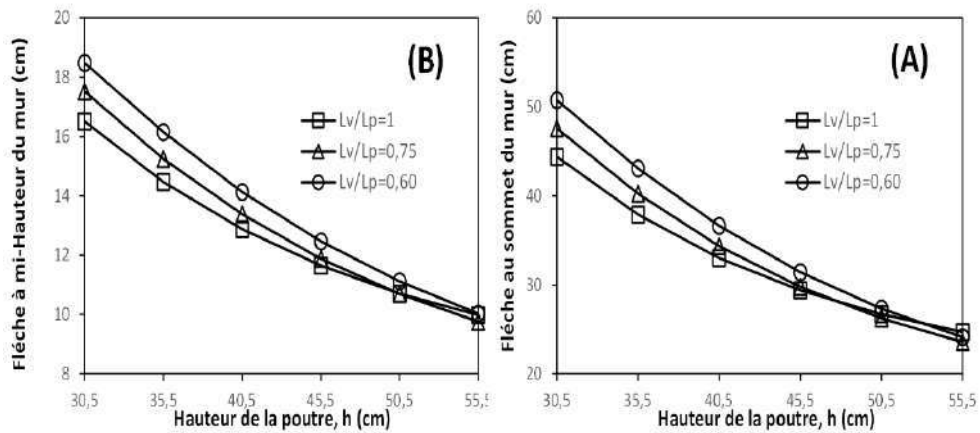


Figure 3.12: Effet de la flexibilité du portique sur le modèle étudié a) Déplacement horizontal à mi-hauteur, b) Déplacement horizontal au sommet

3.2.3.2. Résultats et discussions

a) Effet de la flexibilité du portique sur le déplacement horizontal du modèle

La figure 3.12a, b représente l'étude de l'effet la flexibilité du portique, engendrée par la variation de la hauteur des poutres, sur le déplacement horizontal du modèle. Les résultats sont obtenus à mi-hauteur et au sommet du modèle numérique. D'après la figure 3.12a, b, le déplacement est de forme flexionnelle, comme indiqué aussi sur la figure 3.11. On constate que le déplacement se diminue d'une façon progressive en fonction de l'augmentation de la hauteur des poutres qui dépend à l'augmentation de leur rigidité. Le facteur L_v/L_p représente le rapport estimé entre la longueur du voile à celle correspondant aux poutres. On remarque que l'effet de la longueur est négligé quand hauteur (h) y'a compris entre 47,5 à 48,5cm pour le cas $L_v/L_p=0,75$ et 1. Dans le cas d'amplification de la hauteur des poutres jusqu'à le double, on constate que le déplacement au sommet du modèle numérique est devenu presque équitable pour n'importe longueur L_p .

b) Taux de cisaillement porté par les composants du modèle numérique

La figure 3.13 présente le taux de cisaillement porté par les deux système associés (voile et portique). On remarque, au voisinage de la base du modèle, que le voile est significativement porté le cisaillement global (V_k) que le portique associé. Au-delà du 4^{ème} niveau, on voit que la participation du portique à résister le cisaillement est progressivement augmentée. Au sommet du modèle, on constate que le portique est devenu le plus sollicité que le voile en raison de sa flexibilité vis-à-vis la hauteur totale égale, $H=30m$.

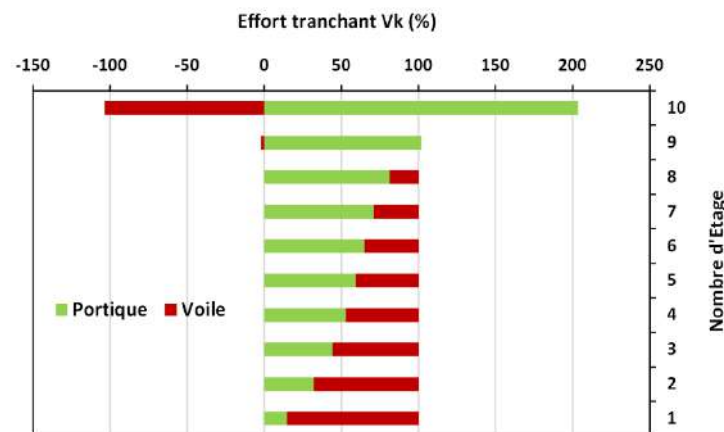


Figure 3.13: Taux de cisaillement porté par le voile et le portique, pour $L_p=3,0m$

3.3. Conclusion

le voile est pris le taux maximal de cisaillement que le portique. Cependant au-delà de la moitié de nombre d'étage, le portique commence à tenir son rôle en exécution pour reprendre le maximum de l'effet de cisaillement global engendré.

Conclusion Générale

Une analyse numérique a été effectuée afin de viser l'influence de la flexibilité du portique au voile associé. Ce projet de fin d'études donne une idée sur le comportement de genre des éléments de contreventement contre un ensemble du chargement horizontal en simulant le cas des séismes ou les vents. Le contexte du travail est commencé par un aperçu bibliographique sur le dimensionnement et le mode de calcul des sollicitations engendrées aux éléments constituant le modèle numérique. Cette investigation est tenue pour vérifier le taux d'influence développé entre les éléments flexibles et ceux supposés rigides, en examinant le déplacement horizontal, les moments, les efforts tranchants et les efforts normaux. Trois type d'exemple ont été examinés. Dans le cas d'une association directe entre voile-portique, on a constaté que le taux de réduction des moments fléchissant dans le voile est diminué d'une façon significative que ceux obtenus pour un voile seul. On a trouvé qu'il y a une différence en valeurs des moments de nœuds de jonction portique-voile, correspondant la comparaison entre l'approche itérative de Fuentes et celle du calcul numérique. Les résultats correspondant à la variation de la hauteur des linteaux, montrent que pour un linteau réagit comme une poutre, les moments fléchissant engendrés en conséquence aux trumeaux du voile sont importants. D'autre part, on a remarqué que les résultats correspondant aux linteaux et obtenus par la méthode d'Albigès et Goulet est en accord avec ceux estimés par la méthode des éléments finis. Les calculs numériques du problème d'interaction voile-portique montrent que le taux de cisaillement, porté par les deux systèmes associés, est proportionnel. Dans les étages auprès de la base du système de contreventement, le voile est pris le taux maximal de cisaillement que le portique. Cependant au-delà de la moitié de nombre d'étage, le portique commence à tenir son rôle en exécution pour reprendre le maximum de l'effet de cisaillement global engendré.

Références

1. Albert Fuentes, Calcul pratique des ossatures de bâtiments en béton armé, France : Editions Eyrolles, 1983
2. Amar Chanti, Contreventement des bâtiments par voiles, Algérie : Editions O.P.U., 1992
3. Règles parasismiques algériennes, version.2003, Algérie : Editions C.G.S., 2003
4. Samir Djireb, Prise en compte du problème de compatibilité dans la modélisation des structures à contreventements mixtes, mémoire de magistère, Université de Biskra, 2004
5. Sap2000_v16, Documentations and problem verifications manual, Computers and Structures, Inc. (CSI), 2016