

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 : Etude et Contrôle des Bâtiments et Routes (E.C.B.R)

Thème

**Etude numérique de l'effet de décalage des ouvertures sur le
comportement du voile en béton armé**

Présenté par : Belhasrouf Anfel
Aoufi Meriem

Soumis au jury composé de :

Meziani Nedjma	M.A (A)	U.K.M. Ouargla	Président
Khelassi Amar	M.A (A)	U.K.M. Ouargla	Examineur
Djireb Samir	M.A (A)	U.K.M. Ouargla	Encadreur

**Année Universitaire
2019/2020**

Résumé :

Les voiles en béton armé sont des éléments structuraux qui assurent la stabilité des constructions contre les charges latérales telles que le vent et les charges sismiques. En raison d'exigences fonctionnelles par la mise en place des portes, fenêtres et autres ouvertures; la densité des ouvertures joue un rôle très important sur le comportement des voiles en béton armé. Les méthodes classiques ont été généralement conçues pour déterminer les sollicitations dans les différents éléments composants les voiles à files d'ouvertures régulièrement disposées. La conception des voiles en béton armé avec des ouvertures décalées est un cas complexe et particulier. Dans cette étude, le décalage des ouvertures dans les voiles en béton armé a été examiné à l'aide d'un code numérique afin de clarifier l'étendue de leur effet sur le comportement de ce genre des murs.

Mots clés : Voiles en béton armé - ouvertures décalées - charge horizontale - Modélisation numérique

ملخص:

تعتبر جدران القص بالخرسانة المسلحة بمثابة عناصر هيكلية تضمن ثبات المنشآت ضد الأحمال الجانبية مثل أحمال الرياح والزلازل. نظرًا للمتطلبات الوظيفية من خلال وضع الأبواب والنوافذ والفتحات الأخرى ، تلعب كثافة الفتحات دورًا مهمًا للغاية في سلوك جدران القص بالخرسانة المسلحة. تم تصميم الطرق التقليدية بشكل عام لتحديد التأثيرات في العناصر المختلفة المكونة للجدران ذات صفوف الفتحات المرتبة بانتظام. يعتبر تصميم جدران القص بالخرسانة المسلحة بفتحات متداخلة حالة معقدة وخاصة. في هذه الدراسة تم فحص تداخل الفتحات في جدران القص بالخرسانة المسلحة باستخدام برنامج رقمي من أجل توضيح مدى تأثيرها على سلوك هذا النوع من الجدران.

كلمات دالة: جدران القص بالخرسانة المسلحة - الفتحات المتداخلة - الحمل الأفقي - النمذجة الرقمية

Abstract:

Reinforced concrete shear walls are structural elements that ensure the stability of constructions against lateral loads such as wind and seismic loads. Due to functional requirements by the placement of doors, windows and other openings; the density of the openings plays a very important role in the behaviour of reinforced concrete shear walls. Conventional methods have generally been designed to determine the effects in the various components of the R.C shear walls with regularly arranged rows of openings. The design of reinforced concrete shear walls with staggered openings is a complex and special case. In this study, the offset of openings in reinforced concrete shear walls was examined using a numerical code in order to clarify the extent of their effect on the behaviour of such walls.

Keywords : Reinforced concrete shear walls - staggered openings - horizontal load - numerical modelling

Sommaire	Page
Introduction générale	1
Chapitre. I Aperçu bibliographique sur les voiles	
1. Introduction	3
2. Définition	3
3. Rôle du voile	3
4. Types des voiles	4
4.1. Voile avec une seule file d'ouvertures	5
4.2. Voile avec plusieurs files d'ouvertures	5
5. Dimensionnement du voile	5
6. Classification des structures contenant des voiles	7
7. Comportement des voiles	9
7.1. Paramètres principaux	9
7.2. Modes de ruptures des voiles élancés	9
7.2.1. Rupture par la flexion	9
7.2.2. Rupture par l'effort tranchant	11
7.2.3. Rupture par la combinaison (flexion-effort tranchant)	11
8. Ferrailage des voiles	12
8.1. Valeurs du ferrailage en fonction (N_i)	14
8.2. Ferrailage du voile selon les règles algériennes (RPA)	15
8.2.1. Aciers verticaux	15
8.2.2. Aciers horizontaux	16
8.2.3. Règles communes	16
8.2.4. Vérification de l'effet de l'effort tranchant	17
8.2.5. Ferrailage des linteaux	18
Chapitre. II Méthodes classiques	
1. Préface	22
2. Hypothèses de la méthode d'Albigès et Goulet	22
3. Nomenclature	22
4. Sollicitations de la console sous chargement externe	23
5. Voile à une seule file d'ouvertures	24
5.1. Type d'ouvertures moyennes ($1 \leq \alpha \leq 10$)	24
5.2. Sollicitations dans les éléments du voile	25
5.3. Vérification de l'équilibre extérieur	26
5.4. Application numérique	28
5.5. Description des étapes du calcul	29
5.6. Analyse de résultats	37
Chapitre. III Etude paramétrique	
1. Préface	39
2. Cas d'un voile à une seule file d'ouvertures	39
3. Cas d'un voile à des ouvertures décalées	42
3.1. Effet de l'espacement L_3	43
3.2. Effet de la hauteur du linteau h_L	46
Conclusion	52
Références	
Annexe	

Liste des figures		Page
Figure I.1	Types des voiles, Réf.[7]	4
Figure I.2	Coupe du voile en élévation, Réf.[2]	6
Figure I.3	Coupe de voile en plan, Réf.[2]	6
Figure I.4	Prise en compte des murs en retour, Réf.[2]	6
Figure I.5	Structure mixte avec des murs porteurs couplés par des portiques, Réf.[10]	7
Figure I.6	Structures à noyau central, Réf.[10]	8
Figure I.7	Structure uniquement à murs porteurs, Réf.[10]	8
Figure I.8	Modes de ruptures des voiles élancés par la flexion, Réf.[9]	10
Figure I.9	Modes de ruptures des voiles élancés par l'effort tranchant, Réf.[8]	11
Figure I.10	Modes de ruptures des voiles élancés par la combinaison (flexion-effort tranchant) (Mode EFT) , Réf.[8]	12
Figure I.11	Disposition des armatures verticales dans les voiles, Réf.[2]	16
Figure I.12	Sollicitations engendrées dans les linteaux, Réf.[2]	18
Figure I.13	Ferraillage des linteaux, Réf.[2]	19
Figure II.1	Modèle descriptif d'un voile à une seule d'ouvertures, Réf.[4]	24
Figure II.2	a) Modèle discrétisé-console, b) Voile avec une file d'ouvertures	28
Figure III.1	Modèle du voile avec différents rapports (a/L)	39
Figure III.2	Variation du moment à la base du trumeau (1)	40
Figure III.3	Variation du moment à la base du trumeau (2)	40
Figure III.4	Variation de l'effort tranchant au niveau du linteau (RDC)	41
Figure III.5	Variation de la déformation latérale au sommet du voile	41
Figure III.6	Modèle du voile à des ouvertures décalées sollicité par un ensemble des forces concentrées	42
Figure III.7	Cas (1) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=0,6m$	43
Figure III.8	Cas (2) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=1,2m$	43
Figure III.9	Cas (3) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=1,8m$	44
Figure III.10	Sollicitations (M_1 et M_2) dans les trumeaux du voile à des ouvertures décalées, Cas : $L_3=0,6m$; $1,2m$; $1,8m$	45
Figure III.11	Déformation latérale du voile à des ouvertures décalées, Cas : $L_3=0,6m$; $1,2m$; $1,8m$	46
Figure III.12	Cas (4) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=0,6m$ et $h_L=0,84m$	47
Figure III.13	Cas (5) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=0,6m$ et $h_L=1,68m$	47
Figure III.14	Sollicitations (M_1 et M_2) dans les trumeaux du voile à des ouvertures décalées, Cas : $L_3=0,6m$; $h_L=0,84$ et $1,68m$	48
Figure III.15	Déformation latérale du voile à des ouvertures décalées, Cas : $L_3=0,6m$; $h_L=0,84$ et $1,68m$	49
Figure III.16	Déformation latérale du voile à des ouvertures décalées pour tous les cas étudiés	50

Liste des tableaux		Page
Tableau I.1	Armatures verticales, Réf.[3]	14
Tableau I.2	Armatures verticales (valeurs minimales) , Réf.[3]	15
Tableau II.1	Sollicitations engendrées aux linteaux, Réf.[1]	26
Tableau II.2	Sollicitations engendrées aux trumeaux, Réf.[1]	27
Tableau II.3	Informations sur le modèle étudié	29
Tableau II.4	Valeurs (ϕ et ψ)	30

Introduction générale

Les voiles en béton armé sont caractérisés comme étant des éléments de contreventement verticaux. L'avantage de leur résistance est bien apparu dans les constructions dont la hauteur est important telles que les tours. Sous l'aspect de conception, les voiles en béton armé peuvent avoir des ouvertures comme le cas des portes et des fenêtres...etc. Faisons un coup d'œil sur les conceptions précédemment créés, il est remarqué que la majorité des bâtiments construits après la guerre mondiale II, portent les mêmes formes. Selon les méthodes de calcul disponibles, à cette époque, les dispositions des ouvertures acceptées présentent une position régulière sous forme des files d'ouvertures.

Plusieurs approches ont été développées pour calculer les sollicitations, dans les éléments du voile, telles que la méthode Albert Fuentes, Albigès et Goulet, la méthode du transfert de la matrice de M. Hénin...etc. Malgré ces efforts, les méthodes classiques ont été empêchées par la diversité de l'aspect architectural. L'exigence de changer la vision classique de l'emplacement des ouvertures à la forme régulière par des dispositions quelconques, a mis les hypothèses de la méthode classique en état handicapé. Récemment, quelques études ont été élaborées, à l'aide des outils informatiques, pour savoir en plus sur le comportement de ce type des murs en béton armé.

Le décalage entre les ouvertures comprend certaine spécification sur le transfert de contraintes sous forme des bielles, ainsi que les déformations engendrées sous l'effet du chargement vertical ou horizontal. Aucune règle de calcul classique est trouvée, sauf que des hypothèses décrivant le mode du transfert des bielles de contraintes. Le travail effectué dans l'étude paramétrique est destiné à donner un aperçu sur le comportement d'un voile à des ouvertures décalées sous un ensemble du chargement horizontal. Les résultats sont exprimés par l'évaluation de valeurs des moments, les déplacement au top du voile en testant certain facteurs.



Chapitre . I



1. Introduction

Les voiles en béton armé sont des éléments très importants pour la stabilité des constructions et considérés parmi les meilleurs systèmes de résistance contre de nombreux phénomènes tels que les tremblements de terre et les vents. Il est à noter que l'ajout des ouvertures, en fonction des aspects architecturaux, a une grande influence sur le comportement des murs de refend (voiles), notamment sous l'influence des forces horizontales.

2. Définition

Le voile peut être défini comme un élément vertical à deux dimensions dont la raideur hors plan est négligeable. Dans leur plan, le voile présente généralement une grande résistance (rigidité) vis-à-vis les forces horizontales. Par contre, dans la direction perpendiculaire à leur plan, il est indispensable d'équilibrer le manque de la résistance du mur de refends par l'accompagnement d'autre murs ou portiques. Le système du contreventement ne sera pas assuré entre ces éléments verticaux, sauf que par un élément de contreventement horizontal (Plancher) qui assure la bonne distribution de l'effet de la force horizontale selon la rigidité des éléments verticaux.

3. Rôle du voile

L'utilisation des voiles en béton armé pour la construction des structures dans les zones sismiques est obligatoirement exigée par le code parasismique Algérien RPA99/V2003; pour les constructions administratives, scolaires ..etc., et quand la hauteur du bâtiment est devenue important. La raison est que le voiles, en plus de leurs rôle porteur vis-à-vis des charges verticales, sont très efficaces pour assurer la résistance contre les forces horizontales. Par rapport à d'autres éléments de structures, les voiles ont la capacité de:

- a) augmenter la rigidité de l'ouvrage.
- b) diminuer l'influence des phénomènes du second ordre et éloigner la possibilité d'instabilité.
- c) diminuer les dégâts des éléments non-porteurs dont le coût de réparation est souvent plus grand que celui des éléments porteurs.
- d) apaiser les conséquences psychologiques sur les habitants de haut bâtiment dont les déplacements horizontaux sont importants lors des séismes ou des vents.
- e) rendre le comportement de la structure plus fiable que celui d'une structure ne comportant que des portiques.

4. Types des voiles

Dans le domaine de la construction, on peut généralement distinguer les types suivants :

- Voile plein où voile sans raidisseurs, voir la figure (I.1.a).
- Voile avec raidisseurs, voir la figure (I.1.b).
- Voile avec une seule file d'ouvertures, voir la figure (I.1.c).
- Voile avec plusieurs files d'ouvertures, voir la figure (I.1.d).

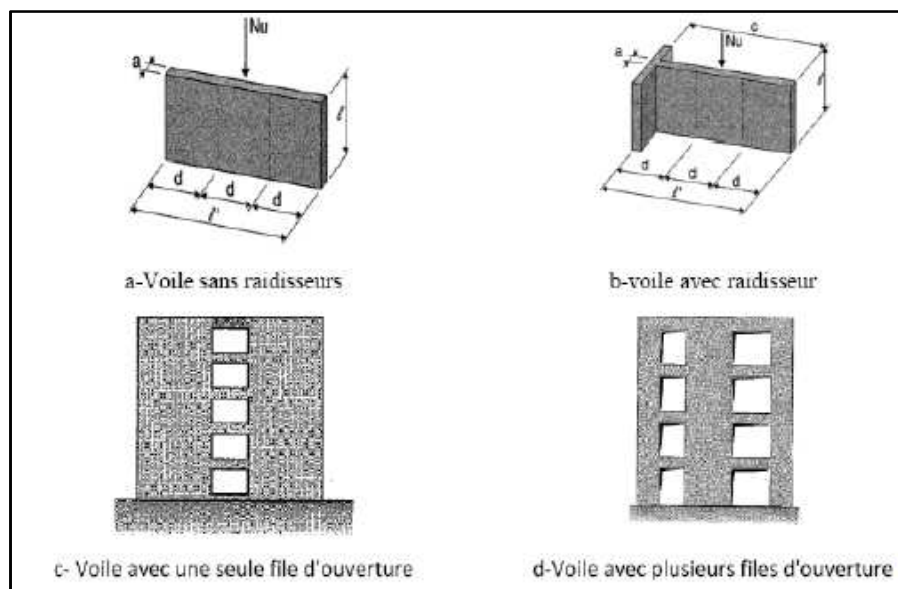


Figure I.1: Types des voiles, Réf.[7]

4.1. Voile avec une seule file d'ouvertures

Ce type est caractérisé par des ouvertures superposées sur toute la hauteur du voile qui se créent un affaiblissement dans le plan vertical où la répartition des efforts est modifiée dans la totalité du mur de refends. Une telle disposition est incompatible avec l'hypothèse du voile indéformable. Il est considéré, dans ce cas, que l'ensemble est constitué par deux demi-refends (Trumeaux) reliés entre par des éléments horizontaux (linteaux), définis comme des poutres bi-encastées avec une faible raideur relative.

4.2. Voile avec plusieurs files d'ouvertures

Selon les hypothèses générales définies par les méthodes classiques, Si un voile est composé par plusieurs mur de refends (trumeaux), liés entre eux par des linteaux, ces murs de refends doivent avoir le même déplacement horizontal lorsque le voile est sollicité par des efforts horizontaux. l'inertie le long de la hauteur du voile doit être constant. L'égalité des déplacements, dans un même plan horizontal, entraîne l'égalité des rotations dans ce même plan. Par suite l'égalité des pentes des linteaux, au droit des murs de refends, le point de moment nul dans ces linteaux se situe au milieu qui se présente le point d'inflexion.

5. Dimensionnement du voile :

D'après l'article 7.7.1 des RPA 99/Version 2003, les éléments verticaux sont considérés comme des voiles si la condition suivante est satisfaite, voir la figure (I.2) :

$$L \geq 4 e$$

$$e \geq 15 \text{ cm}$$

Avec :

L : Portée du voile.

e : Epaisseur du voile.

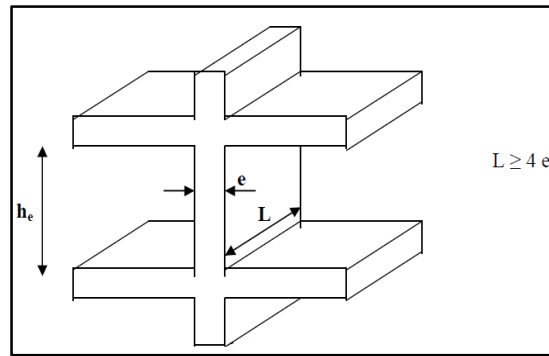


Figure I.2: Coupe du voile en élévation, Réf.[2]

L'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage (h_e) et les conditions de la rigidité aux extrémités comme indiquée sur la figure ci-dessous:

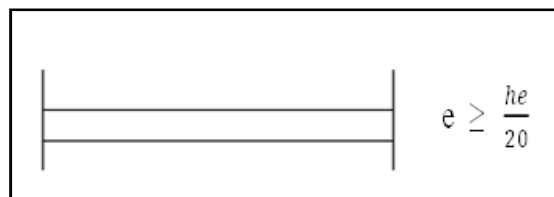


Figure I.3: Coupe de voile en plan, Réf.[2]

Pour l'estimation de l'inertie du voile, il est admis de considérer l'influence des murs perpendiculaires à leur plan. La longueur du mur à prise en compte de chaque côté devrait être la plus petite des valeurs indiquées sur la figure (I.4). Selon les instructions des règles parasismiques algériennes; la valeur de C est calculée par la condition suivante :

$$C \geq \min (8a ; L_0/2 ; C_0)$$

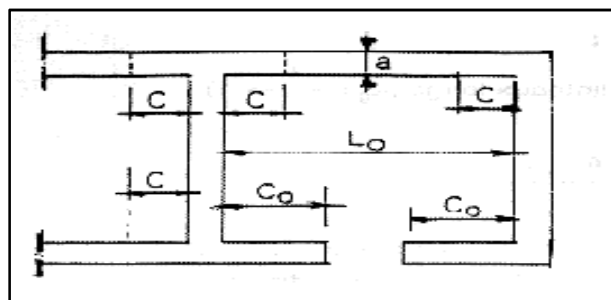


Figure I.4: Prise en compte des murs en retour, Réf.[2]

6. Classification des structures contenant des voiles

Vu la grande variété des constructions constituées par les voiles de contreventement, une classification pratique peut être fournie. A cet égard, trois grandes catégories peuvent être rencontrées :

a) Structures «mixtes» avec des murs porteurs associés à des portiques :

Le rôle porteur vis-à-vis des charges verticales est assuré par les portiques avec (80%) et le reste doit être repris par les voiles, tandis que les voiles assurent la résistance aux efforts horizontaux, voir la figure (I.5).

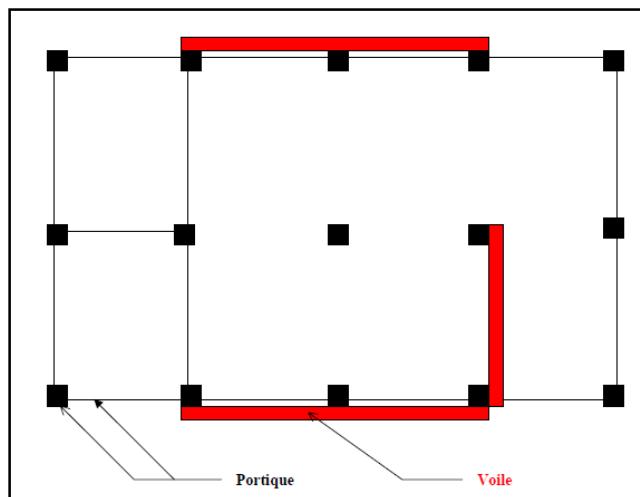


Figure I.5: Structure mixte avec des murs porteurs couplés par des portiques, Réf.[10]

b) Structures à noyau central :

Un noyau central formé de deux murs couplés à chaque étage par des poutres et assure habituellement la résistance contre les forces horizontales. il est à noter que l'association noyau /portiques peut produire une certaine résistance supplémentaire pour résister contre les effets horizontaux tels que les déplacements latéraux excessifs, voir la figure (I.6).

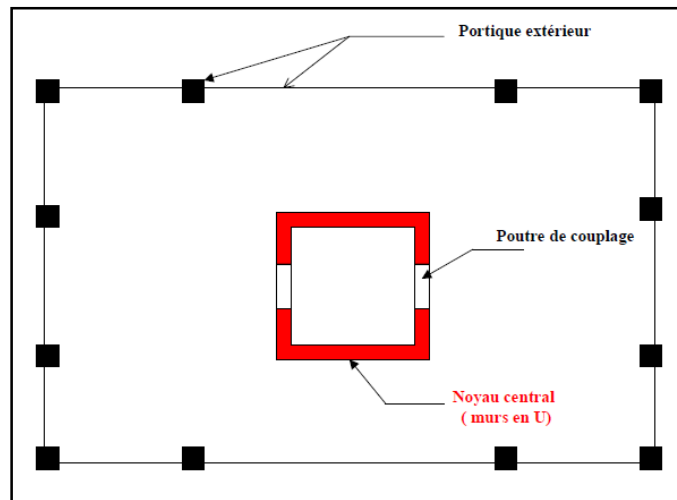


Figure I.6: Structures à noyau central, Réf.[10]

c) *Structures uniquement à mur porteur :*

Ce type de constructions est caractérisé par des voiles qui s'assurent en même temps le rôle porteur vis-à-vis des charges verticales et le rôle de la résistance contre les forces horizontales, voir la figure (I.7).

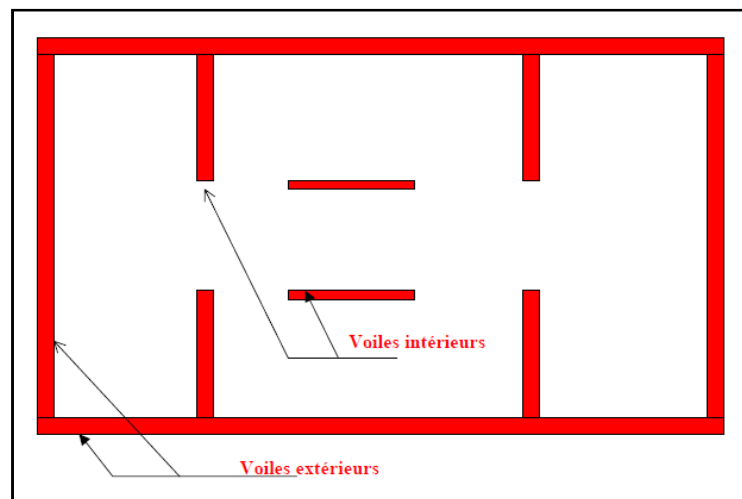


Figure I.7: Structure uniquement à murs porteurs, Réf.[10]

7. Comportement des voiles

7.1. Paramètres principaux

Selon DAVIDOVIVI et al. (1985), un grand nombre d'essais sur les voiles en béton armé ont été réalisés dans le monde. Les principaux paramètres influents sur le comportement des voiles sont les suivants :

- L'élanement: défini comme le rapport de la hauteur par la largeur du voile h/l . en conséquence, trois types des voiles sont distingués:
 - Les voiles élancés, définis par le rapport $h/l \geq 1$
 - Les voiles courts, définis par le rapport $h/l < 1,5$
 - Les voiles moyennement élancé, définis par le rapport $h/l = 1,5$
- Les dispositions et pourcentages des ferrailages
- L'intensité de l'effort normal
- Le type du chargement
- Les caractéristiques géométriques des éléments (section rectangulaire, en I ou en H)

7.2. Modes de ruptures des voiles élancés

Pour ce type, la rupture peut être obtenue par la flexion, par l'effort tranchant ou même par les deux phénomènes combinés, mais ça se reste généralement concentré auprès de la zone où le moment fléchissant est maximal (la base).

7.2.1. Rupture par la flexion

- a) **Mode f1** : rupture par plastification des armatures verticales tendues et un écrasement du béton comprimé, d'où à la formation d'une rotule plastique dans la partie inférieure du voile avec une importante dissipation de l'énergie.

Il est observé que ce mode de ruine est localisé dans les voiles les plus élancés soumis à un effort normal important, voir la figure (I.8).

- b) **Mode f2** : rupture par écrasement du béton. Ce mode de ruine se rencontre pour les voiles assez fortement armés, soumis à un effort normal important, voir la figure (I.8).
- c) **Mode f3** : rupture fragile par rupture des armatures verticales tendues, c'est le mode de rupture qui se rencontre dans les voiles faiblement armés, lorsque les armatures verticales sont essentiellement réparties et non concentrées aux extrémités, voir la figure (I.8).

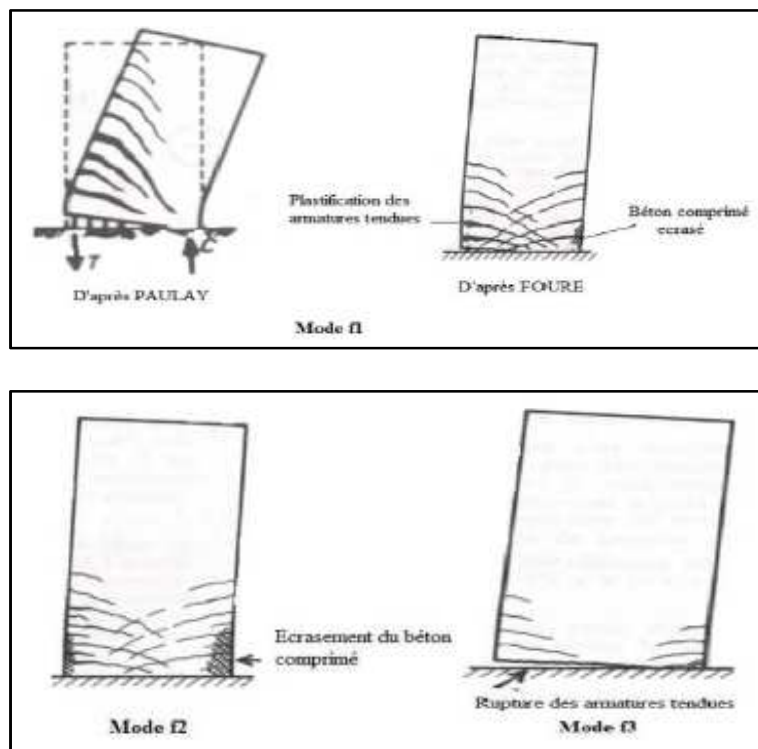


Figure I.8: Modes de ruptures des voiles élancés par la flexion, Réf.[9]

7.2.2. Rupture par l'effort tranchant

a) **Mode t** : rupture des bielles de compression développées dans l'âme du voile.

Ce mode est observé dans les voiles munis de raidisseur fortement armés (longitudinalement et transversalement), et soumis à des cisaillements prépondérants, voir la figure (I.9).

b) **Mode g** : rupture par glissement au niveau des reprises de bétonnage. Ce mode de rupture apparaît lorsque les armatures verticales réparties sont insuffisantes, la qualité de reprises de bétonnage est mauvaise et la valeur de l'effort normal est faible, voir la figure (I.9).

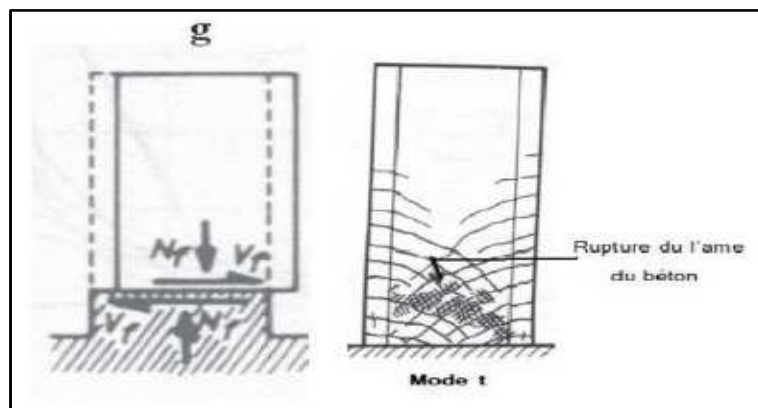


Figure I.9: Modes de ruptures des voiles élancés par l'effort tranchant, Réf.[8]

7.2.3. Rupture par la combinaison (flexion-effort tranchant)

Cette combinaison se produit par la plastification des armatures verticales de flexion et des armatures transversales. Ce cas est observé quand l'effort tranchant devient prépondérant vis-à-vis de la flexion, voir la figure (I.10).

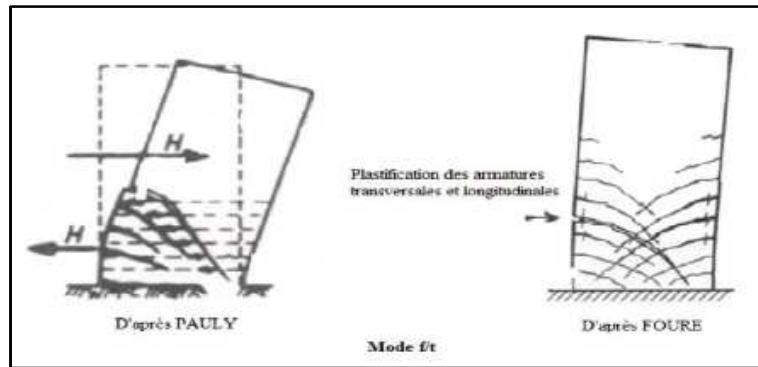


Figure I.10: Modes de ruptures des voiles élancés par la combinaison (flexion-effort tranchant) (Mode EFT), Réf.[8]

8. Ferrailage des voiles

Le modèle le plus simple d'un voile est celui d'une console parfaitement encadrée à sa base soumise à une charge verticale due à la combinaison des charges permanentes, d'exploitation, et une charge horizontale due à l'action du (vent ou séisme). Donc, le voile est sollicité par un effort normal (N), un effort tranchant (V), et un moment fléchissant maximal dans la section d'encastrement. Cette combinaison de sollicitations s'implique que les voiles sont calculés à la flexion composée et au cisaillement.

Selon les règlements BEAL91 et les règles parasismiques algériennes RPA99/Version 2003 ; les combinaisons d'actions retenues au calcul sont :

Selon le BAEL 91 : $1,35G + 1,5Q$

$G + Q$

Selon le RPA /Version 2003 $G + Q \pm E$

$0.8G \pm E$

Les diagrammes de contraintes sont estimés partir des sollicitations les plus défavorables (N, M), en utilisant les formules suivantes :

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{N}{B} + \frac{M \times V}{I}$$

$$\bar{\sigma}_{\min} = \frac{N}{B} - \frac{M \times V'}{I}$$

Avec :

B : section du béton

I : moment d'inertie du trumeau

V et V' : bras de levier ; $V = V' = \frac{L_{\text{voile}}}{2}$

Le découpage du diagramme de contraintes en bandes est défini par de largeur (d):

$$d \leq \min \left(\frac{h_e}{2} ; \frac{2}{3} L_c \right)$$

Avec :

he : hauteur entre nus du planchers du voile considéré

Lc : la longueur de la zone comprimée : $L_c = \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\bar{\sigma}_{\max} + \bar{\sigma}_{\min}} \times L$

Lt : la longueur de la zone tendue : $L_t = L - L_c$

Remarque: Les efforts normaux (N_i) dans les différentes sections, définies par la largeur (d), sont donnés en fonction de diagrammes des contraintes obtenues :

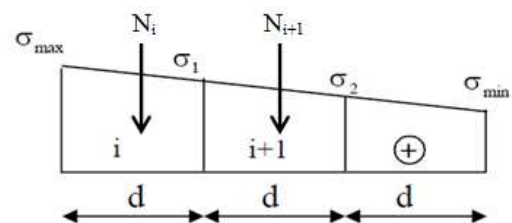
1) Cas: Section entièrement comprimée

$$N_i = \frac{\bar{\sigma}_{\max} + \bar{\sigma}_1}{2} \times d \times e$$

$$N_{i+1} = \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2}{2} \times d \times e$$

Avec :

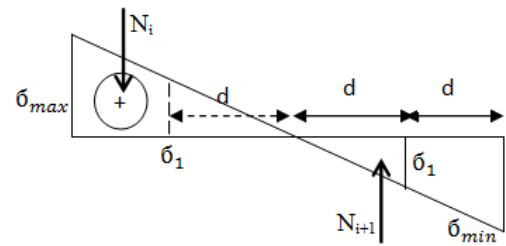
e : épaisseur du voile.



2) Cas: Section partiellement comprimée

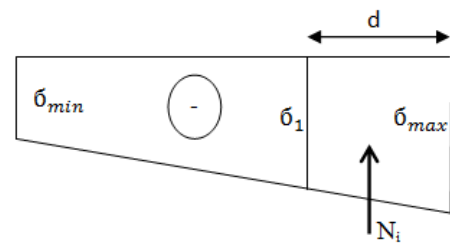
$$N_i = \frac{\sigma_{max} + \sigma_1}{2} \times d \times e$$

$$N_{i+1} = \frac{\sigma_1}{2} \times d \times e$$



3) Cas: Section entièrement tendue

$$N_i = \frac{\sigma_{max} + \sigma_1}{2} \times d \times e$$



8.1. Valeurs du ferrailage en fonction (N_i)

Les tableaux ci-dessous présentent les armatures verticales et transversales du voile en fonction de type du diagramme de contraintes obtenues.

Tableau I.1: Armatures verticales, Réf.[3]

Section entièrement comprimée	Section partiellement comprimée	Section entièrement tendue
$A_v = \frac{N_i + B \times f_{c28}}{\sigma_s}$	$A_v = \frac{N_i}{\sigma_s}$	$A_v = \frac{N_i}{\sigma_s}$
B : section du béton comprimée	Avec :	Avec :
$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$	$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$	$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$

Tableau I.2: Armatures verticales (valeurs minimales) , Réf.[3]

Compression du béton	Traction simple
$A_{\min} \geq 4\text{cm}^2$ Par mètre de parement mesuré perpendiculaire à ces armatures. $0.2\% \leq \frac{A_{\min}}{B} \leq 0.5\%$ Avec B : section du béton comprimée	$A_{\min} = \max \left(0.2\% B ; \frac{B \times f_{t28}}{f_e} \right)$ B : section du béton tendue

8.2. Ferrailage du voile selon les règles algériennes (RPA)

8.2.1. Aciers verticaux

La disposition du ferrailage vertical se fera de telle sorte qu'il reprendra les contraintes de la flexion composée en tenant compte des prescriptions imposées par le RPA/Version 2003.

- ✓ L'effort de traction engendré dans une partie du voile doit être repris en totalité par les armatures dont le pourcentage minimal est de 0.20% de la section horizontale du béton tendu.
- ✓ Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile.
- ✓ Si des efforts importants de compression agissent sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées aux poteaux.
- ✓ Les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure. Toutes les autres barres sont jointées par le recouvrement.
- ✓ A chaque extrémité du voile l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur (1/10) du largeur du voile, cet espacement doit être au plus égal à 15cm.

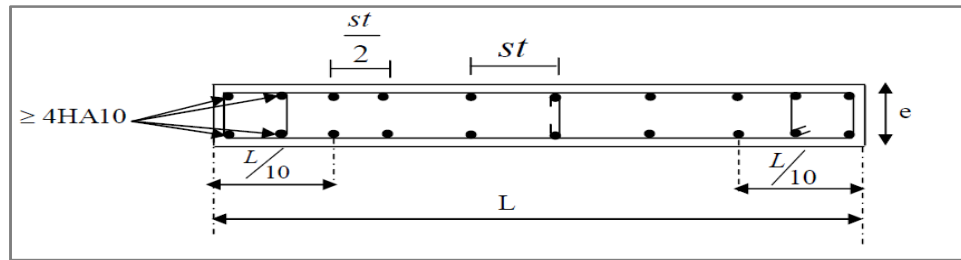


Figure I.11: Disposition des armatures verticales dans les voiles, Réf.[2]

8.2.2. Aciers horizontaux

- ✓ Les aciers horizontaux sont perpendiculairement disposés aux faces du voile.
- ✓ ils doivent être munis de crochets à (135°) ayant une longueur de 10Φ .
- ✓ Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets, si les dimensions des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

$$A_h = \frac{A_{\text{adapté}}}{4} \dots \dots \dots (\text{BAEL91.art.A.8.2.41})$$

8.2.3. Règles communes

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs suivantes :

- $S \leq 1.5e$ avec e : Epaisseur du voile.
- $S \leq 30 \text{ cm}$

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins quatre épingles au mètre carré.

Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.

Le diamètre Φ_t des épingles est :

$$\Phi_t = 6 \text{ mm lorsque } \Phi_v \leq 20 \text{ mm}$$

$$\Phi_t = 8 \text{ mm lorsque } \Phi_v > 20 \text{ mm}$$

- **Diamètre maximal**

Le diamètre des barres verticales et horizontales du voile (à l'exception des zones d'about)

ne devrait pas dépasser de $\frac{1}{10}$ l'épaisseur du voile.

- **Longueur de recouvrement**

Elle doit être égale à :

40 Φ pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible.

20 Φ pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles des charges.

- **Armatures de coutures :**

Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être repris par les aciers de coutures dont la section est donnée par la formule :

$$A_{vj} = 1.1 \frac{V}{f_e}$$

Cette quantité doit s'ajouter à la section d'acier tendue nécessaire pour équilibrer les efforts de traction dus au moment de renversement.

- **Armatures de peau :**

$$A_v = 0.6 \frac{400}{f_e}$$

$$A_h = 1.2 \frac{400}{f_e}$$

8.2.4. Vérification de l'effet de l'effort tranchant

La vérification de la résistance des voiles au cisaillement se fait avec la valeur de l'effort tranchant trouvé à la base du voile, majorité de 40% (Article 7.7.2 des RPA/Version 2003)

La contrainte de cisaillement est : $\bar{\tau}_u = 1.4 \frac{V_u}{b_0 \cdot d}$

Il faut vérifier la condition suivante : $\tau_u \leq \bar{\tau}$

Avec :

\bar{V}_u : Effort tranchant a la base du voile.

b_0 : Epaisseur du voile.

d : Hauteur utile = $0.9h$.

h : Hauteur totale de la section brute.

La contrainte limite est définie : $\bar{\tau}_u = 0.2 f_{c28}$ (l'article 7.7.2 des RPA/Version2003).

D'après le BAEL 91 : Il faut vérifier que : $\tau_u \leq \bar{\tau}$

où, $\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d}$

Avec :

τ_u : Contrainte de cisaillement

8.2.5. Ferrailage des linteaux

Les linteaux sont considérés comme des poutres encastées aux murs de refend (trumeaux). En général, les linteaux sont sollicités par un effort tranchant plus un moment fléchissant dus au séisme ou vent et les charges verticales. Comme l'effet dominant de l'effort tranchant est changeable, il est donc nécessaire de disposer les armatures d'une façon symétrique. Selon la description des règles algériennes, Les efforts (M, T) sont repris suivant des bielles diagonales (compression et traction) définies dans la figure (I.12).

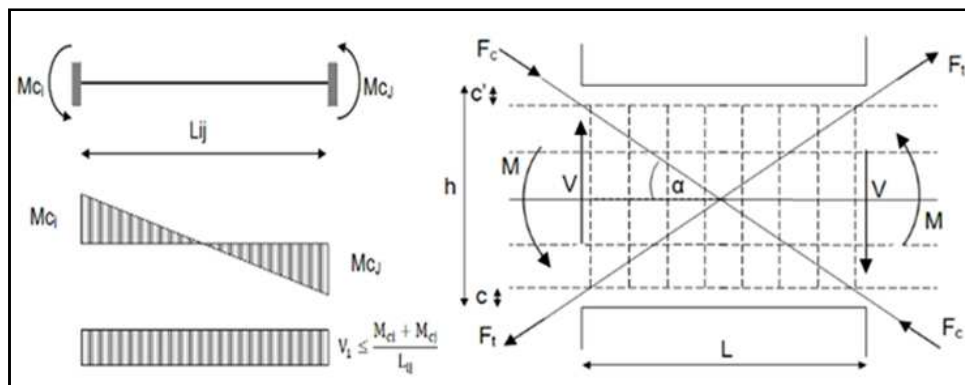


Figure I.12 : Sollicitations engendrées dans les linteaux, Réf.[2]

- **Combinaison d'actions engendrées au calcul**

Les linteaux sont soumis à l'action de :

- ✓ Son poids propre.
- ✓ Poids du plancher qui lui revient.
- ✓ Surcharge d'exploitation.
- ✓ Action de séisme.

- **Sollicitations au niveau du linteau**

Pour le du séisme, l'effort tranchant est défini : $V_E = 1,4. \Pi$

d'où le moment de l'encastrement égale : $M_E = V_E \times \frac{a}{2}$

- **Ferrailage minimal**

- Armature longitudinale : $A_l, A_l' \geq 0.0015.b.h$
- Armature transversale : $A_t \geq 0.0015.b.s$ si $\tau_b \leq 0.06f_{c28}$
 $A_t \geq 0.0025.b.s$ si $\tau_b > 0.06f_{c28}$
- Armature en section courante au de peau : $A_c \geq 0.002.b.h$
- Armatures diagonales : $A_D \geq 0.0015.b.h$ si $\tau_b > 0.06f_{c28}$
 $A_D = 0$ si $\tau_b \leq 0.06f_{c28}$

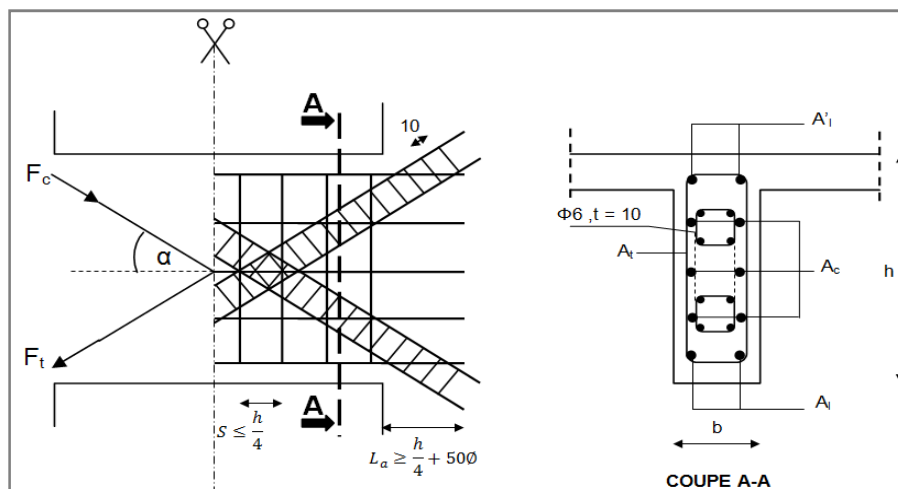
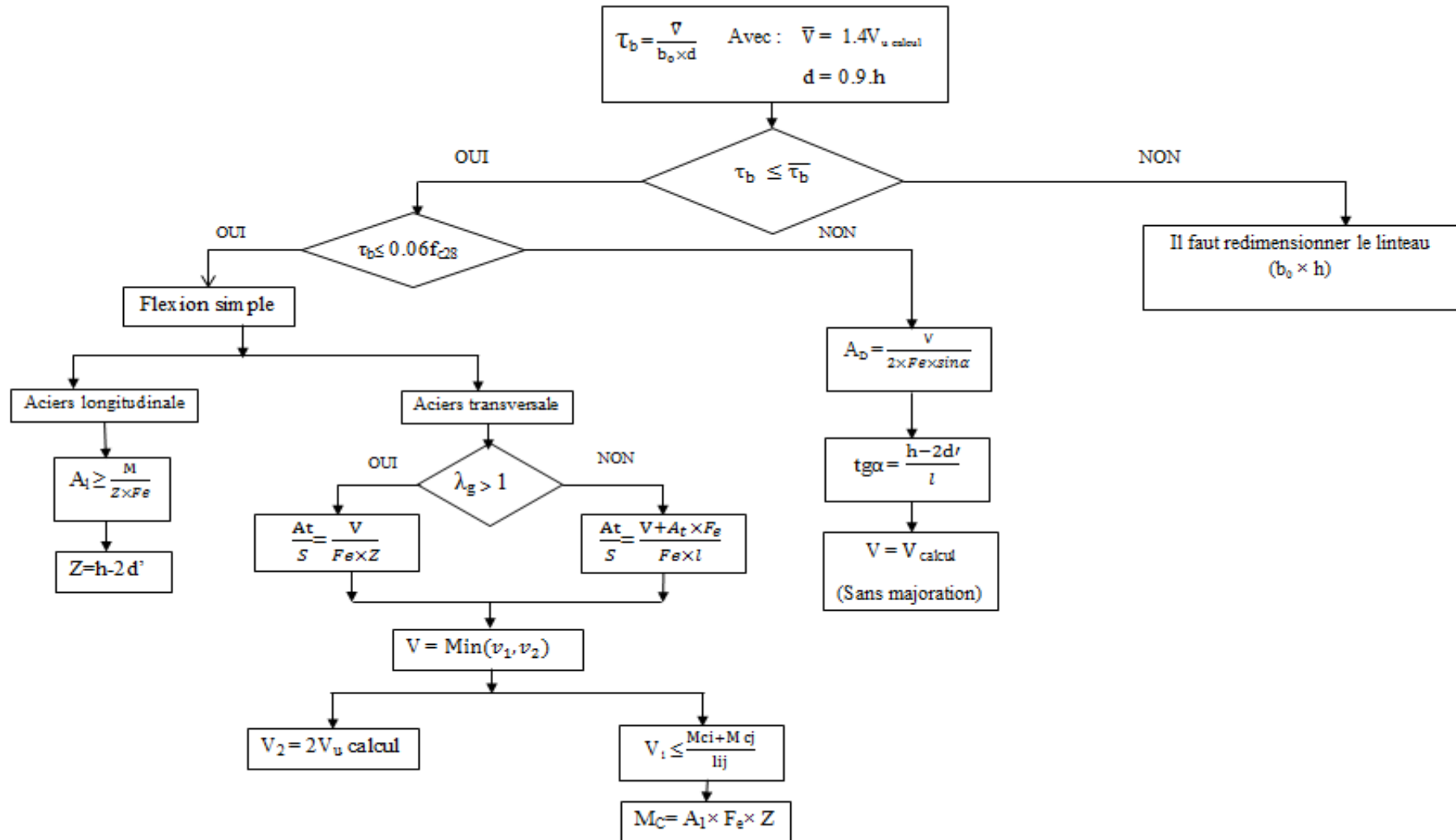


Figure I.13 : Ferrailage des linteaux, Réf.[2]

Résumons le ferrailage du linteau, selon RPA99, par l'organigramme suivant :





Chapitre . II



1. Préface

Dans ce chapitre, sauf que la méthode d'Albigès et Goulet est tenue pour la détermination des sollicitations engendrées dans les éléments du voile à une seule file d'ouvertures. Les charges horizontales, autorisées dans cette méthode, sont généralement de type du séisme, du vent constant ou triangulaire. Les actions du calcul sont considérées appliquées à chaque niveau d'étage. Les sollicitations sont estimées en fonction de type d'ouverture (petite, moyenne, ou grande) plus le nombre de files d'ouvertures (une file d'ouvertures ou plusieurs files d'ouvertures).

2. Hypothèses de la méthode d'Albigès et Goulet

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.
- Les linteaux sont uniformément distribués sur la hauteur du voile.
- 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.

3. Nomenclature

- E : module de déformation longitudinale du matériau constituant les trumeaux en (t/m^2) .
- E' : module de déformation longitudinale du matériau constituant les linteaux en (t/m^2) .
Généralement ; $E = E'$
- e : épaisseur du voile en (m).

- h_e : hauteur d'étage en (m).
- H : hauteur du bâtiment en (m).
- h_i : hauteur du linteau (i) en (m).
- a_i : largeur de l'ouverture (i) en (m).
- ℓ_i : largeur trumeau (i) en (m).
- C_i : distances entre les centres de gravité de deux trumeaux consécutifs (i) => (i+1) en (m).
- P_i : forces horizontales (Type RPA) appliquées en chaque niveau en Tonne.

4. Sollicitations de la console sous chargement externe

Les sollicitations définies ci-dessous sont calculées pour le cas d'une console sous trois différents types du chargement.

a) Vent constant :

$$M = \frac{T_0 \cdot H}{2} \cdot (1 - \xi_k)^2$$

$$T = T_0(1 - \xi_k)$$

b) Vent triangulaire :

$$M = \frac{T_0 \cdot H}{2} \cdot (2 - 3\xi_k + \xi_k^3)$$

$$T = T_0(1 - \xi_k^2)$$

c) Force concentrée (Type RPA):

$$M = (T_{K+1} \cdot h_e) + M_{K+1}$$

$$T = \sum_{j=1}^K F_j$$

T_0 : est l'effort tranchant à la base de la console.

ξ_k : coefficient correspond à la hauteur relative à chaque niveau.

5. Voile à une seule file d'ouvertures

En fonction du coefficient de monolithisme (α), qui correspond à la taille de l'ouverture par rapport la surface brute du m voile, trois situations sont distinguées pour évaluer les sollicitations aux différents éléments constituant le voile.

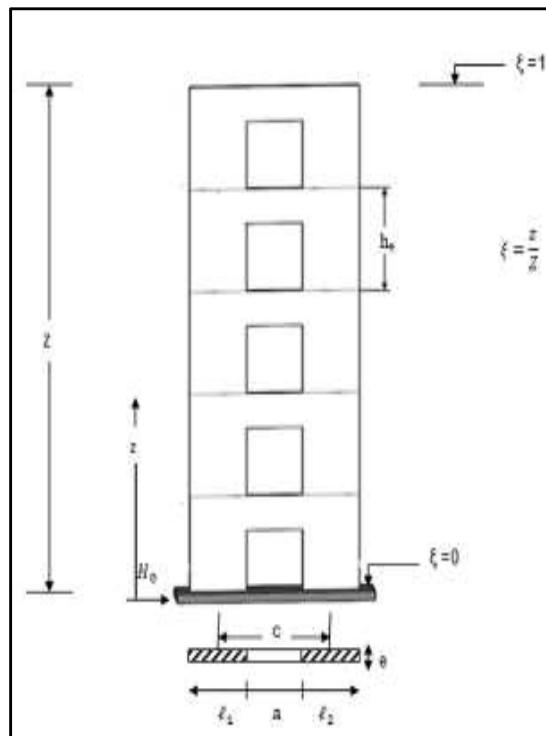


Figure II.1 : Modèle descriptif d'un voile à une seule d'ouvertures, Réf.[4]

5.1. Type d'ouvertures moyennes ($1 \leq \alpha \leq 10$)

Suivant l'importance de l'intervention des linteaux dans la stabilité du voile sous l'action des charges horizontales, le cheminement du calcul est commencé comme suivant :

- Calcul de la section et l'inertie de chaque trumeau.
- Inertie du linteau :

$$i = \frac{e \times h_l^3}{12}$$

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

$$m = \frac{c}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2}}$$

- Inertie totale du voile :

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

- Angle de rotation :

$$\omega = \sqrt{\frac{12 \cdot E' \cdot i}{E(I_1 + I_2)} \cdot \frac{I}{m} \cdot \frac{c}{a^3 \cdot h_e}}$$

Cas général : $E = E'$

$$\omega = \sqrt{\frac{12 \cdot i}{(I_1 + I_2)} \cdot \frac{I}{m} \cdot \frac{c}{a^3 \cdot h_e}}$$

- Calcul de la valeur de (α) : $\alpha = \omega \cdot H$

5.2. Sollicitations dans les éléments du voile

Résumons les formules correspondantes aux calculs des sollicitations aux différents éléments.

Tableau II.1 : Sollicitations engendrées aux linteaux, Réf.[1]

VOILE A UNE SEULE FILE D'OUVERTURES_SOLLICITATIONS				
Type d'ouverture		$\alpha < 1$ Grandes Ouvertures	$1 \leq \alpha \leq 10$ Ouvertures Moyennes	$10 < \alpha$ Petites Ouvertures
Linteau	$V_L^{(k)}$	0	Vent Uniforme ou Triangulaire $\frac{T_0 \cdot m \cdot h_e}{I} \cdot \phi(\alpha, \xi)$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> Forces Concentrées (Type: RPA) $\frac{T_0 \cdot m \cdot h_e}{I} \cdot \phi(\alpha, \xi, n)$	$\frac{m \cdot h_e}{I} \cdot T_k$
	$M_L^{(k)}$	0	$V_L^{(k)} \cdot \frac{a}{2}$	

Tableau II.2 : Sollicitations engendrées aux trumeaux, Réf.[1]

VOILE A UNE SEULE FILE D'OUVERTURES_SOLLICITATIONS				
Type d'ouverture		$\alpha < 1$ Grandes Ouvertures	$1 \leq \alpha \leq 10$ Ouvertures Moyennes	$10 < \alpha$ Petites Ouvertures
Trumeau (1)	$M_{T1}^{(k)}$	$\frac{I_1}{I_1 + I_2} M_k$	Vent Uniforme ou Triangulaire $\frac{I_1}{I_1 + I_2} T_0.H \left[\frac{M_k}{T_0.H} - \frac{C.m}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$ ----- Forces Concentrées (Type: RPA) $\frac{I_1}{I_1 + I_2} T_0.H \left[\frac{M_k}{T_0.H} - \frac{C.m}{I} \psi(\alpha, \xi, n) \right]$	0
	$N_{T1}^{(k)}$	0	Vent Uniforme ou Triangulaire $\frac{T_0.m.H}{I} \psi(\alpha, \xi)$ ----- Forces Concentrées (Type: RPA) $\frac{T_0.m.H}{I} \psi(\alpha, \xi, n)$	$\frac{1}{C} M_k$
Trumeau (2)	$M_{T2}^{(k)}$	$\frac{I_2}{I_1 + I_2} M_k$	Vent Uniforme ou Triangulaire $\frac{I_2}{I_1 + I_2} T_0.H \left[\frac{M_k}{T_0.H} - \frac{C.m}{I} \psi(\alpha, \xi) \right]$ ----- Forces Concentrées (Type: RPA) $\frac{I_2}{I_1 + I_2} T_0.H \left[\frac{M_k}{T_0.H} - \frac{C.m}{I} \psi(\alpha, \xi, n) \right]$	0
	$N_{T2}^{(k)}$	0	$- N_{T1}^{(k)}$	

5.3. Vérification de l'équilibre extérieur

La vérification est faite par la comparaison ($M_{\text{ext}}=M_{\text{int}}$) entre les moments (Extérieur et Intérieur) produits à la base du voile.

Sachant que : $M_{\text{int}}= M_1+M_2+N_1.C$; $M_{\text{ext}} = M_0 = M_{\text{base}}$

Schéma des Sollicitations pour les trois cas de files d'ouvertures, Réf.[6] :

Type D'ouvertures	Ouvertures moyennes	Petites Ouvertures	Grandes Ouvertures
Schéma des sollicitations résultantes			

Remarque : Les tableaux illustrés dans l'annexe, représentant les valeurs de ϕ et ψ , sont estimées par le programme VFO_v2.1.EXE développé par Mr. DJIREB (Encadreur).

5.4. Application numérique

Supposons un voile à une seule file d'ouvertures, dont les données sont citées comme suit :

Épaisseur du voile : $e = 20$ cm

Forme de sections (Trumeaux) : rectangulaire

Hauteur d'étage : $h_e = 2.8$ m

Nombre d'étages : $n = 11$

Hauteur Totale de voile : $H = 30.8$ m

Tableau II.3 : Informations sur le modèle étudié

	TRUMEAU(1)	TRUMEAU(2)	LINTEAU
Longueur (m)	7.80	4.80	1.50
Hauteur (m)	2.80	2.80	0.84
Module de Young (t/m ²)	2.00E+06	2.00E+06	2.00E+06
Type du chargement (t)	Force concentrées type (RPA)		

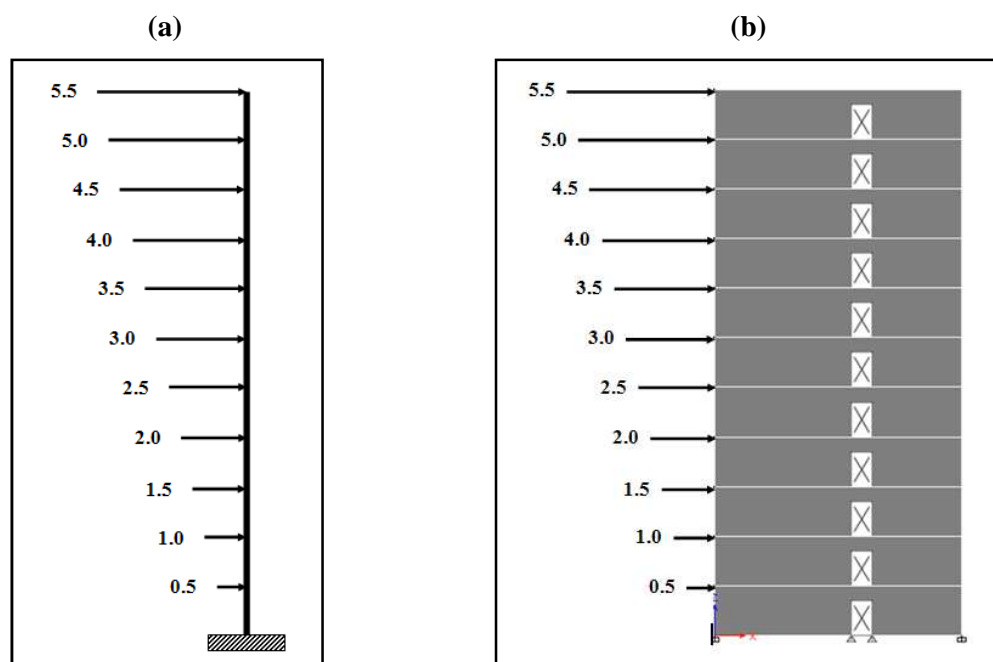


Figure II.2 : a) Modèle discrétisé-console, b) Voile avec une file d'ouvertures

5.5. Description des étapes du calcul

- Surface :
 - Trumeau1 : $S1 = 0.2 * 7.8 = 1.56 \text{ m}^2$
 - Trumeau2 : $S2 = 0.2 * 4.8 = 0.96 \text{ m}^2$
 - Linteau : $SL = 0.2 * 0.84 = 0.168 \text{ m}^2$
- Inerties :
 - Trumeau 1 : $I1 = (0.2 * 7.8^3) / 12 = 7.91 \text{ m}^4$
 - Trumeau 2 : $I2 = (0.2 * 4.8^3) / 12 = 1.84 \text{ m}^4$
 - Linteau: $I_l = (0.2 * 0.84^3) / 12 = 0.0098 \text{ m}^4$
- Moment statique :
 - $m = 7.8 / ((1 / 1.56) + (1 / 0.96)) = 4.64 \text{ m}^3$
- Inertie totale :
 - $I = 7.91 + 1.84 + (4.64 * 7.8) = 45.94 \text{ m}^4$
- Angle de rotation :
 - $W = ((12 * 2 * 10^6 * 0.0098 / 1.5^3) * (1 / (2 * 10^6 * 2.8))) * ((7.8 / 4.64) * (457.91) * 1.84)) = 0.31 \text{ m}^{-1}$
- Coefficient de monolithisme
 - $\alpha = W * H = 0.31 * 30.8 = 9.54$
- Décision : $1 < \alpha = 9.54 < 10$
- Évaluation des valeurs (ϕ et ψ)
 - Exploitions les tableaux correspondants aux Forces concentrées-Type RPA, développés par Mr. DJIREB (voir Annexe) ; les valeurs estimées sont :

Tableau II.4 : Valeurs (ϕ et ψ)

	Niv.	ξ	ϕ	ψ
$\xi = Z/H$	11	1	0.17	0
	10	0.91	0.23	0.02
	9	0.82	0.35	0.04
	8	0.73	0.40	0.07
	7	0.64	0.53	0.11
	6	0.55	0.65	0.17
	5	0.45	0.76	0.24
	4	0.36	0.84	0.33
	3	0.27	0.89	0.43
	2	0.18	0.88	0.58
	1	0.09	0.53	0.46

- Évaluation de l'effort tranchant (console) par niveau (j)

$$T_0 = \Sigma F_j$$

Niv.	Force (t)	Vj (t)
11	5.5	5.5
10	5	5 + 5.5 = 10.5
9	4.5	10.5 + 4.5 = 15
8	4	15 + 4 = 19
7	3.5	19 + 3.5 = 22.5
6	3	22.5 + 3 = 25.5
5	2.5	25.5 + 2.5 = 28
4	2	28 + 2 = 30
3	1.5	30 + 1.5 = 31.5
2	1	31.5 + 1 = 32.5
1	0.5	32.5 + 0.5 = 33

$$T_0 = 33t$$

- Évaluation des moments (console) par niveau (j)

Niv.	Mj (t.m)
11	0
10	5.5 * 2.8 = 15.4
9	15.4 + (10.5 * 2.8) = 44.8
8	44.8 + (15 * 2.8) = 86.8
7	86.8 + (19 * 2.8) = 140
6	140 + (22.5 * 2.8) = 203
5	203 + (25.5 * 2.8) = 274.4
4	274.4 + (28 * 2.8) = 352.8
3	352.8 + (30 * 2.8) = 436.8
2	436.8 + (31.5 * 2.8) = 525
1	525 + (32.5 * 2.8) = 616
0	616 + (33 * 2.8) = 708.4

$$M_0 = 708.4 \text{ t.m}$$

- Évaluation des sollicitations (Linteaux)

$$V_{L(j)} = \frac{33 * 4.64 * 2.8}{445.49} \phi(j)$$

Niv.	$V_{L(j)}$ (t)	$M_L(j)$ (t.m)
11	1.58	1.18
10	2.14	1.6
9	3.2	2.4
8	3.73	2.79
7	4.95	3.71
6	6.1	4.57
5	7.09	5.32
4	7.84	5.88
3	8.3	6.22
2	8.2	6.15
1	4.95	3.71

- Évaluation des sollicitations (Trumeau 1)

$$N(j) = \frac{33 * 4.6 * 30.8}{45.94} \Psi(j)$$

Niv.	$M_{T1(j)}$ (t.m)	$N_{T1(j)}$ (t)
11	0	0
10	-0.5	2.05
9	10.4	4.11
8	24.9	7.19
7	42.12	11.29
6	54.25	17.45
5	66.7	24.63
4	71.84	33.9
3	75.03	44.14
2	49.14	59.54
1	200.9	47.22
	574.71	

- Évaluation des sollicitations (Trumeau 2)

$$N(j) = -\frac{33 * 4.6 * 30.8}{45.94} \Psi(j)$$

Niv.	$M_{T2}(j)$ (t.m)	$N_{T2}(j)$ (t)
11		0
10	-0.12	-2.05
9	2.41	-4.11
8	5.8	-7.19
7	9.79	-11.29
6	12.62	-17.45
5	15.51	-4.63
4	16.71	-33.9
3	17.45	-44.14
2	11.43	-59.54
1	46.73	-47.22
	133.68	0

Remarque : Les résultats du modèle, manuellement calculés, sont en bon accord avec les résultats évalués par le programme VFO_v2.1.EXE, développé par DJIREB Samir.

INTRODUCTION DES DONNÉES

PROGRAMME: VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES
CALCUL DES SOLLICITATIONS

Version: 2.1.0

REALISE PAR: DJIREB Samir

NOTE/ L'auteur n'est pas responsable de l'utilisation faite
de ce programme

D O N N E E S

Titre: Exemple d'application (PFE2020)

Nombre d'Etages: 11
Hauteur d'Etage(m): 2.80
Nombre de files d'ouvertures: 1

Type de Chargement: 1. FORCES CONCENTREES TYPE (RPA)
2. VENT CONSTANT
3. VENT TRIANGULAIRE

CHOIX

1

	TRUMEAU (1)	TRUMEAU (2)	LINTEAU
	-----	-----	-----
Sec/T (Rect./ Non Rect.):	Rect.	Rect.	Rect.
Epaisseur. (m):	0.20	0.20	0.20
Longueur. (m):	7.80	4.80	1.50
Hauteur. (m):	2.80	2.80	0.84
Longueur Gauche(m)// centre (m):	3.90	2.40	
Longueur Droite(m)// centre (m):	3.90	2.40	
Aire(Cas non Rect.) (m2):			
Inertie(Cas non Rect.) (m4):			
Module de Young (t/m2):	2.00E+06	2.00E+06	2.00E+06

Tab/Charge Appliquées:	Niv(j)	Zj (m)	Fj (t)	Q (t/m)
	-----	-----	-----	-----
	11	30.80	5.50	
	10	28.00	5.00	
	9	25.20	4.50	
	8	22.40	4.00	
	7	19.60	3.50	
	6	16.80	3.00	
	5	14.00	2.50	
	4	11.20	2.00	
	3	8.40	1.50	
	2	5.60	1.00	
	1	2.80	0.50	

RÉSULTATS DU CALCUL

PROGRAMME: VOILES SOUS CHARGES HORIZONTALES
 CALCUL DES SOLlicitATIONS
 Version: 2.1.0
 REALISE PAR: DJIREB Samir
 NOTE/ L'auteur n'est pas responsable de l'utilisation faite de ce programme
 Ce Programme est en cours d'Evaluation
 Date: 11/05/2020 à 19:46

DONNEES

 Titre: Exemple d'application (PFE2020)
 Nombre d'Etages = 11
 Hauteur d'Etage(m)= 2.80 m
 Hauteur Totale du Voile(m)= 30.80 m
 Nombre de files d'ouvertures = 1
 TYPE DE CHARGEMENT: FORCES CONCENTREES TYPE (RPA)

ELEMENT	SEC./Tr.	Epai. (m)	Long. (m)	Haut. (m)	Aire (m2)	Iner. (m4)	L O N G U E U R		Mod.Young (t/m2)
							Gauche (m)	Droite (m)	
TRUM.1	Rect.	0.20	7.80	2.80	1.56E+00	7.91E+00	3.90	3.90	2.00E+06
TRUM.2	Rect.	0.20	4.80	2.80	9.60E-01	1.84E+00	2.40	2.40	2.00E+06
LINT.1	Rect.	0.20	1.50	0.84	1.68E-01	9.88E-03			2.00E+06

Distance Ci (m) : 7.80 m
 Moment Statique (m3) : 4.64 m3
 Inertie Totale (m4) : 45.91 m4
 Inertie Equiv. (m4) : / m4

W = 0.32 m⁻¹ DECISION/
 Coeff. Monolithique : Alpha = 9.71 TYPE D'OUVERTURES: MOYENNES (1 =< Alpha =< 10)

j	Cote Zj (m)	Force/Ch. Fj (t)	Ef./Tran. Vj (t)	Moment Mj (t.m)	F A C T E U R S		
					ksi (j)	phi (j)	psi (j)
11	30.80	5.50	5.50	0.00	1.00	0.17	0.00
10	28.00	5.00	10.50	15.40	0.91	0.21	0.02
9	25.20	4.50	15.00	44.80	0.82	0.32	0.04
8	22.40	4.00	19.00	86.80	0.73	0.44	0.07
7	19.60	3.50	22.50	140.00	0.64	0.56	0.12
6	16.80	3.00	25.50	203.00	0.55	0.67	0.18
5	14.00	2.50	28.00	274.40	0.45	0.76	0.24
4	11.20	2.00	30.00	352.80	0.36	0.83	0.31
3	8.40	1.50	31.50	436.80	0.27	0.86	0.39
2	5.60	1.00	32.50	525.00	0.18	0.81	0.47
1	2.80	0.50	33.00	616.00	0.09	0.59	0.53
0	0.00		33.00	708.40	0.00	0.00	0.57

SOLLICITATIONS

j	Cote Zj (m)	L I N T E A U X		T R U M E A U (1)		T R U M E A U (2)	
		V (t)	M (t.m)	M1 (t.m)	N1 (t)	M2 (t.m)	N2 (t)
11	30.80	1.55	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00
10	28.00	2.00	1.50	1.66	1.71	0.39	-1.71
9	25.20	2.96	2.22	9.96	4.17	2.32	-4.17
8	22.40	4.08	3.06	21.78	7.69	5.08	-7.69
7	19.60	5.21	3.90	35.53	12.33	8.28	-12.33
6	16.80	6.24	4.68	50.34	18.07	11.73	-18.07
5	14.00	7.13	5.35	65.84	24.77	15.34	-24.77
4	11.20	7.78	5.84	82.09	32.25	19.13	-32.25
3	8.40	8.04	6.03	99.91	40.21	23.28	-40.21
2	5.60	7.55	5.66	121.59	48.09	28.34	-48.09
1	2.80	5.52	4.14	152.88	54.81	35.63	-54.81
0	0.00	0.00	0.00	207.67	57.99	48.40	-57.99

VERIFICATION DE L'EQUILIBRE EXTERIEUR

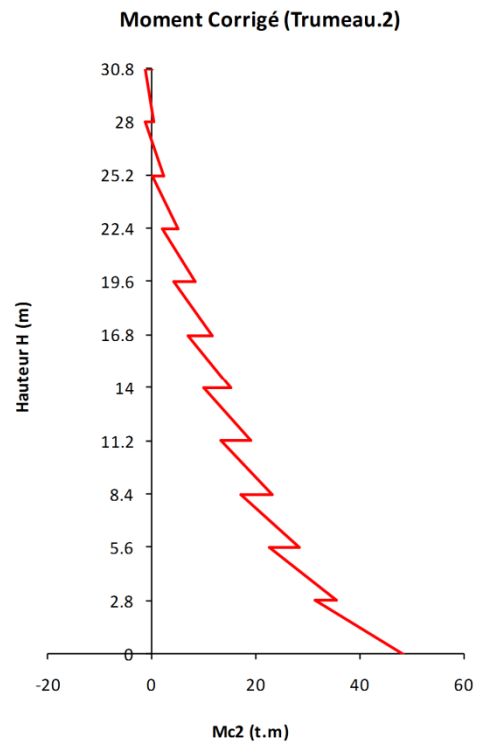
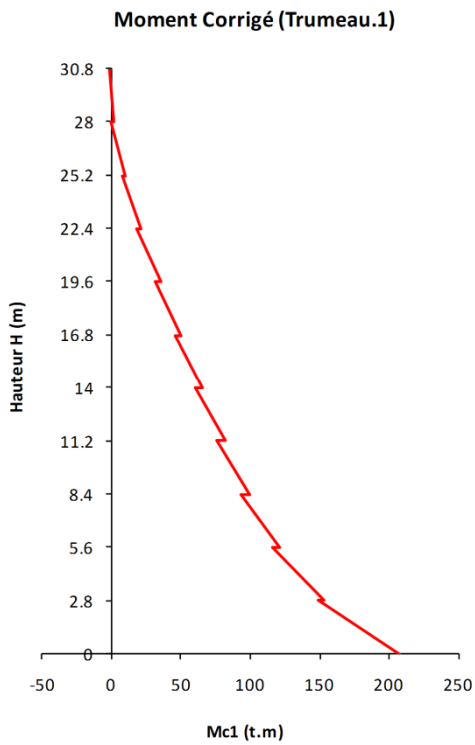
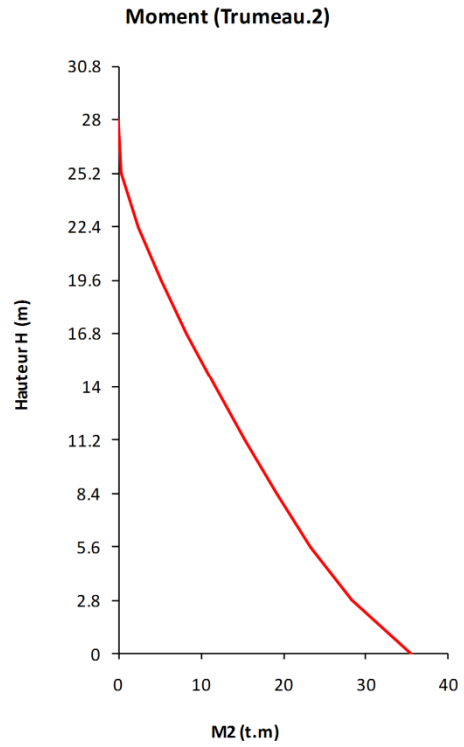
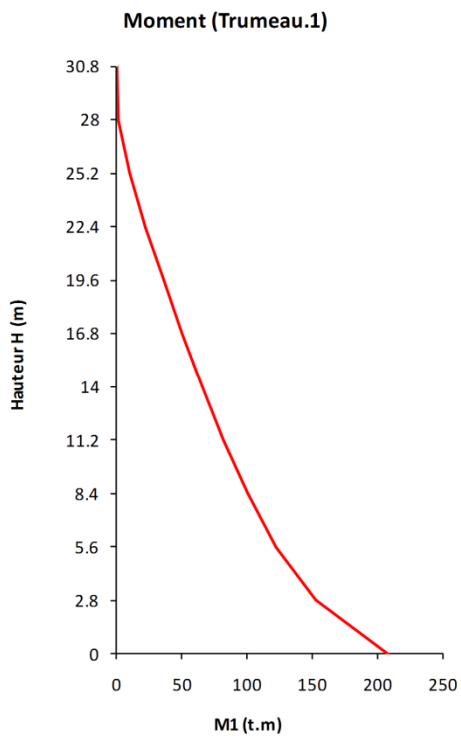
 Note: M(int) est estimé par rapport au centre du Trumeau (2)

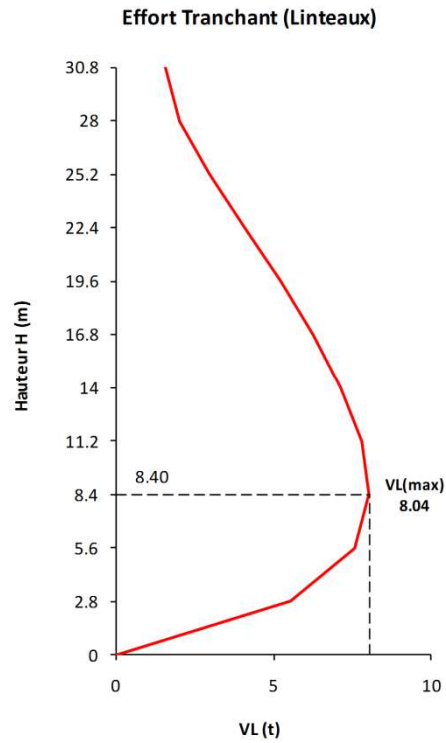
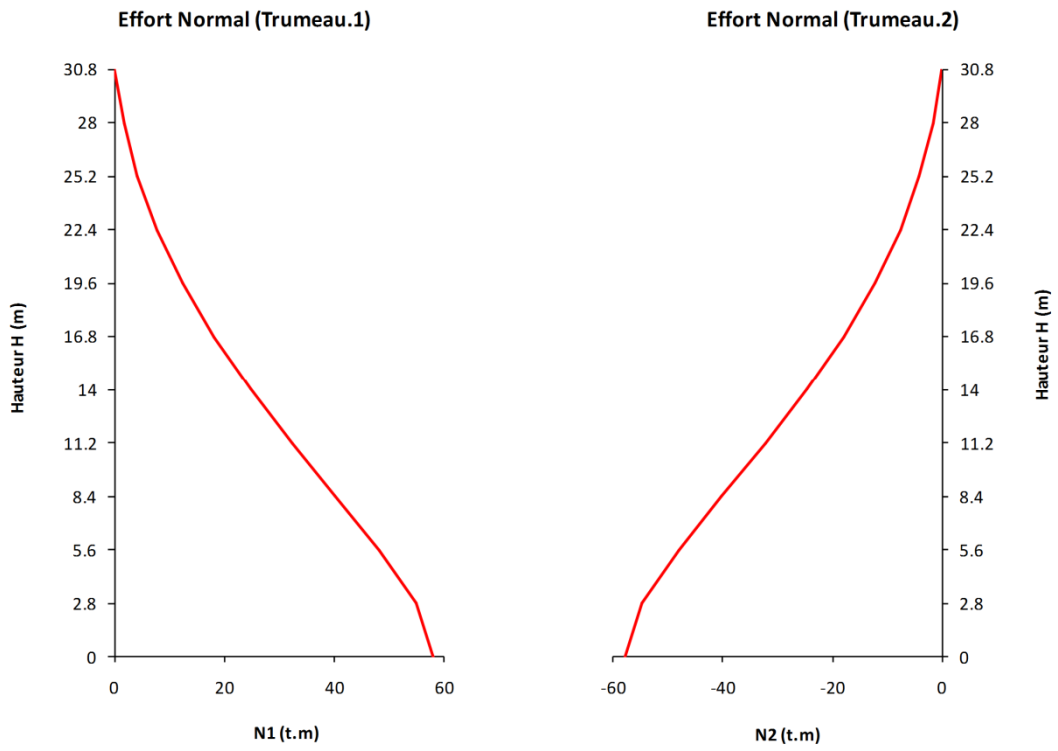
DECISION/

L'EQUILIBRE EXTERIEUR A LA BASE DU VOILE EST VERIFIE

M(Ext) = 708.40 t.m
 M(Int) = 708.40 t.m

AFFICHAGE DES RÉSULTATS





5.6. Analyse de résultats

Par l'exploitation de la méthode classique d'Albigès et Goulet, pour la détermination des sollicitations dans les éléments du voile sous charges horizontales, il est à noter que les valeurs importantes de l'effort tranchant engendrant aux linteaux se localisées aux cinq premiers niveaux. En conséquence, il est bien de tenir en compte la vérification l'effet des bielles diagonales par la mise en place des armatures diagonales.

En fonction de la valeur de l'inertie correspondante au mur de refend (Trumeau), il est remarqué que le trumeau (1) est subi un moment plus important que le trumeau (2).

Les deux trumeaux supportent les mêmes efforts normaux mais en signes opposées. Il est constaté d'après le calcul que les efforts normaux sont progressivement développés vers le bas du voile.



Chapitre . III



1. Préface

Dans ce chapitre, les phases de calcul de l'étude paramétrique sont exécutées par l'exploitation du code numérique ETABS_v13. Le nombre d'étage est fixé en 10 niveaux. L'épaisseur du voile est donnée égale à $e=0,2$ m. La hauteur d'étage est définie par une valeur identique, $h_e=2,8$ m. La hauteur des linteaux est identique égale, $h_L=0,84$ m. Le module d'élasticité est fixé égale à $E=32e7$ KN/m² et le coefficient de Poisson, $\nu=0,2$.

2. Cas d'un voile à une seule file d'ouvertures

Effet du rapport (a/L)

La vérification est faite pour le cas d'un voile à une seule file d'ouvertures. La largeur du voile est proposée égale, $L=5,4$ m. La largeur de l'ouverture est supposée variable dans l'intervalle de ($a=0,3$ à $3,6$ m) avec un pas de ($0,3$ m). L'ensemble du chargement appliqué est défini par des forces horizontales concentrées, à chaque étage, avec une valeur de 100 KN. Respectons la condition du règlement parasismique (RPA99_v2003), si $L \geq 4e$, l'élément du voile peut se définir comme un mur de refend (trumeau). En conséquence, le trumeau (1) est pris en départ par une largeur ($L_1=0,9$ m). L'objectif de ce teste est de vérifier l'influence la surface de vide (ouverture) sur les sollicitations engendrées dans les éléments du voile.

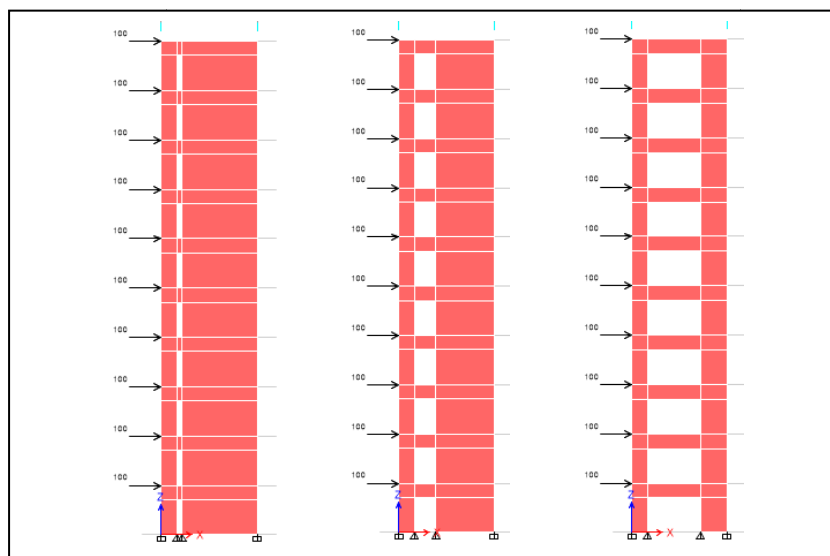


Figure III.1 : Modèle du voile avec différents rapports (a/L)

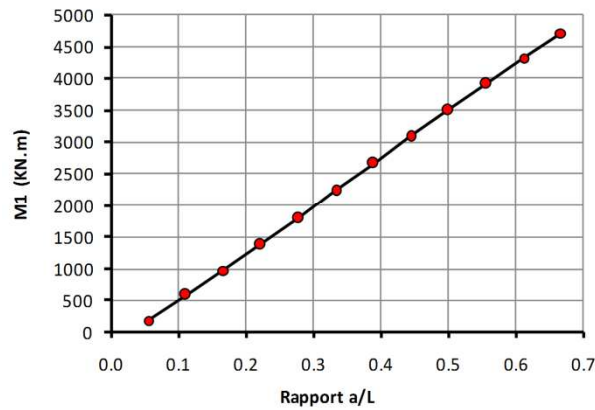


Figure III.2 : Variation du moment à la base du trumeau (1)

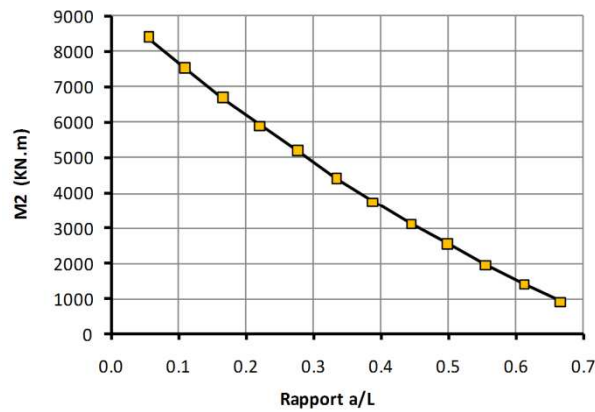


Figure III.3 : Variation du moment à la base du trumeau (2)

Il est à noter, dans la figure (III.2 et III.3), que la variation des moments (M_1) et (M_2) présente une variation linéaire avec le rapport (a/L). Au départ de l'essai numérique, le trumeau (1) est pris une largeur, $L_1=0,9\text{m}$. Cependant, le trumeau (2) est défini par $L_2=4,2\text{m}$. Il est observé que le rapport (a/L) s'influe directement sur les valeurs obtenues, d'une façon opposée pour les deux trumeaux. En conséquence, il est constaté que le facteur d'inertie, correspondant au trumeau considéré, joue le rôle principal sur les grandeurs de ces sollicitations (M_1 et M_2).

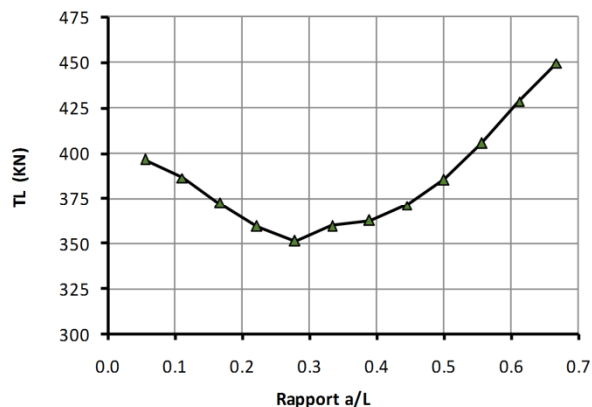


Figure III.4 : Variation de l'effort tranchant au niveau du linteau (RDC)

La figure (III.4) montre la variation de l'effort tranchant au niveau du premier linteau (RDC) en fonction du rapport (a/L). Il est noté que le développement du cisaillement se manifeste en deux situations ; le premier cas représente un décroissement des valeurs de l'effort tranchant d'une façon quasi-linéaire, où, la valeur au début égale, $T_L=370$ KN pour $a/L=0,06$. Quand le rapport $a/L=0,28$; l'effort tranchant est minimisé jusqu'à $T_L=351$ KN. Cette variation peut s'expliquer par le comportement du linteau qui réagit comme un élément rigide (h_L/a), où, l'absorption de l'effet des forces horizontales exprimé par le déplacement latéral du voile. Le deuxième cas représente un accroissement de l'effort tranchant en fonction de la progression du rapport (a/L) qui définit l'état du linteau réagit comme une poutre flexible dans l'intervalle de ($a/L= 0,3$ à $0,67$).

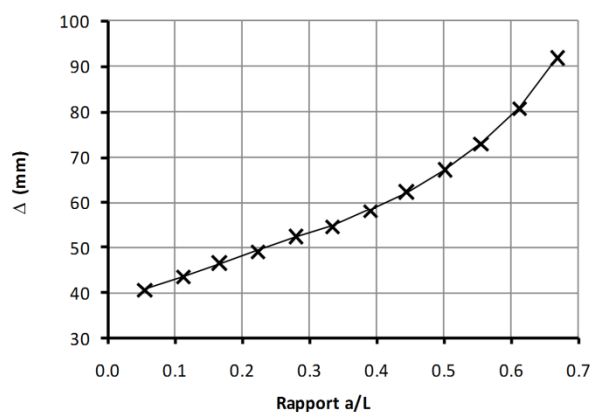


Figure III.5 : Variation de la déformation latérale au sommet du voile

La figure (III.5) montre que la déformation latérale au sommet du voile progresse positivement avec la progression du rapport (a/L). L'augmentation de la largeur de l'ouverture (a) s'influe directement sur les linteaux. Cette influence transforme le comportement des linteaux qui sont, au début, estimés rigides à des éléments plus flexibles réagissent comme des poutres. Cette flexibilité rend le voile plus flexible notamment avec une grande hauteur totale égale, $H=28m$ qu'il représente.

3. Cas d'un voile à des ouvertures décalées

Selon les aspects architecturaux, l'emplacement des ouvertures dans les voiles peut prendre certaines particularités. Dans ces situations les méthodes classiques, désignées au calcul des sollicitations dans les éléments des voiles prennent des files d'ouvertures uniformes, deviennent incapables et limitées à cause de leurs hypothèses et principes de calcul. Dans la littérature, un grand manque de documents traitant ce genre de problème. Quelques aperçus trouvés sur ce sujet, comme le cas cité dans le livre de Henry Thonier [3], en donnant une idée sur la distribution graphique des contraintes par des bielles dans des points bien définis. A cet effet, plusieurs applications numériques ont été exécutées par l'exploitation du code ETABS_v13.

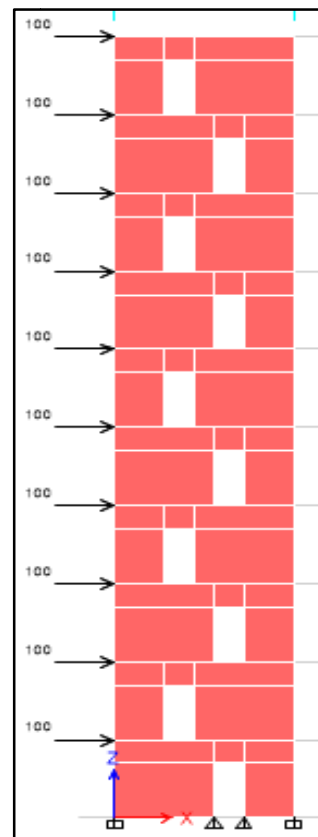


Figure III.6 : Modèle du voile à des ouvertures décalées sollicité par un ensemble des forces concentrées

3.1. Effet de l'espacement L_3

Dans ce teste, les ouvertures sont espacées entre elles par une distance nommée (L_3). Le voile étudié porte les mêmes caractéristiques citées précisément, cas d'un voile à une seule file d'ouvertures. La hauteur du linteau est considérée égale à $h_L=0,84m$. La distance L_3 est varié en trois valeurs (0,6m ; 1,2m ; 1,8m), voir les détails dans les figures (III.7, III.8, III.9).

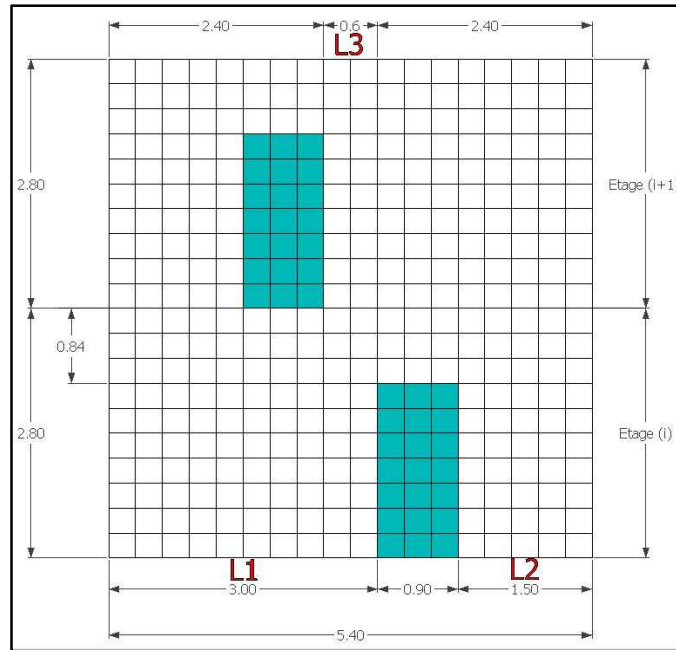


Figure III.7 : Cas (1) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=0,6m$

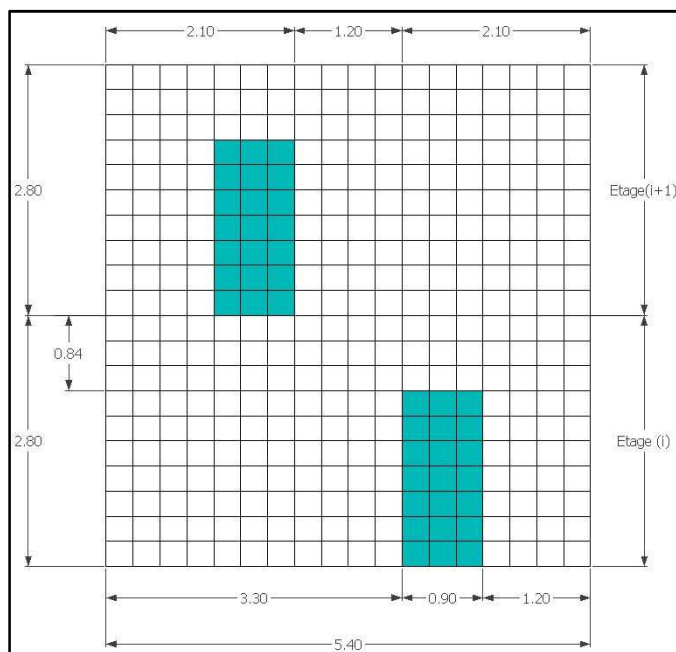


Figure III.8 : Cas (2) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=1,2m$

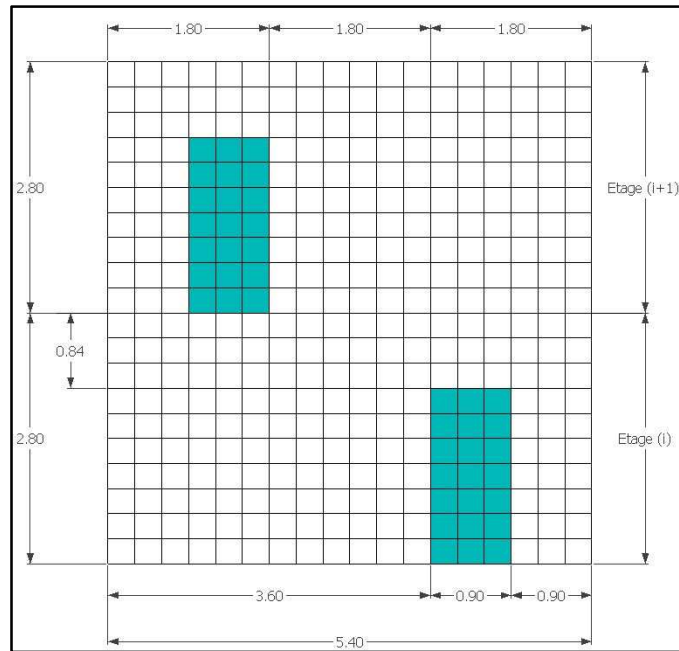


Figure III.9 : Cas (3) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=1,8\text{m}$

La figure (III.10) montre les sollicitations (M_1 et M_2) développées dans les trumeaux du voile à chaque niveau (j). Il est remarqué que la variation de la valeur des moments, le long de la hauteur totale ($H=28\text{m}$), est pris un mode alternatif sous l'effet de l'emplacement de l'ouverture à chaque niveau. Quand M_1 est accroissant ; la valeur de M_2 est décroissante.

Les résultats obtenus pour les cas (2) et (3) sont quasiment semblables que ceux représentés par le cas (1). Cette variation des valeurs, à chaque niveau, peut s'expliquer par la participation importante de l'inertie de chaque trumeau par rapport à l'inertie totale du voile en fonction de l'emplacement du linteau qui absorbe un taux du moment de la console. Cette situation est déjà rencontrée dans le cas d'un voile à une seule file d'ouvertures (file uniforme).

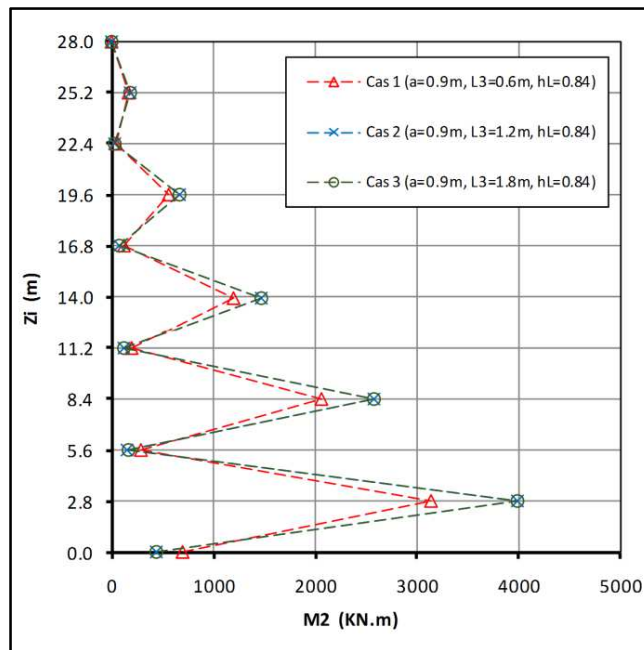
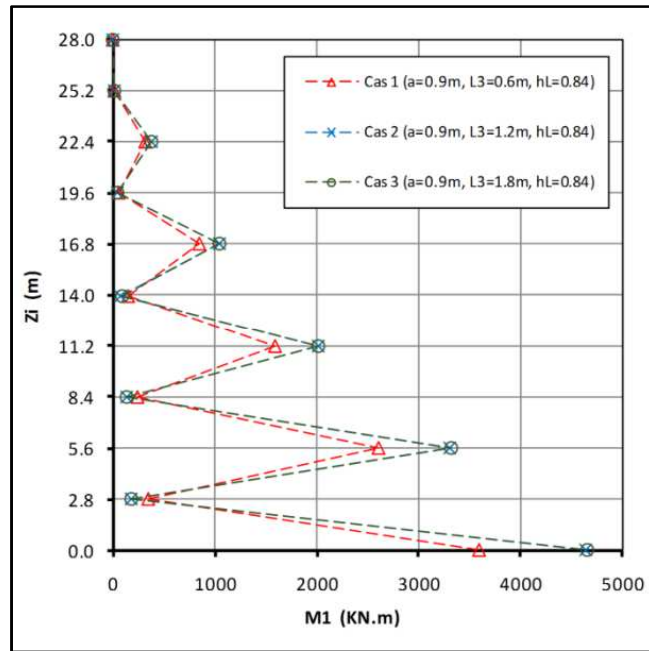


Figure III.10 : Sollicitations (M_1 et M_2) dans les trumeaux du voile à des ouvertures décalées,
Cas : $L_3=0,6m$; $1,2m$; $1,8m$

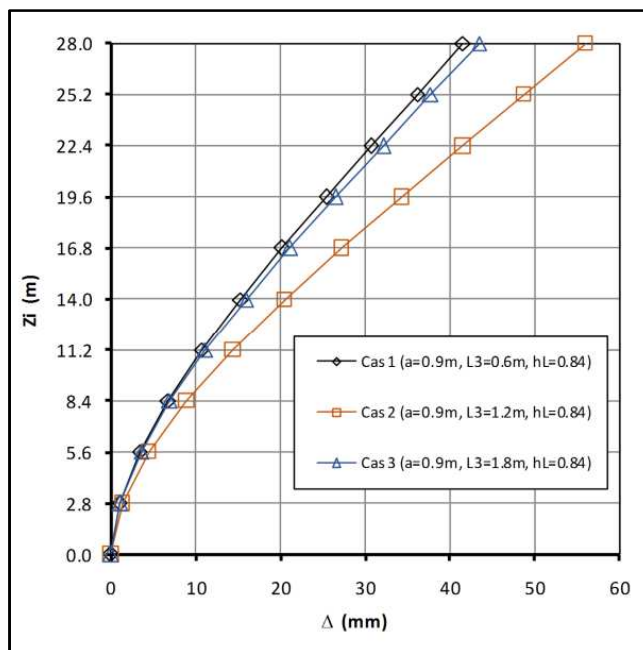


Figure III.11 : Déformation latérale du voile à des ouvertures décalées,
Cas : $L_3=0,6\text{m}$; $1,2\text{m}$; $1,8\text{m}$

Dans la figure (III.11), il est remarqué que la déformation latérale, le long de la hauteur totale ($H=28\text{m}$), est progressivement augmentée vers le sommet. Les valeurs maximales sont trouvées pour le cas (2) correspondant à l'espacement ($L_3=1,2\text{m}$), où toutes les trois dimensions (L_1 , L_2 et L_3) sont identiques. Cependant, les déformations produites pour les cas (1) et (3) sont trouvées approximativement approchées. Il est constaté que le facteur d'inertie est dominant en fonction de la dimension correspondante.

3.2. Effet de la hauteur du linteau h_L

Dans cette phase, deux cas ont été examinés en fonction de l'effet de la hauteur du linteau. Les figures (III.12; III.13) montrent le maillage accordé pour le modèle dont la dimension L_3 est fixée égale à $0,6\text{ m}$. la hauteur du linteau est choisi variée entre deux valeurs ($0,84\text{m}$ et $1,68\text{m}$). Cette variété de h_L à pour augmenter la zone de transmission des bielles de contraintes entre les

ouvertures voisines. le teste numérique sur le modèle est fait en gardant les mêmes conditions précédemment convenues pour les cas (1, 2 et 3).

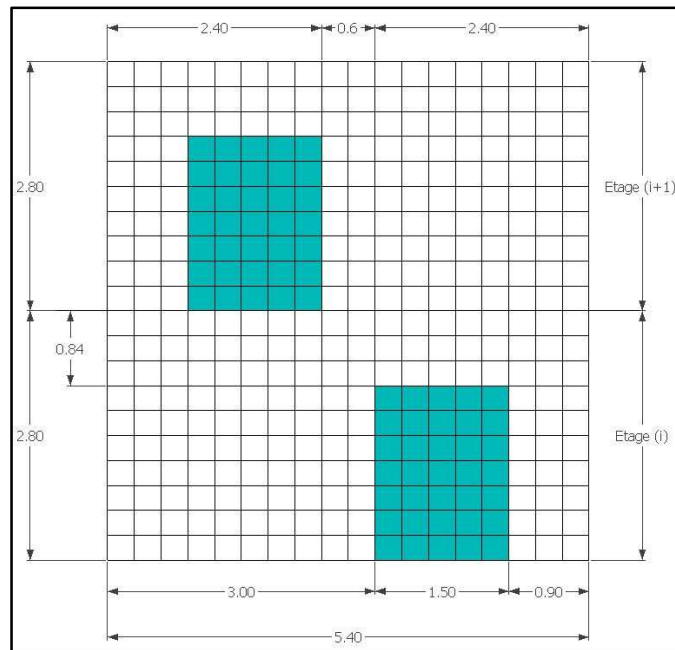


Figure III.12 : Cas (4) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=0,6\text{m}$ et $h_L=0,84\text{m}$

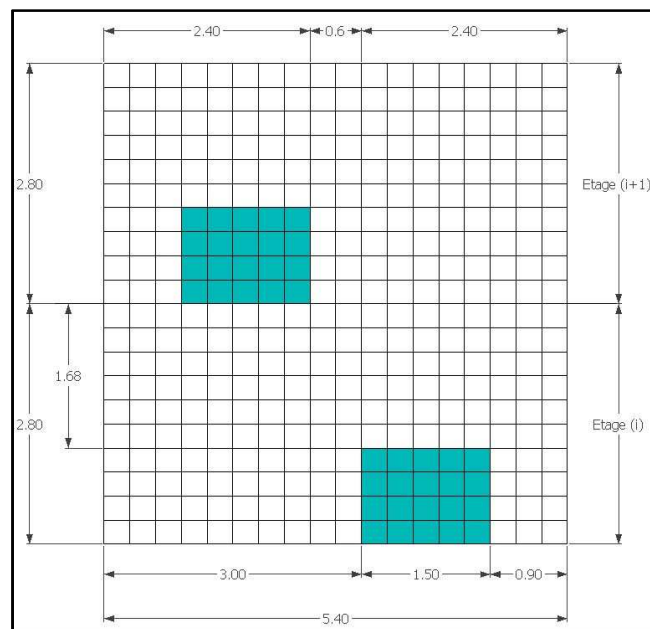


Figure III.13 : Cas (5) : Maillage du voile à des ouvertures décalées, $L_3=0,6\text{m}$ et $h_L=1,68\text{m}$

D'après les résultats affichés dans la figure (III.14); il est remarqué que la variation des valeurs du moment M_1 et M_2 pour les deux cas (4 et 5) sont légèrement différentes. Les valeurs maximales à chaque niveaux sont illustrées pour le cas (4). La position de l'ouverture au niveau (j) par rapport à celle de niveau (j+1) est inversement influée sur les valeurs de M_1 et M_2 .

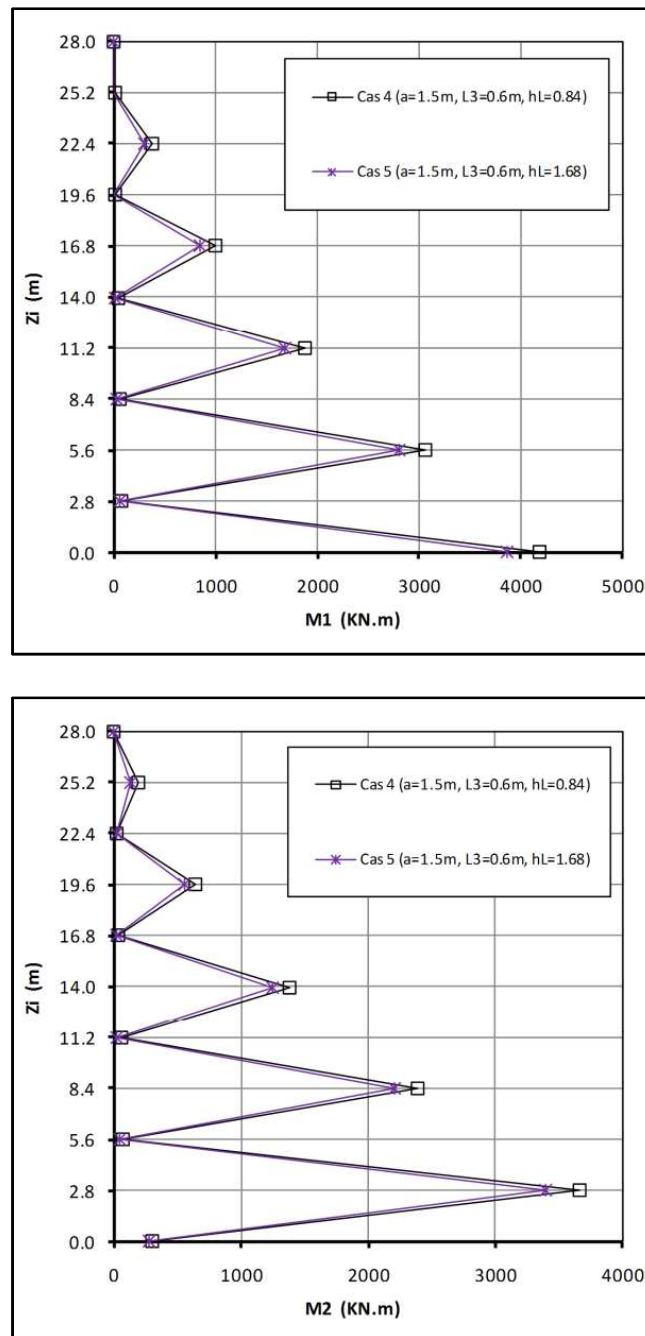


Figure III.14 : Sollicitations (M_1 et M_2) dans les trumeaux du voile à des ouvertures décalées,
Cas : $L_3=0,6\text{m}$; $h_L=0,84$ et $1,68\text{m}$

La figure (III.15) montre la comparaison du déplacement horizontal estimé dans les cas (4 et 5). Les résultats obtenus donnent une idée que l'accroissement de la zone de transmission des bielles de contraintes entre les ouvertures minimise la déformation latérale. Par l'augmentation de la hauteur du linteau, la portion du voile par niveau devient plus rigide malgré que la largeur de l'ouverture (a) est un peu importante par rapport à la largeur du voile.

Comparons la déformation latérale de tous les cas étudiés, voir la figure (III.16), il est constaté que la diminution de la dimension L_3 ; minimise l'effet des bielles de contraintes engendrées entre les ouvertures successivement disposées dans les niveaux (j) et ($j+1$). La largeur de l'ouvertures est aussi influe sur l'inertie des trumeaux; une petite largeur (a) est positivement voulue. En conséquence, le cas (1) correspondant à ($a=0,9$; $L_3=0,6$; $h_L=0,84m$) donne le déplacement minimal le long de la hauteur du voile.

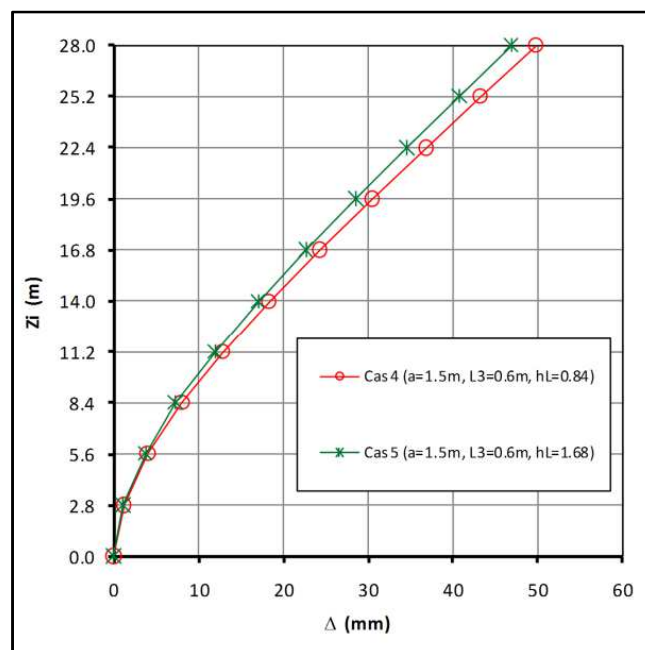


Figure III.15 : Déformation latérale du voile à des ouvertures décalées,

Cas : $L_3=0,6m$; $h_L=0,84$ et $1,68m$

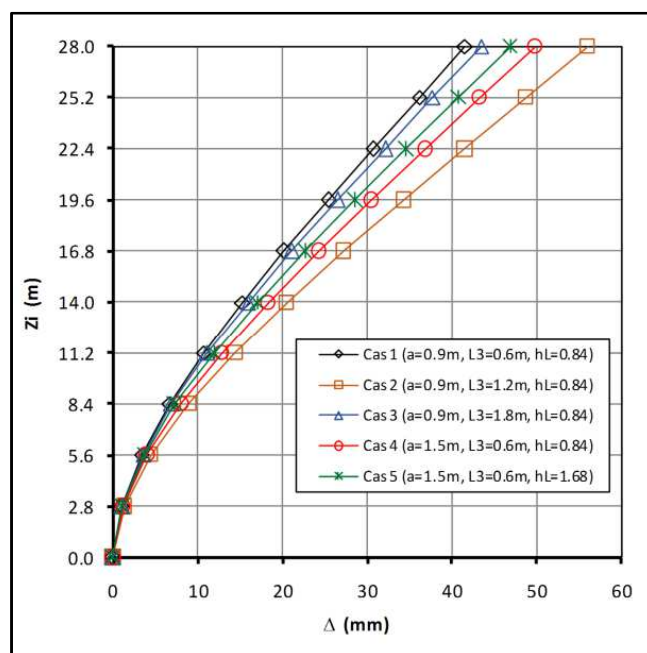


Figure III.16 : Déformation latérale du voile à des ouvertures décalées pour tous les cas étudiés



Conclusion



Conclusion

Le travail effectué, dans cette étude, est pour l'objectif de donner un aperçu sur le comportement des voiles avec ouvertures sous l'effet du chargement horizontal de type forces concentrées. Les méthodes du calcul classiques sont généralement conçues à trouver les sollicitations engendrées aux éléments composant les voiles à files d'ouvertures régulièrement disposées. Par le changement de l'emplacement de l'ouverture, cas de décalage, la transmission des contraintes est caractérisée par des bielles situées alternativement au niveau (j) et (j+1).

Les résultats obtenus montrent que le facteur d'inertie lié aux trumeaux correspondants a un effet important sur les sollicitations et le déplacement latéral du voile. Il est remarqué que les moments enregistrés dans les trumeaux portent des grandeurs inversées en fonction de l'emplacement alternatif de l'ouverture à chaque étage. Il est trouvé que le déplacement horizontal du voile est plus influé par la dimension L_3 , distance de décalage, que la dimension h_L correspondante à la hauteur du linteau.

Il est recommandé d'étendre le teste de ce type des voiles, caractérisé par le décalage des ouvertures, par d'autres testes afin de comprendre son comportement.



Annexe



TABLEAUX DÉVELOPPÉS PAR DJIREB SAMIR

TABLEAU N° : $\phi(\alpha, \xi, n)$

TABLEAU / VALEUR DE -----> (PHI)
FORCES CONCENTREES (TYPE: RPA)

α	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
1.00	0.16508	0.31727	0.34552	0.32185	0.28570	0.25095	0.22124	0.19671	0.17658	0.15996	0.14607	0.13435	0.12433	0.11568	0.10815
0.95	0.16525	0.31872	0.34911	0.32776	0.29382	0.26109	0.23324	0.21046	0.19197	0.17691	0.16454	0.15426	0.14564	0.13834	0.13211
0.90	0.16563	0.32254	0.35872	0.34354	0.31525	0.28749	0.26398	0.24505	0.23003	0.21813	0.20864	0.20102	0.19485	0.18982	0.18568
0.85	0.16602	0.32796	0.37274	0.36656	0.34623	0.32515	0.30719	0.29291	0.28185	0.27335	0.26682	0.26179	0.25789	0.25486	0.25248
0.80	0.16621	0.33422	0.38967	0.39451	0.38367	0.37020	0.35826	0.34876	0.34154	0.33617	0.33221	0.32931	0.32719	0.32564	0.32450
0.75	0.16601	0.34060	0.40811	0.42535	0.42494	0.41958	0.41377	0.40888	0.40516	0.40249	0.40062	0.39937	0.39855	0.39803	0.39773
0.70	0.16523	0.34639	0.42675	0.45724	0.46783	0.47080	0.47106	0.47055	0.46999	0.46961	0.46944	0.46944	0.46957	0.46977	0.47002
0.65	0.16368	0.35090	0.44434	0.48846	0.51035	0.52176	0.52802	0.53170	0.53404	0.53567	0.53691	0.53791	0.53875	0.53947	0.54010
0.60	0.16117	0.35347	0.45964	0.51741	0.55067	0.57058	0.58285	0.59065	0.59578	0.59930	0.60181	0.60367	0.60510	0.60624	0.60716
0.55	0.15754	0.35344	0.47149	0.54250	0.58706	0.61553	0.63391	0.64592	0.65391	0.65934	0.66312	0.66584	0.66784	0.66937	0.67055
0.50	0.15260	0.35017	0.47868	0.56217	0.61775	0.65483	0.67954	0.69604	0.70713	0.71468	0.71991	0.72360	0.72626	0.72823	0.72973
0.45	0.14620	0.34301	0.48003	0.57479	0.64089	0.68661	0.71796	0.73937	0.75402	0.76411	0.77113	0.77607	0.77960	0.78218	0.78410
0.40	0.13818	0.33135	0.47432	0.57863	0.65445	0.70870	0.74703	0.77393	0.79279	0.80604	0.81540	0.82207	0.82687	0.83036	0.83294
0.35	0.12839	0.31455	0.46027	0.57181	0.65608	0.71849	0.76407	0.79710	0.82097	0.83823	0.85074	0.85986	0.86653	0.87146	0.87512
0.30	0.11670	0.29200	0.43653	0.55223	0.64303	0.71276	0.76556	0.80524	0.83498	0.85726	0.87398	0.88656	0.89604	0.90323	0.90869
0.25	0.10298	0.26306	0.40168	0.51750	0.61197	0.68736	0.74673	0.79319	0.82947	0.85779	0.87992	0.89723	0.91079	0.92144	0.92982
0.20	0.08710	0.22711	0.35415	0.46485	0.55879	0.63686	0.70100	0.75343	0.79624	0.83119	0.85975	0.88311	0.90223	0.91790	0.93075
0.15	0.06896	0.18350	0.29223	0.39102	0.47837	0.55412	0.61920	0.67492	0.72260	0.76343	0.79842	0.82842	0.85418	0.87631	0.89533
0.10	0.04846	0.13156	0.21403	0.29217	0.36425	0.42961	0.48846	0.54132	0.58882	0.63154	0.67000	0.70466	0.73591	0.76411	0.78957
0.05	0.02550	0.07063	0.11742	0.16367	0.20826	0.25061	0.29062	0.32838	0.36404	0.39777	0.42970	0.45996	0.48865	0.51587	0.54171
0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

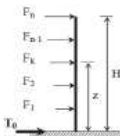


TABLEAU N° : (1B) $\phi(\alpha, \xi, n)$

TABLEAU / VALEUR DE -----> (PHI)
FORCES CONCENTREES (TYPE: RPA)

α	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00	26.00	27.00	28.00	29.00	30.00
1.00	0.10152	0.09565	0.09042	0.08573	0.08150	0.07766	0.07417	0.07097	0.06804	0.06534	0.06285	0.06053	0.05839	0.05639	0.05452
0.95	0.12675	0.12210	0.11806	0.11451	0.11139	0.10863	0.10619	0.10401	0.10206	0.10031	0.09874	0.09733	0.09606	0.09490	0.09385
0.90	0.18226	0.17942	0.17704	0.17504	0.17335	0.17192	0.17071	0.16968	0.16880	0.16805	0.16740	0.16684	0.16636	0.16595	0.16559
0.85	0.25061	0.24913	0.24796	0.24703	0.24629	0.24570	0.24523	0.24485	0.24455	0.24430	0.24411	0.24396	0.24384	0.24374	0.24367
0.80	0.32368	0.32309	0.32266	0.32235	0.32214	0.32200	0.32190	0.32184	0.32181	0.32180	0.32180	0.32181	0.32183	0.32185	0.32188
0.75	0.39758	0.39752	0.39752	0.39757	0.39764	0.39772	0.39781	0.39791	0.39800	0.39809	0.39818	0.39826	0.39834	0.39841	0.39847
0.70	0.47028	0.47055	0.47081	0.47105	0.47128	0.47149	0.47168	0.47186	0.47201	0.47216	0.47229	0.47240	0.47251	0.47261	0.47269
0.65	0.54065	0.54112	0.54154	0.54191	0.54224	0.54252	0.54278	0.54300	0.54320	0.54337	0.54353	0.54367	0.54380	0.54392	0.54402
0.60	0.60791	0.60854	0.60908	0.60954	0.60993	0.61027	0.61057	0.61083	0.61106	0.61126	0.61144	0.61160	0.61175	0.61188	0.61199
0.55	0.67150	0.67227	0.67290	0.67343	0.67389	0.67427	0.67461	0.67490	0.67516	0.67538	0.67558	0.67576	0.67592	0.67607	0.67620
0.50	0.73089	0.73181	0.73255	0.73316	0.73368	0.73411	0.73449	0.73481	0.73509	0.73534	0.73556	0.73576	0.73593	0.73609	0.73623
0.45	0.78556	0.78669	0.78758	0.78831	0.78890	0.78940	0.78982	0.79018	0.79049	0.79076	0.79100	0.79121	0.79140	0.79157	0.79172
0.40	0.83487	0.83635	0.83749	0.83839	0.83912	0.83971	0.84021	0.84062	0.84097	0.84128	0.84154	0.84178	0.84198	0.84217	0.84233
0.35	0.87787	0.87996	0.88156	0.88281	0.88379	0.88457	0.88520	0.88573	0.88616	0.88652	0.88684	0.88711	0.88734	0.88755	0.88773
0.30	0.91286	0.91606	0.91854	0.92046	0.92197	0.92316	0.92411	0.92488	0.92550	0.92601	0.92644	0.92679	0.92709	0.92735	0.92757
0.25	0.93642	0.94164	0.94577	0.94905	0.95166	0.95375	0.95543	0.95678	0.95788	0.95877	0.95950	0.96009	0.96059	0.96101	0.96135
0.20	0.94131	0.94999	0.95712	0.96300	0.96785	0.97185	0.97515	0.97789	0.98015	0.98203	0.98359	0.98489	0.98598	0.98688	0.98765
0.15	0.91169	0.92577	0.93789	0.94832	0.95731	0.96505	0.97173	0.97749	0.98246	0.98674	0.99044	0.99364	0.99640	0.99879	1.00085
0.10	0.81257	0.83334	0.85212	0.86909	0.88443	0.89831	0.91086	0.92221	0.93248	0.94177	0.95017	0.95778	0.96466	0.97089	0.97653
0.05	0.56625	0.58955	0.61169	0.63272	0.65271	0.67171	0.68977	0.70694	0.72326	0.73878	0.75354	0.76757	0.78091	0.79359	0.80566
0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

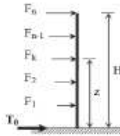


TABLEAU N° : (1C) $\phi(\alpha, \xi, n)$

TABLEAU / VALEUR DE -----> (PHI)
FORCES CONCENTREES (TYPE: RPA)

α	31.00	32.00	33.00	34.00	35.00	36.00	37.00	38.00	39.00	40.00	41.00	42.00	43.00	44.00	45.00
1.00	0.05277	0.05113	0.04958	0.04813	0.04676	0.04547	0.04424	0.04308	0.04198	0.04094	0.03994	0.03899	0.03809	0.03722	0.03640
0.95	0.09290	0.09204	0.09125	0.09053	0.08988	0.08927	0.08872	0.08822	0.08775	0.08733	0.08694	0.08657	0.08624	0.08593	0.08565
0.90	0.16528	0.16502	0.16478	0.16458	0.16441	0.16426	0.16412	0.16401	0.16391	0.16382	0.16375	0.16368	0.16362	0.16357	0.16353
0.85	0.24361	0.24356	0.24353	0.24350	0.24348	0.24347	0.24346	0.24345	0.24345	0.24345	0.24345	0.24346	0.24346	0.24347	0.24347
0.80	0.32191	0.32194	0.32196	0.32199	0.32202	0.32205	0.32207	0.32210	0.32212	0.32214	0.32216	0.32218	0.32220	0.32222	0.32224
0.75	0.39854	0.39859	0.39865	0.39870	0.39874	0.39878	0.39882	0.39886	0.39889	0.39892	0.39895	0.39898	0.39901	0.39903	0.39905
0.70	0.47278	0.47285	0.47292	0.47298	0.47303	0.47308	0.47313	0.47318	0.47322	0.47325	0.47329	0.47332	0.47335	0.47338	0.47341
0.65	0.54411	0.54420	0.54428	0.54435	0.54441	0.54447	0.54453	0.54458	0.54463	0.54467	0.54471	0.54475	0.54478	0.54481	0.54485
0.60	0.61210	0.61220	0.61228	0.61236	0.61244	0.61251	0.61257	0.61262	0.61268	0.61273	0.61277	0.61281	0.61285	0.61289	0.61292
0.55	0.67631	0.67642	0.67652	0.67661	0.67669	0.67676	0.67683	0.67689	0.67695	0.67701	0.67706	0.67710	0.67715	0.67719	0.67722
0.50	0.73636	0.73647	0.73658	0.73668	0.73676	0.73684	0.73692	0.73699	0.73705	0.73711	0.73717	0.73722	0.73726	0.73731	0.73735
0.45	0.79186	0.79199	0.79210	0.79220	0.79230	0.79239	0.79247	0.79254	0.79261	0.79267	0.79273	0.79279	0.79284	0.79288	0.79293
0.40	0.84248	0.84261	0.84273	0.84285	0.84295	0.84304	0.84313	0.84320	0.84328	0.84335	0.84341	0.84347	0.84352	0.84357	0.84362
0.35	0.88789	0.88804	0.88817	0.88829	0.88840	0.88850	0.88859	0.88867	0.88875	0.88882	0.88888	0.88895	0.88900	0.88906	0.88911
0.30	0.92777	0.92794	0.92809	0.92823	0.92835	0.92846	0.92855	0.92863	0.92870	0.92877	0.92883	0.92889	0.92894	0.92899	0.92903
0.25	0.96165	0.96190	0.96211	0.96230	0.96246	0.96261	0.96273	0.96284	0.96294	0.96303	0.96312	0.96319	0.96326	0.96332	0.96338

TABLEAUX DÉVELOPPÉS PAR DJIREB SAMIR

TABLEAU N° : (1D) $\psi(\alpha, \xi, n)$

TABLEAU / VALEUR DE -----> (PSI)
FORCES CONCENTREES (TYPE: RPA)

α	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
1.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.95	0.00826	0.01589	0.01734	0.01619	0.01442	0.01272	0.01127	0.01007	0.00910	0.00829	0.00763	0.00707	0.00659	0.00618	0.00583
0.90	0.01653	0.03191	0.03501	0.03294	0.02960	0.02638	0.02364	0.02139	0.01957	0.01809	0.01688	0.01587	0.01502	0.01431	0.01370
0.85	0.02482	0.04817	0.05328	0.05067	0.04611	0.04166	0.03787	0.03480	0.03233	0.03034	0.02872	0.02740	0.02630	0.02539	0.02461
0.80	0.03313	0.06472	0.07233	0.06968	0.06433	0.05902	0.05448	0.05081	0.04789	0.04555	0.04368	0.04216	0.04091	0.03989	0.03903
0.75	0.04144	0.08159	0.09227	0.09017	0.08454	0.07875	0.07377	0.06974	0.06655	0.06401	0.06199	0.06037	0.05905	0.05798	0.05708
0.70	0.04972	0.09877	0.11315	0.11223	0.10685	0.10101	0.09589	0.09173	0.08842	0.08581	0.08375	0.08209	0.08076	0.07968	0.07879
0.65	0.05795	0.11621	0.13493	0.13588	0.13131	0.12582	0.12087	0.11679	0.11353	0.11095	0.10891	0.10729	0.10598	0.10492	0.10405
0.60	0.06607	0.13383	0.15754	0.16104	0.15785	0.15315	0.14866	0.14486	0.14179	0.13934	0.13739	0.13584	0.13459	0.13358	0.13274
0.55	0.07404	0.15152	0.18084	0.18756	0.18632	0.18282	0.17910	0.17579	0.17305	0.17082	0.16903	0.16759	0.16643	0.16548	0.16470
0.50	0.08180	0.16912	0.20462	0.21520	0.21646	0.21460	0.21196	0.20937	0.20710	0.20520	0.20363	0.20235	0.20130	0.20044	0.19973
0.45	0.08928	0.18647	0.22861	0.24366	0.24797	0.24818	0.24693	0.24528	0.24366	0.24219	0.24093	0.23987	0.23897	0.23822	0.23760
0.40	0.09640	0.20335	0.25250	0.27253	0.28039	0.28310	0.28360	0.28316	0.28237	0.28148	0.28063	0.27985	0.27916	0.27856	0.27805
0.35	0.10307	0.21952	0.27590	0.30134	0.31321	0.31884	0.32143	0.32249	0.32276	0.32264	0.32232	0.32194	0.32153	0.32114	0.32078
0.30	0.10920	0.23471	0.29837	0.32950	0.34576	0.35469	0.35975	0.36262	0.36423	0.36509	0.36565	0.36595	0.36565	0.36526	0.36482
0.25	0.11470	0.24861	0.31937	0.35631	0.37721	0.38979	0.39765	0.40268	0.40593	0.40806	0.40944	0.41033	0.41089	0.41124	0.41144
0.20	0.11947	0.26089	0.33832	0.38095	0.40659	0.42301	0.43397	0.44148	0.44671	0.45042	0.45306	0.45497	0.45634	0.45734	0.45807
0.15	0.12338	0.27119	0.35455	0.40244	0.43264	0.45294	0.46715	0.47738	0.48489	0.49049	0.49473	0.49797	0.50047	0.50241	0.50392
0.10	0.12632	0.27911	0.36727	0.41964	0.45386	0.47773	0.49508	0.50806	0.51798	0.52570	0.53180	0.53667	0.54061	0.54381	0.54645
0.05	0.12818	0.28420	0.37564	0.43117	0.46837	0.49500	0.51488	0.53019	0.54226	0.55196	0.55988	0.56644	0.57194	0.57658	0.58055
0.00	0.12883	0.28601	0.37867	0.43542	0.47382	0.50160	0.52260	0.53898	0.55208	0.56276	0.57164	0.57912	0.58550	0.59101	0.59581

TABLEAU N° : (1E) $\psi(\alpha, \xi, n)$

TABLEAU / VALEUR DE -----> (PSI)
FORCES CONCENTREES (TYPE: RPA)

α	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00	26.00	27.00	28.00	29.00	30.00
1.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.95	0.00552	0.00525	0.00501	0.00480	0.00461	0.00444	0.00429	0.00415	0.00402	0.00391	0.00380	0.00370	0.00361	0.00353	0.00346
0.90	0.01317	0.01271	0.01231	0.01196	0.01166	0.01138	0.01114	0.01092	0.01073	0.01055	0.01039	0.01025	0.01012	0.01000	0.00989
0.85	0.02396	0.02340	0.02291	0.02249	0.02212	0.02180	0.02152	0.02127	0.02104	0.02084	0.02067	0.02051	0.02036	0.02023	0.02011
0.80	0.03831	0.03769	0.03717	0.03672	0.03633	0.03599	0.03570	0.03543	0.03520	0.03500	0.03482	0.03465	0.03451	0.03437	0.03425
0.75	0.05634	0.05571	0.05518	0.05472	0.05433	0.05399	0.05369	0.05343	0.05321	0.05300	0.05282	0.05266	0.05252	0.05239	0.05227
0.70	0.07804	0.07742	0.07690	0.07645	0.07606	0.07573	0.07544	0.07519	0.07497	0.07477	0.07460	0.07444	0.07430	0.07418	0.07406
0.65	0.10333	0.10273	0.10222	0.10178	0.10141	0.10109	0.10082	0.10057	0.10036	0.10017	0.10000	0.09986	0.09972	0.09960	0.09949
0.60	0.13206	0.13148	0.13100	0.13059	0.13023	0.12993	0.12966	0.12943	0.12923	0.12905	0.12889	0.12875	0.12863	0.12851	0.12841
0.55	0.16406	0.16352	0.16306	0.16268	0.16234	0.16206	0.16181	0.16159	0.16140	0.16124	0.16109	0.16095	0.16083	0.16073	0.16063
0.50	0.19914	0.19864	0.19822	0.19786	0.19755	0.19729	0.19706	0.19685	0.19668	0.19652	0.19638	0.19626	0.19615	0.19605	0.19596
0.45	0.23707	0.23662	0.23624	0.23592	0.23564	0.23539	0.23518	0.23500	0.23484	0.23469	0.23457	0.23445	0.23435	0.23426	0.23418
0.40	0.27760	0.27722	0.27689	0.27661	0.27636	0.27614	0.27596	0.27579	0.27564	0.27552	0.27540	0.27530	0.27521	0.27512	0.27505
0.35	0.32045	0.32016	0.31989	0.31966	0.31946	0.31927	0.31911	0.31897	0.31885	0.31873	0.31863	0.31854	0.31846	0.31839	0.31832
0.30	0.36526	0.36509	0.36493	0.36477	0.36463	0.36450	0.36437	0.36426	0.36416	0.36407	0.36399	0.36391	0.36385	0.36379	0.36373
0.25	0.41155	0.41159	0.41159	0.41156	0.41151	0.41146	0.41140	0.41134	0.41128	0.41122	0.41117	0.41112	0.41107	0.41102	0.41098
0.20	0.45859	0.45897	0.45925	0.45944	0.45958	0.45967	0.45973	0.45977	0.45979	0.45979	0.45979	0.45979	0.45979	0.45976	0.45974
0.15	0.50511	0.50605	0.50680	0.50739	0.50786	0.50824	0.50854	0.50878	0.50897	0.50913	0.50925	0.50935	0.50942	0.50949	0.50953
0.10	0.54863	0.55044	0.55195	0.55322	0.55430	0.55521	0.55598	0.55663	0.55720	0.55768	0.55809	0.55844	0.55875	0.55901	0.55924
0.05	0.58397	0.58692	0.58950	0.59176	0.59374	0.59550	0.59706	0.59844	0.59968	0.60080	0.60179	0.60269	0.60351	0.60424	0.60491
0.00	0.60003	0.60376	0.60709	0.61008	0.61277	0.61522	0.61744	0.61947	0.62134	0.62306	0.62465	0.62612	0.62749	0.62876	0.62995

TABLEAU N° : (1F) $\psi(\alpha, \xi, n)$

TABLEAU / VALEUR DE -----> (PSI)
FORCES CONCENTREES (TYPE: RPA)

α	31.00	32.00	33.00	34.00	35.00	36.00	37.00	38.00	39.00	40.00	41.00	42.00	43.00	44.00	45.00
1.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.95	0.00338	0.00332	0.00326	0.00320	0.00315	0.00310	0.00305	0.00301	0.00297	0.00293	0.00289	0.00286	0.00283	0.00280	0.00277
0.90	0.00979	0.00970	0.00961	0.00953	0.00946	0.00940	0.00933	0.00928	0.00922	0.00918	0.00913	0.00909	0.00905	0.00901	0.00897
0.85	0.02000	0.01990	0.01981	0.01973	0.01966	0.01959	0.01952	0.01946	0.01941	0.01936	0.01931	0.01927	0.01922	0.01919	0.01915
0.80	0.03415	0.03405	0.03396	0.03388	0.03380	0.03373	0.03367	0.03361	0.03355	0.03350	0.03346	0.03341	0.03337	0.03334	0.03330
0.75	0.05217	0.05207	0.05198	0.05190	0.05183	0.05176	0.05170	0.05164	0.05159	0.05154	0.05149	0.05145	0.05141	0.05138	0.05134
0.70	0.07396	0.07387	0.07378	0.07370	0.07363	0.07357	0.07351	0.07345	0.07340	0.07336	0.07331	0.07327	0.07323	0.07320	0.07316
0.65	0.09939	0.09931	0.09922	0.09915	0.09908	0.09902	0.09896	0.09891	0.09886	0.09882	0.09877	0.09874	0.09870	0.09866	0.09863
0.60	0.12832	0.12823	0.12815	0.12808	0.12802	0.12796	0.12791	0.12786	0.12781	0.12777	0.12773	0.12769	0.12765	0.12762	0.12759
0.55	0.16054	0.16046	0.16039	0.16032	0.16026	0.16021	0.16016	0.16011	0.16007	0.16003	0.15999	0.15995	0.15992	0.15989	0.15986
0.50	0.19588	0.19580	0.19574	0.19567	0.19562	0.19557	0.19552	0.19548	0.19543	0.19540	0.19536	0.19533	0.19530	0.19527	0.19525
0.45	0.23410	0.23403	0.23397	0.23392	0.23386	0.23382	0.23377	0.23373	0.23370	0.23366	0.23363	0.23360	0.23357	0.23355	0.23352
0.40	0.27498	0.27492	0.27486	0.27481	0.27477	0.27472	0.27468	0.27465	0.27461	0.27458	0.27455	0.27453	0.27450	0.27448	0.27446
0.35	0.31826	0.31821	0.31816	0.31811	0.31807	0.31803	0.31800	0.31797	0.31794	0.31791	0.31788	0.31786	0.31784	0.31782	0.31780
0.30	0.36368	0.36363	0.36359	0.36355	0.36351	0.36348	0.36345	0.36342	0.36340	0.36337	0.36335	0.36333	0.36331	0.36329	0.36328
0.25	0.41094	0.41090	0.41087	0.41084	0.41081	0.41078	0.41076	0.41074	0.41071	0.41069	0.41068	0.41066	0.41064	0.41063	0.41061
0.20	0.45972	0.45971	0												

Références

1. Amar Chanti; Contreventement des bâtiments par voiles; Editions O.P.U; Alger-Algérie 1992
2. C.G.S; Règles parasismiques algériennes RPA 99/Version 2003; Editions O.P.U; Alger-Algérie 2004
3. Henry Thonier; Conception et calcul des structures de bâtiment; Volume III; Editions Presses E.N.P.C.; Paris-France 1999
4. M. Albigès, J. Goulet; Contreventement des bâtiments; Editions Annales, I.T.B.T.P; Paris-France 1960
5. Computers & Structures; Manuel ETABS; California-USA 2013
6. Marius Diver; Calcul pratique des tours en béton armé; Editions Dunod; Paris-France 1972
7. Victor Davidovici; Formulaire du béton armé; Volume II; Editions Moniteur; Paris-France 1995
8. PAULAY, T., PRIESTLEY, M. J. N. « Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings », New York: Willey & Sons, 1992, 744 p.
9. FOURE, B. « Prise en compte du comportement du béton-cas particulier des voiles plans en béton armé», en Génie parasismique, Presses de l'ENPC, 1985, pp. 605-616.
10. Nicolae ILE, Contribution à la compréhension du fonctionnement des voiles en béton armé sous sollicitation sismique: apport de l'expérimentation et de la modélisation à la conception, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2000, pp. 30

Résumé :

Les voiles en béton armé sont des éléments structuraux qui assurent la stabilité des constructions contre les charges latérales telles que le vent et les charges sismiques. En raison d'exigences fonctionnelles par la mise en place des portes, fenêtres et autres ouvertures; la densité des ouvertures joue un rôle très important sur le comportement des voiles en béton armé. Les méthodes classiques ont été généralement conçues pour déterminer les sollicitations dans les différents éléments composant les voiles à files d'ouvertures régulièrement disposées. La conception des voiles en béton armé avec des ouvertures décalées est un cas complexe et particulier. Dans cette étude, le décalage des ouvertures dans les voiles en béton armé a été examiné à l'aide d'un code numérique afin de clarifier l'étendue de leur effet sur le comportement de ce genre des murs.

Mots clés : Voiles en béton armé - ouvertures décalées - charge horizontale - Modélisation numérique

ملخص:

تعتبر جدران القص بالخرسانة المسلحة بمثابة عناصر هيكلية تضمن ثبات المنشآت ضد الأحمال الجانبية مثل أحمال الرياح والزلازل. نظرًا للمتطلبات الوظيفية من خلال وضع الأبواب والنوافذ والفتحات الأخرى ، تلعب كثافة الفتحات دورًا مهمًا للغاية في سلوك جدران القص بالخرسانة المسلحة. تم تصميم الطرق التقليدية بشكل عام لتحديد التأثيرات في العناصر المختلفة المكونة للجدران ذات صفوف الفتحات المرتبة بانتظام. يعتبر تصميم جدران القص بالخرسانة المسلحة بفتحات متداخلة حالة معقدة وخاصة. في هذه الدراسة تم فحص تداخل الفتحات في جدران القص بالخرسانة المسلحة باستخدام برنامج رقمي من أجل توضيح مدى تأثيرها على سلوك هذا النوع من الجدران.

كلمات دالة: جدران القص بالخرسانة المسلحة - الفتحات المتداخلة - الحمل الأفقي - النمذجة الرقمية

Abstract:

Reinforced concrete shear walls are structural elements that ensure the stability of constructions against lateral loads such as wind and seismic loads. Due to functional requirements by the placement of doors, windows and other openings; the density of the openings plays a very important role in the behaviour of reinforced concrete shear walls. Conventional methods have generally been designed to determine the effects in the various components of the R.C shear walls with regularly arranged rows of openings. The design of reinforced concrete shear walls with staggered openings is a complex and special case. In this study, the offset of openings in reinforced concrete shear walls was examined using a numerical code in order to clarify the extent of their effect on the behaviour of such walls.

Keywords : Reinforced concrete shear walls - staggered openings - horizontal load - numerical modelling