UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

# Influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires des structures en béton armé

**NIZIGIYIMANA, Edmond**

**2023-07**
UB, Faculté des sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/469

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

**République du Burundi**

**Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique**

**Université du Burundi**



**Master en Génie Civil**

**Option: Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets**

**Faculté des Sciences de l'Ingénieur**

**Année Académique: 2021-2022**

# INFLUENCE DES PLANCHERS EN HOURDIS SUR LES DEFORMATIONS ET LES SOLLICITATIONS ELEMENTAIRES DES STRUCTURES EN BETON ARME.

**Mémoire**

**Présenté publiquement par :**

**NIZIGIYIMANA Edmond**

**En vue de l'obtention du grade de Master en Sciences de l'Ingénieur**

**Option: Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets.**

***Soutenu le 17 / 07 / 2023 devant le jury composé de:***

| | |
|---|---|
| **Dr-Ir. HATUNGIMANA Daniel** | **: Président** |
| **Dr-Ir. NIBASUMBA Paul** | **: Lecteur principal** |
| **Prof. MIKEREGO Emmanuel** | **: Directeur** |
| **Dr-Ir. MINANI Jérémie** | **: Membre** |

**Bujumbura, Juillet 2023**

*Influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires des structures en béton armé*

**IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY**

Dr-Ir. HATUNGIMANA Daniel : Président

Dr-Ir. NIBASUMBA Paul : Lecteur principal

Prof. MIKEREGO Emmanuel : Directeur

Dr-Ir. MINANI Jérémie : Membre

**DEDICACE**

Je dédie ce modeste travail à:

A mon regretté père ;

A ma chère mère ;

A mes frères et ma sœur ;

A mon oncle ;

Au Président et Représentant Légal de l'Université Lumière de Bujumbura ;

A mes amis ;

A toute ma promotion de master ;

A toutes les personnes qui m'ont aidé.

Je dédie ce travail.

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux pour la santé, la volonté, le courage et la détermination qui nous ont accompagnés tout au long de la préparation de ce mémoire de fin de cycle de Master et qui nous ont permis d'achever ce modeste travail.

En second lieu, je voudrais présenter mes vifs remerciements à mon directeur de mémoire, Prof. MIKEREGO Emmanuel pour son encadrement, ses conseils et le temps qu'il a consacré à ce mémoire qui m'ont permis d'arriver à l'aboutissement de ce mémoire.

Je remercie également les membres de jury d'avoir consacré de leur temps pour l'évaluation de mon modeste travail en participant à la soutenance.

Mes remerciements s'adressent également à tous mes enseignants spécialement ceux de Master en Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets de l'Université du Burundi (UB) pour la formation tant scientifique qu'humaine qu'ils me font bénéficier.

Je remercie infiniment ma mère, mes frères et ma sœur, mon oncle, mes amis et toutes mes connaissances pour leur soutien tant moral que matériel, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

J'adresse aussi mes remerciements à tous mes camarades de classe dans ce cycle de master pour la meilleure collaboration et entraide mutuelle durant ce parcours.

A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin de toute sorte que ce soit, je vous remercie.
Que Dieu vous bénisse.

**NIZIGIYIMANA Edmond**

**RESUME**

Le présent travail est basé sur l'étude de l'influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires d'un bâtiment en béton armé testé en 4 modèles à savoir : le modèle à 3 niveaux, le modèle à 6 niveaux, le modèle à 9 niveaux et en fin le modèle à 12 niveaux.

Dans ce travail l'objectif global est de contribuer à la prévention de l'endommagement des bâtiments. Pour arriver à cet objectif, nous avons mené une étude comparative des sollicitations (efforts normaux) transmis aux poteaux d'abord du 1er niveau, ensuite la variation de différents niveaux des modèles pour le comportement statique tout ça en cas normal et en cas du tassement des bâtiments, puis la variation des sollicitations (efforts tranchants et moments fléchissant) dans les poutres et dalles ainsi des déformations horizontales lorsqu'on a les planchers en hourdis ou sans hourdis. La modélisation et simulation du comportement des bâtiments ont été faites par le logiciel d'analyse et de dimensionnement des structures LIRA-SAPR 2016.

Les résultats obtenus sont exposés en taux de pourcentage en exprimant la différence des résultats obtenus pour les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis. Pour les planchers sans hourdis, les efforts normaux en cas du tassement du poteau d'angle, de rive et intermédiaire sont respectivement entre 10.60% et 11.11 ; 27.61% et 28.33% ; 33.68% et 34.68% aux ELU et puis 10.72% et 11.30% ; 28.08% et 29.31% ; 34.92% et 35.85% aux ELS dans les poteaux du 1er niveau plus grands que ceux des planchers en hourdis dans tous les modèles d'étude. Les déformations horizontales des modèles avec planchers en hourdis dépassent les limites entre 4.02% et 12.39% et celles des modèles avec planchers sans hourdis ne dépassent pas.

Mots-clés : Influence, planchers en hourdis, déformations, les sollicitations élémentaires, structures et béton armé.

**ABSTRACT**

This work is based on the study of the influence of slab floors on the deformations and elementary solicitations of a reinforced concrete building tested in 4 models, namely: the 3-storeys model, the 6-storeys model, the 9- storeys model and finally the 12- storeys model.

In this work the overall objective is to contribute to the prevention of damage to buildings. To achieve this objective, we conducted a comparative study of the solicitations (normal forces) transmitted to the posts first of the 1st storey, then the variation of different storeys of the models for the static behavior all that in normal case and in case of settlement of the buildings, then the variation of the solicitations (shear forces and bending moments) in the beams and slabs as well as the horizontal deformations when the floors are in slabs or without slabs. The modeling and simulation of the behavior of the buildings were done by the analysis and dimensioning software of structures LIRA-SAPR 2016.

The results obtained are presented as a percentage rate by expressing the difference between the results obtained for floors with slabs and floors without slabs. For floors without slabs, the normal forces in case of settlement of the corner, edge and intermediate columns are respectively between 10.60% and 11.11; 27.61% and 28.33%; 33.68% and 34.68% at Ultimate Limit State (ULS) and then 10.72% and 11.30%; 28.08% and 29.31%; 34.92% and 35.85% to Service Ability Limit State (SALS) in the columns of the 1st storey larger than those of the slab floors in all the study models. The horizontal deformations of the models with floors in slabs exceed the limits between 4.02% and 12.39% and those of the models with floors without slabs do not exceed.

Keywords: Influence, slab floors, deformations, elementary solicitations, structures and reinforced concrete.

**TABLE DES MATIERES**

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY ..... **i**

DEDICACE ..... **ii**

REMERCIEMENTS ..... **iii**

RESUME ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TABLE DES MATIERES ..... **vi**

LISTE DES TABLEAUX ..... **x**

LISTE DES FIGURES ..... **xiii**

SIGLES ET ABBREVIATION ..... **xx**

AVANT PROPOS ..... **xxi**

**CHAPITRE 0 : INTRODUCTION GENERALE ..... 1**

0.1. Contexte ..... 1

0.2. Problématique ..... 1

0.3. Objectif global de l'étude ..... 1

0.4. Objectifs spécifiques de l'étude ..... 2

**CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE ..... 3**

I.1. Introduction ..... 3

I.2. Définitions ..... 3

a) Plancher en hourdis ..... 3

b) Déplacement ..... 4

I.3. Planchers en hourdis ..... 5

Caractéristiques ..... 5

I.4. Pose d'un plancher hourdis ..... 6

I.5. Avantages et inconvénients du plancher en hourdis ..... 7

a) Poutrelles ..... 8

b) Entrevous ..... 9

c) Table de compression ..... 10
d) Armatures complémentaires mises en œuvre sur chantier ..... 11
I.6. Utilisation des planchers en hourdis dans les structures en béton arme au Burundi ..... 12
a) Coffrages du plancher ..... 13
b) Armatures complémentaires mises en œuvre sur le chantier ..... 14
C) Mise en place des entrevous en terre cuite. ..... 14
d) Coulage et finition surfacée de la dalle de compression ..... 16
1.7. Comportement statique des planchers en hourdis avec des structures en béton armé .. 17
1.8. Comportement dynamique des planchers en hourdis des structures en béton armé ..... 17
1.9. Conclusion ..... 18
**CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE ..... 19**
II.1. Introduction ..... 19
II.2. Description de l'objet d'étude ..... 19
a) Modèles d'étude ..... 19
b) Matériaux utilisés ..... 23
II.3. Pré-dimensionnement et évaluation des charges ..... 23
a) Pré-dimensionnement des dalles ..... 23
Evaluation des charges ..... 24
Planchers en hourdis ..... 24
Planchers sans hourdis ..... 26
b) Pré-dimensionnement des Poutres ..... 27
c) Pré-dimensionnement des poteaux ..... 28
d) Vérification de l'élancement mécanique ..... 29
II.4. Calculs des sollicitations ..... 30
Efforts normaux dans les poteaux ..... 30
II.5. Modélisations et simulations avec le logiciel LIRA-SAPR 2016 ..... 31
a) Description du logiciel LIRA-SAPR 2016 ..... 31

b) Modélisation de la structure ..... 33
Procédure de modélisation ..... 33
II.6. Modélisation et cas de Chargements ..... 33
II.6.1. Cas de chargements horizontaux ..... 33
Comportement des bâtiments après le chargement horizontal ..... 36
II.6.2. Cas de chargement vertical ..... 38
a) Tassement du poteau d'angle ..... 38
b) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau d'angle ..... 43
c) Tassement du poteau de rive ..... 45
d) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau de rive ..... 49
e) Tassement du poteau intermédiaire ..... 52
f) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau intermédiaire ..... 57
II.7. Conclusion ..... 59
**CHAPITRE III : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS ..... 60**
III.1. Résultats des déplacements horizontaux ..... 60
III.2. Résultats des sollicitations internes dans les éléments de la structure en cas de chargement vertical ..... 65
a) Résultats des sollicitations dans les structures sans tassement ..... 65
b) Résultats des sollicitations en cas du tassement de 50mm du poteau d'angle ..... 66
III.3. Variations des sollicitations selon les niveaux des structures en cas du tassement de 50mm du poteau d'angle ..... 73
III.4. Résultats des sollicitations en cas du tassement de 50mm du poteau de rive ..... 85
III.5. Variations des sollicitations selon les niveaux des structures en cas du tassement de 50mm du poteau de rive ..... 92
III.6. Résultats des sollicitations en cas du tassement de 50mm du poteau intermédiaire . 105
III.7. Variations des sollicitations selon les niveaux des structures en cas du tassement de 50mm du poteau intermédiaire ..... 113
III.8. Conclusion ..... 125

CONCLUSION GENERALE ..... **125**

RECOMMANDATIONS ..... **127**

BIBLIOGRAPHIE ..... **128**

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Epaisseurs des planchers [7] ..... 6
Tableau 2 : Caractéristiques géométriques et mécaniques des hourdis utilisés au Burundi selon le document technique fournis par SKAT-PROECO [22] ..... 16
Tableau 3:Charges et surcharges du plancher terrasse non accessible ..... 25
Tableau 4:Charges et surcharges du plancher de rive ..... 26
Tableau 5:Charges et surcharges du plancher terrasse non accessible ..... 26
Tableau 6:Charges et surcharges du plancher de rive ..... 26
Tableau 7:Sections adoptées des poteaux centraux ..... 29
Tableau 8:Sections adoptées des poteaux de rives ..... 29
Tableau 9:Sections adoptées des poteaux d'angles ..... 29
Tableau 10:Vérification de l'élancement mécanique pour les poteaux centraux ..... 30
Tableau 11:Vérification de l'élancement mécanique pour les poteaux de rives ..... 30
Tableau 12:Vérification de l'élancement mécanique pour les poteaux d'angles ..... 30
Tableau 13:Variation des forces horizontales en fonction de hauteur du bâtiment ..... 33
Tableau 14:Variation de forces verticales pour avoir le tassement du poteau d'angle ..... 38
Tableau 15:Variation de forces verticales pour avoir le tassement poteau de rive ..... 45
Tableau 16:Variation de forces verticales pour avoir le tassement poteau intermédiaire ..... 52
Tableau 17:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 3 niveaux ..... 60
Tableau 18:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 6 niveaux ..... 61
Tableau 19:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 9 niveaux ..... 62
Tableau 20:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 12 niveaux ..... 63
Tableau 21:Synthèse de l'interprétation des résultats ..... 64
Tableau 22:Efforts normaux maximaux dans les poteaux ..... 65
Tableau 23:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres ..... 65
Tableau 24:Les moments maximaux dans les dalles ..... 65
Tableau 25:Efforts normaux maximaux dans les poteaux ..... 66
Tableau 26:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres ..... 66
Tableau 27:Les moments maximaux dans les dalles ..... 66
Tableau 28:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 3 niveaux ..... 73
Tableau 29:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 6 niveaux ..... 73
Tableau 30:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 9 niveaux ..... 73
Tableau 31:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 12 niveaux ..... 74

Tableau 32:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 3 niveaux ..... 77
Tableau 33:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 6 niveaux ..... 77
Tableau 34:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 9 niveaux ..... 78
Tableau 35:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 12 niveaux ..... 78
Tableau 36:Les moments dans les dalles du modèle à 3 niveaux ..... 81
Tableau 37:Les moments dans les dalles du modèle à 6 niveaux ..... 81
Tableau 38:Les moments dans les dalles du modèle à 9 niveaux ..... 81
Tableau 39:Les moments dans les dalles du modèle à 12 niveaux ..... 81
Tableau 40:Efforts normaux maximaux dans les poteaux ..... 85
Tableau 41:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres ..... 85
Tableau 42:Les moments maximaux dans les dalles ..... 85
Tableau 43:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 3 niveaux ..... 92
Tableau 44:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 6 niveaux ..... 92
Tableau 45:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 9 niveaux ..... 92
Tableau 46:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 12 niveaux ..... 93
Tableau 47:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 3 niveaux ..... 96
Tableau 48:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 6 niveaux ..... 96
Tableau 49:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 9 niveaux ..... 97
Tableau 50:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 12 niveaux ..... 97
Tableau 51:Les moments dans les dalles du modèle à 3 niveaux ..... 100
Tableau 52:Les moments dans les dalles du modèle à 6 niveaux ..... 100
Tableau 53:Les moments dans les dalles du modèle à 9 niveaux ..... 101
Tableau 54:Les moments dans les dalles du modèle à 12 niveaux ..... 101
Tableau 55:Efforts normaux maximaux dans les poteaux ..... 105
Tableau 56:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres ..... 105
Tableau 57:Les moments maximaux dans les dalles ..... 105

Tableau 58:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 3 niveaux ..... 113
Tableau 59:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 6 niveaux ..... 113
Tableau 60:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 9 niveaux ..... 113
Tableau 61:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 12 niveaux ..... 114
Tableau 62:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 3 niveaux ..... 117
Tableau 63:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 6 niveaux ..... 117
Tableau 64:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 9 niveaux ..... 118
Tableau 65:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 12 niveaux ..... 118
Tableau 66:Les moments dans les dalles du modèle à 3 niveaux ..... 121
Tableau 67:Les moments dans les dalles du modèle à 6 niveaux ..... 121
Tableau 68:Les moments dans les dalles du modèle à 9 niveaux ..... 122
Tableau 69:Les moments dans les dalles du modèle à 12 niveaux ..... 122

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:Schéma illustratif des éléments constitutifs d'un plancher à poutrelle et entrevous ... 8
Figure 2:Schémas illustratifs des types d'entrevous ... 10
Figure 3:Schéma illustratif de la dalle de répartition ... 10
Figure 4:Schéma illustratif des armatures complémentaires mise en œuvre par table de compression ... 11
Figure 5:Schéma illustratif d'armature complémentaire mise en œuvre pour table de réparation et poutrelle ... 12
Figure 6:Photo illustrative des éléments constituants des planchers en hourdis prise sur chantier se trouvant à Ruziba à Bujumbura Mairie par Edmond NIZIGIYIMANA ... 13
Figure 7:Photo illustrative des coffrages du plancher en hourdis prise sur chantier se trouvant à Nyabugete à Bujumbura Mairie par Edmond NIZIGIYIMANA ... 14
Figure 8:Schéma illustratif de la disposition constructive des planchers en hourdis ... 15
Figure 9:Schéma illustratif du Comportement dynamique des planchers en hourdis [22] ... 18
Figure 10:Schéma illustratif de la vue en plan de l'objet d'étude ... 20
Figure 11:Schéma illustratif du modèle à 3 niveaux ... 21
Figure 12:Schéma illustratif du modèle à 6 niveaux ... 21
Figure 13:Schéma illustratif du modèle à 9 niveaux ... 22
Figure 14:Schéma illustratif du modèle à 12 niveaux ... 22
Figure 15:Schéma illustratif de l'épaisseur du plancher sans hourdis ... 24
Figure 16:Schéma illustratif des éléments constituants le plancher en hourdis utilisé et son épaisseur ... 24
Figure 17:Schéma illustratif d'hourdis utilisé dans le plancher en hourdis ... 25
Figure 18:Photo illustrative du modèle de démarrage de l'outil LIRA-SAPR ... 32
Figure 19:Schéma illustratif du modèle d'étude à 3 niveaux avec un chargement horizontal. 34
Figure 20:Schéma illustratif du modèle d'étude à 6 niveaux avec un chargement horizontal. 34
Figure 21:Schéma illustratif du modèle d'étude à 9 niveaux avec un chargement horizontal. 35
Figure 22:Schéma illustratif du modèle d'étude à 12 niveaux avec un chargement horizontal ... 35
Figure 23:Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (a) et du bâtiment avec planchers en hourdis (b) de 3 niveaux après le chargement horizontal ... 36

Figure 24: Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (c) et du bâtiment avec planchers en hourdis (d) de 6 niveaux après le chargement horizontal ..... 36
Figure 25: Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (e) et du bâtiment avec planchers en hourdis (f) de 9 niveaux après le chargement horizontal ..... 37
Figure 26: Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (g) et du bâtiment avec planchers en hourdis (h) de 12 niveaux après le chargement horizontal ..... 37
Figure 27:Schéma illustratif du poteau d'angle tassé ..... 38
Figure 28:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 39
Figure 29:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 39
Figure 30:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 40
Figure 31:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 40
Figure 32:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 41
Figure 33:Schéma illustratif du modèle d'étude du Planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 41
Figure 34:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 42
Figure 35:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle ..... 42
Figure 36:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau d'angle ..... 43
Figure 37:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau d'angle ..... 43
Figure 38:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau d'angle ..... 44
Figure 39:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau d'angle ..... 44

Figure 40:Schéma illustratif du poteau de rive tassé..... 45
Figure 41:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 46
Figure 42:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 46
Figure 43:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 47
Figure 44:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 47
Figure 45:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 48
Figure 46:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 48
Figure 47:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 49
Figure 48:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 49
Figure 49:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau de rive..... 50
Figure 50:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau de rive..... 50
Figure 51:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau de rive..... 51
Figure 52:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau de rive..... 51
Figure 53:Schéma illustratif du poteau intermédiaire tassé ..... 52
Figure 54:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 53
Figure 55:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 53
Figure 56:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 54
Figure 57:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 54

Figure 58:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 55
Figure 59:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 55
Figure 60:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire..... 56
Figure 61:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive..... 56
Figure 62:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire ..... 57
Figure 63:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire ..... 57
Figure 64:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire ..... 58
Figure 65:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire ..... 58
Figure 66:Déplacements horizontaux pour le modèle à 3 niveaux ..... 60
Figure 67:Déplacements horizontaux pour le modèle à 6 niveaux ..... 61
Figure 68:Déplacements horizontaux pour le modèle à 9 niveaux ..... 62
Figure 69:Déplacements horizontaux pour le modèle à 12 niveaux ..... 63
Figure 70:Variation de déplacements en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 64
Figure 71:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux..... 67
Figure 72:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude..... 67
Figure 73:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux ..... 68
Figure 74:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude..... 68
Figure 75:Efforts tranchants maximaux dans les poutres ..... 69
Figure 76:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude 69
Figure 77:Moments fléchissant maximaux dans les poutres..... 70
Figure 78:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 70
Figure 79:Moments maximaux dans les dalles (sens x)..... 71
Figure 80:Moments maximaux dans les dalles (sens-y) ..... 71

Figure 81:Variation de moments en pourcentage dans la dalles dans le sens x (a) et dans le sens y (b) selon le modèle d'étude ..... 72
Figure 82:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude..... 74
Figure 83:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 75
Figure 84:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude..... 76
Figure 85:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 76
Figure 86:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 79
Figure 87:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude..... 80
Figure 88:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 82
Figure 89:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 83
Figure 90:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux..... 86
Figure 91:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude..... 86
Figure 92:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux ..... 87
Figure 93:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude..... 87
Figure 94:Efforts tranchants maximaux dans les poutres ..... 88
Figure 95:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude 88
Figure 96:Moments fléchissant maximaux dans les poutres..... 89
Figure 97:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 89
Figure 98:Moments maximaux dans les dalles (sens x)..... 90
Figure 99:Moments maximaux dans les dalles (sens-y) ..... 90
Figure 100:Variation de moments en pourcentage dans la dalles dans le sens x (a) et dans le sens y (b) selon le modèle d'étude ..... 91

Figure 101:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 93
Figure 102:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 94
Figure 103:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 95
Figure 104:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 95
Figure 105:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 98
Figure 106:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 99
Figure 107:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 102
Figure 108:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 102
Figure 109:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux ..... 106
Figure 110:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 106
Figure 111:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux ..... 107
Figure 112:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 107
Figure 113:Efforts tranchants maximaux dans les poutres ..... 108
Figure 114:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 108
Figure 115:Moments fléchissant maximaux dans les poutres ..... 109
Figure 116:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude ..... 110
Figure 117:Moments maximaux dans les dalles (sens x) ..... 111
Figure 118:Moments maximaux dans les dalles (sens-y) ..... 111
Figure 119:Variation de moments en pourcentage dans la dalles dans le sens x (a) et dans le sens y (b) selon le modèle d'étude ..... 112
Figure 120:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 114

Figure 121:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 115
Figure 122:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude..... 116
Figure 123:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 116
Figure 124:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude..... 119
Figure 125:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude..... 120
Figure 126:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 123
Figure 127:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude ..... 123

## SIGLES ET ABBREVIATION

*Lx* : Petite portée entre nus

*Ly* : Grande portée entre nus

e : Epaisseur de la dalle

b : Largeur de la poutre

h : Hauteur de la poutre

*N* : Nombre total de $m^2$ du plancher supporté par le poteau

*B* : Section en $m^2$

a,b : Dimension de la section du poteau

*he* : Hauteur d'étage

*N* : Nombre des étages

I : Moment d'inertie

$i_{min}$ : Rayon de giration

$\lambda$ : Elancement

*lf* : Longueur de flambement

*Nu* : Charge limite ultime ;

*Nser* : Charge limite de service

*G* : Action ou charge permanente

*Q* : Action ou charge d'exploitation

$\gamma_g$ : Coefficient de majoration

$\gamma_q$ : Coefficient de majoration

Qz : Efforts tranchants selon z

*Mx* : Moments fléchissant selon x

*My* : Moments fléchissant selon y

$\eta$ : coefficient de dégression

## AVANT PROPOS

La population burundaise continue à accroitre chaque année et chaque personne veut construire sa propre maison alors que la superficie du Burundi n'augmente pas, pour la bonne gestion de l'espace, nous voyons souvent les bâtiments de plus en plus élancés en béton armé dont les planchers sont en hourdis.

Ce travail de fin d'étude intitulé «**Influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires des structures en béton armé**. » permettra d'identifier l'influence des planchers en hourdis sur le comportement des structures en béton armé.

Pour atteindre l'objectif principal de ce travail, ce mémoire se focalise sur une étude comparative entre les modèles des bâtiments avec planchers en hourdis et les modèles des bâtiments avec planchers sans hourdis, pour faire cette comparaison nous avons fait la modélisation et la simulation de 4 modèles dont le modèle à 3 niveaux, le modèle à 6 niveaux, le modèle à 9 niveaux et le modèle à 12 niveaux. Cette modélisation a été faite à l'aide d'un logiciel d'analyse et de dimensionnement des structures LIRA-SAPR 2016.

# CHAPITRE 0 : INTRODUCTION GENERALE

## 0.1. Contexte

Le Burundi est situé à cheval entre l'Afrique de l'Est et l'Afrique Central. Il est frontalier au Nord avec le Rwanda, au Sud et à l'Est avec la Tanzanie et à l'Ouest avec la République Démocratique du Congo (RDC). Sa superficie est de 27.834 $Km^2$ dont 2.700 $Km^2$ de lacs et 23.500 $Km^2$ de terres potentiellement agricoles. Sa population est estimée, en 2020, à 12 309 600 d'habitants, d'où une densité estimée à 442 habitants/$km^2$.[1][20]

Beaucoup de personnes veulent construire leurs propres maisons, soit dans les campagnes ou dans les villes. Suite à cette augmentation de la population, on observe la pénurie des parcelles dans les villes ainsi que des terres cultivables dans la campagne, certains gens ont adopté la construction des maisons élancées pour gagner des espaces et même le gouvernement a un projet de construction de logements sociaux dans le cadre de la gestion de l'espace.

Certains constructeurs ont fait recours à des bâtiments de plus en plus élancés en béton armé dont les planchers sont en hourdis. L'étude de l'Influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires des structures en béton armé s'inscrit dans le cadre de faire progresser l'efficacité des planchers en hourdis dans les maisons des structures en béton armé au Burundi [22].

## 0.2. Problématique

Certains constructeurs des bâtiments de plus en plus élancées avec des planchers en hourdis au Burundi ont un problème de la non-maîtrise de l'influence des planchers en hourdis sur la déformabilité et la rigidité des structures en béton armé.

## 0.3. Objectif global de l'étude

L'objectif global de ce travail est d'étudier l'Influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires des structures en béton. Cela sera atteint après avoir analysé les objectifs spécifiques.

[1] ISTEEBU : Projections démographiques 2010 2050

## 0.4. Objectifs spécifiques de l'étude

On peut regrouper les objectifs spécifiques de l'étude en trois catégories à savoir :

- du point de vue théorique :
  - Connaître les éléments qui constituent les planchers en hourdis ;
  - Savoir les techniques de mise en œuvre pour obtenir des planchers en hourdis meilleurs.
- du point de vue de déformation verticale :
  - Déterminer les forces verticales appliquées sur chaque modèle d'étude pour avoir le tassement admissible ;
  - Calculer les efforts normaux transmis aux poteaux et les sollicitations dans les poutres et les dalles.
- du point de vue de déformation horizontale :
  - Déterminer les forces latérales appliquées sur chaque modèle d'étude ;
  - Modélisation et simulation du comportement des bâtiments pour avoir les déformations horizontales admissible.

Après avoir fait la modélisation et la simulation du comportement des bâtiments, nous serons capables de faire une analyse et interprétation des résultats en comparant le comportement des planchers en hourdis et des planchers sans hourdis. En conclusion, chaque personne doit comprendre l'influence des planchers en hourdis sur les déformations et les sollicitations élémentaires des structures en béton armé au Burundi.

Notre travail est divisé en trois chapitres comme suivant :

Chapitre 1: Revue de la littérature ;
Chapitre 2: Méthodologie de l'étude ;
Chapitre 3 : Présentation et analyse des résultats ;
Conclusion générale et des recommandations.

# CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE

## I.1. Introduction

Ce chapitre se focalise sur une revue bibliographique générale des planchers en hourdi ainsi que les descentes effectuées sur les chantiers en cours de construction au moment de la collecte des données et aux certaines entreprises de constructions se trouvant au Burundi. D'abord, on donne une définition générale des planchers en hourdis. Ensuite, on expose des notions sur l'utilisation de ces planchers en hourdis et leur influence sur les déformations. Dans ce contexte, on discute aussi quelques exigences de la mise en œuvre des planchers en hourdis.

## I.2. Définitions

### a) Plancher en hourdis

Les planchers sont des parties horizontales de la construction séparant les niveaux d'un bâtiment capables de supporter les charges d'utilisation [1].

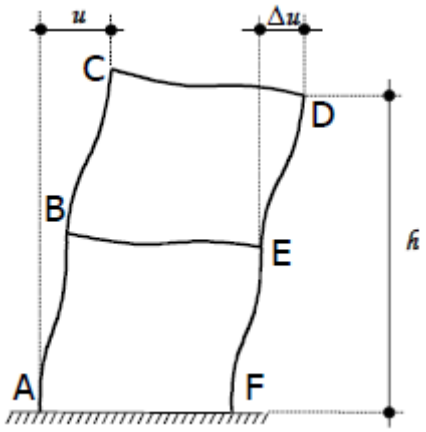
Le plancher repose sur des poutrelles préfabriquées en béton et acier, dont les pièces dénommées « entrevous » peuvent être en terre cuite ou en polystyrène permettant une isolation thermique et une pose plus légère, ou plus récemment en bois aggloméré ou en PVC, permettant des travaux dans des endroits difficilement accessibles.[21] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hourdis

Toutefois d'autres éléments peuvent être faits à partir d'autres matières comme c'est le cas de la terre cuite ou encore du polystyrène. Dans d'autres cas, certaines personnes usent du bois aggloméré et du PVC qui sont nettement plus appréciés pour des travaux dans des conditions difficiles voire assez extrêmes. Donc en général, on peut dire que l'hourdis est l'élément préfabriqué du plancher.

**b) Déplacement**

Selon la norme NBN B 03-003 [2] le déplacement est un changement de position d'un point de l'ouvrage qui est déformé par rapport à une position initiale ou de référence. Selon le cas, ce déplacement est une flèche, une rotation, un tassement.

- Déplacement horizontal




Déplacement horizontal en tête:

Le déplacement horizontal en tête *u* est la composante horizontale du déplacement du sommet C de l'ossature par rapport au pied de colonne A.

Déplacement horizontal relatif :
Le déplacement horizontal relatif Δ*u* des points D et E de l'ossature est la composante horizontale du déplacement relatif de ces deux points.

- Tassement

La norme NF P94-261 [3] définit le tassement comme étant le déplacement vertical descendant d'un ouvrage. Il s'agit d'un phénomène d'interaction sol/fondation qui se manifeste soit à cause de l'action de la fondation sur le sol, par le biais des surcharges qui lui sont transmises, soit à cause de l'action du sol sur la fondation, comme c'est le cas de l'effet de la proximité d'un nouveau ouvrage.

## I.3. Planchers en hourdis

### Caractéristiques

Les planchers prennent leurs appuis sur les murs de façade et de refend, les poutres d'angle ou les poutres intérieures. Leur conception et leurs procédés de mise en œuvre doivent assurer les fonctions de :

- Résister aux charges permanentes (ou fixes) et d'exploitations (ou libres) ;
- Accès entre les niveaux : étage ou sous-sol par des trémies ;
- Isolation thermique intégrée dans le cas d'un sous-sol, un vide sanitaire ou des combles et isolation acoustique entre niveaux habitables, aux bruits aériens ou d'impacts. Protection contre l'incendie (matériaux isolant inflammables) ;
- Obtention d'un parement sous-face par un enduit plâtre ou un plafond suspendu ;
- Passage de réseaux de distribution pour l'électricité, l'eau sanitaires**,** et les canalisations de chauffage [4].

Le choix d'un plancher, parmi toutes les variétés, se fera par rapport aux différentes fonctions auxquelles il devra répondre. Ils ont des fonctions :

- Porteuses : stabilité, résistance mécanique, durabilité ;
- D'isolation : acoustique et thermique ;
- De protection : effraction, feu ;
- Techniques : facilite de mise en œuvre ;
- Esthétique : aspect décoratif en sous face (ex : poutres apparents) [5].

La construction doit être telle qu'elle résiste dans son ensemble à l'effet combiné de son propre poids, des charges climatiques extrêmes et des surcharges correspondant à son usage normal. Les portées indiquées par les fabricants des différents planchers sont des portées libres maximales qui tiennent compte de la totalité des charges admissibles (poids propre et charges d'exploitation moyenne =350kg/m$^2$).

Pour définir un plancher d'une épaisseur de 20 cm les fabricants ont pris l'habitude de la designer sous la forme : « 16+4 ». Le premier chiffre donne l'épaisseur en cm des poutrelles et hourdis tandis que le second donne l'épaisseur en centimètre de la dalle de compression coulée sur place. L'épaisseur des revêtements de sol n'est généralement pas prise en compte, exceptée si elle fait partie de la structure du plancher [6].

*Tableau 1 : Epaisseurs des planchers* [7]

| **Planchers courants avec :** | **Hauteurs des entrevous [cm]** | **Table de compression [cm]** |
|---|---|---|
| Entrevous en béton | 10 | 4 |
| | 12 | 4 |
| | 14 | 4 |
| | 16 | 4 |
| Entrevous céramiques | 8 | 4 |
| | 20 | 4 |
| | 25 | 4 |
| | 30 | 4 |

Le poids propre d'un plancher est égal à la somme du poids mort (poutrelles + entrevous) et du poids mort provenant du béton à couler sur le chantier. La définition des charges et des surcharges est donnée par la norme NF P06-001 [8].

### I.4. Pose d'un plancher hourdis

Comme cela a été dit, décider de poser un plancher hourdi n'est pas une mince affaire. On ne peut pas décider d'un coup de tête que l'on va s'attaquer aux travaux. Il faut au moins avoir des équipements complets. Toutefois, pour les novices des kits existent. Avec les kits, les techniques sont simples. Il suffit tout simplement de suivre la méthode suivante. A noter ici qu'il s'agit tout d'abord d'un plancher en kit. Dans ce dernier, on peut distinguer que le kit est composé de trois éléments : les poutrelles, les hourdis en question et les chapes. L'idée est ici de montrer les étapes à suivre pour la pose d'un plancher hourdis pour les novices.

Les poutrelles sont les éléments qui permettent de tenir en place les hourdis tout en aidant à faire une bonne répartition des charges. Puis nous avons les hourdis (déjà en béton armé et préfabriqués sur commande à l'avance) sont là pour servir de support aux chapes. Enfin ces derniers vont servir de sol. Ce sont ces chapes que l'on décore pour avoir des effets plus plaisants comme des revêtements plus esthétiques. Une fois que les éléments sont complets, place ensuite aux étapes de mise en œuvre.

L'idée est tout d'abord de savoir dans quelle pièce vous allez poser votre plancher hourdis. Une fois cela fait, prenez les dimensions de cette pièce. Cela aidera à constituer de façon précise

votre plancher. Ces dimensions sont essentielles pour la longueur des poutrelles mais aussi le nombre de hourdis à utiliser. Dans le kit, un plan est à suivre et il suffit de bien le lire pour disposer les poutrelles de la bonne manière. C'est après que l'on peut poser les hourdis en prenant soin de bien les reposer sur les poutrelles. Une fois cela fini, placez les treillis sur les hourdis puis coulez le béton. Avec ce kit, la pose est facile et de toute façon les éléments sont tous manutentionnables.

### I.5. Avantages et inconvénients du plancher en hourdis

Rien n'est totalement noir et pourtant tout n'est pas blanc. Car un plancher hourdis a ses avantages et ses inconvénients. Les avantages regroupent : inutile d'utiliser de grue ni de coffrage, les charges sont faibles en moyenne, les revêtements au sol sont des options totalement envisageable et même sur le long terme, l'option est intéressante.

A côté, des inconvénients sont aussi à noter : on jongle entre une mise en œuvre complexe et simple mais cela en fonction du type d'hourdis choisi. Dans certains cas la pose d'isolation phonique et thermique est à envisager ce qui peut générer des coûts supplémentaires. Comparé à la dalle le hourdis résiste moins au feu ce qui peut générer d'autres problèmes si l'on ne fait pas attention. Lors des travaux le béton met vraiment du temps à sécher alors il faut de la patience et de la bonne volonté. Peu importe les travaux à effectuer, les points négatifs et positifs sont toujours dans le lot mais avec de bonnes réflexions et en suivant les conseils des professionnels, le hourdis ne devrait pas poser tant de problèmes que cela.

Autres avantages et inconvénients des planchers en hourdis [9] sont :

**Avantages** :

- Souplesse de mise en œuvre ;
- Eléments miniportables ;
- Etalement limité ;
- Réservations aisées.

**Inconvénients**:

- Sous face : à enduire éventuellement, on peut avoir un effet décoratif, sans enduit si l'entrevous est spécialement choisi.
- Portée usuelle limitée (6 à 7metres maximum avec étalement).

Les éléments constitutifs d'un plancher à poutrelle et entrevous :

1 : Béton

2 : Armature d'angle

3 : Treillis soudés

4 : Planelle

5 : Poutrelle

6 : Armature de liaison

7 : Entrevous

8 : Armature de chaînage périphérique

9 : Lisse d'angle

10 : Armature d'ancrage

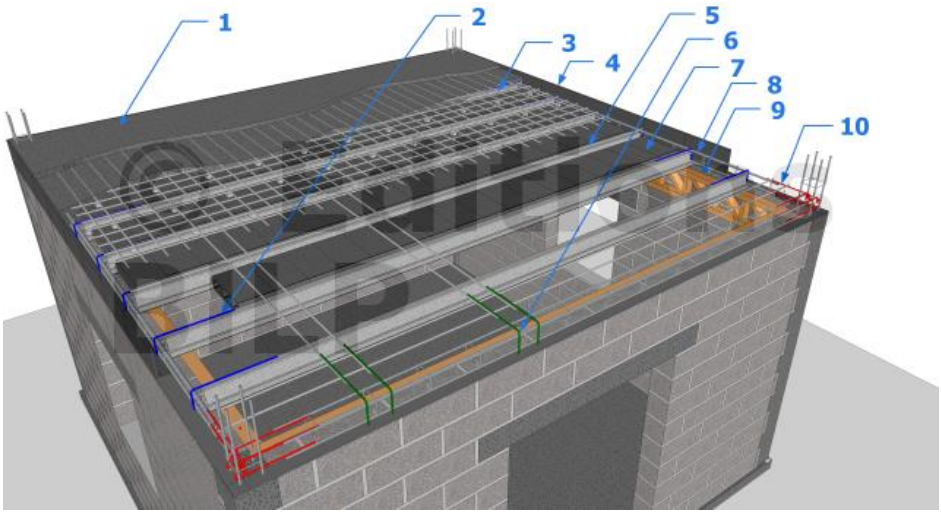



*Figure 1:Schéma illustratif des éléments constitutifs d'un plancher à poutrelle et entrevous*

**a) Poutrelles**

Les poutrelles sont caractérisées par :

- Leur forme en Té renversée pour que leurs talons servent d'appuis aux entrevous logés entre les poutrelles.
- L'espacement : distance entre axes voisin de 60cm ;
- La section du béton et l'armature par fils précontraints de résistance garantie avec son tension ≥2000 MPa qui conditionne la portée admise entre les appuis en fonction des charges [10].

Les poutrelles transmettent leurs charges aux appuis porteurs à savoir les murs et les poutres [4,10].

II existe plusieurs types des poutrelles en béton précontraint à savoir :

- Poutrelle sans plaquette ;
- Poutrelle avec plaquette en terre cuite ;
- Poutrelle BP avec grecques de couture ;
- Poutrelle BP avec acier passif ;
- Poutrelle BP rainurée ou ondulée.

**b) Entrevous**

Les entrevous sont des éléments intercalaires aux poutrelles, venant s'appuyer sur ces dernières sans intervention de dispositif extérieur. Ils peuvent être constitués de différents matériaux et correspondent à une norme européenne particulière [10]**,**

Les normes européennes (série NF EN 15037-2 à 5) distinguent plusieurs types d'entrevous:

- Les entrevous non résistants (LNR) et les entrevous faiblement résistants (NR) n'assurent pas de fonction mécanique dans le système de plancher fini. Ils assurent, dans le cas le plus fréquent, la fonction de coffrage perdu pour la réalisation d'une dalle de répartition coulée en œuvre. Ils doivent résister aux actions qui leur sont appliquées. Ces entrevous sont généralement en matériau de synthèse, particules ou fibles de bois) ;
- Les entrevous semi-résistant (SR) en béton ou en terre cuite, ces entrevous participent au transfert de charges vers les poutrelles. La paroi supérieure seule des entrevous ne peut agir comme une table de compression dans le système de plancher fini ;
- Les entrevous résistant (RR) en béton ou en terre cuite. Ils permettent de reporter les charges d'exploitation sur les poutrelles, dispensant ainsi de réaliser une dalle de répartition rapportée. Les entrevous porteurs simples, les parois supérieures des entrevous porteurs simples ne sont pas obligatoirement jointoyées entre elles [7,10].

Les entrevous servent de coffrage pour la dalle de répartition et constituent également la sous face de plancher brut: entre les poutrelles. Les entrevous sont en béton ou en polystyrène et s'appuient sur les talons des poutrelles [5]**.** Les entrevous de coffrage peuvent être utilisés seulement dans un plancher avec une dalle de répartition. Les entrevous porteurs permettent, par leur forme et leurs caractéristiques mécaniques, de reporter la totalité des charges d'exploitation sur les poutrelles et de résister aux actions locales, dispensant de réaliser une dalle de répartition

rapportée [9].



Entrevous semi-résistants Entrevous résistants

*Figure 2:Schémas illustratifs des types d'entrevous*

II est préférable d'utiliser des produits élaborés et diffusés sous l'égide des normes Afnor. Les normes définissent les produits avec les qualités auxquelles ils doivent répondre. Les normes NF P 14-302 définissent les caractéristiques des entrevous en terre cuite pour planchers poutrelles préfabriquées avec dalle de compression coulée surplace. Les normes NF P 14-305 définissent les caractéristiques des entrevous en béton de granulats lourds pour planchers poutrelles préfabriquées avec dalle de compression coulée sur place [10].

MB : Il est important de choisir les entrevous correspondant au type de poutrelle choisi. Le non-respect de cette règle peut conduire dans les cas extrêmes à des risques d'effondrement.

**c) Table de compression**

La table de compression est la membrure supérieure comprimée d'une section de plancher porteur. Elle participe à la performance mécanique du plancher. Il peut s'agir d'une dalle de répartition liée aux nervures ou de la membrure supérieure des entrevous résistants et de la partie supérieure de la nervure. Elle est dite partielle si sa surface n'est qu'une fraction de la surface totale du plancher. La tolérance en moins sur l'épaisseur de la table de compression est de -5mm [10].

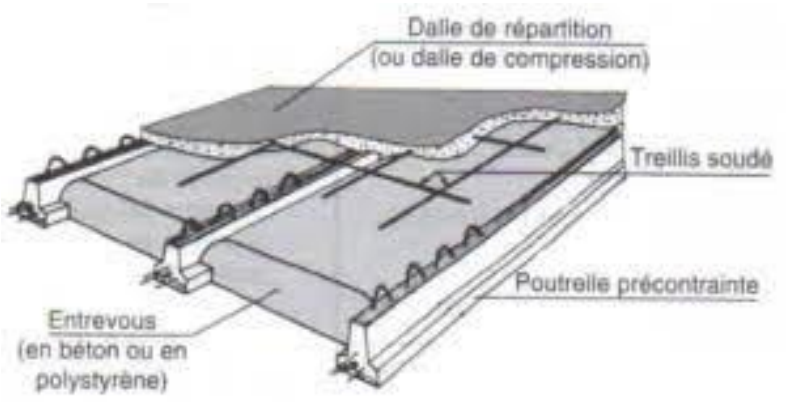



*Figure 3:Schéma illustratif de la dalle de répartition*

La dalle en béton armé, coulée en place, a une épaisseur de 4 cm à 5 cm et solidarise le tout. Cette dernière est armée par des treillis soudés en panneaux avec des fils de diamètre 4.5 mm, elle est également appelée « dalle de compression » en raison de la nature de l'effort subi par le béton en travée [5]**.**

### d) Armatures complémentaires mises en œuvre sur chantier

La mise en œuvre des planchers en hourdis sur chantier nécessite des armatures complémentaires. Ces armatures peuvent être constitués par :

- Des treillis soudés, formant l'armature de la dalle de répartition ;
- Des armatures de chainages périphériques au niveau de chaque plancher ;
- Des armatures de continuités. Les armatures de continuités sont des chapeaux rapportés placés au-dessus des poutrelles, dans le béton coulé sur chantier. Dans le cas où les poutrelles présentent un décalage supérieur à 15cm ;
- Des armatures d'angle : Sont des chapeaux rapportés placés au- dessus des poutrelles, dans le béton coulé sur chantier dont l'extrémité vient s'ancrer dans le chainage ;
- Des armatures de renfort dans le cas des poutrelles treillis. Ces armatures de renfort sur talon sont mentionnées sur le plan de pose ;
- Armatures de chevêtre ;
- Des armatures de renfort d'encrage si nécessaires [5]

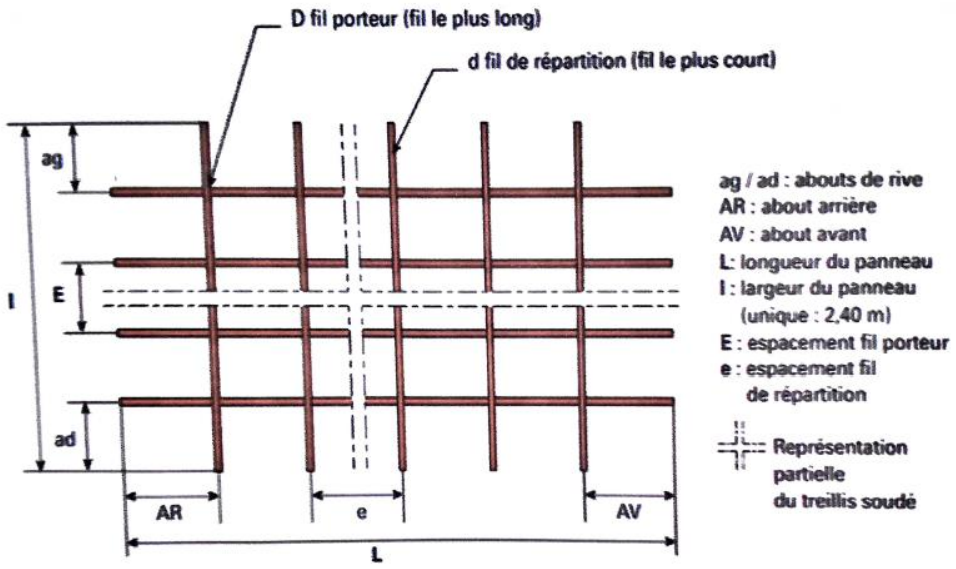



*Figure 4:Schéma illustratif des armatures complémentaires mise en œuvre par table de compression*




*Figure 5:Schéma illustratif d'armature complémentaire mise en œuvre pour table de réparation et poutrelle*

**I.6. Utilisation des planchers en hourdis dans les structures en béton arme au Burundi**

Les constructions au Burundi se développent de temps en temps suivants la modernisation et le développement du pays. Les types des constructions qu'on rencontre au Burundi sont entre autres que les maisons simples (Rez-de-chaussée uniquement) et les maisons en hauteurs (rez-de-chaussée et n étages). Il existe deux principaux types de planchers :

- Le plancher en béton, dont on distingue deux variétés :
- La dalle en béton coulée en place sur un coffrage (c'est la technique dite de la dalle pleine) ou sur une prédalle,
- Le plancher préfabriqué constitue par plusieurs éléments assemblés.
- Le plancher en hourdis appelé aussi entrevous ou corps creux.

Les éléments qui constituent les planchers en hourdis au Burundi sont :

- Les poutrelles qui sont disposées à des intervalles irréguliers et ne reçoivent pas les hourdis et sont coulées directement sur chantier ;
- Les hourdis en terre cuite ;
- La dalle de compression coulée sur place ;
- Les poutres ;
- La trémie ;
- Le chevêtre.



*Figure 6:Photo illustrative des éléments constituants des planchers en hourdis prise sur chantier se trouvant à Ruziba à Bujumbura Mairie par Edmond NIZIGIYIMANA*

L'équipe chargée de la réalisation du plancher en hourdis sur les chantiers que nous avons visités, ne dispose pas des plans de pose qui précisent les consignes de mise en œuvre relatives à :

- l'étaiement ;
- la position des poutrelles ;
- l'armature de la table de compression.

Les Etapes de mise en œuvre les planchers en hourdis aux chantiers au Burundi sont :

a) Coffrage du plancher ;
b) Armature pour les poutres et les poutrelles ;
c) Mise en place des entrevous en terre cuite ;
d) Mise en place des armatures pour la dalle de compression ;
e) Renforts d'armatures sur les appuis ;
f) Coulage et finition surfacée de la dalle de compression.

**a) Coffrages du plancher**

L'étaiement s'effectue à l'aide de plusieurs perches (longue pièce de bois mince de section généralement ronde). L'étaiement est contreventé, la pose de protection collective au niveau supérieur est effectuée à l'aide des madriers et des planches, ce qui rend horizontale le coffrage. Les madriers sont fixés au niveau supérieur des perches à l'aide des clous et les

planches sont posés horizontalement sur ces derniers pour solidariser les étais et la planéité du coffrage. Enfin, on ajoute un film étanche avant de poser les entrevous et mettre en œuvre les armatures de la table de compression ainsi que ceux des poutrelles.



*Figure 7:Photo illustrative des coffrages du plancher en hourdis prise sur chantier se trouvant à Nyabugete à Bujumbura Mairie par Edmond NIZIGIYIMANA*

**b) Armatures complémentaires mises en œuvre sur le chantier**

Lors de la réalisation d'un plancher en hourdis, des armatures sont mises en œuvre dans les éléments du plancher qui sont en béton armé à savoir :

- Armature de la dalle de répartition ;
- Armatures de chaînage périphérique au niveau de chaque plancher ;
- Armatures de poutrelles et des poutres ;
- Armatures de chevêtre ;
- Armatures de renfort d'encrage si nécessaire.

**C) Mise en place des entrevous en terre cuite.**

Les entrevous en terre cuite sont posés deux à deux parallèles et n'ont aucun appui. On place les hourdis sans la vérification des distances entre les poutrelles et qu'ils touchent sur les poutrelles. Ils sont posés directement sur le film étanche. Pour répondre aux normes, la disposition constructive des planchers en hourdis sur chantier au Burundi doit se faire de la manière suivante : *les* hourdis prennent appuis sur les poutrelles en fin de lui transmettre ces charges aucun hourdis prend appui sur l’autre.

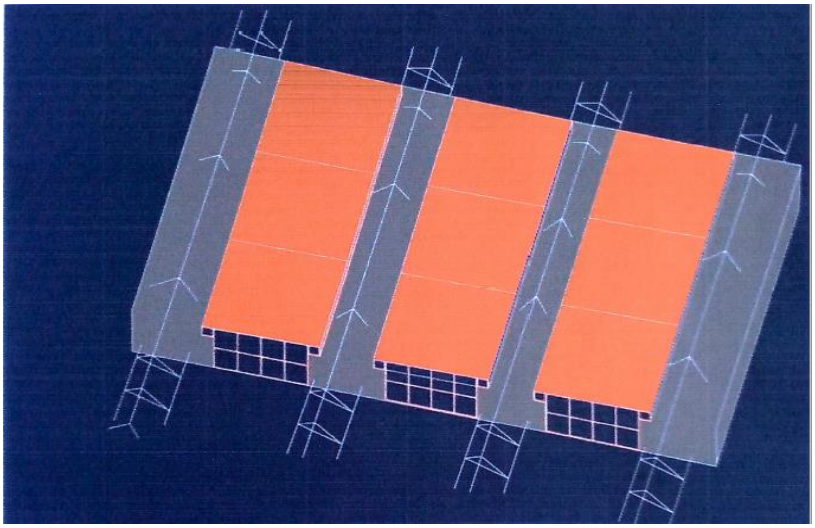


*Figure 8:Schéma illustratif de la disposition constructive des planchers en hourdis*

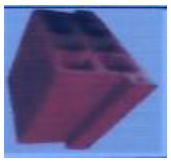
Origine d'hourdis utilisés dans les constructions au Burundi.

Les hourdis utilisés ici au Burundi sont produits par des entreprises locales. Ces entreprises ont des missions de production :

- Des briques modernes de différentes sortes pour l'aération ou embellir les murs ;
- Des hourdis de différentes catégories pour les dalles ;
- Production des tuiles modernes pour la couverture ;
- Des carreaux de sol ;
- Des claustras d'aération de différentes sortes, en terre cuite.

Les caractéristiques des hourdis utilisés au Burundi sont identifiées dans le tableau ci-dessous

*Tableau 2 : Caractéristiques géométriques et mécaniques des hourdis utilisés au Burundi selon le document technique fournis par SKAT-PROECO [22]*

| N° | Image | Longueur (cm) | Largeur (cm) | Hauteur (cm) | Poids (Kg) | Résistance mécanique (MPa) | Nombre de pièce par $m^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 |  | 30 | 20 | 8 | 4,1 | 3,167 | 17 |
| 2 |  | 29 | 28 | 12 | 9,3 | 2,733 | 13 |
| 3 |  | 28 | 27 | 10 | 7 | 2,742 | 13 |
| 4 |  | 30 | 30 | 13 | 10 | - | 9 |
| 5 |  | 30 | 15 | 11,5 | 3,3 | - | 30 |

**d) Coulage et finition surfacée de la dalle de compression**

Après avoir malaxé le béton, il est indispensable de refaire des vérifications avant d'entamer le coulage proprement dit. La première vérification devra porter sur le coffrage. Il faut vérifier notamment les dimensions, la solidité, la propreté et enfin l'humidification des parois par l'eau ainsi la disposition des ferraillages et le respect de l'enrobage ou la distance des armatures par rapport aux parois.

Après avoir effectué toutes les vérifications, on démarre le coulage proprement dit. Le dosage du béton utilisé est de 350Kg/$m^3$ pour les éléments en béton armé et on le distribue au moyen des seaux. Le malaxage est effectué à l'aide des pelles.

### 1.7. Comportement statique des planchers en hourdis avec des structures en béton armé

Les planchers en hourdis contribuent à la transmission des charges de la manière suivante : La dalle de répartition est coulée en place sur toute la surface du plancher afin de répartir les charges acquises sur les poutrelles. Les entrevous servent le coffrage pour la dalle de répartition et s'appuient sur les talons des poutrelles afin de leurs transmettre ses charges. Les poutrelles transmettent leurs charges aux appuis porteurs à savoir les poutres et ces derniers transmettent les charges aux poteaux [22].

### 1.8. Comportement dynamique des planchers en hourdis des structures en béton armé

Lors d'un séisme, les planchers doivent être capables en plus de leur fonction d'élément porteur:

- De former le diaphragme dans son plan afin de répartir les charges horizontales sur les éléments verticaux du bâtiment ;
- De maintenir la liaison entre les divers éléments de la structure afin d'assurer le monolithisme de la construction.

Pour cela, le plancher doit suffisamment être raide dans son plan et les liaisons du plancher aux éléments de contreventement doivent être suffisamment résistantes et capables de transmettre les sollicitations dues aux charges horizontales [11].

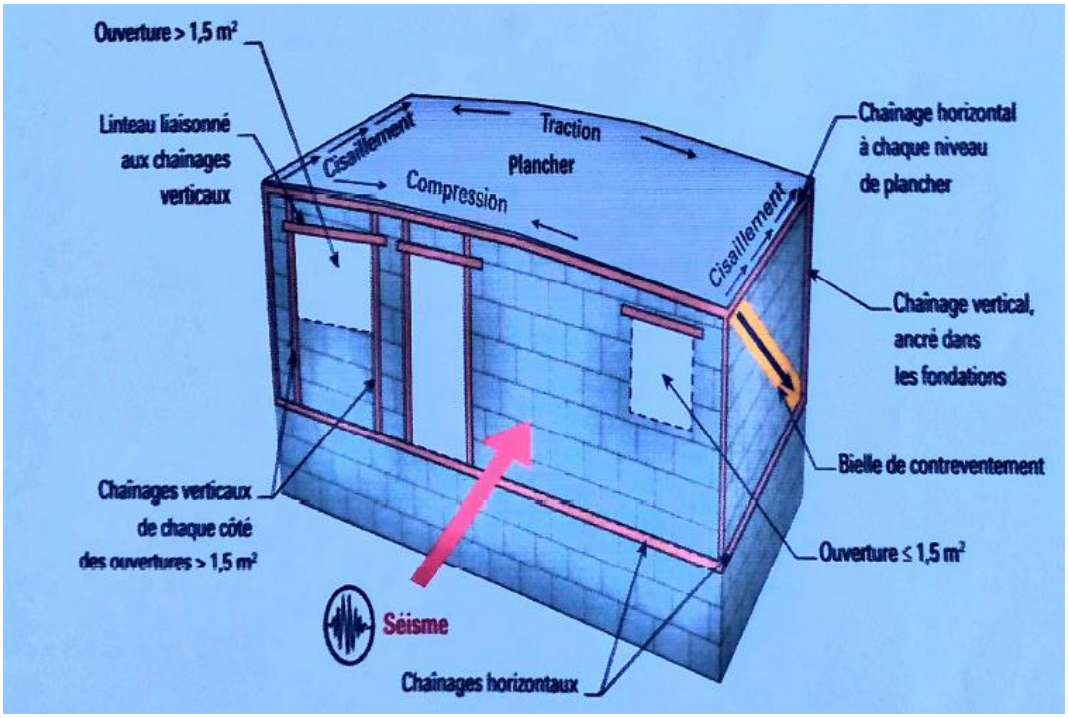



*Figure 9:Schéma illustratif du Comportement dynamique des planchers en hourdis [22]*

## 1.9. Conclusion

En se basant sur les caractéristiques des planchers en hourdis, il est remarquable que les planchers en hourdis aient une influence considérable sur le poids du bâtiment. Alors après une analyse faite sur différents chantiers d'ici au Burundi, à part que l'utilisation des planchers en hourdis ne respectent pas les normes NF P 14-305, [5] exigées pour les mettre en place, il y a aussi la non- maîtrise de l'influence de ces planchers en hourdis sur la déformabilité et la rigidité des bâtiments.

# CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

## II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes méthodes et étapes faites pour atteindre l'objectif global de notre étude.

Les principales parties de ce chapitre sont :

- Description de l'objet d'étude : les dimensions géométriques et les caractéristiques des matériaux constituants l'objet d'étude ;
- Pré-dimensionnement des éléments structuraux ainsi qu'évaluation des charges ;
- Calculs des sollicitations dans les éléments de la structure ;
- Modélisations et simulations des bâtiments avec planchers en hourdis et avec planchers sans hourdis ;
- Conclusion.

Tous ces points nous permettent de trouver la méthodologie à suivre pour arriver aux résultats du travail.

## II.2. Description de l'objet d'étude

### a) Modèles d'étude

Le modèle à étudier est un modèle à 12 niveaux ; sa faisabilité concerne la variation des niveaux afin d'analyser l'influence des bâtiments avec planchers en hourdis selon différents modèles. Cette variation de niveaux est faite en quatre (4) modèle, à savoir : Modèle à 3 niveaux, Modèle à 6 niveaux, Modèle à 9 niveaux et Modèle à 12 niveaux. Pour chaque modèle on va étudier deux catégories de bâtiments : bâtiments avec planchers en hourdis et avec planchers sans hourdis.

Les dimensions géométriques de l'objet d'étude sont les mêmes pour tous les modèles à savoir : longueur, largeur, hauteur de l'étage. La hauteur totale de l'objet d'étude dépend des niveaux du modèle d'étude et on a les mêmes travées entre nus des poutres pour tous les modèles.

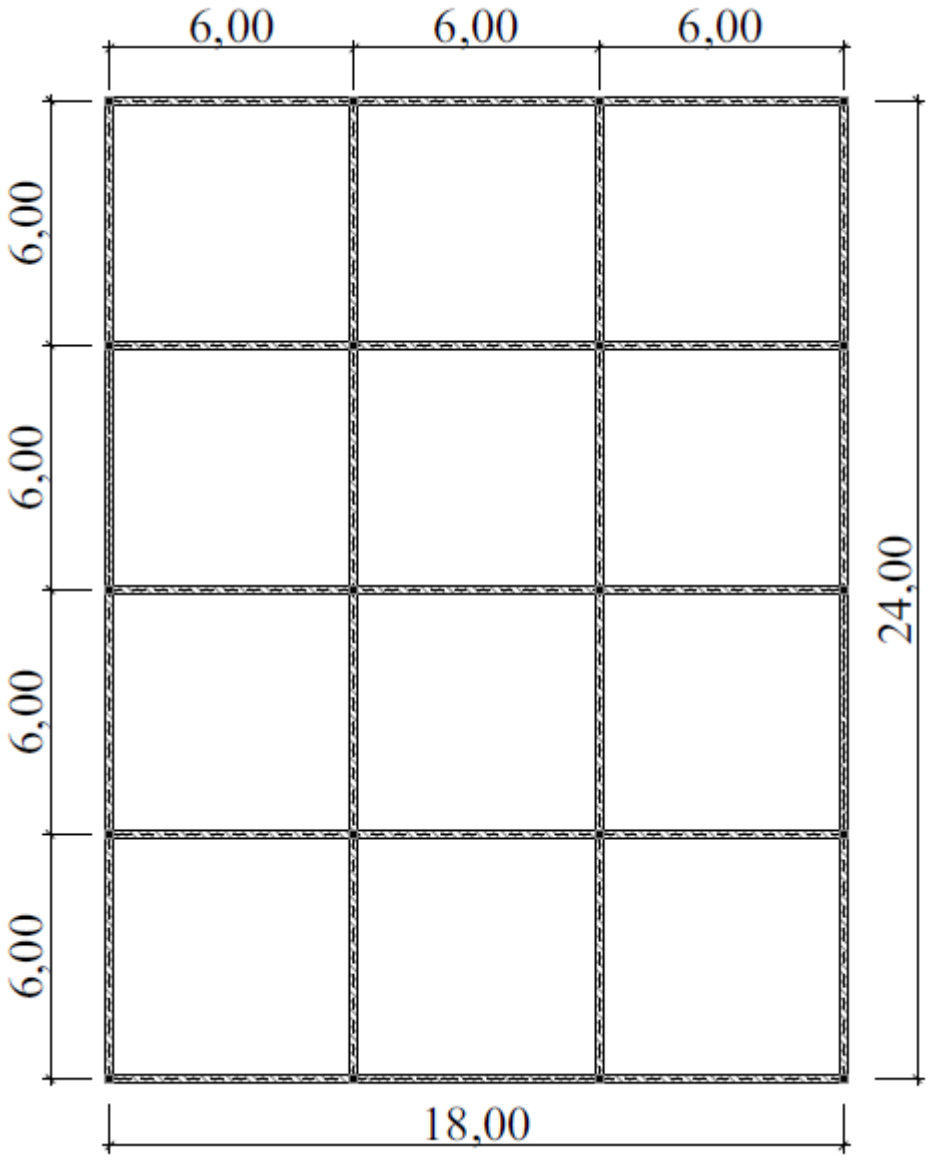



*Figure 10:Schéma illustratif de la vue en plan de l'objet d'étude*

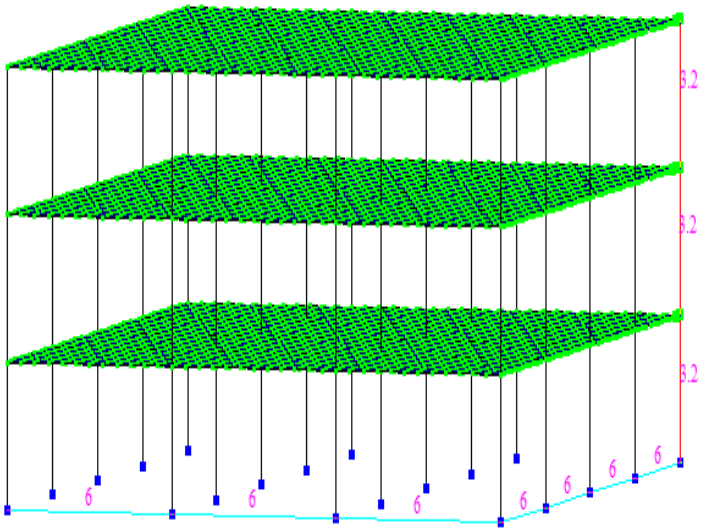



*Figure 11:Schéma illustratif du modèle à 3 niveaux*

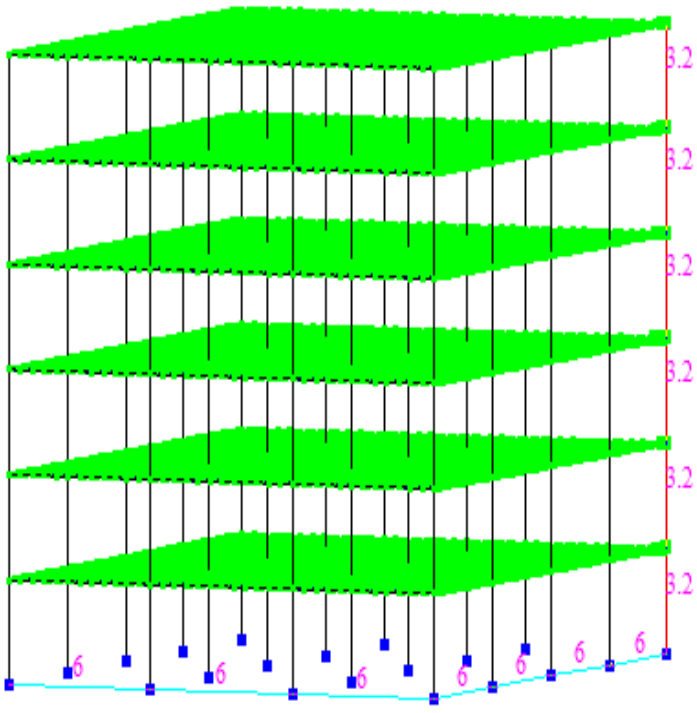



*Figure 12:Schéma illustratif du modèle à 6 niveaux*

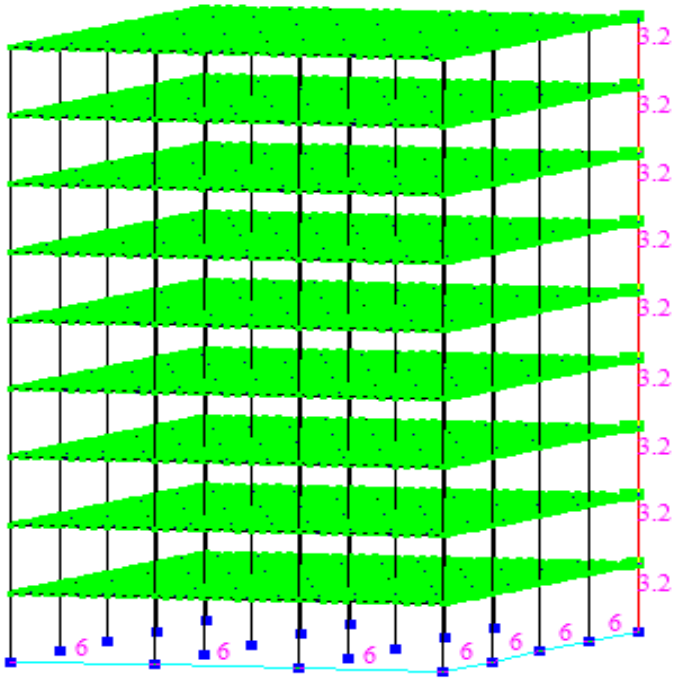



*Figure 13:Schéma illustratif du modèle à 9 niveaux*

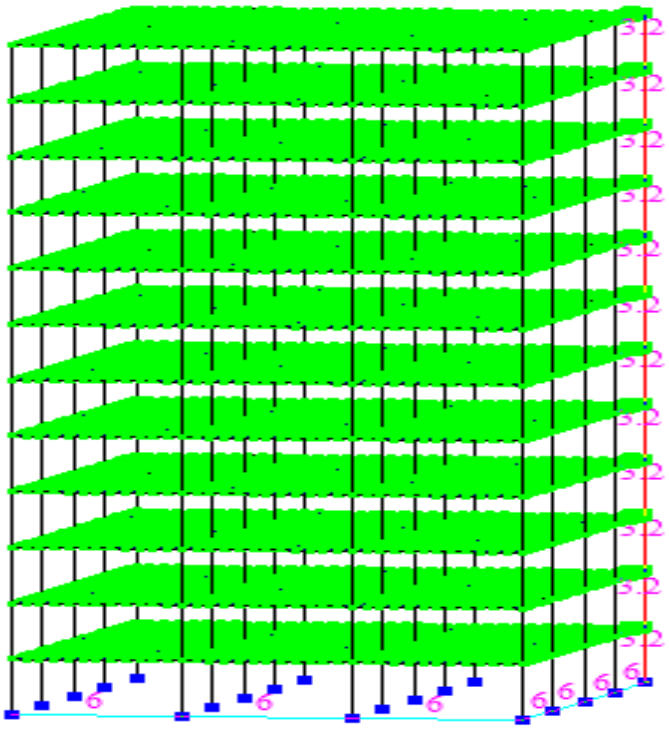



*Figure 14:Schéma illustratif du modèle à 12 niveaux*

**b) Matériaux utilisés**

Le béton est obtenu en mélangeant une quantité convenable du ciment, des granulats (graviers, sable) et de l'eau selon le type d'ouvrage à réaliser. Le béton est connu par sa bonne résistance à la compression mais d'autre part à la mauvaise résistance à la traction. Pour cela, on introduit des armatures pour palier à cet inconvénient pour avoir un béton armé résistant à la compression et à la traction [11].

Les hourdis que nous avons utilisés dans cette étude sont d'origine Burundaise. Ce sont les hourdis qui sont plus utilisés aux chantiers ici au Burundi, sont faciles à trouver sur le marché et leur forme contribue à la distribution des charges sur les poutrelles. Ces hourdis ont des caractéristiques physiques suivant : le poids propre est 10kg/pièce dont les dimensions géométriques sont *30cm*30cm*13cm*

## II.3. Pré-dimensionnement et évaluation des charges

Le pré-dimensionnement consiste à déterminer des dimensions à donner aux éléments d'une structure sur base de certaines règles pratiques de la construction.

**a) Pré-dimensionnement des dalles**

Les dalles sont des éléments plans d'épaisseur faible par rapport aux autres dimensions et qui peuvent se reposer sur 2,3 ou 4 appuis [12-18]. On peut classer les dalles en deux catégories :

- La dalle portant dans un seul sens si

$$\alpha = \frac{lx}{ly} \leq 0.4 \quad (1)$$

$$\frac{lx}{35} \leq e \leq \frac{lx}{30} \quad (2)$$

- La dalle portant dans deux sens

$$\alpha = \frac{lx}{ly} > 0.4 \quad (3)$$

$$\frac{lx}{45} \leq e \leq \frac{lx}{40} \quad (4)$$

Avec Lx : petite portée entre nus ;

Ly : grande portée entre nus ;

e : épaisseur de la dalle

Lx=Ly= 6m

$$\alpha = \frac{6}{6} = 1 \text{ Donc } 1 > 0.4$$

$\alpha > 0.4$ alors la dalle porte dans deux sens. On va utiliser la formule (4) pour le pré dimensionnement des dalles sans hourdis. L'épaisseur de la dalle est de 17cm.

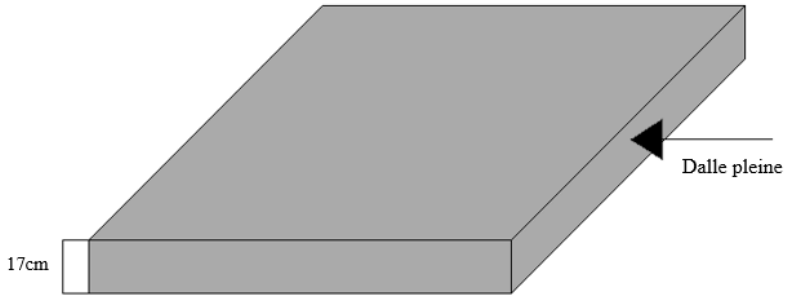



Figure 15:Schéma illustratif de l'épaisseur du plancher sans hourdis

Introduisons les hourdis dans la dalle pleine à la place du béton. La dalle sera creuse et l'épaisseur reste de 17cm c'est-à-dire (13+4) cm dont 13cm hauteur d'hourdis et 4cm épaisseur de la table de compression.

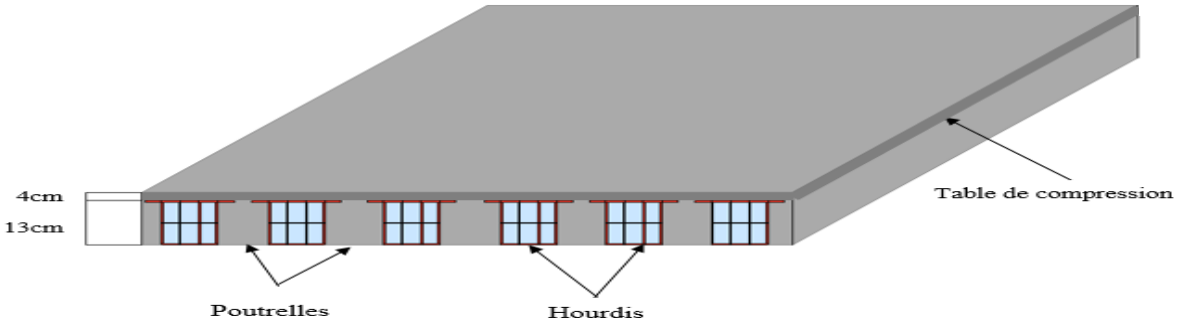



*Figure 16:Schéma illustratif des éléments constituants le plancher en hourdis utilisé et son épaisseur*

**Evaluation des charges**

**Planchers en hourdis**

Pour les planchers en hourdis, l'épaisseur dépend des conditions de vérification de la résistance. Ceci pour les raisons suivantes : La facilité de réalisation, les portées de l'ouvrage ne sont pas importants (max 6m), diminuer le poids de la structure [12-18].

Le poids mort du plancher (sans carrelage, sans les cloisons, sans les dalles flottantes…) dépend de 3 paramètres :

- La hauteur d'hourdis ;
- La hauteur de la dalle de compression ;
- La nature de l'entrevous.

On a utilisé les hourdis en terre cuite dont sa représentation est sur la figure ci-dessous



*Figure 17:Schéma illustratif d'hourdis utilisé dans le plancher en hourdis*

La table de compression et les poutrelles sont en béton armé. Le poids volumique du plancher en hourdis est de 14.79KN/m$^3$

*Tableau 3:Charges et surcharges du plancher terrasse non accessible*

| **Constituants** | **Epaisseur (m)** | **Poids (KN/m$^3$)** | **Poids (KN/m$^2$)** |
|---|---|---|---|
| 1. Protection en gravillons roulées | 0,05 | 17 | 0,85 |
| 2. Etanchéité multicouche | 0,02 | 6 | 0.12 |
| 3. Béton forme de pente | 0,1 | 25 | 2,5 |
| 4. Enduit en plâtre | 0,02 | 10 | 0,2 |
| 5. Isolation thermique au liège | 0,04 | 4 | 0,16 |
| 6. Dalle en corps creux 13+4 | 0,17 | 14.79 | 2.515 |
| 7. Enduit sous face de ciment | 0,02 | 18 | 0.36 |
| | | | G= 6,705 KN/m$^2$ |

Coupe transversale du plancher terrasse non accessible

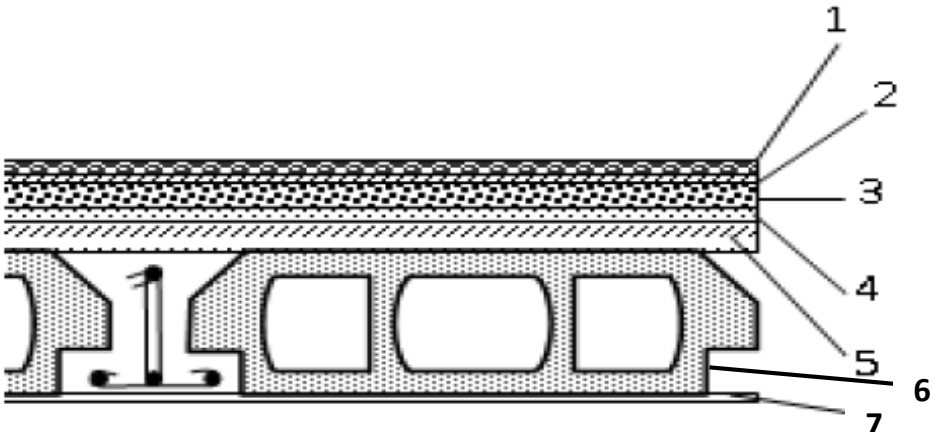


*Tableau 4:Charges et surcharges du plancher de rive*

| **Constituants** | **Epaisseur (m)** | **Poids (KN/m$^3$)** | **Poids (KN/m$^2$)** |
|---|---|---|---|
| Revêtement en carrelage | 0,02 | 20 | 0,4 |
| Dalle en corps creux 13+4 | 0,17 | 14,79 | 2,515 |
| Mortier de pose | 0,02 | 20 | 0,4 |
| Enduit en plâtre | 0,02 | 10 | 0,2 |
| Enduit sous face de ciment | 0,02 | 18 | 0,36 |
| Cloisons de distribution | 0,19 | 10 | 1,9 |
| | | | G= 5.775 KN/m$^2$ |

**Planchers sans hourdis**

*Tableau 5:Charges et surcharges du plancher terrasse non accessible*

| **Constituants** | **Epaisseur (m)** | **Poids (KN/m$^3$)** | **Poids (KN/m$^2$)** |
|---|---|---|---|
| Protection en gravillons roulées | 0,05 | 17 | 0,85 |
| Dalle pleine | 0,17 | 25 | 4,25 |
| Béton forme de pente | 0,1 | 25 | 2,5 |
| Etanchéité multicouche | 0,02 | 6 | 0,12 |
| Enduit en plâtre | 0,02 | 10 | 0,2 |
| Isolation thermique au liège | 0,04 | 4 | 0,16 |
| Enduit sous face de ciment | 0,02 | 18 | 0,36 |
| | | | G= 8,44 KN/m$^2$ |

*Tableau 6:Charges et surcharges du plancher de rive*

| **Constituants** | **Epaisseur (m)** | **Poids (KN/m$^3$)** | **Poids (KN/m$^2$)** |
|---|---|---|---|
| Revêtement en carrelage | 0,02 | 20 | 0,4 |
| Dalle pleine | 0,17 | 25 | 4,25 |
| Mortier de pose | 0,03 | 20 | 0,6 |
| Enduit en plâtre | 0,02 | 10 | 0,2 |
| Enduit sous face de ciment | 0,02 | 18 | 0,36 |
| Cloisons de distribution | 0,19 | 10 | 1,9 |
| | | | G= 7,71 KN/m$^2$ |

**b) Pré-dimensionnement des Poutres**

Les dimensions des poutres doivent respecter l'article 7.5.1 de RPA/version 2003 [12] suivant :

- b ≥ 20cm ; (5)
- h ≥ 30cm ; (6)
- $\frac{h}{b} \leq 4.0$ (7)

Avec b : largeur de la poutre.

h : la hauteur de la poutre.

Les dimensions des poutres doivent respecter la condition suivante pour h et pour b selon BEAL 91 révisée 99 [13] :

$$\frac{l}{15} \leq h \leq \frac{l}{10} \quad (8)$$

$$0.3h \leq b \leq 0.7h \quad (9)$$

Avec L : plus grande portée entre nu d'appui des poutres dans le sens considéré.

b : largeur de la poutre

h : la hauteur de la poutre

Les dimensions adoptées pour les poutres sont identiques pour toutes les poutres. Que ça soit les poutres principales et les poutres secondaires sont :

h = 0.5m ou 50cm

b = 0.2m ou 20cm

**Evaluation des charges**

Le poids propre de la poutre qui est égale à la somme des charges du poids de la retombée de la poutre et la charge de l'enduit sur la retombée de la poutre par *ml*.

G = 2.41kN/ml

Les charges des murs extérieurs sont constituées par le poids propre des briques pleines et le poids de l'enduit extérieur et intérieur par *ml.*

G = 10.26kN/ml

### c) Pré-dimensionnement des poteaux

Les sections des poteaux sont déterminées en tenant compte de la surface de chargement constituée par des panneaux de dalles et des poutres qui reposent sur ces poteaux. Pour tous les modèles, on a fait le pré dimensionnement des poteaux centraux, d'angles et de rives du 1er niveau mais les plus chargés sont les poteaux centraux. Pour les poteaux des autres niveaux restants, on va adopter les mêmes sections que ceux des premiers niveaux [19].

$$N = lx * ly * n\ panneaux \quad (10)$$

$$B > \frac{N}{1200}(cm^2) \quad (11)$$

$$a = b = \sqrt{B}(cm) \quad (12)$$

Avec N : nombre total de $m^2$ du plancher supporté par le poteau

B : section en $m^2$ (B=a*b pour une section carrée a et b)

Les poteaux sont encastrés en haut et en bas et ont une longueur *lo = 2.*70m. La longueur de flambement pour tous les poteaux es donnée par :

$$L_f = 0.7lo \quad (13)$$

$$L_f = 0.7*2.70 = 1.89m$$

Les sections des poteaux sont vérifiées par les conditions minimales imposées par le RPA99 (Article : 7.4.1). En zone I et II, les dimensions doivent satisfaire les conditions suivantes pour que l'ouvrage résiste aux sollicitations sismiques [12]. Elles doivent vérifier les conditions suivantes :

- $Min\ (a,b) \geq 25cm$ ; (14)
- $Min\ (a,b) \geq \frac{he}{20}$ ; ( 15)
- $\frac{1}{4} < \frac{a}{b} < 4$ (16)

Avec : a, b : dimension de la section du poteau

he : hauteur d'étage

*Tableau 7:Sections adoptées des poteaux centraux*

| | Dimensions des poteaux a*b (cm*cm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Modèle à 3 niveaux | Modèle à 6 niveaux | Modèle à 9 niveaux | Modèle à 12 niveaux |
| Poteaux | 30*30 | 45*45 | 55*55 | 60*60 |

*Tableau 8:Sections adoptées des poteaux de rives*

| | Dimensions des poteaux a*b (cm*cm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Modèle à 3 niveaux | Modèle à 6 niveaux | Modèle à 9 niveaux | Modèle à 12 niveaux |
| Poteaux | 25*25 | 30*30 | 40*40 | 45*45 |

*Tableau 9:Sections adoptées des poteaux d'angles*

| | Dimensions des poteaux a*b (cm*cm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Modèle à 3 niveaux | Modèle à 6 niveaux | Modèle à 9 niveaux | Modèle à 12 niveaux |
| Poteaux | 20*20 | 25*25 | 30*30 | 30*30 |

**d) Vérification de l'élancement mécanique**

Le pré dimensionnement des poteaux se base sur la limitation de l'élancement mécanique ʎ. En effet, pour limiter le risque de flambement, l'élancement ʎ doit être inférieur à 70. Les caractéristiques mécaniques sont définies comme le rapport de la longueur de flambement lf au rayon de giration ($i_{min}$) et la section droite du béton seul(B) calculé dans le plan de flambement.

Les formules utilisées pour la vérification de l'élancement mécanique sont :

$$B = a \times b \quad (cm^2) \tag{17}$$

$$I = \frac{axb^3}{12} \quad (cm^4) \tag{18}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{1}{B}} \text{ (cm)} \tag{19}$$

$$\Lambda = \frac{\boldsymbol{lf}}{\boldsymbol{i_{min}}} \tag{20}$$

Avec B : section du Poteau

*I*: Moment d'inertie

$i_{min}$ : rayon de giration

ʎ **:** Elancement

$l_f$ : longueur de flambement

*Tableau 10:Vérification de l'élancement mécanique pour les poteaux centraux*

| Modèle à 3 niveaux | Modèle à 6 niveaux | Modèle à 9 niveaux | Modèle à 12 niveaux | Condition vérifiée |
|---|---|---|---|---|
| 21,82 | 14,55 | 11,9 | 10,91 | Ok |

*Tableau 11:Vérification de l'élancement mécanique pour les poteaux de rives*

| Modèle à 3 niveaux | Modèle à 6 niveaux | Modèle à 9 niveaux | Modèle à 12 niveaux | Condition vérifiée |
|---|---|---|---|---|
| 26.19 | 21.82 | 16.37 | 14.55 | Ok |

*Tableau 12:Vérification de l'élancement mécanique pour les poteaux d'angles*

| Modèle à 3 niveaux | Modèle à 6 niveaux | Modèle à 9 niveaux | Modèle à 12 niveaux | Condition vérifiée |
|---|---|---|---|---|
| 32.74 | 26.19 | 21.82 | 21.82 | Ok |

## II.4. Calculs des sollicitations

L'étude d'ouvrage doit être faite sur l'analyse du comportement des éléments structuraux de l'ouvrage. Les éléments de l'ouvrage que nous allons analyser sont les poteaux, les poutres et les dalles. Les efforts normaux calculés sont ceux des poteaux du 1$^{er}$ niveau lorsque le bâtiment est avec planchers en hourdis ou avec planchers sans hourdis ainsi que les sollicitations maximales dans les poutres et les dalles.

### Efforts normaux dans les poteaux

Pour calculer les efforts normaux dans les poteaux, on va calculer trois poteaux c'est-à-dire le poteau intermédiaire, le poteau de rive et le poteau d'angle tous du 1$^{er}$ niveau car ce sont les derniers les plus chargés. L'étude doit se faire de deux manières. L'une lorsque le bâtiment est avec planchers en hourdis et l'autre le Planchers sans hourdis. Les surfaces tributaires sont respectivement de 36m$^2$, 18m$^2$ et 9m$^2$.

Les formules utilisées pour calculer les efforts normaux sont :

A l'Etat Limite Ultime (ELU) :

$$Nu = \gamma_g G + \gamma_q Q \quad (21)$$

A l'Etat Limite de Service (ELS) :

$$Nser = G + Q \quad (22)$$

Avec : Nu : Charge limite ultime ;

Nser : Charge limite de service ;

G : Action ou charge permanente ;

Q : Action ou charge d'exploitation ;

$\gamma_g$ : Coefficient de majoration avec $\gamma_g = 1.35$ ;

$\gamma_q$ : Coefficient de majoration avec $\gamma_q = 1.5$.

## II.5. Modélisations et simulations avec le logiciel LIRA-SAPR 2016

Dans l'analyse de la structure, nous nous sommes servis d'un logiciel d'analyse et de dimensionnement des différents types de structures LIRA-SAPR 2016

### a) Description du logiciel LIRA-SAPR 2016

Le logiciel LIRA-SAPR est un outil destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures.

LIRA-SAPR permet de créer les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape générée par LIRA-SAPR est la création de documentation (note de calcul) pour la structure calculée.

Le modèle de démarrage de LIRA-SAPR est donné ici-bas et suivant le type de la structure à calculer, pour notre cas c'est le modèle à 6 degrés de liberté.

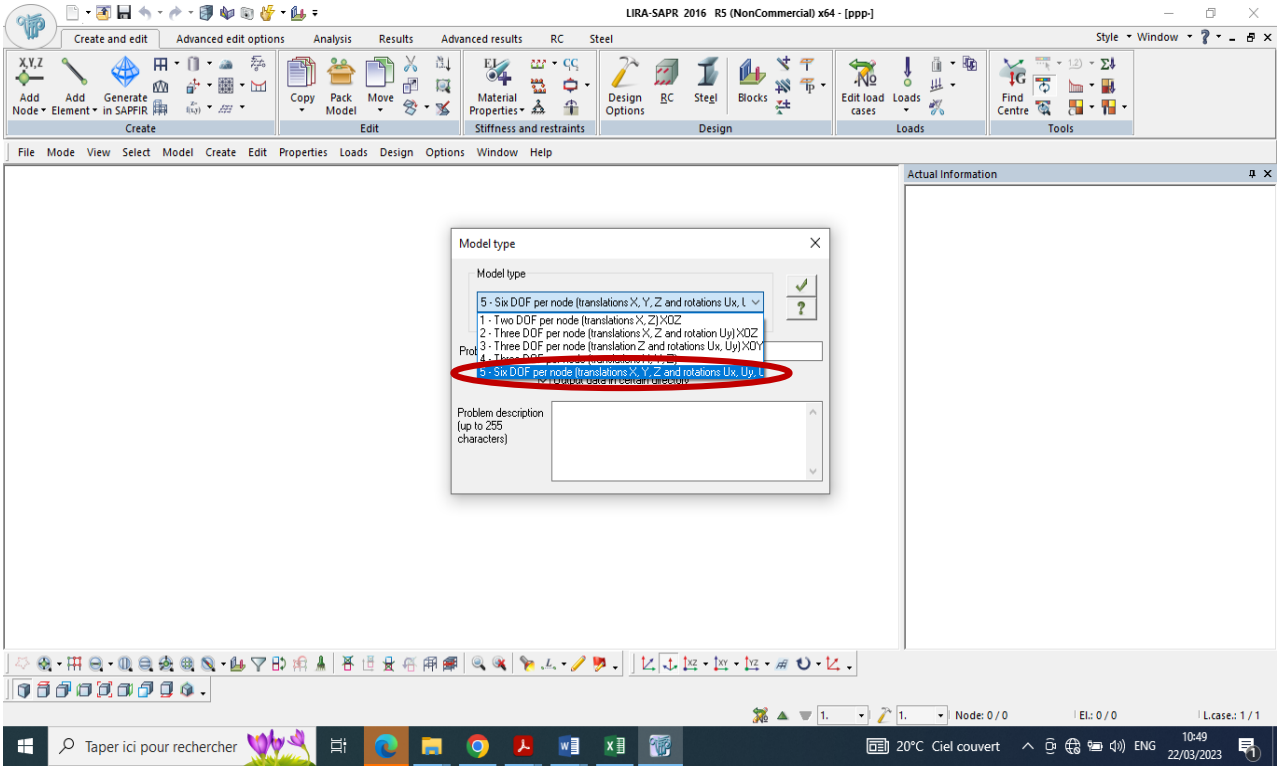



*Figure 18:Photo illustrative du modèle de démarrage de l'outil LIRA-SAPR*

Les caractéristiques principales du progiciel LIRA-SAPR sont les suivantes :

- ✓ la possibilité de présentation graphique de la structure étudiée et de représentation à l'écran des différents types de résultats de calcul (efforts internes, déplacements, travail simultané en plusieurs fenêtres ouvertes etc.) ;
- ✓ la possibilité de calculer (dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre (architecture multithread) ;
- ✓ la possibilité d'effectuer l'analyse statique et dynamique de la structure ;
- ✓ la possibilité d'affecter le type de barres lors de la définition du modèle de la structure et non pas seulement dans les modules métier (très utile pour accélérer le dimensionnement) ;
- ✓ la possibilité de composer librement les impressions (notes de calcul, captures d'écran, composition de l'impression, copie des objets vers d'autres logiciels).

Le logiciel LIRA-SAPR regroupe plusieurs modules spécialisés dans chacune des étapes de l'étude de la structure (création du modèle de structure, calcul de la structure, dimensionnement). Les modules fonctionnent dans le même environnement.

**b) Modélisation de la structure**

**Procédure de modélisation**

- ❖ Ouvrir le logiciel LIRA-SAPR
- ✓ Choisir le mode de travail (mode à six degré de liberté) ;
- ✓ Faire le paramétrage en passant par la préférence des tâches (choix des unités de travail, choix des matériaux, format, norme de conception, pondération des charges, analyse de la structure, …).
- ❖ Mettre les éléments de la structure
- ✓ Définition des axes ;
- ✓ Définir les éléments structuraux (poteaux, poutres, dalles, appuis, …) ;
- ✓ Mettre ces éléments.
- ❖ Chargements de la structure
- ✓ Cas des charges ;
- ✓ Définir les charges ;
- ✓ Combinaison des charges.
- ❖ Analyse de la structure
- ❖ Résultats

## II.6. Modélisation et cas de Chargements

### II.6.1. Cas de chargements horizontaux

Les figures ci-dessous illustrent les chargements horizontaux de différents modèles de bâtiments, les forces horizontales (F.H) appliquées sur les bâtiments ont été trouvées en faisant la simulation avec le logiciel LIRA-SAPR dans le but de trouver le déplacement limite de chaque bâtiment, ce déplacement est égal à la hauteur totale du bâtiment divisée par 500 (h/500) selon la norme de déformations des structures NBN B 03-003[2].

*Tableau 13:Variation des forces horizontales en fonction de hauteur du bâtiment*

| | Hauteur (mm) | u (h/500) (mm) | F.H(KN) |
|---|---|---|---|
| Modèle à 3 niveaux | 9,6 | 19,2 | 89 |
| Modèle à 6 niveaux | 19,2 | 38,4 | 180 |
| Modèle à 9 niveaux | 28,8 | 57,6 | 252.3 |
| Modèle à 12 niveaux | 38,4 | 76,8 | 264.5 |

$U_1$ = h/500 = (3200mm*3)/500 = 19.2mm; $U_2$=h/500= (3200mm*6)/500=38.4mm;

$U_3$= h/500 = (3200mm*9)/500 = 57.6mm; U4=h/500= (3200mm*12)/500=76.8mm.

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

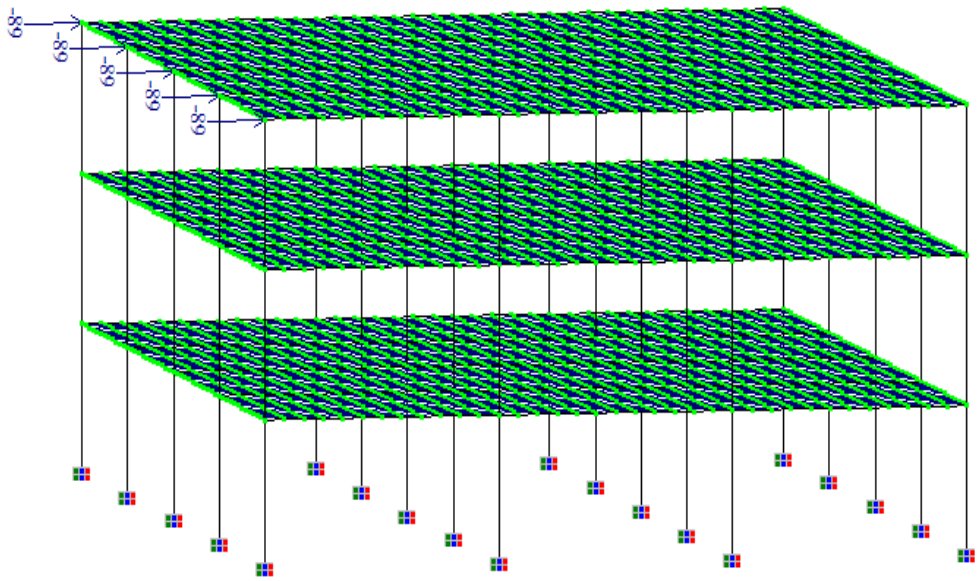



*Figure 19:Schéma illustratif du modèle d'étude à 3 niveaux avec un chargement horizontal*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

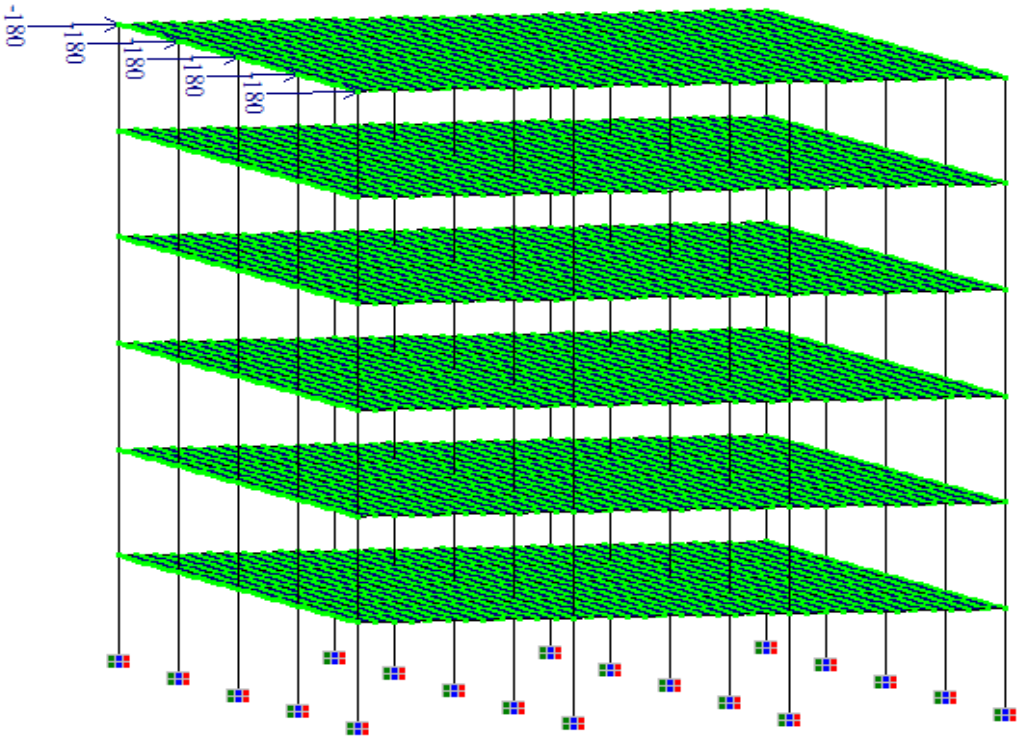



*Figure 20:Schéma illustratif du modèle d'étude à 6 niveaux avec un chargement horizontal*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

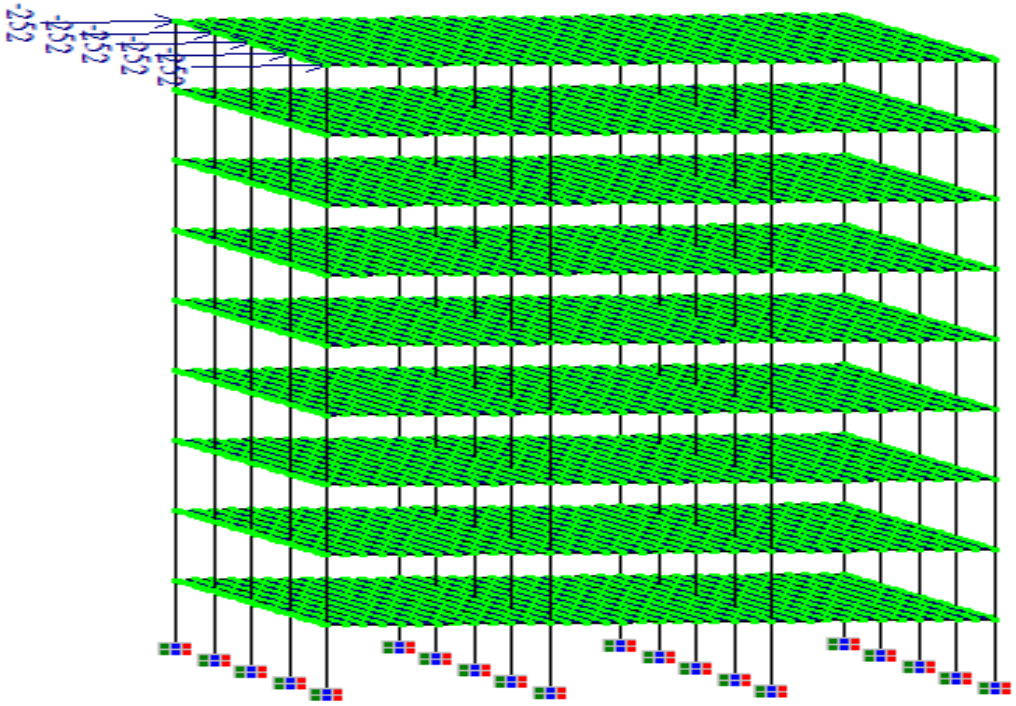



*Figure 21:Schéma illustratif du modèle d'étude à 9 niveaux avec un chargement horizontal*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

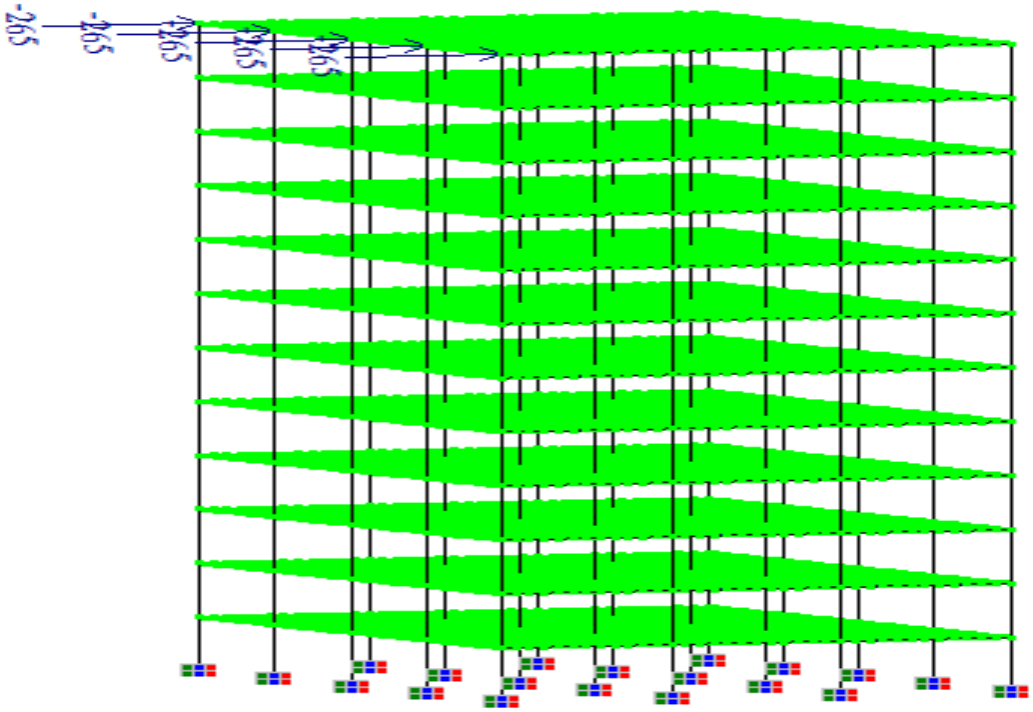
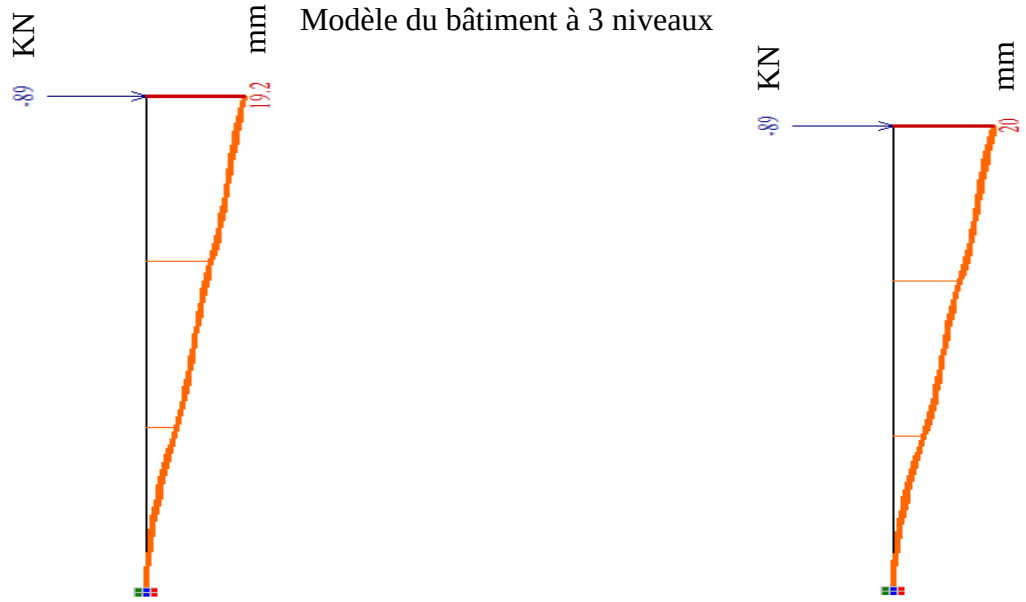


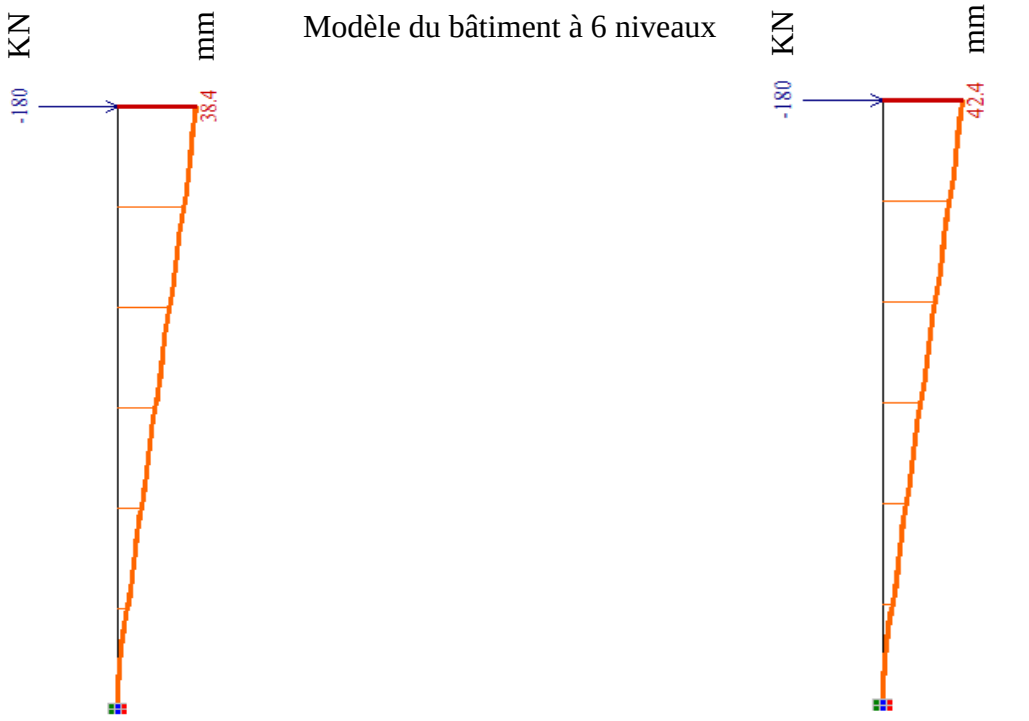

*Figure 22:Schéma illustratif du modèle d'étude à 12 niveaux avec un chargement horizontal*

**Comportement des bâtiments après le chargement horizontal**




(a) (b)

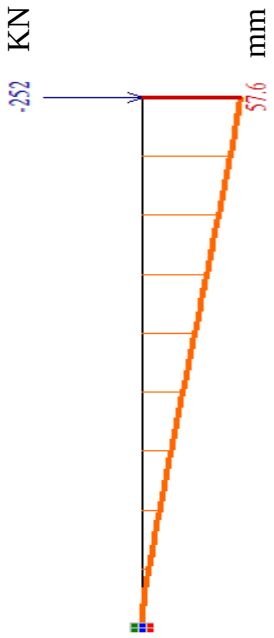
*Figure 23:Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (a) et du bâtiment avec planchers en hourdis (b) de 3 niveaux après le chargement horizontal*



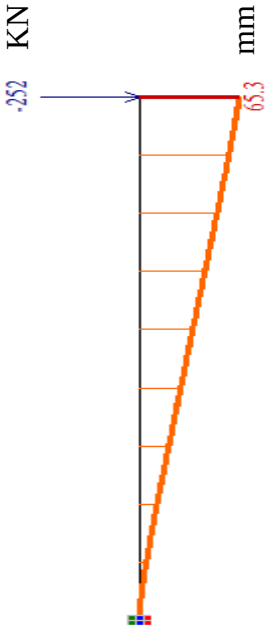

(c) (d)

*Figure 24: Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (c) et du bâtiment avec planchers en hourdis (d) de 6 niveaux après le chargement horizontal*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux



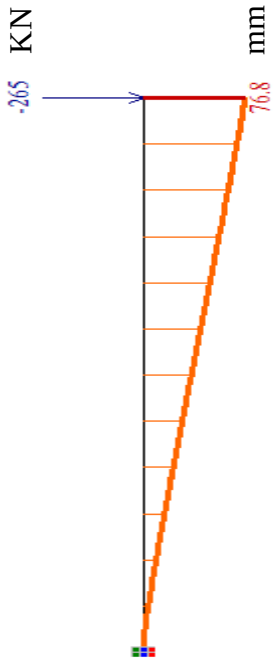

(e)



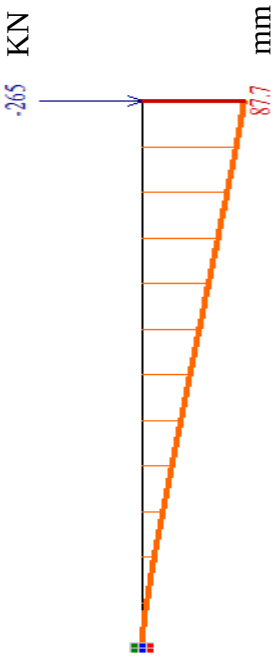

(f)

*Figure 25: Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (e) et du bâtiment avec planchers en hourdis (f) de 9 niveaux après le chargement horizontal*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux




(g)




(h)

*Figure 26: Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (g) et du bâtiment avec planchers en hourdis (h) de 12 niveaux après le chargement horizontal*

### II.6.2. Cas de chargement vertical

Les figures ci-dessous illustrent le chargement vertical de différents modèles de bâtiments, les forces verticales (FV) appliquées sur différents appuis de bâtiments ont été trouvées par simulation avec le logiciel LIRA-SAPR dans le but de trouver le tassement admissible de 50mm selon l'Application aux fondations superficielles de la norme NF P94-261[3], ce tassement a été pris comme référence pour tous les cas.

#### a) Tassement du poteau d'angle

*Tableau 14:Variation de forces verticales pour avoir le tassement du poteau d'angle*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | Planchers sans hourdis | Tassement (mm) |
|---|---|---|---|
| | F.V(KN) | F.V(KN) | |
| Modèle à 3 niveaux | 5 | 20 | 50 |
| Modèle à 6 niveaux | 40 | 110 | 50 |
| Modèle à 9 niveaux | 300 | 425 | 50 |
| Modèle à 12 niveaux | 280 | 420 | 50 |

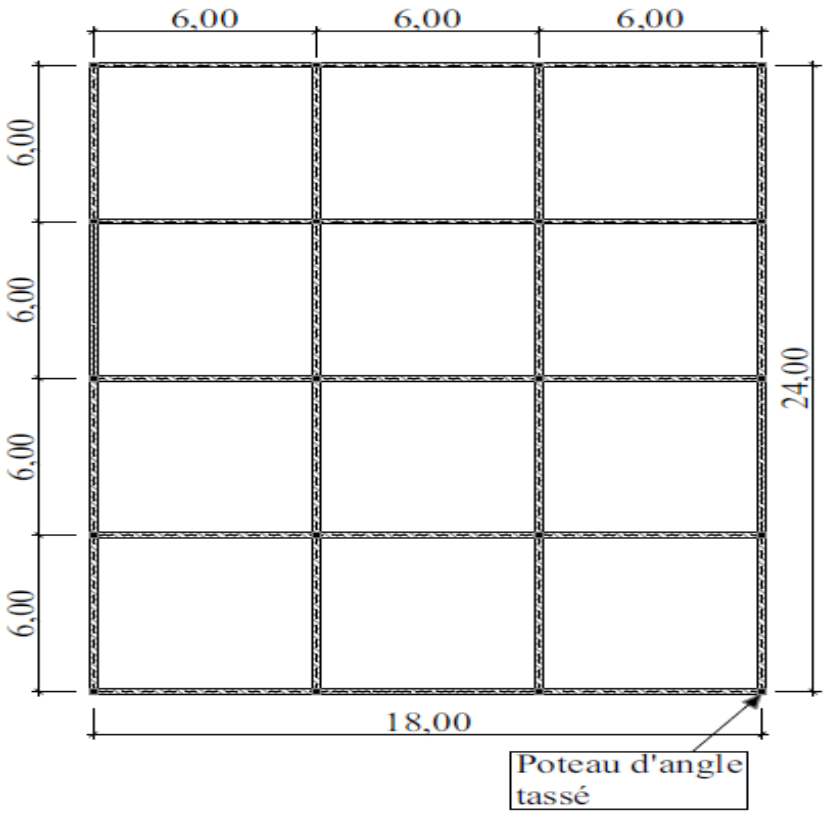



*Figure 27:Schéma illustratif du poteau d'angle tassé*

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

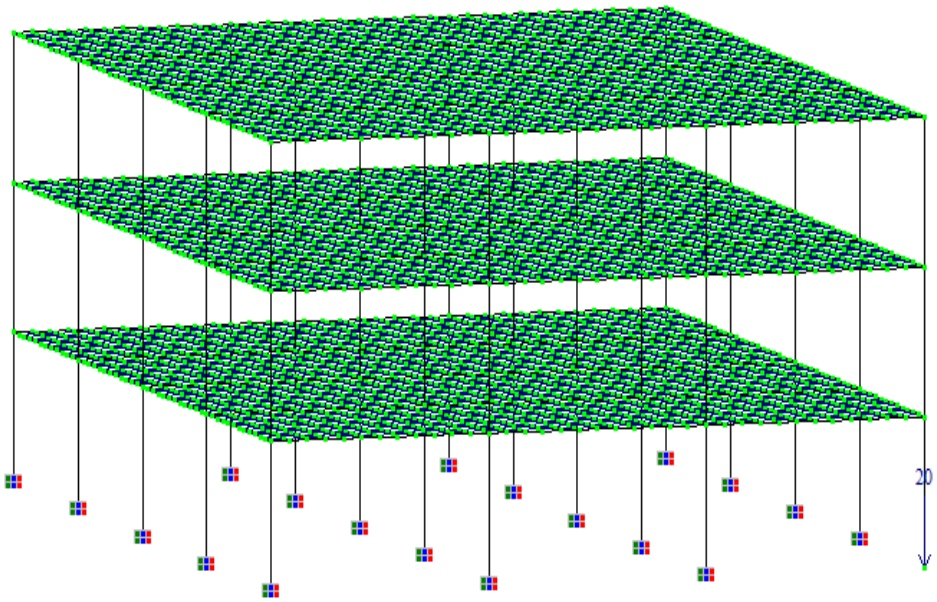



*Figure 28:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

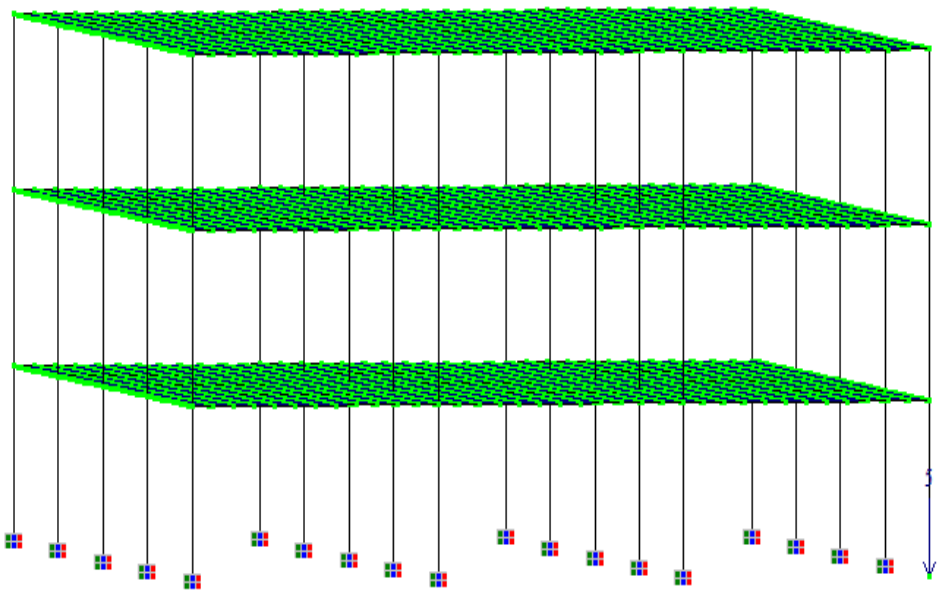


*Figure 29:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

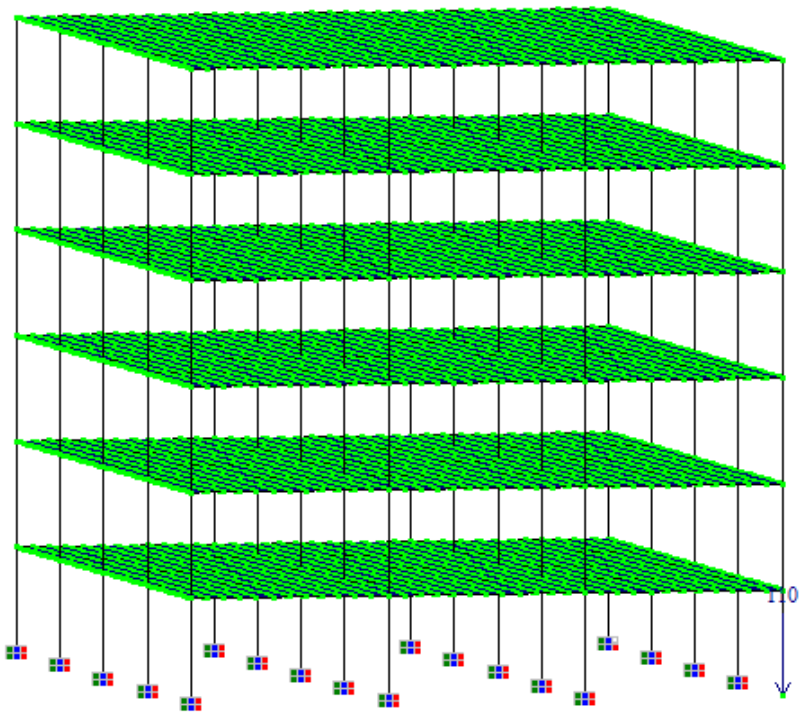



*Figure 30:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

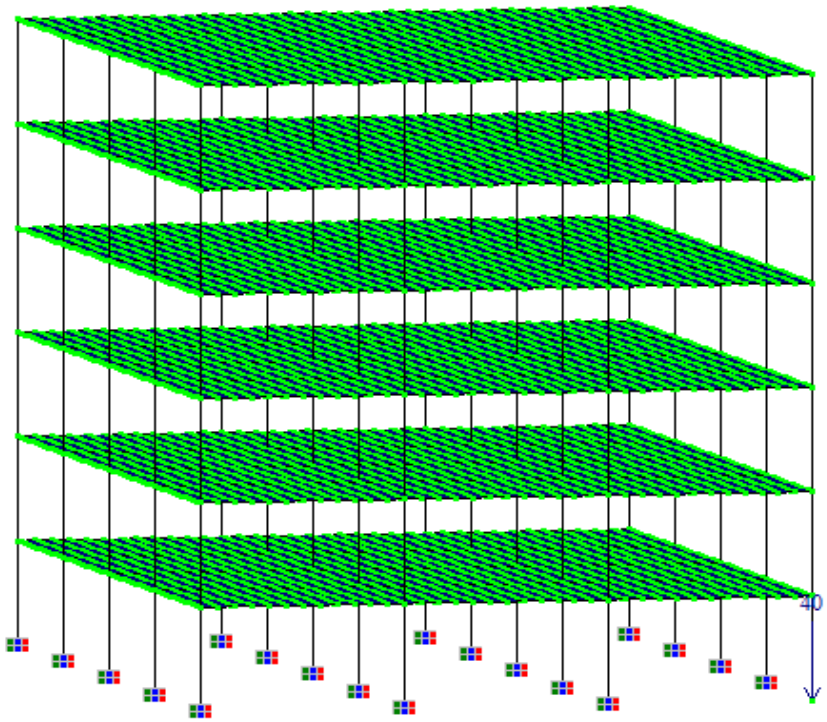



*Figure 31:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

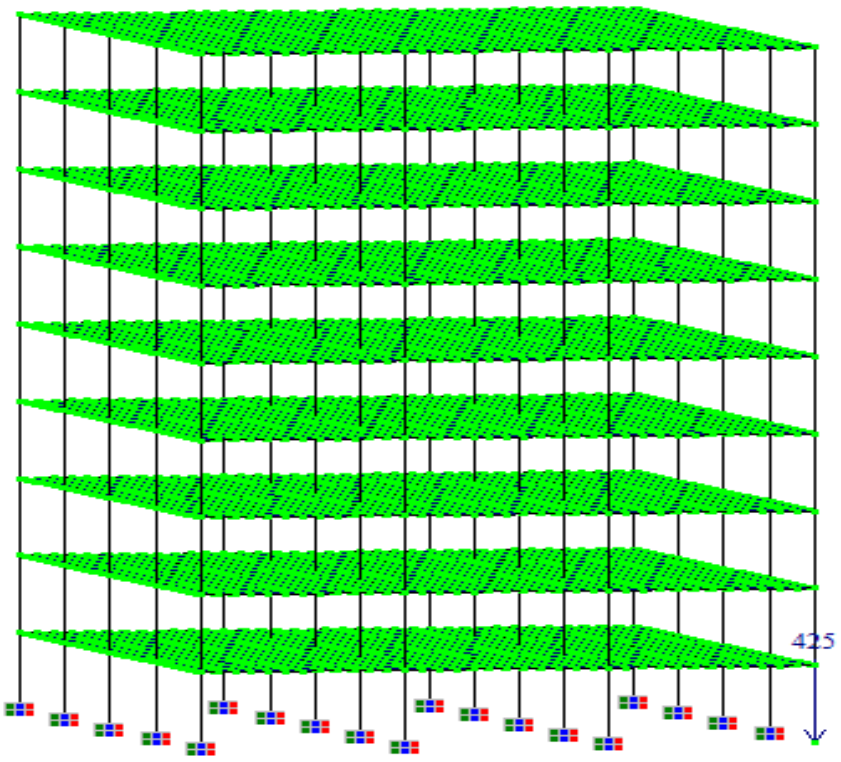



*Figure 32:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

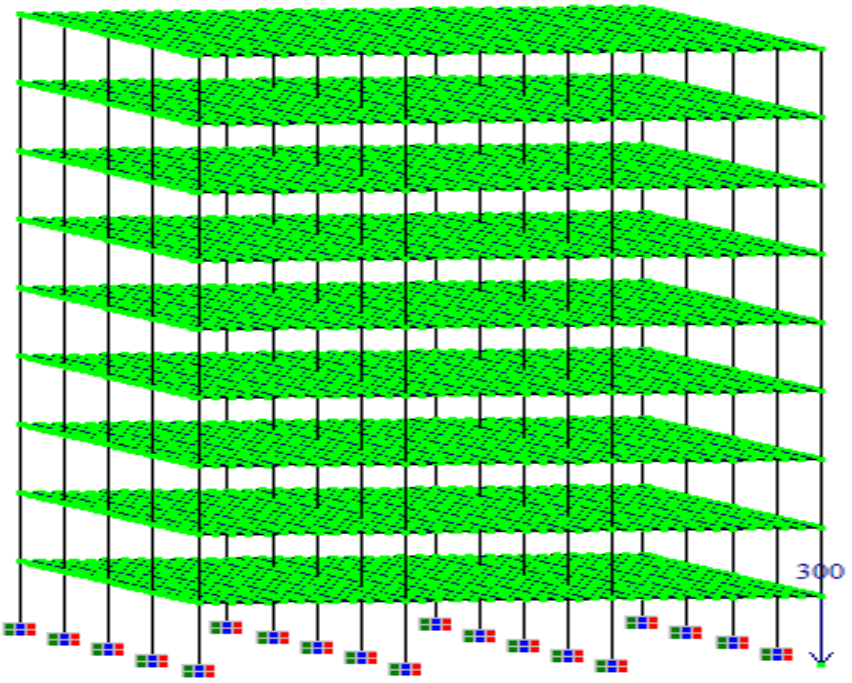



*Figure 33:Schéma illustratif du modèle d'étude du Planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

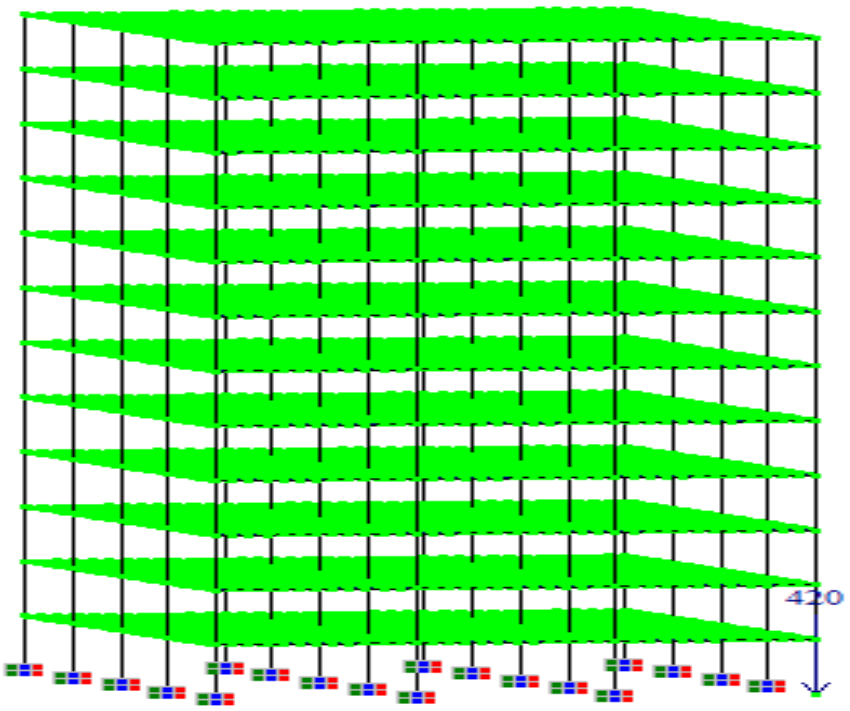



*Figure 34:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

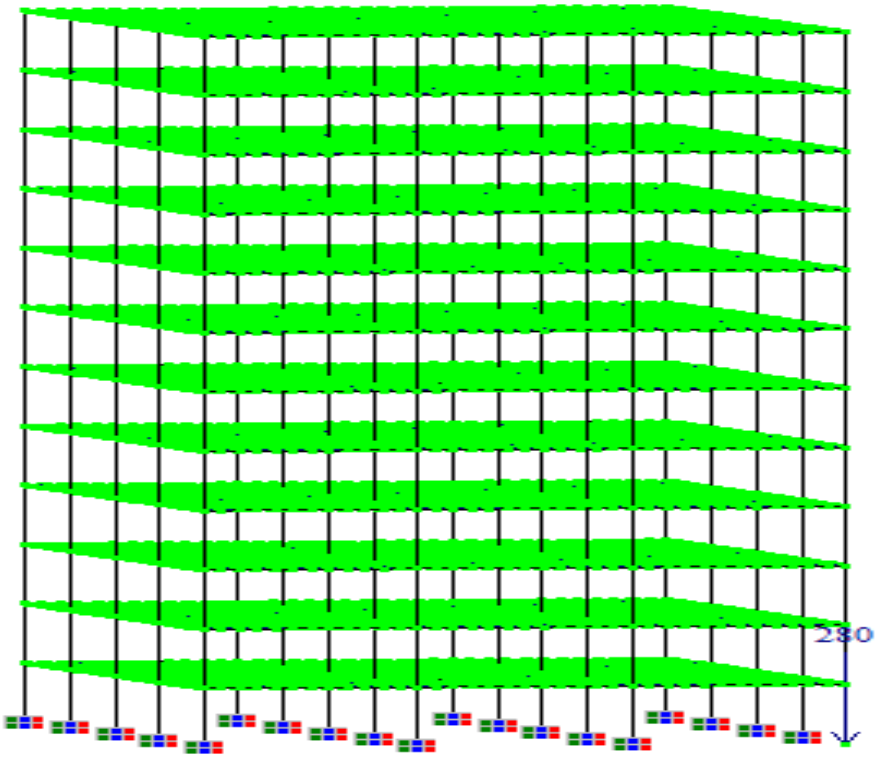



*Figure 35:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle*

**b) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau d'angle**

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

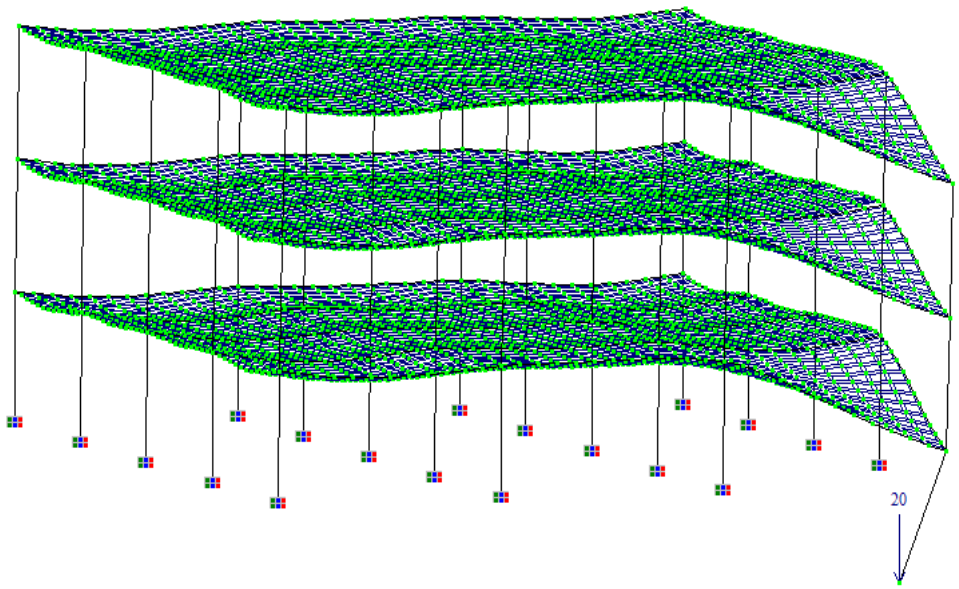



*Figure 36:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau d'angle*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

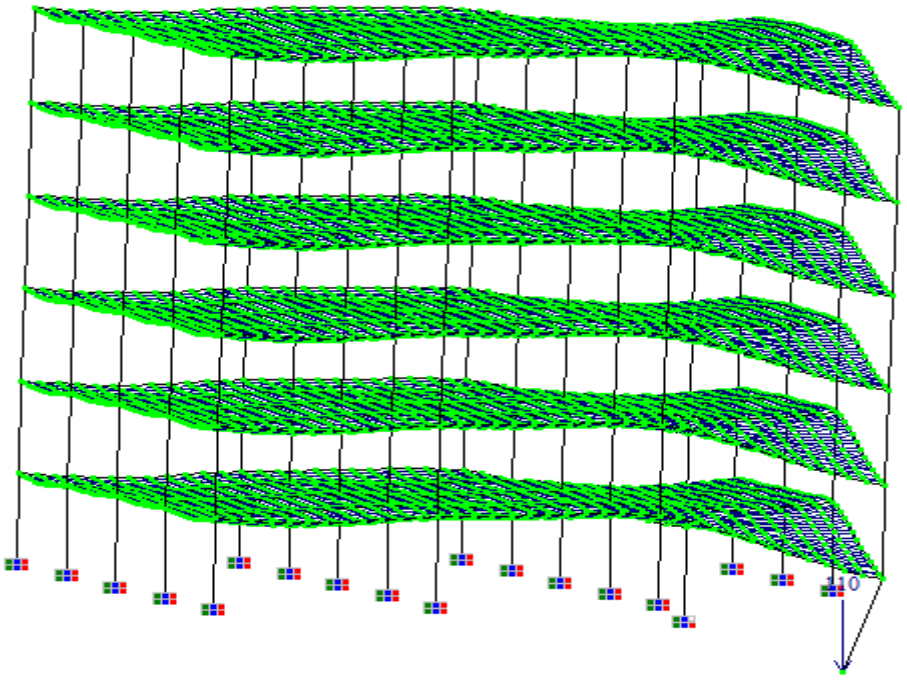



*Figure 37:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau d'angle*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

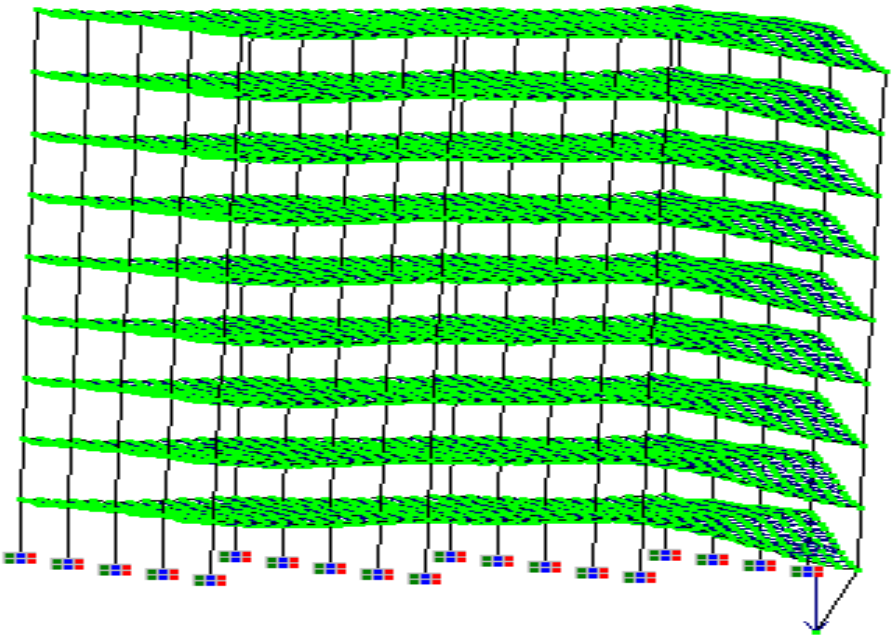


*Figure 38:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau d'angle*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

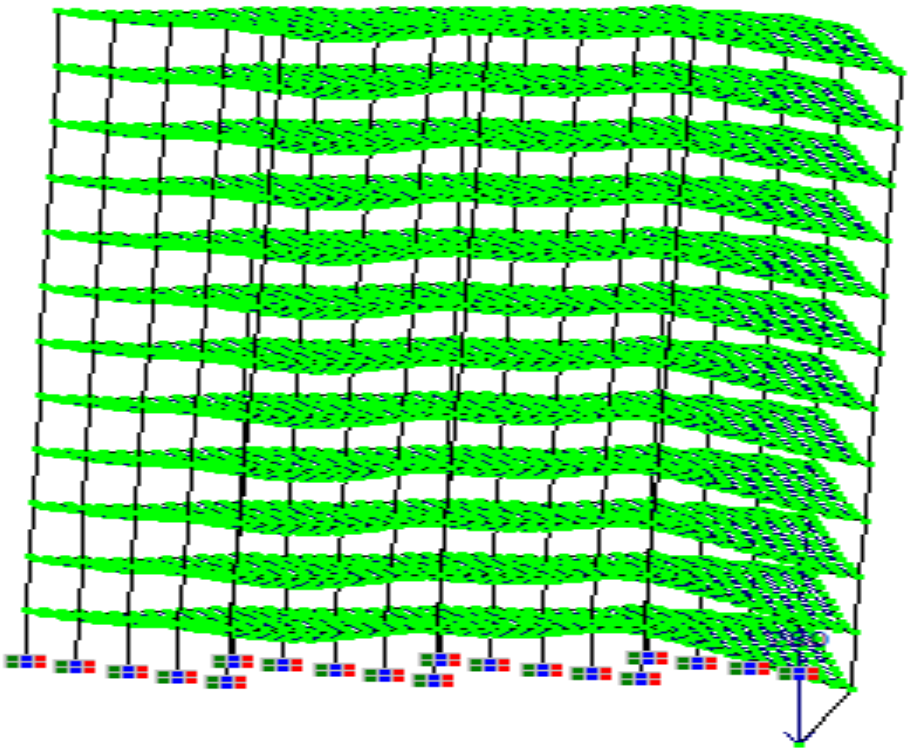


*Figure 39:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau d'angle*

### c) Tassement du poteau de rive

*Tableau 15:Variation de forces verticales pour avoir le tassement poteau de rive*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | Planchers sans hourdis | Tassement (mm) |
|---|---|---|---|
| | F.V(KN) | F.V(KN) | |
| Modèle à 3 niveaux | 50 | 190 | 50 |
| Modèle à 6 niveaux | 220 | 500 | 50 |
| Modèle à 9 niveaux | 600 | 1000 | 50 |
| Modèle à 12 niveaux | 400 | 900 | 50 |

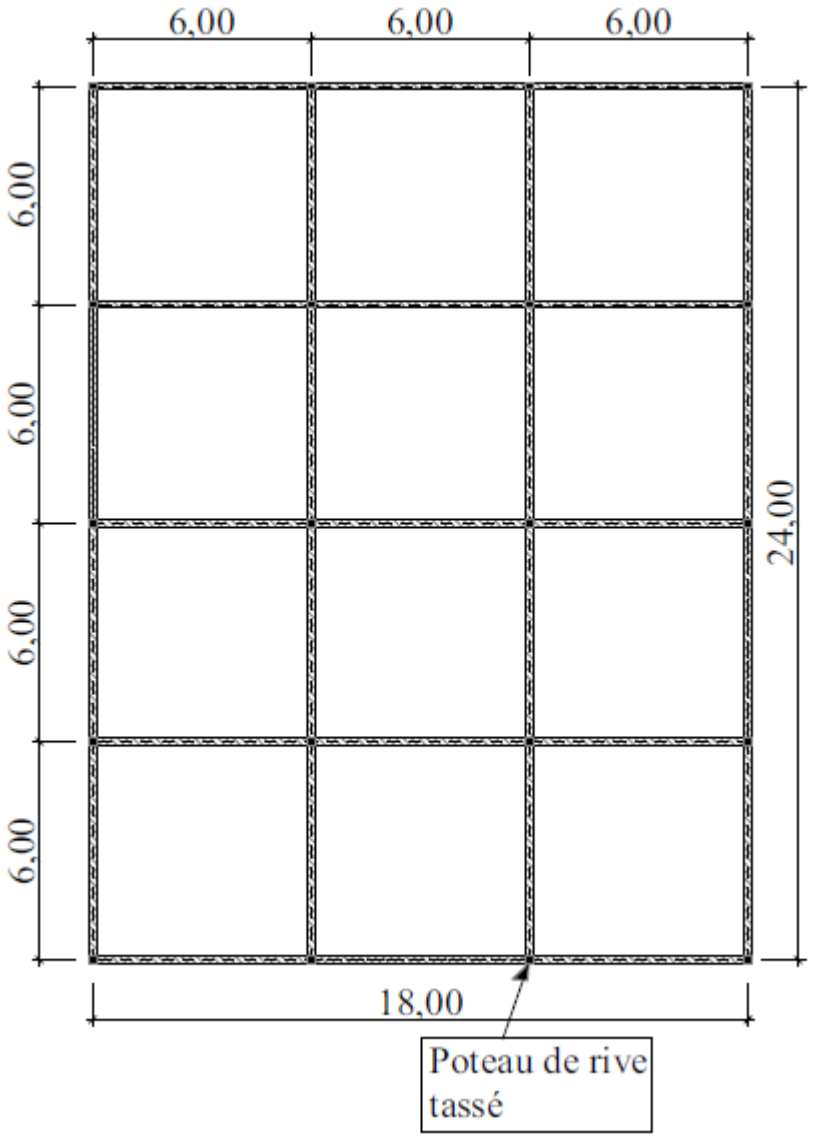



*Figure 40:Schéma illustratif du poteau de rive tassé*

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

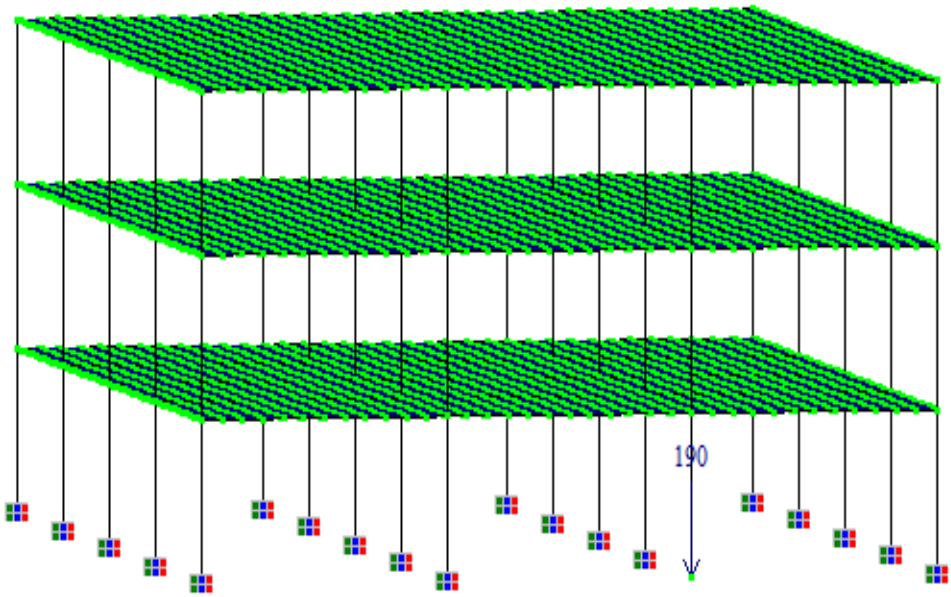



*Figure 41:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

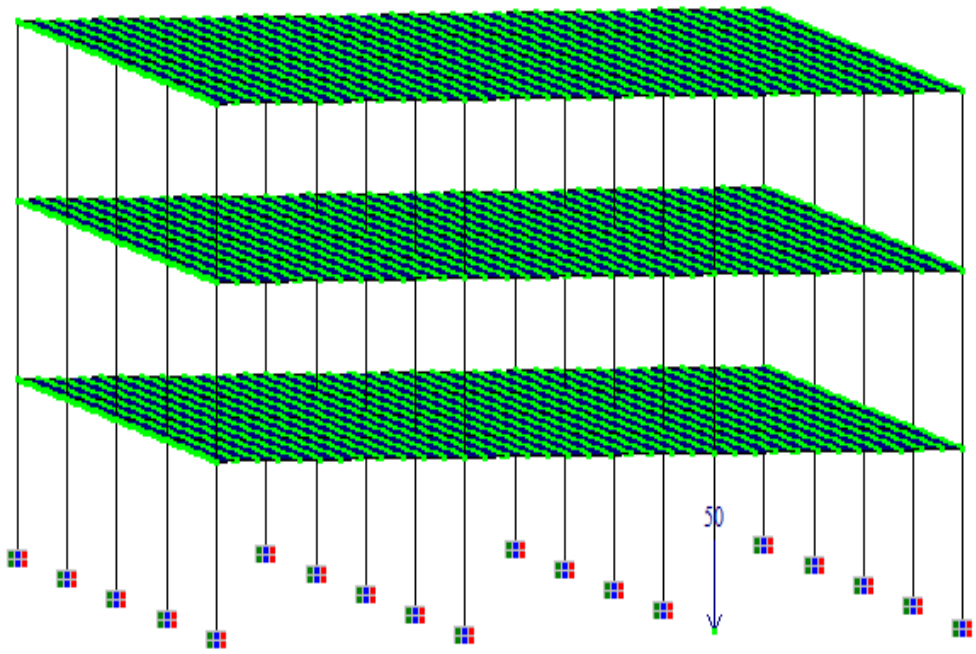



*Figure 42:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

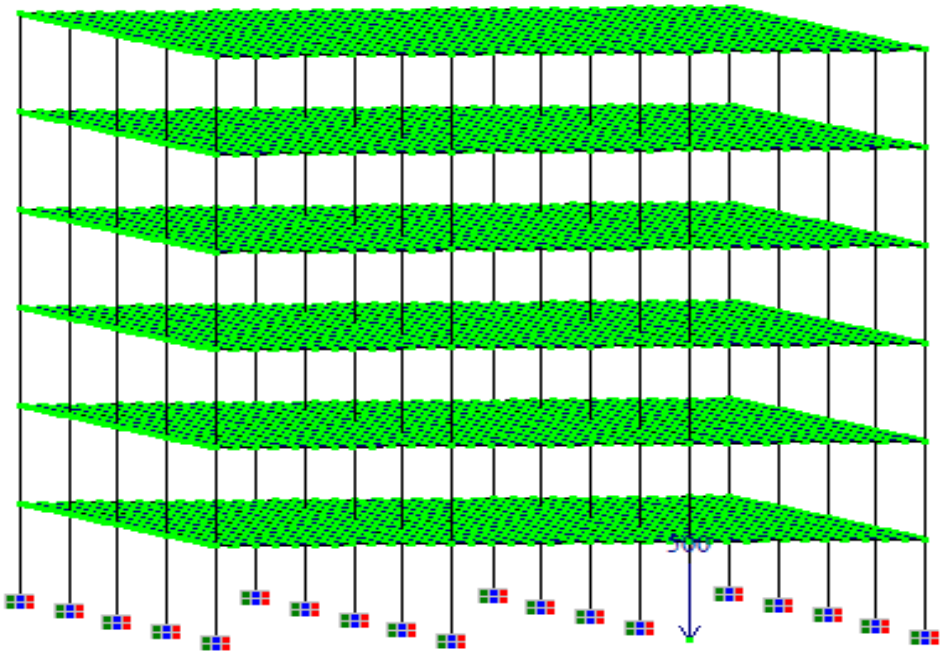



*Figure 43:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

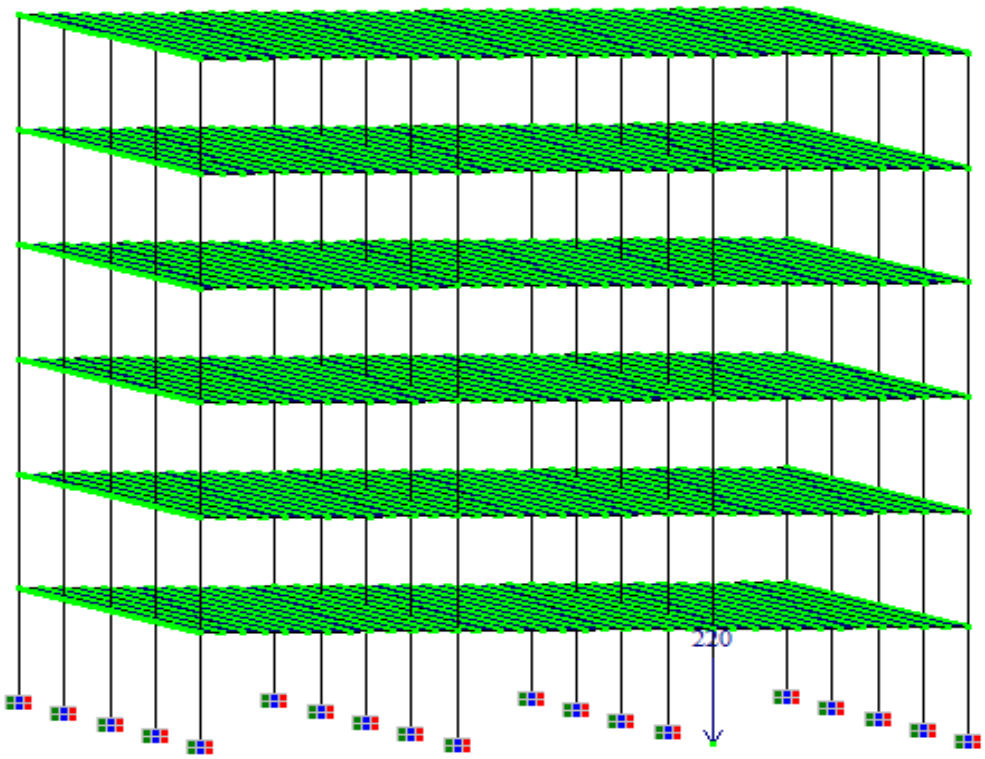



*Figure 44:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

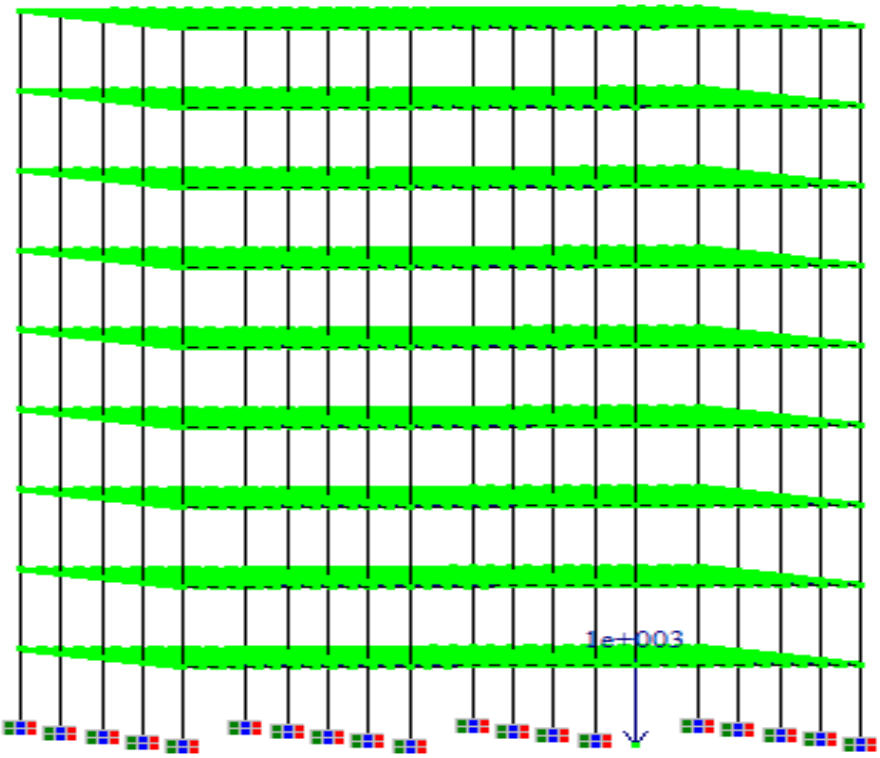



*Figure 45:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

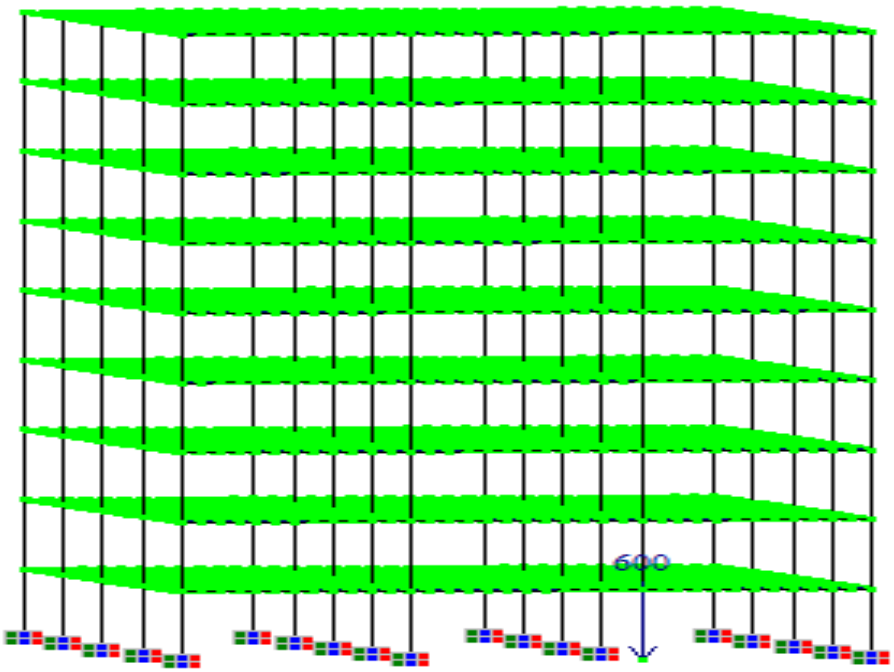



*Figure 46:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

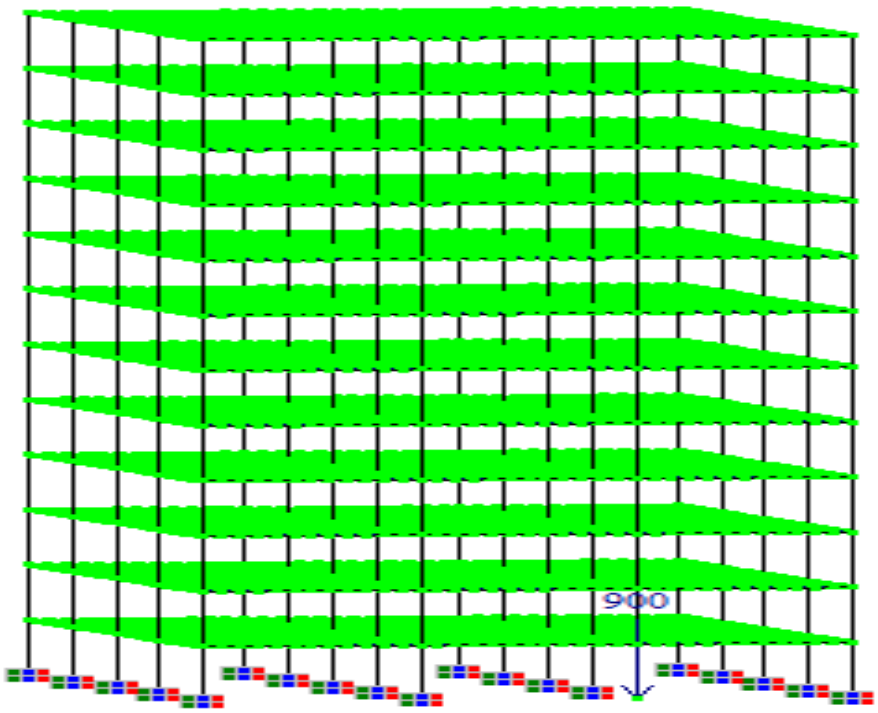



*Figure 47:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

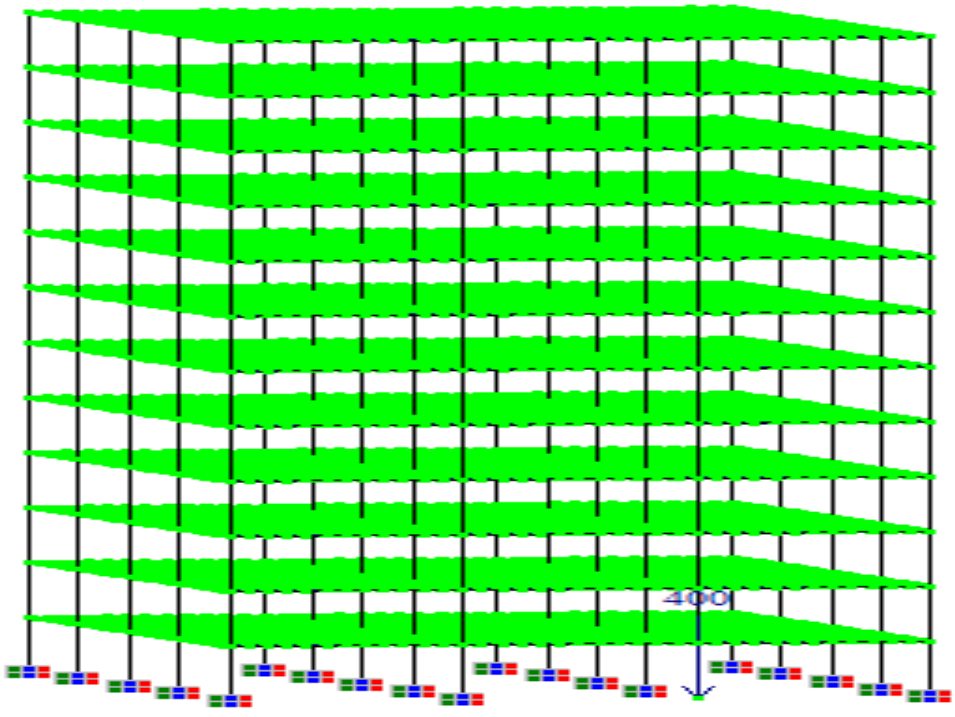



*Figure 48:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

**d) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau de rive**

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

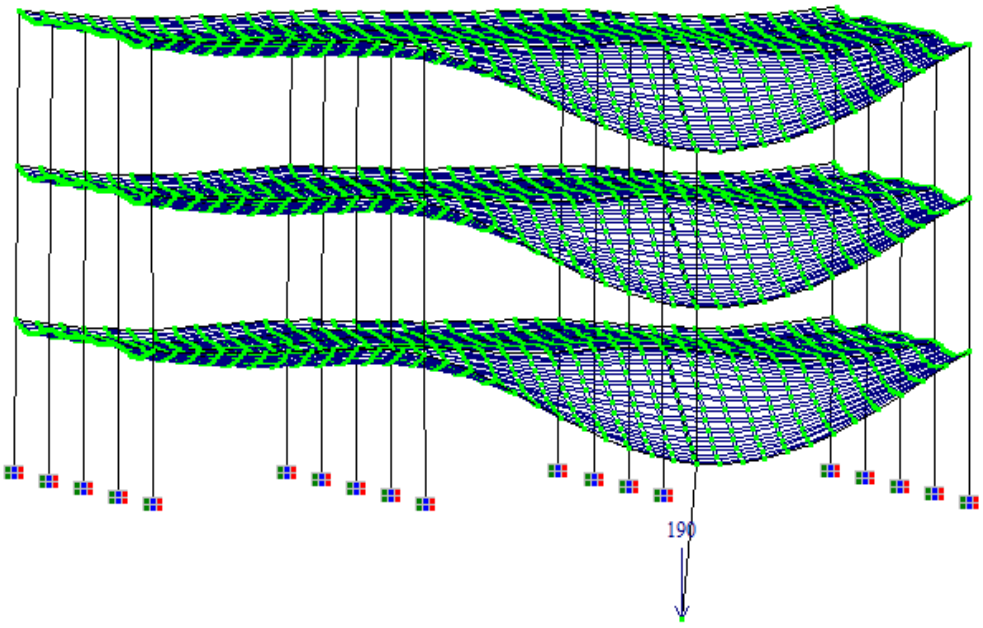



*Figure 49:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau de rive*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

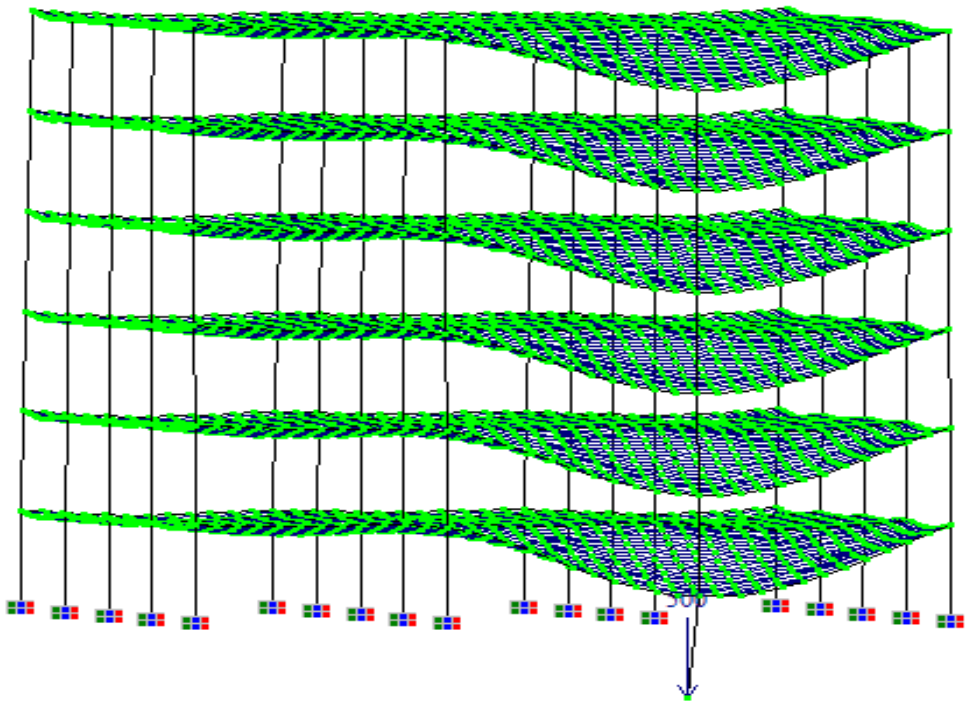


*Figure 50:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau de rive*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

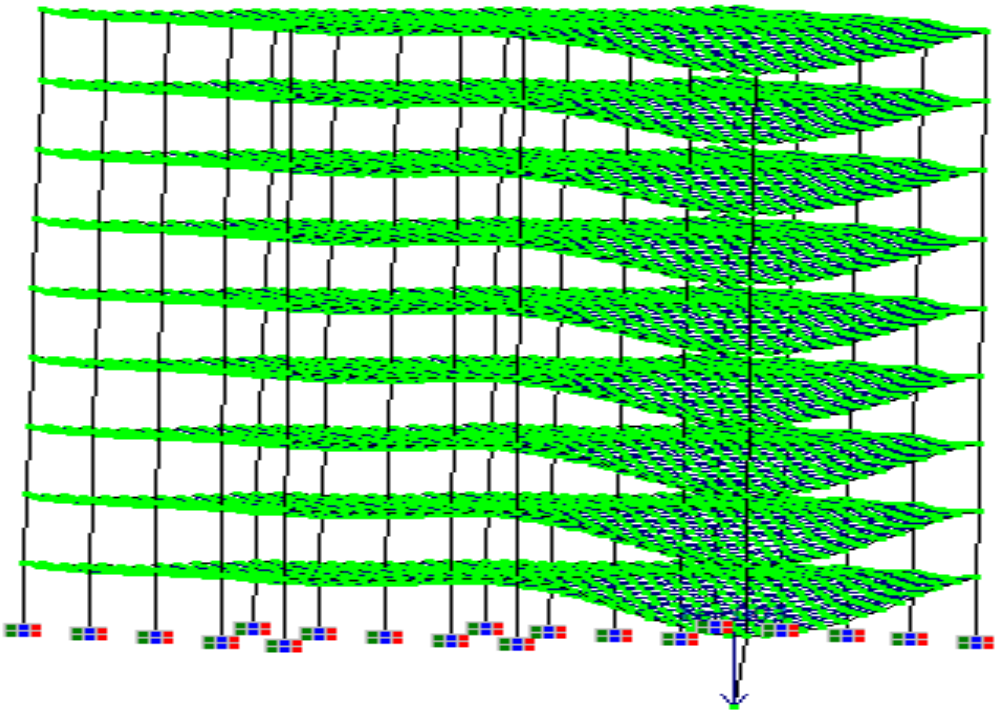


*Figure 51:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau de rive*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

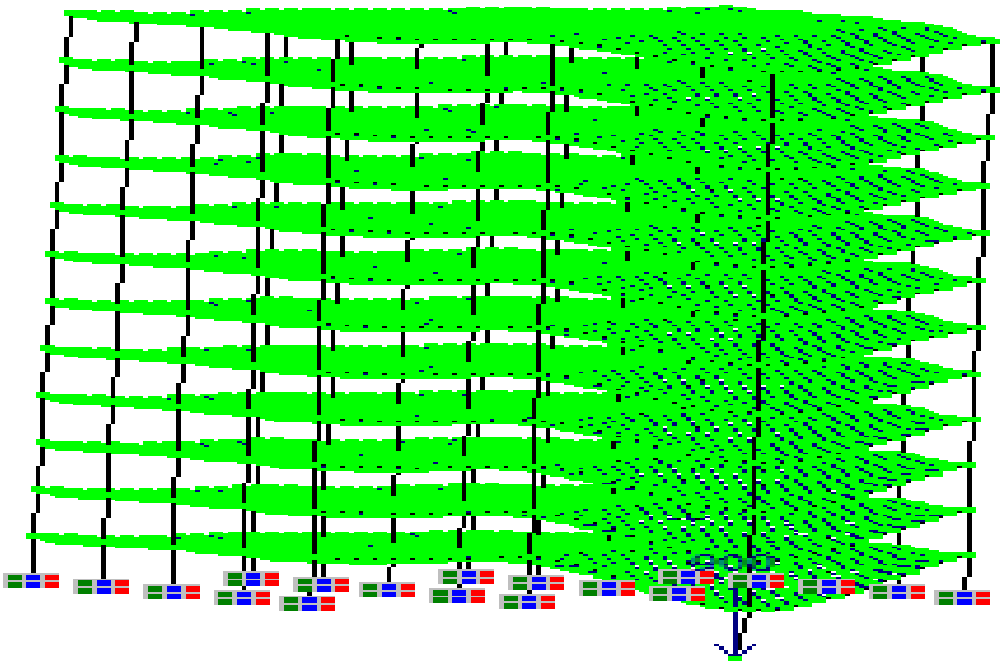


*Figure 52:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau de rive*

### e) Tassement du poteau intermédiaire

*Tableau 16:Variation de forces verticales pour avoir le tassement poteau intermédiaire*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | Planchers sans hourdis | Tassement (mm) |
|---|---|---|---|
| | F.V(KN) | F.V(KN) | |
| Modèle à 3 niveaux | 250 | 800 | 50 |
| Modèle à 6 niveaux | 650 | 1700 | 50 |
| Modèle à 9 niveaux | 1000 | 2500 | 50 |
| Modèle à 12 niveaux | 800 | 2300 | 50 |

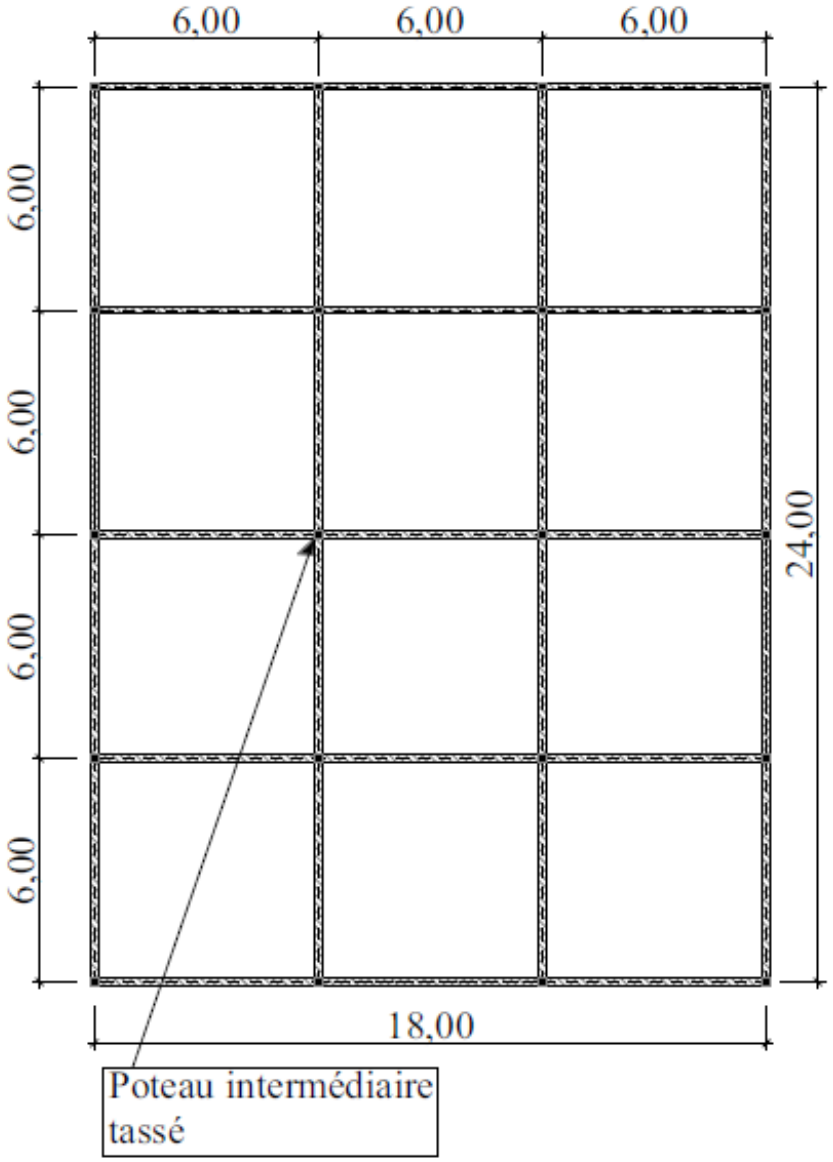



*Figure 53:Schéma illustratif du poteau intermédiaire tassé*

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

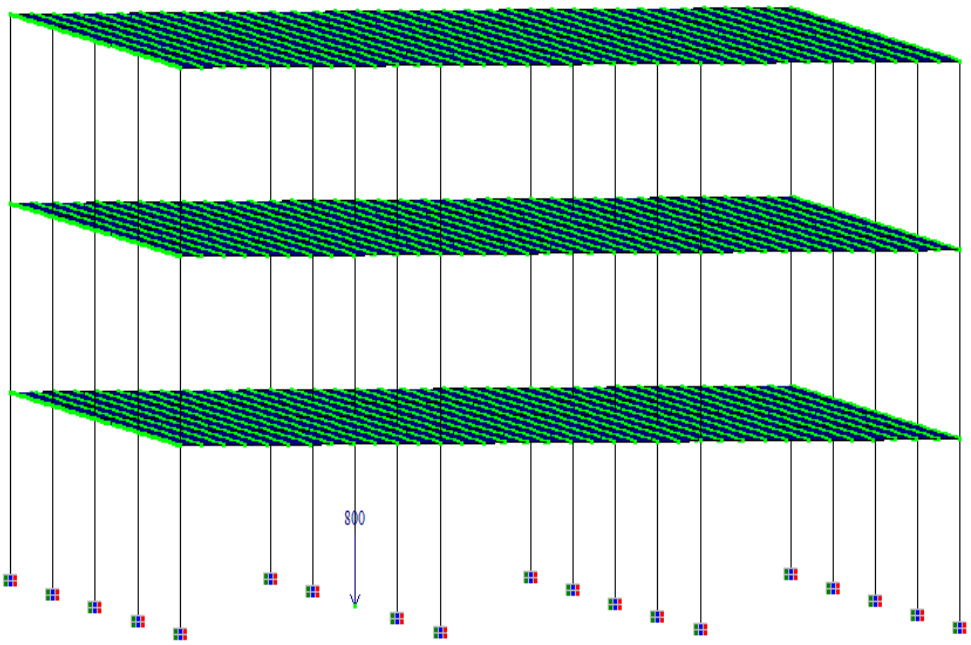



*Figure 54:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

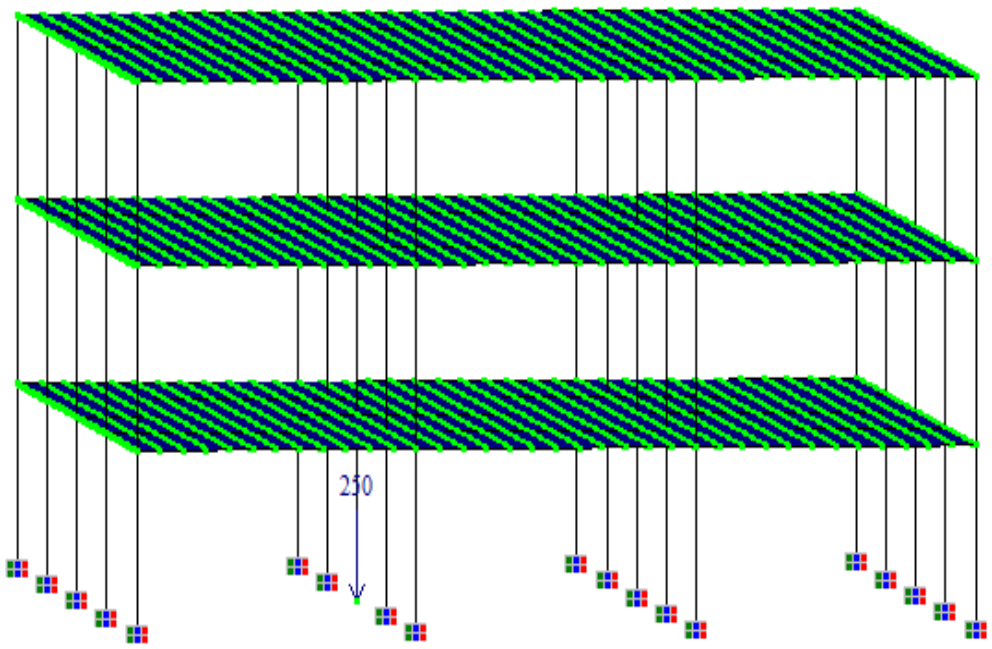



*Figure 55:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

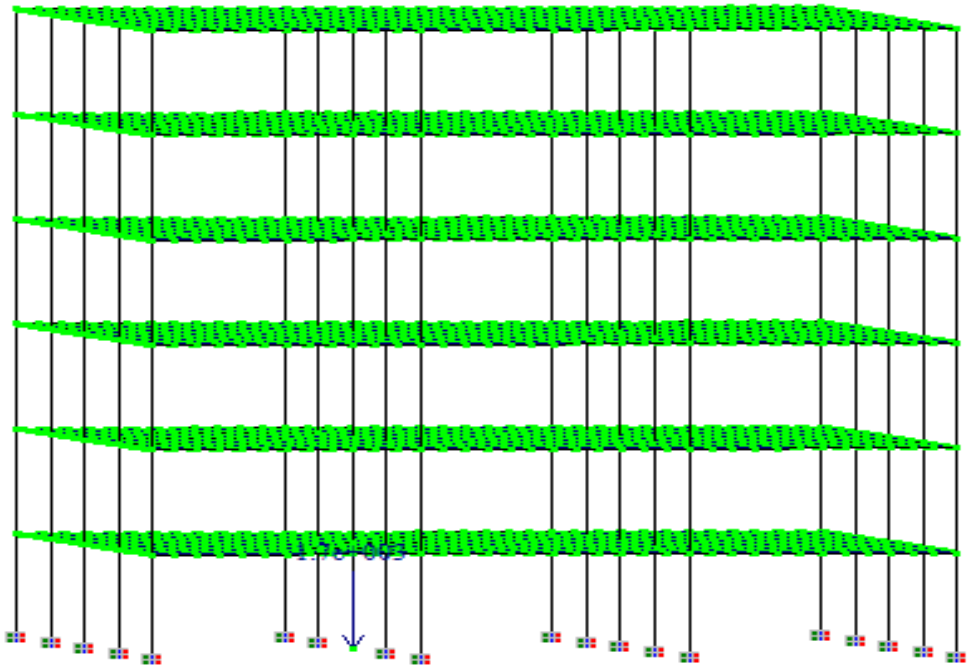


*Figure 56:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

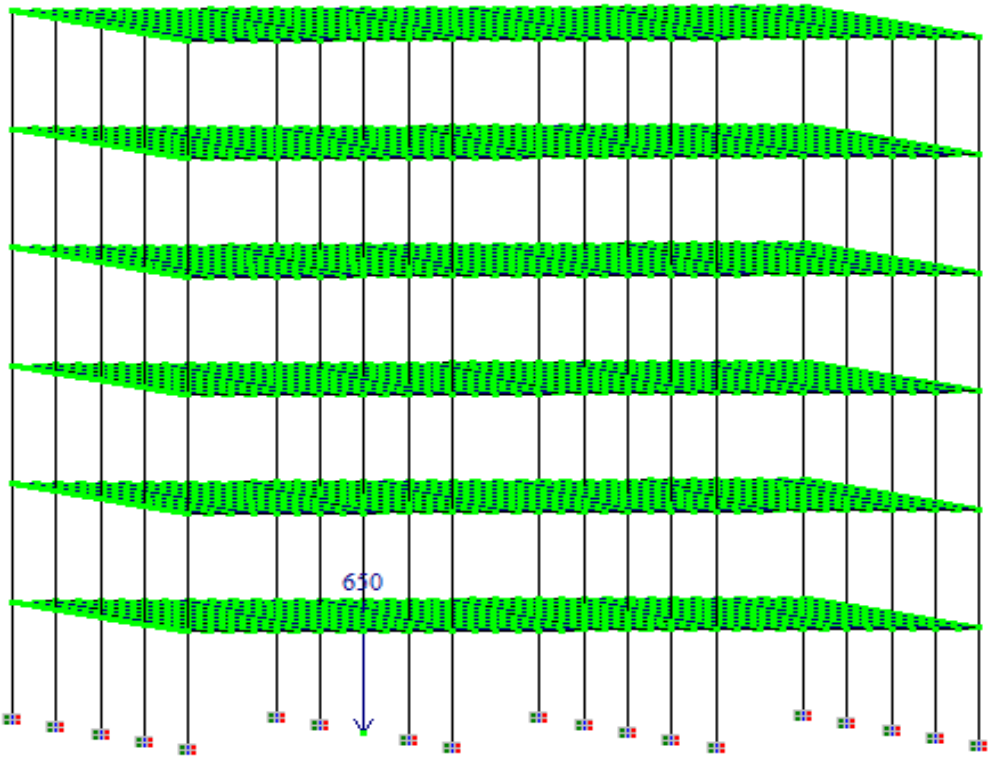



*Figure 57:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

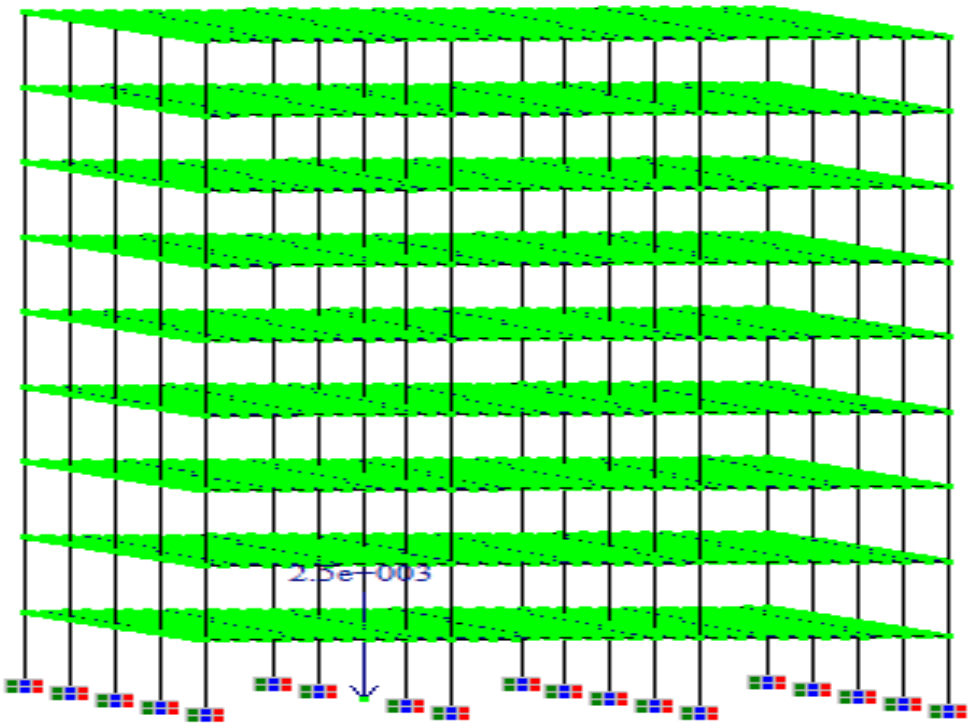



*Figure 58:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

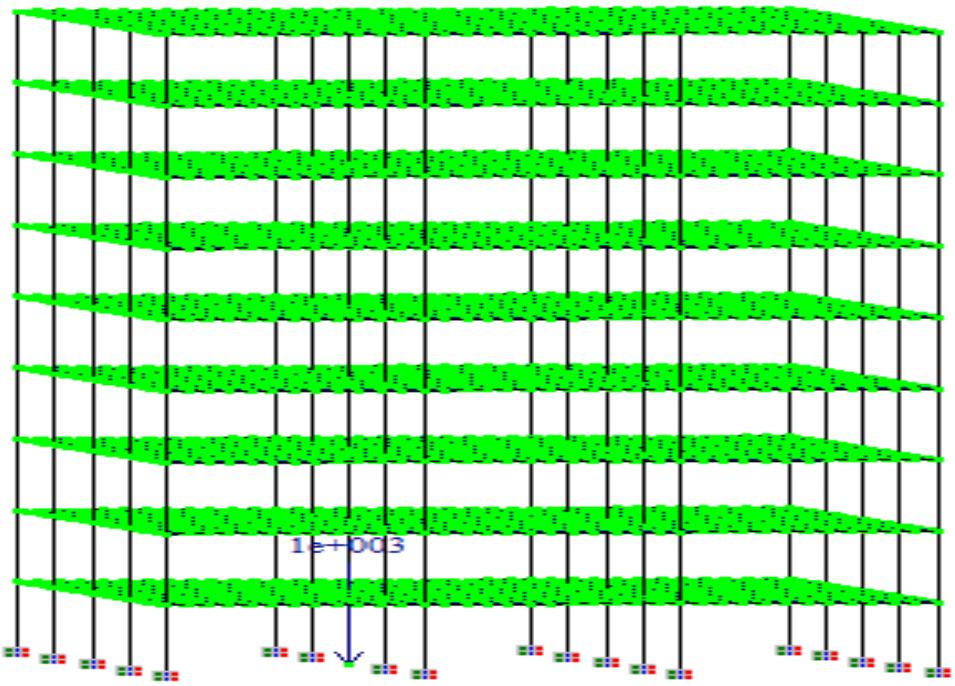



*Figure 59:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

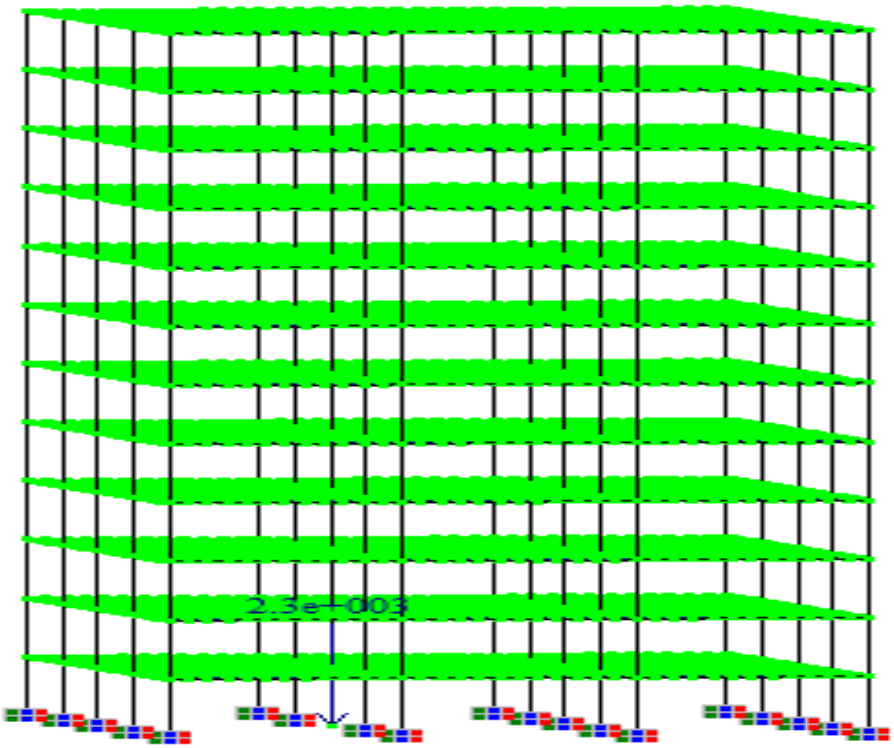



*Figure 60:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire*

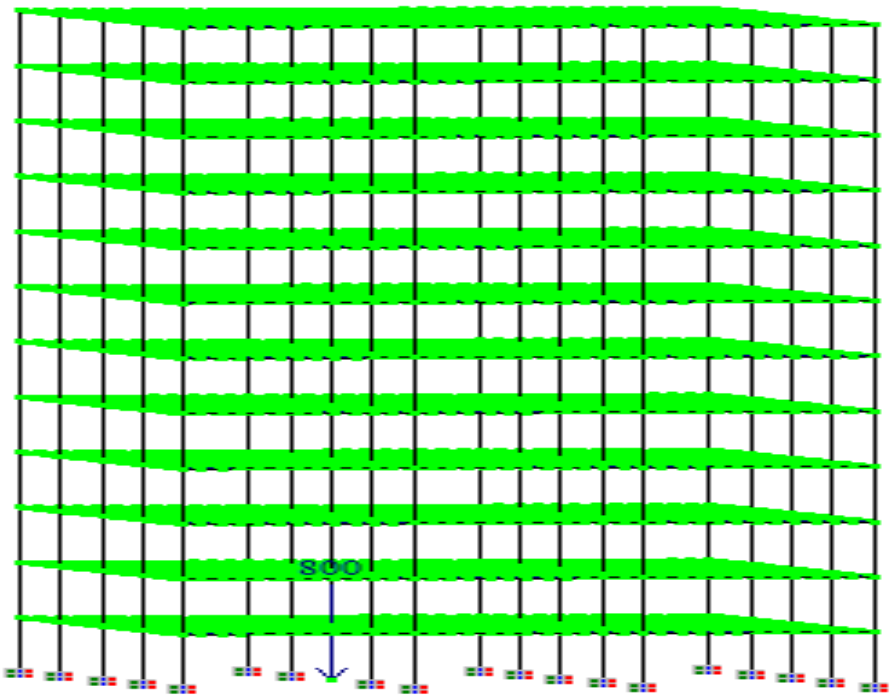



*Figure 61:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive*

**f) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau intermédiaire**

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

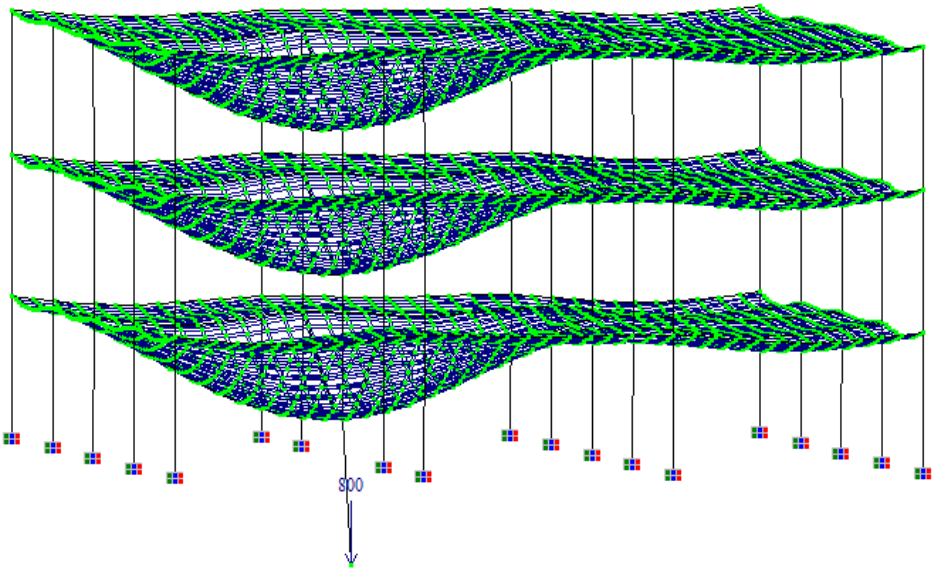



*Figure 62:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire*

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

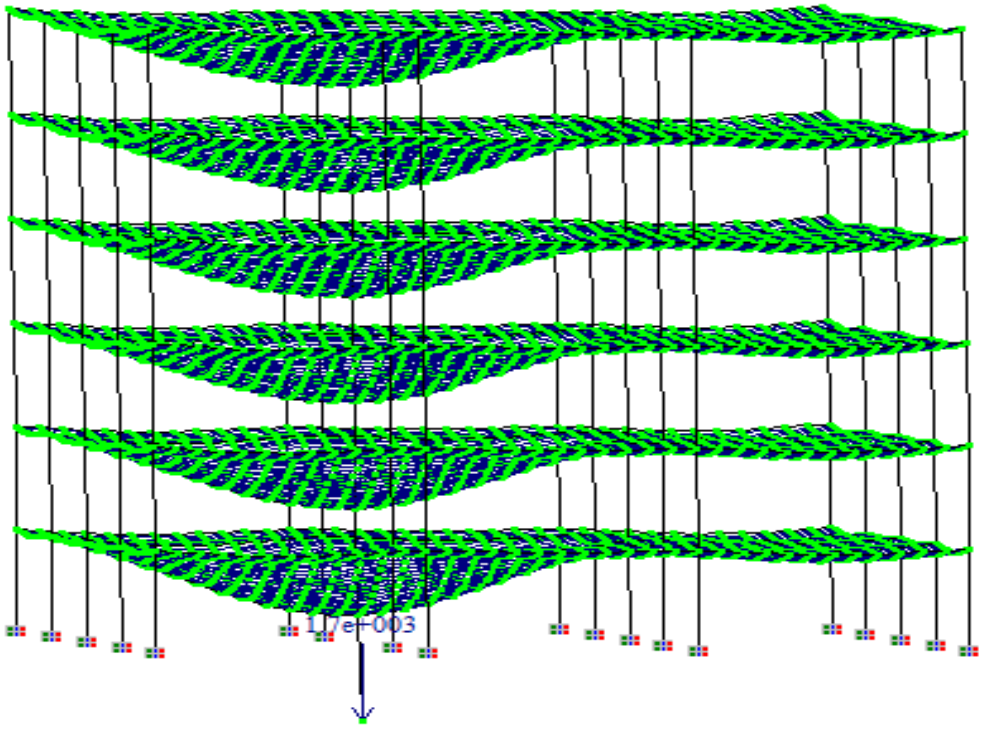



*Figure 63:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire*

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

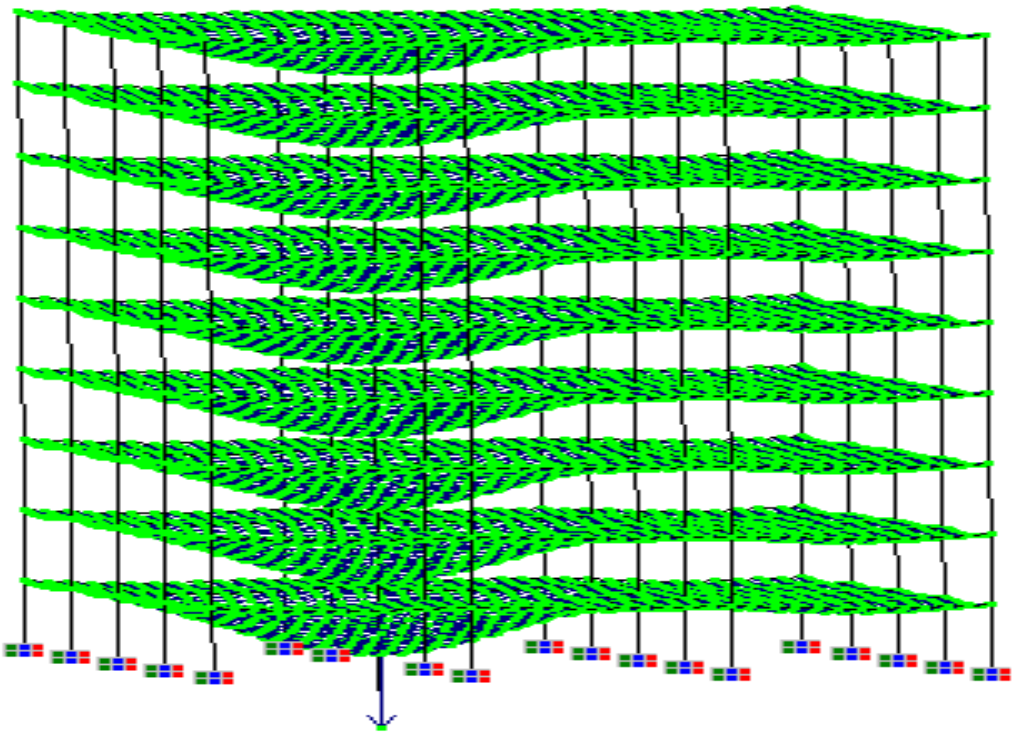


*Figure 64:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire*

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

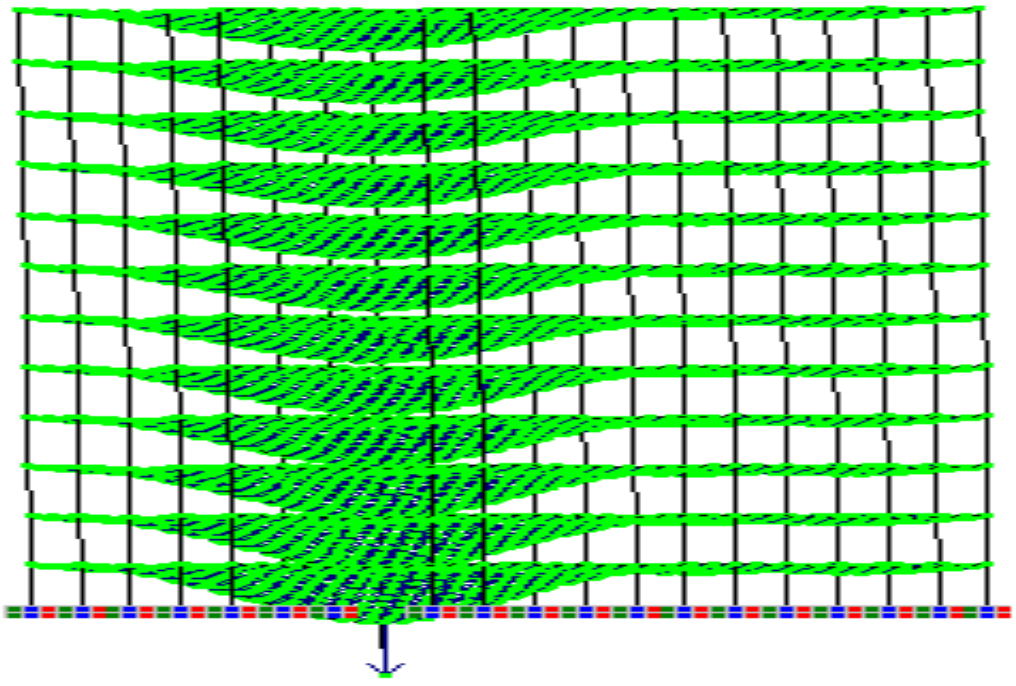


*Figure 65:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire*

## II.7. Conclusion

Dans ce chapitre pour atteindre l'objectif global de ce travail suivant les différents modèles nous avons montré les déformations horizontales admissibles selon la norme  et les forces latérales qu'il faut pour atteindre ces déformations horizontales admissibles ainsi que les forces verticales  qu'il faut pour atteindre le tassement limite selon les normes. Ces forces latérales et verticales ont été trouvées par simulation avec le logiciel LIRA-SAPR.

# CHAPITRE III : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

Ce chapitre présente les résultats obtenus, l'analyse et l'interprétation des résultats.

## III.1. Résultats des déplacements horizontaux

Ici nous allons présenter les résultats obtenus lors de la modélisation des planchers en hourdis et des planchers sans hourdis avec un chargement horizontal. Pour chaque modèle du bâtiment, on va présenter les déplacements horizontaux maximaux en se basant sur le déplacement limite (X).

Après la présentation des résultats obtenus, on va faire une interprétation des résultats.

*Tableau 17:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers sans hourdis | Planchers en hourdis | |
|---|---|---|---|
| Niveau | X (mm) | X (mm) | U (h/500) (mm) |
| 3 | 19,2 | 20 | 19,2 |
| 2 | 12,704 | 13,22 | 12,8 |
| 1 | 5,915 | 6,08 | 6,4 |

Graphique

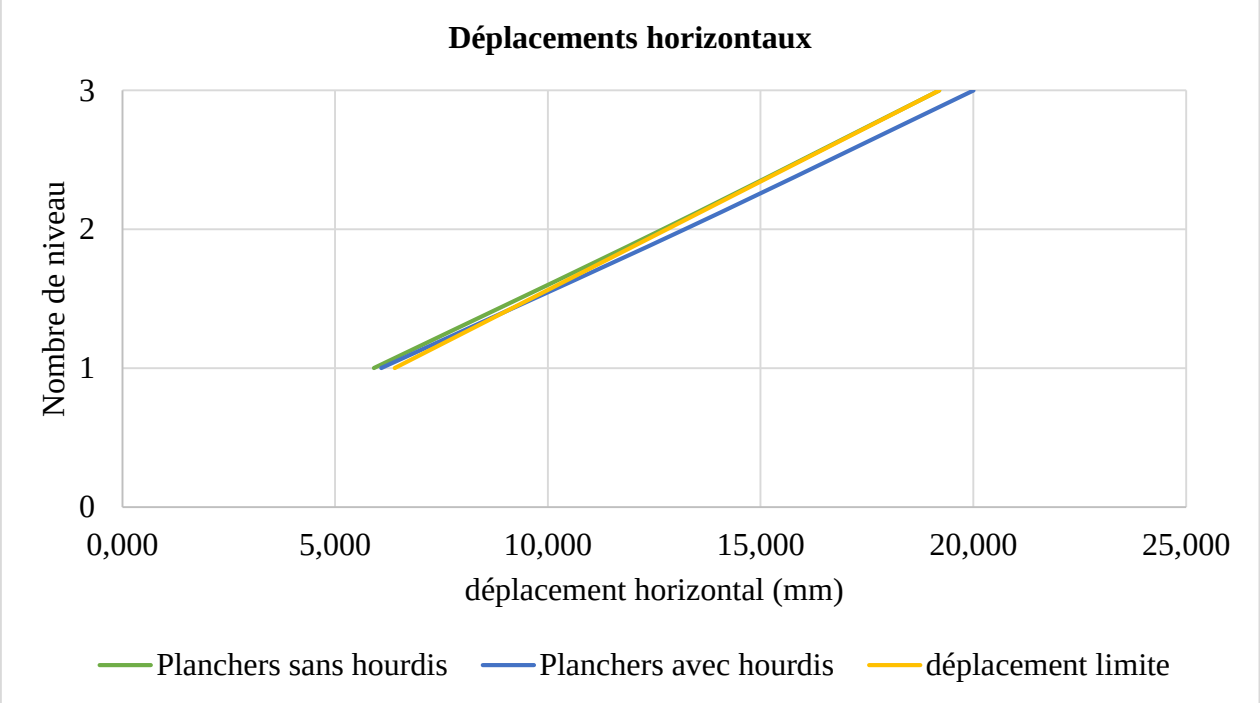



*Figure 66:Déplacements horizontaux pour le modèle à 3 niveaux*

*Tableau 18:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers sans hourdis | Planchers en hourdis | |
|---|---|---|---|
| Niveau | X (mm) | X (mm) | U (h/500) (mm) |
| 6 | 38,4 | 42,4 | 38,4 |
| 5 | 32,16 | 35,47 | 32 |
| 4 | 25,25 | 27,81 | 25,6 |
| 3 | 18,28 | 20,07 | 19,2 |
| 2 | 11,36 | 12,38 | 12,8 |
| 1 | 4,68 | 4,99 | 6,4 |

Graphique

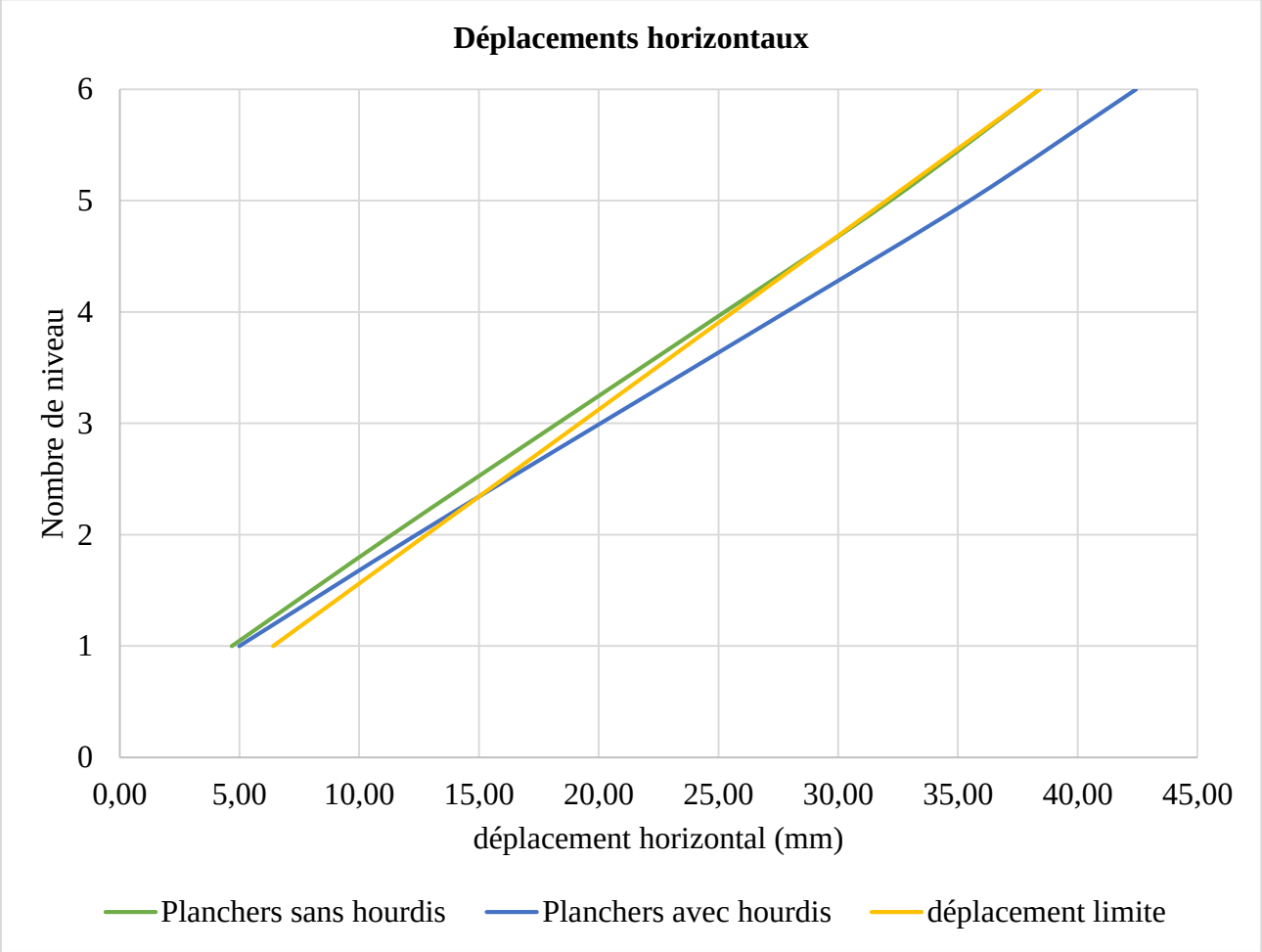



*Figure 67:Déplacements horizontaux pour le modèle à 6 niveaux*

*Tableau 19:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers sans hourdis | Planchers en hourdis | |
|---|---|---|---|
| Niveau | X (mm) | X (mm) | U (h/500) (mm) |
| 9 | 57,6 | 65,3 | 57,6 |
| 8 | 51,43 | 58,23 | 51,2 |
| 7 | 44,57 | 50,47 | 44,8 |
| 6 | 37,57 | 42,51 | 38,4 |
| 5 | 30,57 | 34,54 | 32 |
| 4 | 23,61 | 26,61 | 25,6 |
| 3 | 16,73 | 18,77 | 19,2 |
| 2 | 9,98 | 11,1 | 12,8 |
| 1 | 3,73 | 4,07 | 6,4 |

Graphique

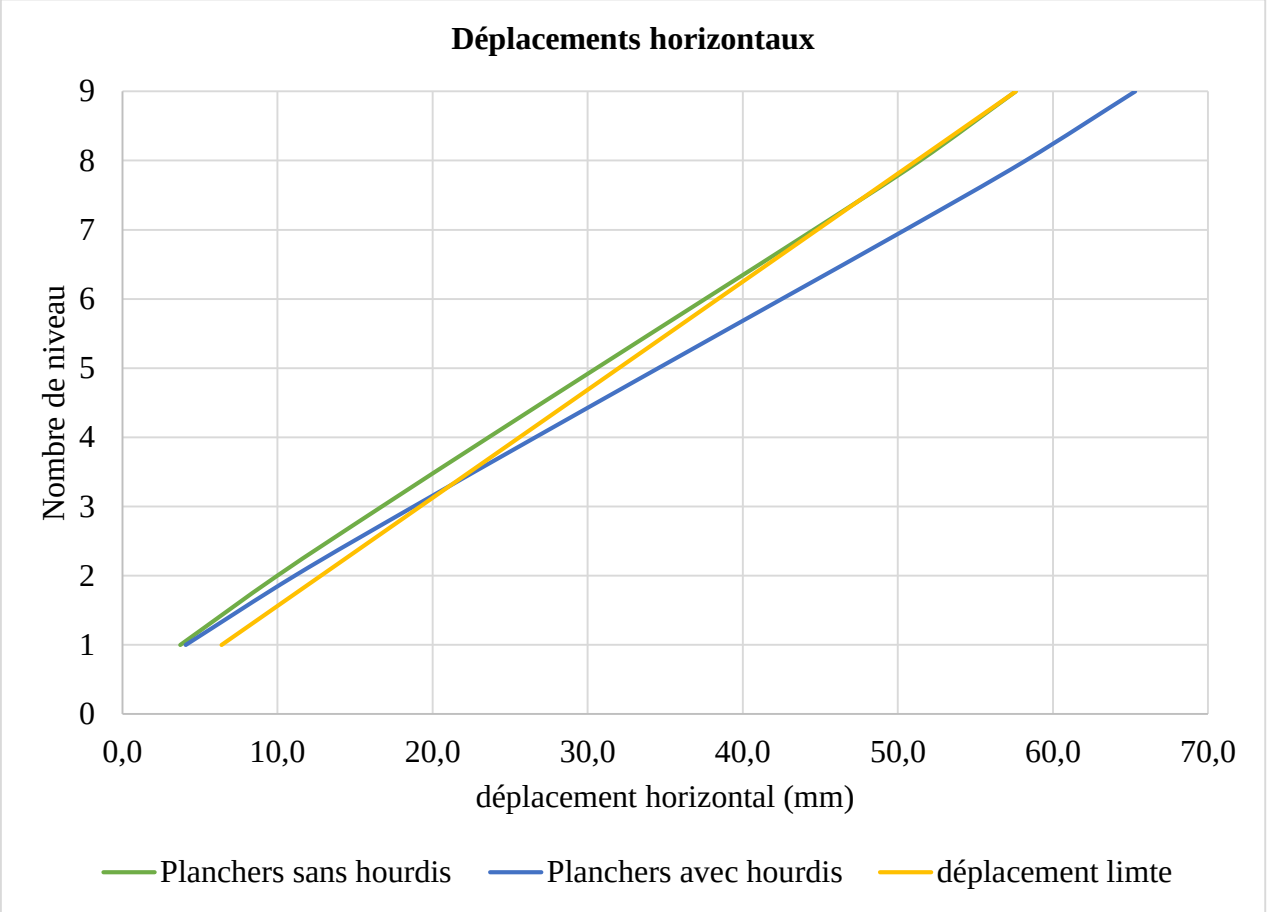



*Figure 68:Déplacements horizontaux pour le modèle à 9 niveaux*

*Tableau 20:Valeurs des déplacements horizontaux du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers sans hourdis | Planchers en hourdis | |
|---|---|---|---|
| Niveau | X (mm) | X (mm) | U (h/500) (mm) |
| 12 | 76,8 | 87,7 | 76,8 |
| 11 | 70,64 | 80,63 | 70,7 |
| 10 | 63,84 | 72,88 | 64 |
| 9 | 56,84 | 64,89 | 57,6 |
| 8 | 49,83 | 56,87 | 51,2 |
| 7 | 42,84 | 48,87 | 44,8 |
| 6 | 35,91 | 40,91 | 38,4 |
| 5 | 29,03 | 33,03 | 32 |
| 4 | 22,23 | 25,22 | 25,6 |
| 3 | 15,55 | 17,54 | 19,2 |
| 2 | 9,07 | 10,14 | 12,8 |
| 1 | 3,25 | 3,57 | 6,4 |

Graphique

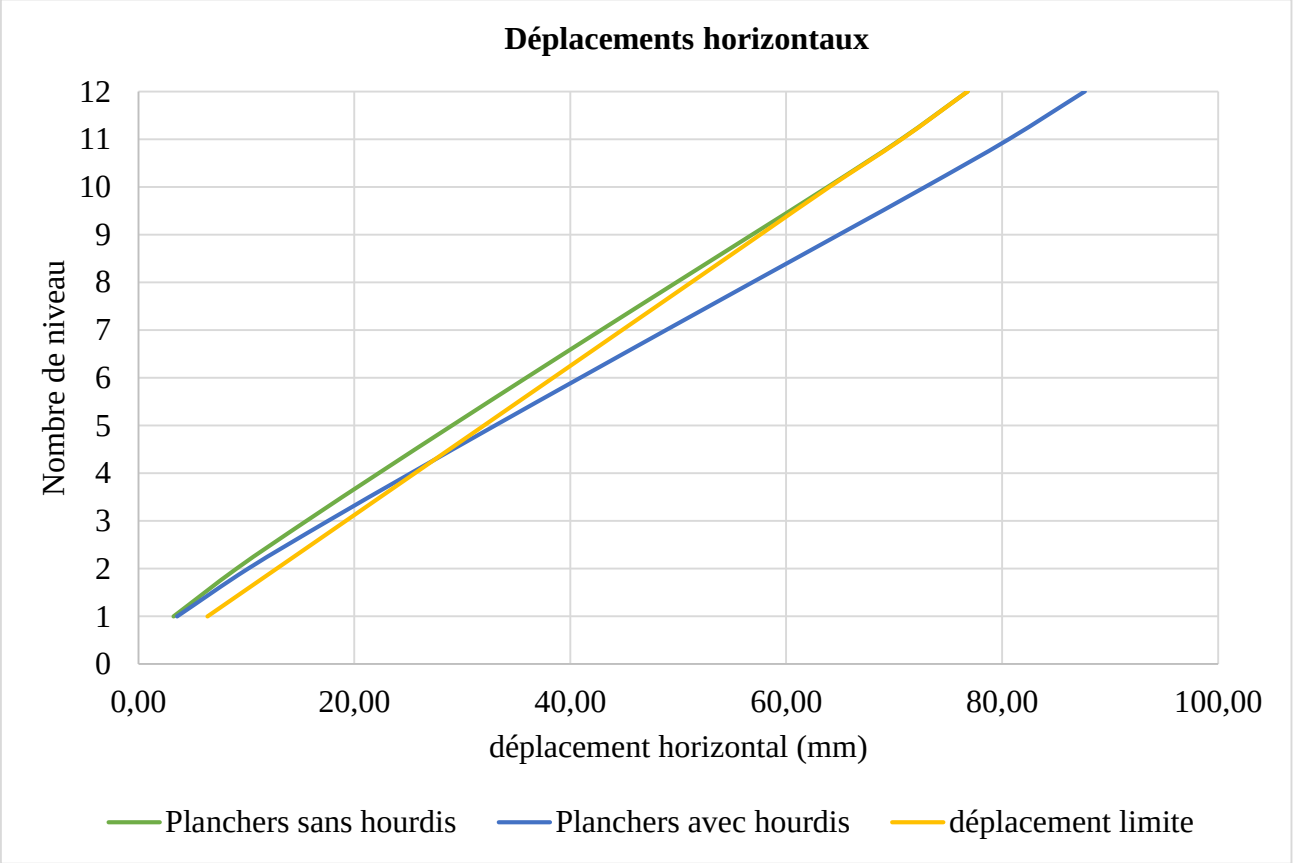



*Figure 69:Déplacements horizontaux pour le modèle à 12 niveaux*

*Tableau 21:Synthèse de l'interprétation des résultats*

| Modèle de bâtiment | F.H (KN) | Déplacement limite (mm) | Déplacement (mm) | Admissible |
|---|---|---|---|---|
| Bâtiment de 3 niveaux avec planchers en hourdis | 89 | 19,2 | 20 | Non |
| Bâtiment de 3 niveaux avec planchers sans hourdis | 89 | 19,2 | 19,2 | Oui |
| Bâtiment de 6 niveaux avec planchers en hourdis | 180 | 38,4 | 42,4 | Non |
| Bâtiment de 6 niveaux avec planchers sans hourdis | 180 | 38,4 | 38,4 | Oui |
| Bâtiment de 9 niveaux avec planchers en hourdis | 252.3 | 57,6 | 65,3 | Non |
| Bâtiment de 9 niveaux avec planchers sans hourdis | 252.3 | 57,6 | 57,6 | Oui |
| Bâtiment de 12 niveaux avec planchers en hourdis | 264.5 | 76,8 | 87,7 | Non |
| Bâtiment de 12 niveaux avec planchers sans hourdis | 264.5 | 76,8 | 76,8 | Oui |

F.H : Force horizontale

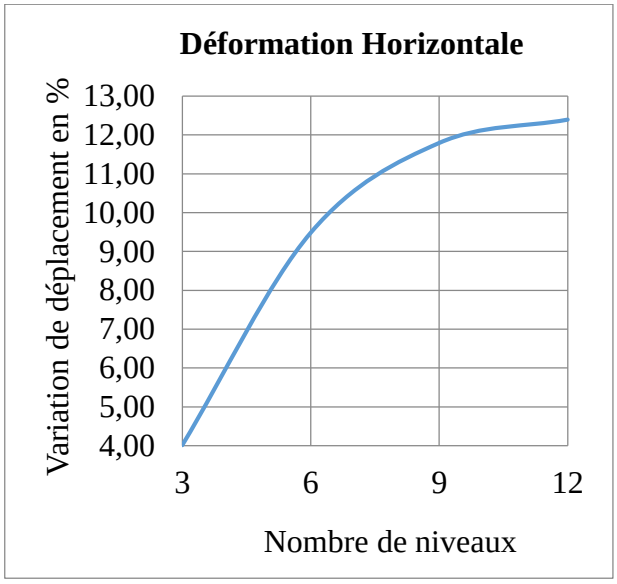



*Figure 70:Variation de déplacements en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 70) nous montre la variation des déplacements en pourcentage qui dépassent les limites après le chargement horizontal donc les bâtiments avec planchers en hourdis dépassent les limites admissible entre 4.02% et 12.39% selon le modèle d'étude mais les planchers sans hourdis ne dépassent pas les limites admissible.

## III.2. Résultats des sollicitations internes dans les éléments de la structure en cas de chargement vertical

### a) Résultats des sollicitations dans les structures sans tassement

*Tableau 22:Efforts normaux maximaux dans les poteaux*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| Modèle à 3 niveaux | 2722,36 | 1988,87 | 3001,500 | 2201,070 |
| Modèle à 6 niveaux | 5662,39 | 4133,73 | 6253,890 | 4585,480 |
| Modèle à 9 niveaux | 8321,16 | 6075,56 | 9222,780 | 6742,5 |
| Modèle à 12 niveaux | 11073,2 | 8083,57 | 12287,00 | 8978,59 |

*Tableau 23:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 259,543 | 297,006 | 269,684 | 275,581 |
| Modèle à 6 niveaux | 257,419 | 303,278 | 275,014 | 288,602 |
| Modèle à 9 niveaux | 260,301 | 273,903 | 295,667 | 263,363 |
| Modèle à 12 niveaux | 270,954 | 264,998 | 315,779 | 261,745 |

*Tableau 24:Les moments maximaux dans les dalles*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 23,5 | 23,8 | 49,5 | 49,8 |
| Modèle à 6 niveaux | 24,3 | 24,4 | 52,1 | 52,1 |
| Modèle à 9 niveaux | 22,8 | 22,9 | 47,6 | 47,6 |
| Modèle à 12 niveaux | 23,5 | 23,4 | 46,1 | 46,1 |

**b) Résultats des sollicitations en cas du tassement de 50mm du poteau d'angle**

*Tableau 25:Efforts normaux maximaux dans les poteaux*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| Modèle à 3 niveaux | 2737,52 | 1999,96 | 3045,05 | 2227,68 |
| Modèle à 6 niveaux | 5705,25 | 4165,46 | 6349,25 | 4641,74 |
| Modèle à 9 niveaux | 8400,24 | 6137,46 | 9358,89 | 6846,68 |
| Modèle à 12 niveaux | 11150,80 | 8115,33 | 12457,5 | 9113,72 |

*Tableau 26:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 261,384 | 461,348 | 277,613 | 456,887 |
| Modèle à 6 niveaux | 268,856 | 514,739 | 305,051 | 498,895 |
| Modèle à 9 niveaux | 279,75 | 592,104 | 331,453 | 573,988 |
| Modèle à 12 niveaux | 288,509 | 616,598 | 348,432 | 601,959 |

*Tableau 27:Les moments maximaux dans les dalles*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 37,4 | 36,5 | 78,3 | 66,3 |
| Modèle à 6 niveaux | 39,6 | 38,3 | 86,5 | 78,9 |
| Modèle à 9 niveaux | 46,2 | 43,9 | 101 | 84,1 |
| Modèle à 12 niveaux | 48,2 | 45,5 | 106 | 88 |

**Les graphiques de comparaison**

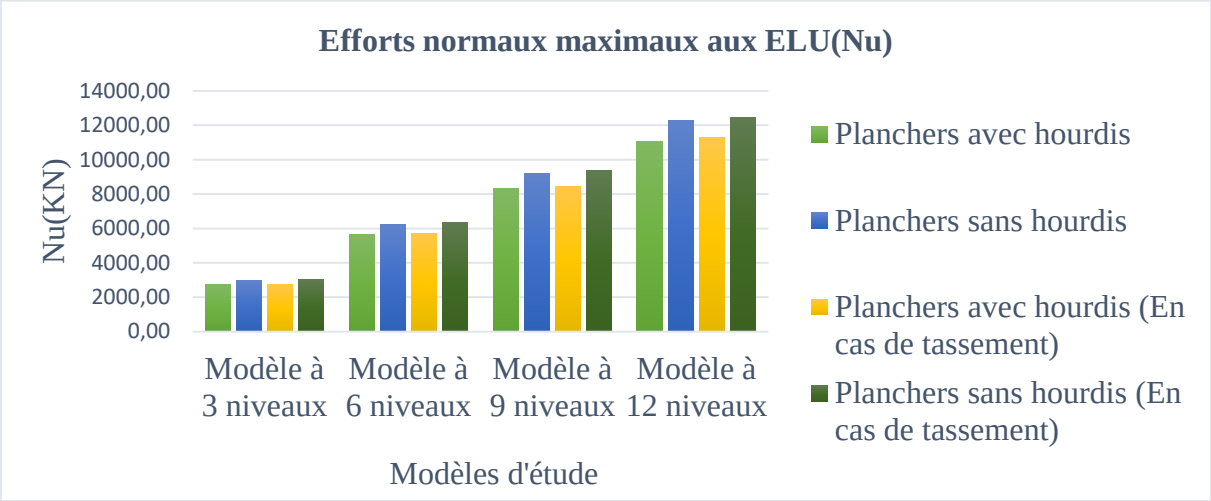



*Figure 71:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux*

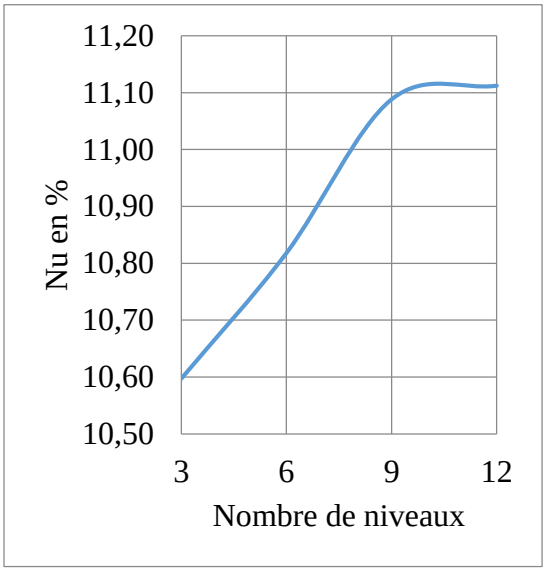



*Figure 72:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 72) nous montre les efforts normaux maximaux aux ELU (Nu) transmis aux poteaux. Les efforts représentés sont les résultats trouvés au moment de calcul de Nu lorsqu'on a les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a tassé.

Après les résultats obtenus nous pouvons conclure que les planchers sans hourdis après le tassement transmettent autant d'efforts normaux maximaux (Nu) aux poteaux du 1$^{er}$ niveau que ceux des planchers en hourdis. Après le tassement les efforts normaux aux ELU transmis par les planchers sans hourdis varient entre 10.60% et 11.11% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

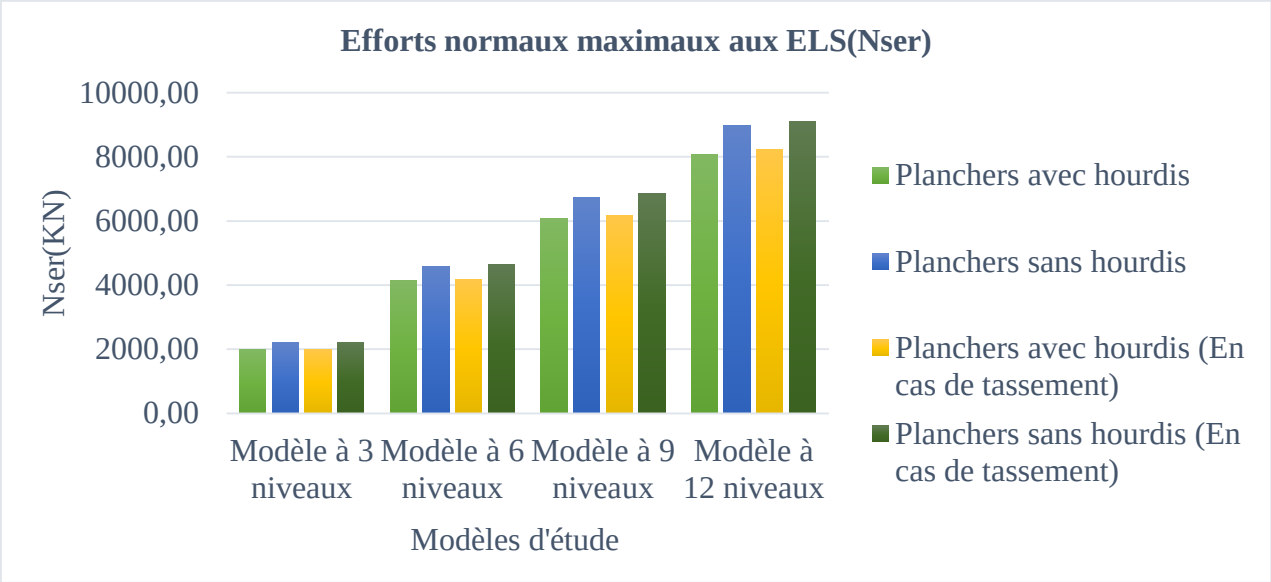



*Figure 73:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux*

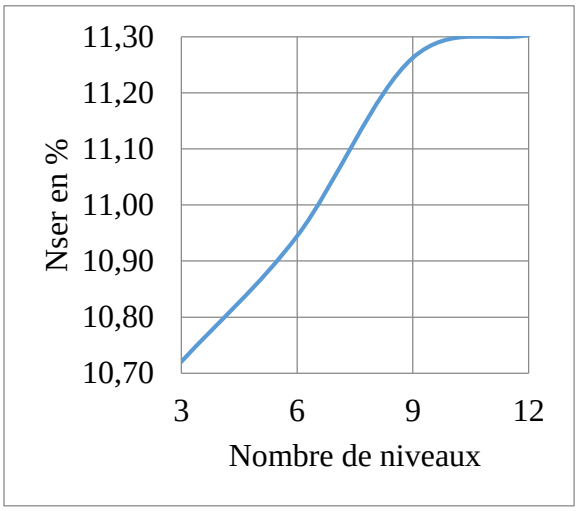



*Figure 74:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude*

Les efforts normaux maximaux aux ELS (Nser) transmis aux poteaux sont représentés sur la figure ci-dessus (Fig. 74). Les efforts représentés sont les résultats trouvés au moment de calcul de Nser lorsqu'on a les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a tassé.

Après l'analyse des résultats obtenus nous pouvons conclure que les planchers sans hourdis après le tassement transmettent autant d'efforts normaux maximaux (Nser) aux poteaux du 1$^{er}$ niveau que ceux des planchers en hourdis. Après le tassement selon le modèle d'étude, les efforts normaux aux ELS transmis par les planchers sans hourdis varient entre 10.72% et 11.30% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis.

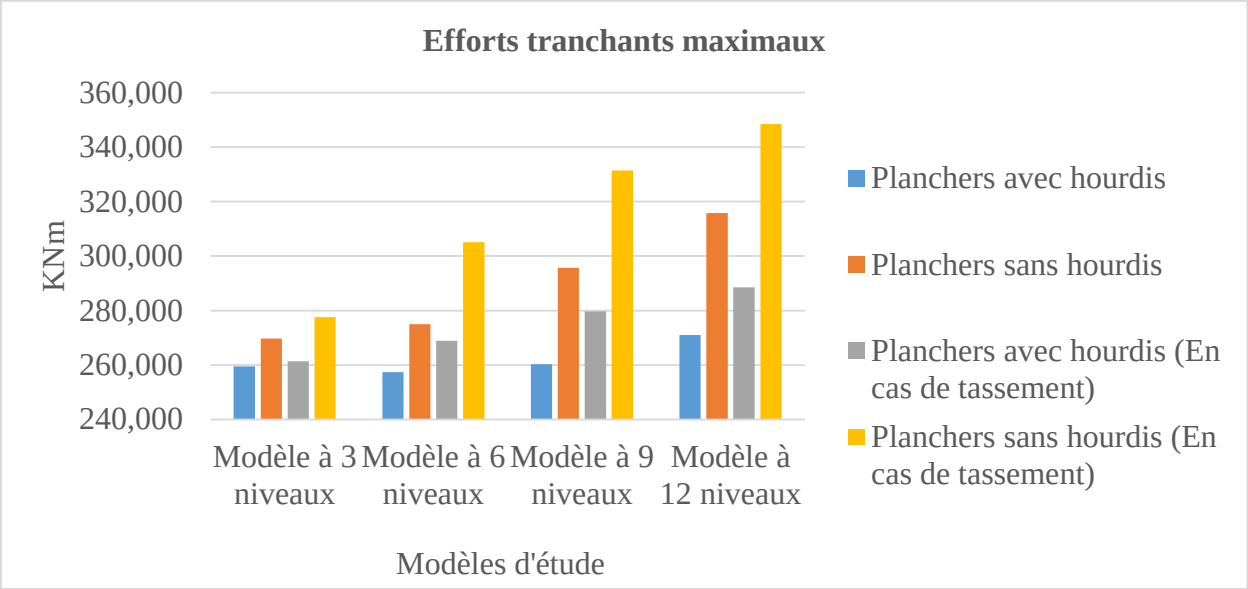



*Figure 75:Efforts tranchants maximaux dans les poutres*

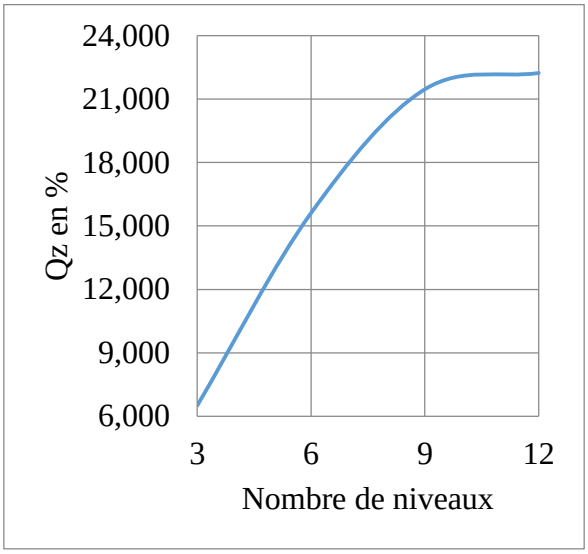



*Figure 76:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude*

Le graphique ci-dessus (Fig. 76) représente la variation des efforts tranchants maximaux transmis aux poutres lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure en disant qu'à cause du tassement les efforts tranchants maximaux transmis aux poutres pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 6.50% à 22.23% plus grands que les efforts tranchants maximaux transmis aux poutres pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

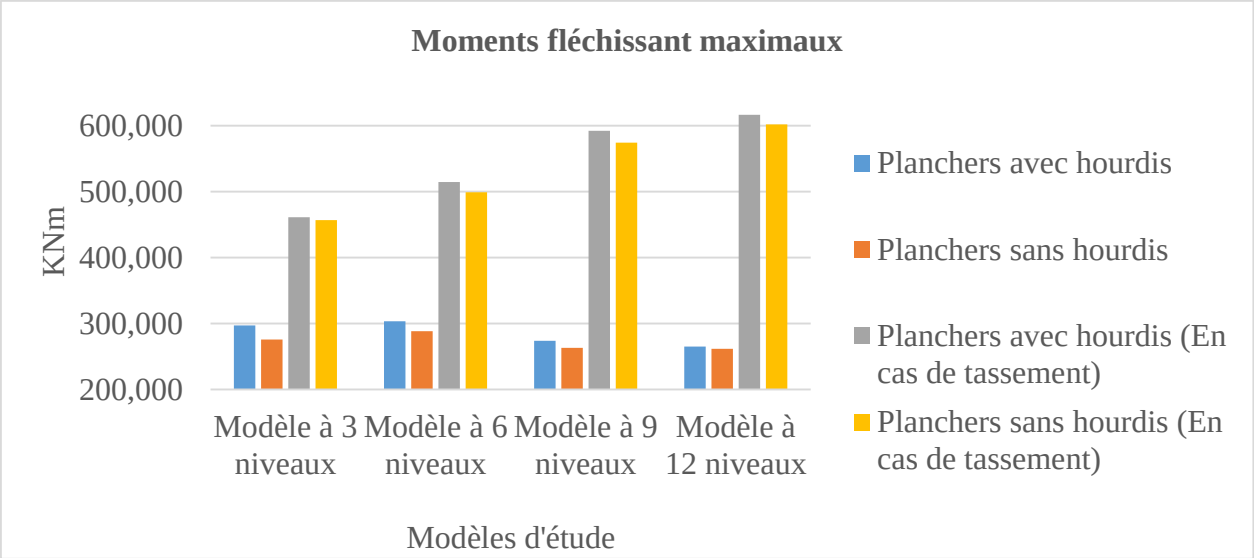



*Figure 77:Moments fléchissant maximaux dans les poutres*

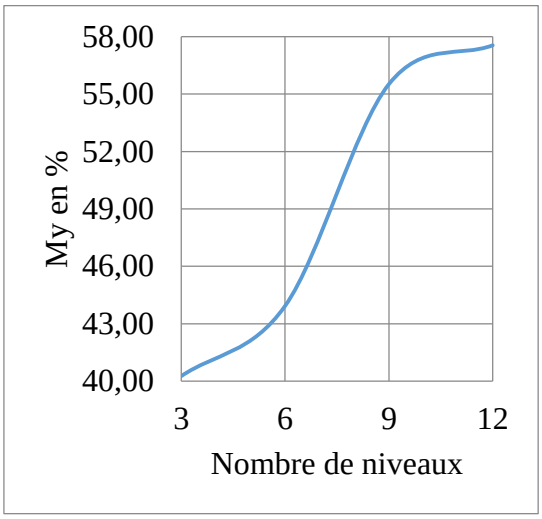



*Figure 78:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 78) représente la variation des moments fléchissant maximaux transmis aux poutres lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement.

Les résultats obtenus montrent qu'à cause du tassement les moments fléchissant maximaux transmis aux poutres pour le bâtiment avec planchers en hourdis augmentent de 40.27% à 57.55% plus grands que les moments fléchissant maximaux transmis aux poutres pour le cas du bâtiment avec planchers sans hourdis selon le modèle d'étude.

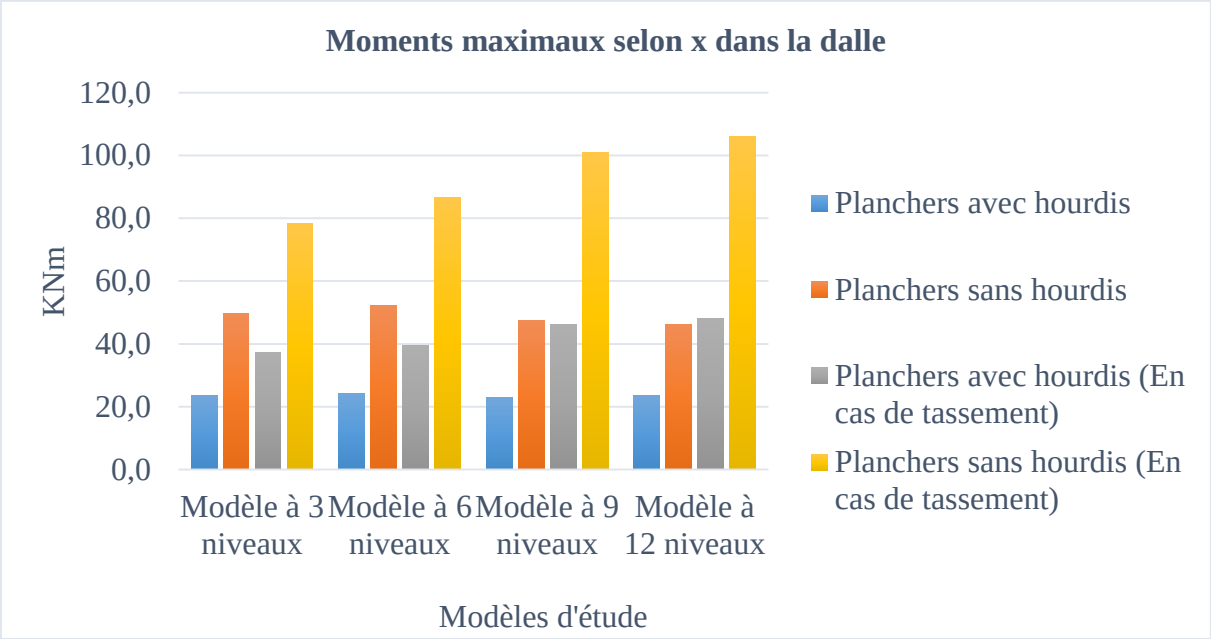



*Figure 79:Moments maximaux dans les dalles (sens x)*

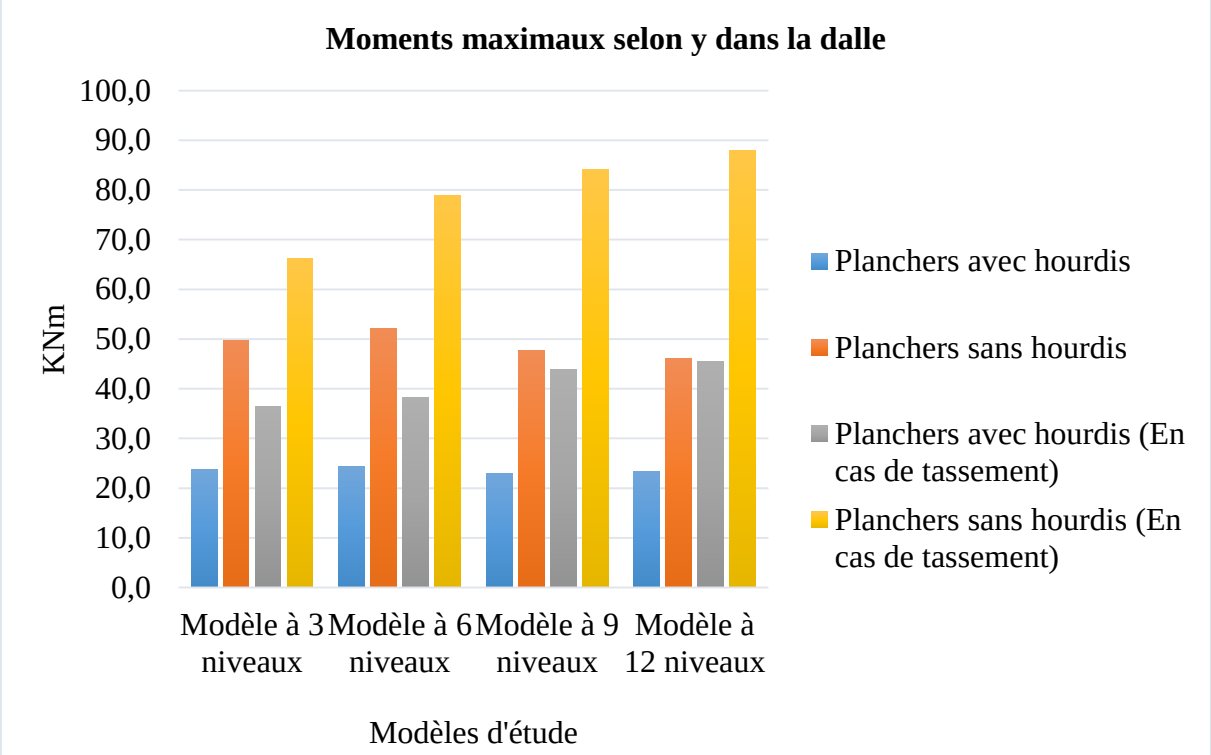
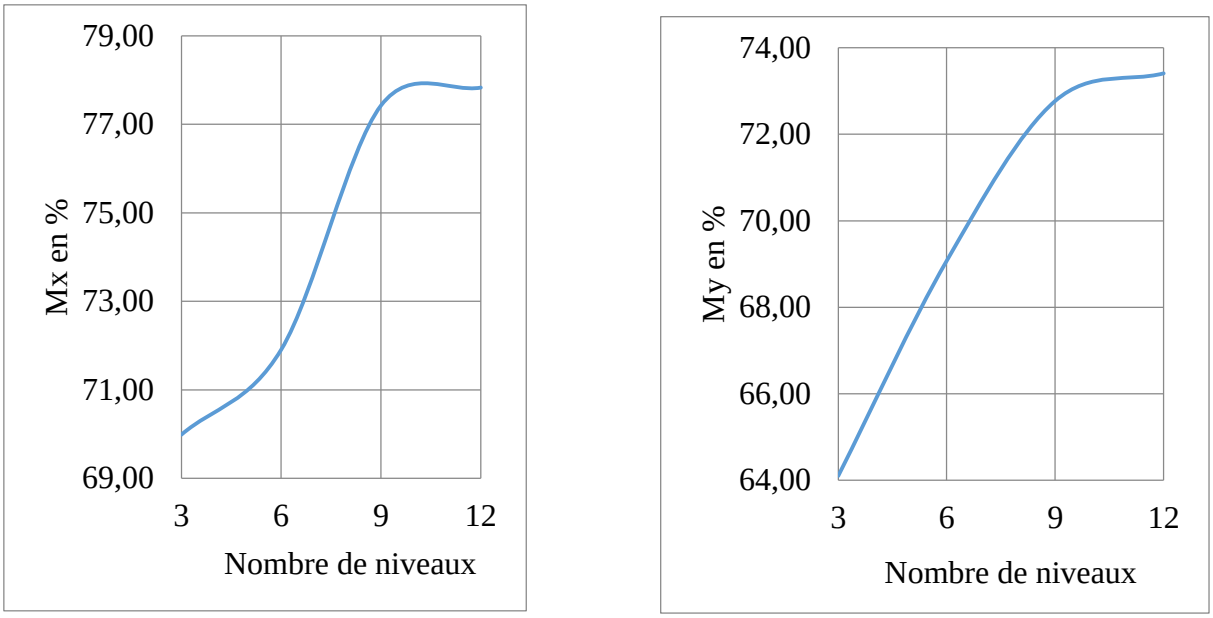



*Figure 80:Moments maximaux dans les dalles (sens-y)*




*(a)* *(b)*

*Figure 81:Variation de moments en pourcentage dans la dalles dans le sens x (a) et dans le sens y (b) selon le modèle d'étude*

Les graphiques ci-dessus (Fig. 81) représentent la variation des moments dans les dalles dans sens x et y lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement.

- Dans le sens de x les résultats obtenus montrent que suite au tassement les moments maximaux dans les dalles pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 69.99% à 77.83% plus grands que les moments maximaux dans les dalles pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.
- Dans le sens de y les résultats obtenus montrent que suite au tassement les moments maximaux dans les dalles pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 64.10% à 73.41% plus grands que les moments maximaux dans les dalles pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

## III.3. Variations des sollicitations selon les niveaux des structures en cas du tassement de 50mm du poteau d'angle

Efforts normaux dans les poteaux

*Tableau 28:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 3 | 744,33 | 546,757 | 845,242 | 621,525 |
| 2 | 1734,61 | 1268,73 | 1937,750 | 1419,180 |
| 1 | 2737,52 | 1999,96 | 3045,05 | 2227,68 |

*Tableau 29:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 6 | 756,188 | 555,662 | 864,234 | 635,749 |
| 5 | 1752,370 | 1282,300 | 1970,560 | 1444,090 |
| 4 | 2746,430 | 2007,460 | 3073,900 | 2250,200 |
| 3 | 3736,990 | 2730,020 | 4172,330 | 3052,580 |
| 2 | 4721,940 | 3448,420 | 5263,190 | 3849,250 |
| 1 | 5705,25 | 4165,46 | 6349,25 | 4641,74 |

*Tableau 30:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 9 | 737,16 | 542,80 | 843,86 | 621,71 |
| 8 | 1709,03 | 1249,26 | 1918,04 | 1407,77 |
| 7 | 2679,80 | 1951,35 | 2993,05 | 2194,35 |
| 6 | 3640,72 | 2651,01 | 4065,58 | 2978,98 |
| 5 | 4600,47 | 3351,98 | 5135,02 | 3761,14 |
| 4 | 5558,19 | 4047,59 | 6200,15 | 4539,88 |
| 3 | 6510,16 | 4739,28 | 7259,79 | 5314,25 |
| 2 | 7459,66 | 5425,78 | 8311,69 | 6082,56 |
| 1 | 8400,24 | 6137,46 | 9358,89 | 6846,68 |

*Tableau 31:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 12 | 729,11 | 537,13 | 835,51 | 615,66 |
| 11 | 1670,42 | 1225,31 | 1900,99 | 1395,45 |
| 10 | 2618,26 | 1912,60 | 2968,49 | 2176,68 |
| 9 | 3560,02 | 2601,08 | 4034,62 | 2956,85 |
| 8 | 4500,8 | 3291,79 | 5099,47 | 3735,97 |
| 7 | 5470,12 | 3981,36 | 6162,37 | 4513,56 |
| 6 | 6420,56 | 4667,47 | 7222,73 | 5289,11 |
| 5 | 7359,63 | 5367,75 | 8279,81 | 6062,07 |
| 4 | 8305,77 | 6065,76 | 9332,71 | 6831,73 |
| 3 | 9239,45 | 6749,1 | 10380,6 | 7597,39 |
| 2 | 10175,3 | 7425,75 | 11421,4 | 8357,63 |
| 1 | 11150,80 | 8115,33 | 12457,5 | 9113,72 |

**Graphique**

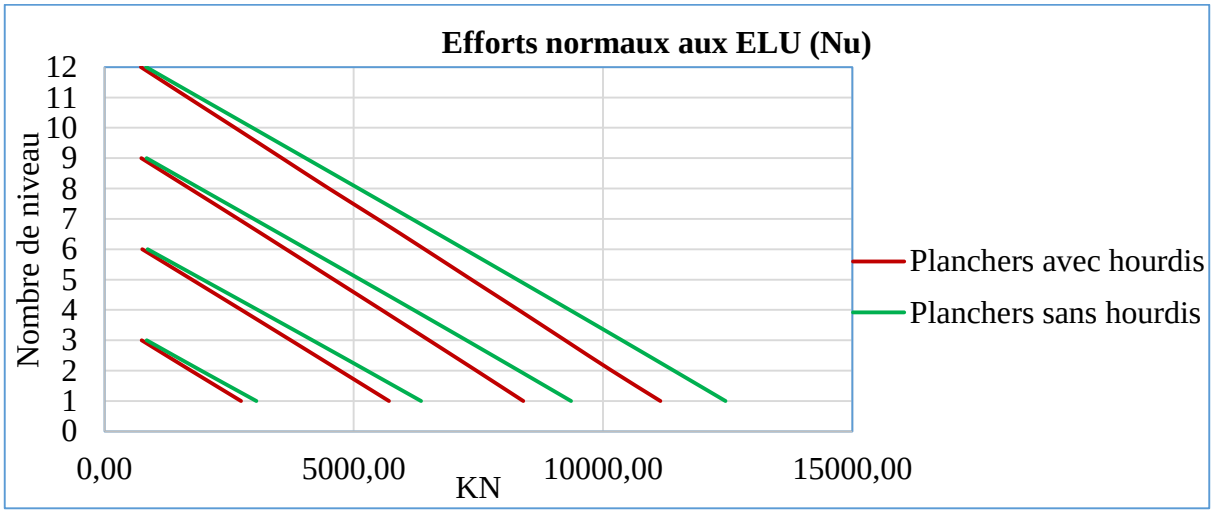



*Figure 82:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

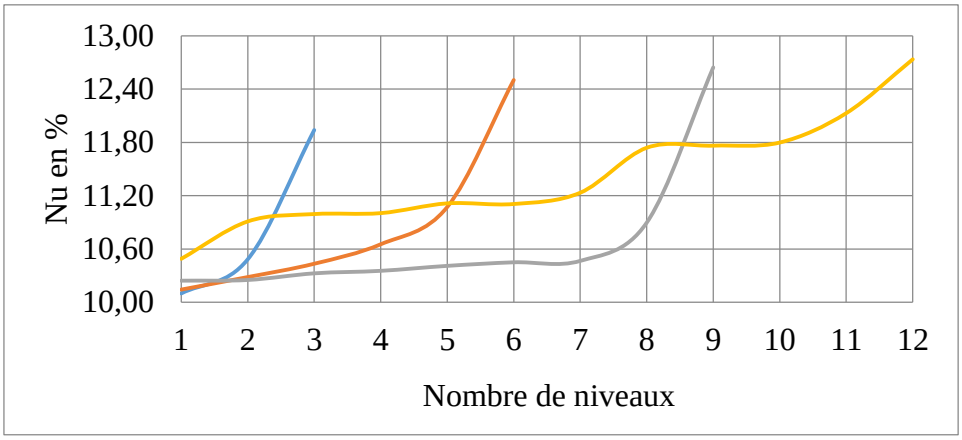



*Figure 83:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 83) représente la variation des efforts normaux aux ELU (Nu) transmis aux poteaux niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.10% à 11.94% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.14% à 12.50% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.24% à 12.64% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.49% à 12.74% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis.

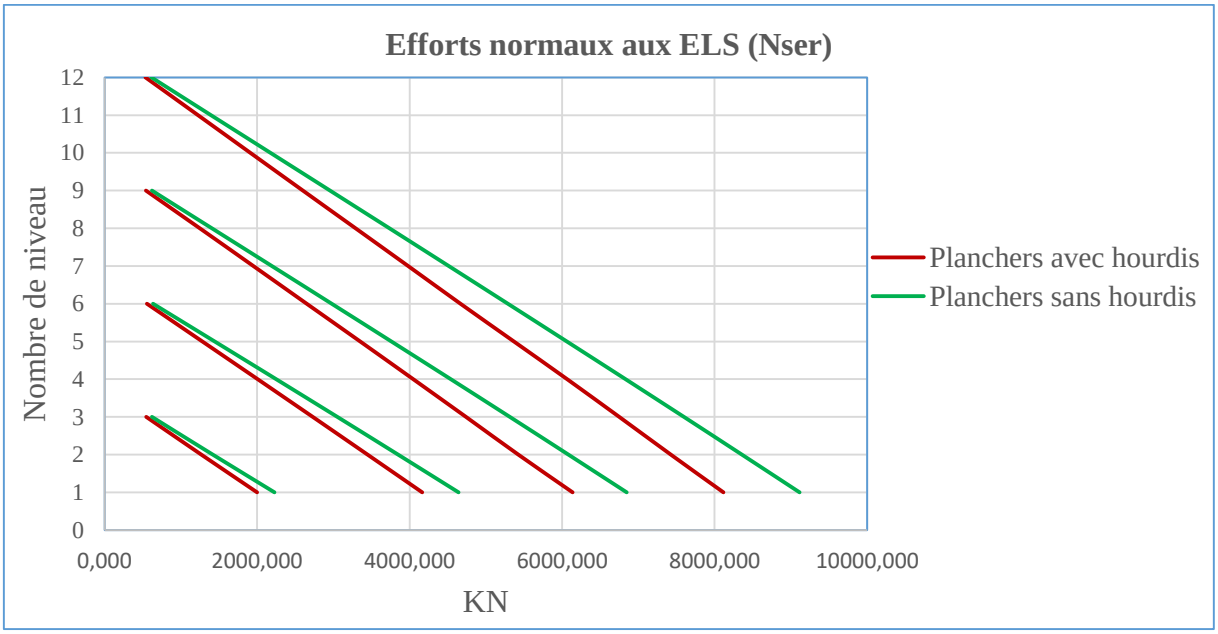



*Figure 84:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

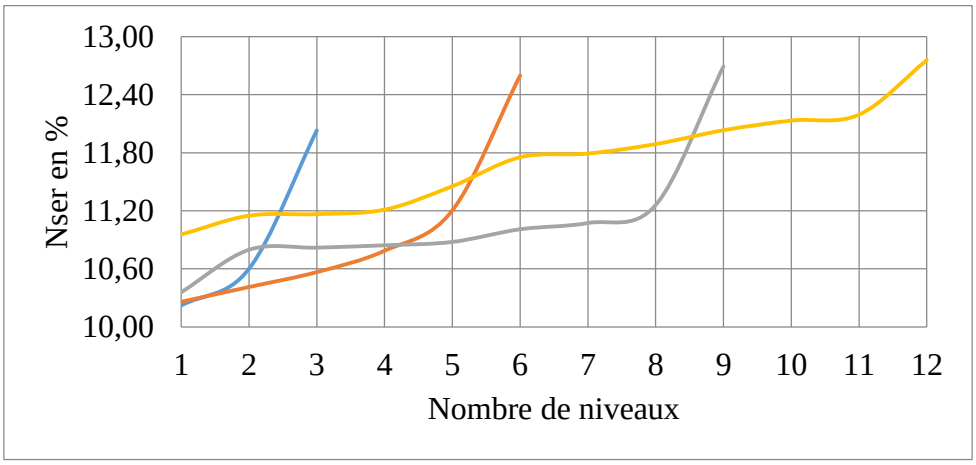



*Figure 85:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 85) représente la variation des efforts normaux aux ELS (Nser) transmis aux poteaux niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Ner) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.22% à 12.03% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Ner) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.26% à 12.60% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Ner) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.36% à 12.69% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Ner) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 10.95% à 12.76% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis.

Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres

*Tableau 32:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 3 | 193,404 | 359,883 | 209,64 | 357,616 |
| 2 | 260,898 | 461,348 | 277,536 | 456,887 |
| 1 | 261,348 | 450,100 | 277,613 | 449,034 |

*Tableau 33:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 6 | 205,702 | 351,821 | 233,548 | 339,74 |
| 5 | 268,856 | 477,302 | 304,77 | 455,285 |
| 4 | 268,443 | 480,69 | 303,916 | 460,942 |
| 3 | 268,675 | 494,189 | 304,678 | 476,286 |
| 2 | 268,397 | 514,739 | 305,051 | 498,895 |
| 1 | 267,569 | 501,133 | 298,95 | 491,213 |

*Tableau 34:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 9 | 193,185 | 374,162 | 215,165 | 356,108 |
| 8 | 272,349 | 505,987 | 312,051 | 478,292 |
| 7 | 269,908 | 502,156 | 307,494 | 475,771 |
| 6 | 270,093 | 512,615 | 309,944 | 487,118 |
| 5 | 270,025 | 525,43 | 313,219 | 501,234 |
| 4 | 272,434 | 542,041 | 317,688 | 519,53 |
| 3 | 275,078 | 562,145 | 322,831 | 541,776 |
| 2 | 279,75 | 592,104 | 331,453 | 573,988 |
| 1 | 268,594 | 572,589 | 315,056 | 559,329 |

*Tableau 35:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 12 | 199,77 | 358,115 | 233,048 | 338,386 |
| 11 | 282,332 | 479,592 | 331,626 | 450,403 |
| 10 | 279,968 | 474,639 | 326,833 | 446,342 |
| 9 | 280,251 | 482,743 | 327,218 | 455,119 |
| 8 | 280,021 | 492,199 | 326,491 | 465,462 |
| 7 | 279,842 | 504,47 | 325,804 | 478,901 |
| 6 | 279,617 | 519,472 | 325,861 | 495,371 |
| 5 | 279,347 | 537,378 | 329,956 | 515,085 |
| 4 | 281,601 | 558,418 | 334,923 | 538,31 |
| 3 | 284,281 | 582,46 | 340,24 | 564,954 |
| 2 | 288,509 | 616,598 | 348,432 | 601,959 |
| 1 | 277,606 | 598,715 | 332,281 | 588,913 |

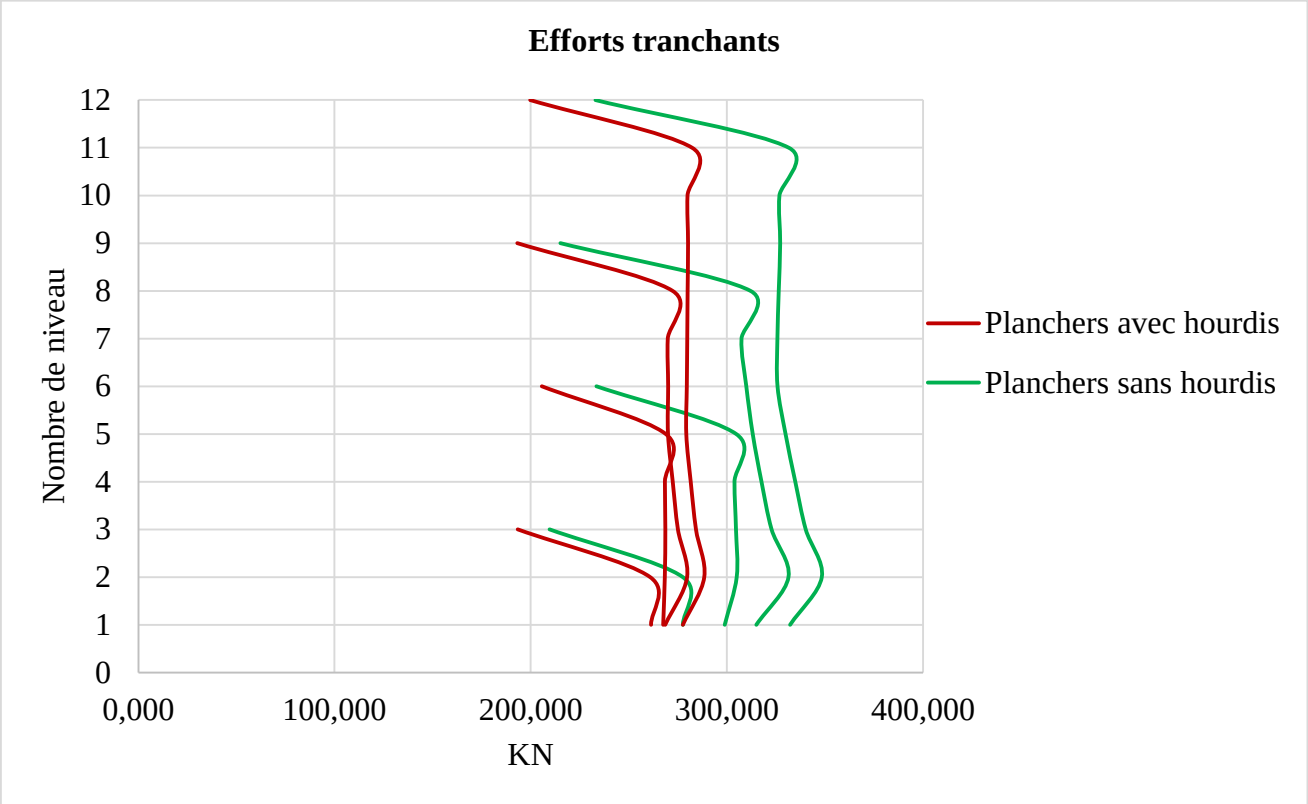



*Figure 86:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-haut (Fig. 86) montre la variation des efforts tranchants transmis aux poutres niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 5.85% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2$^{ème}$ niveau pour le bâtiment avec planchers sans hourdis et sur le 5$^{ème}$ niveau pour le bâtiment avec planchers en hourdis; alors on remarque que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 11.87% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2$^{ème}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 15.60% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 17.20% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis.

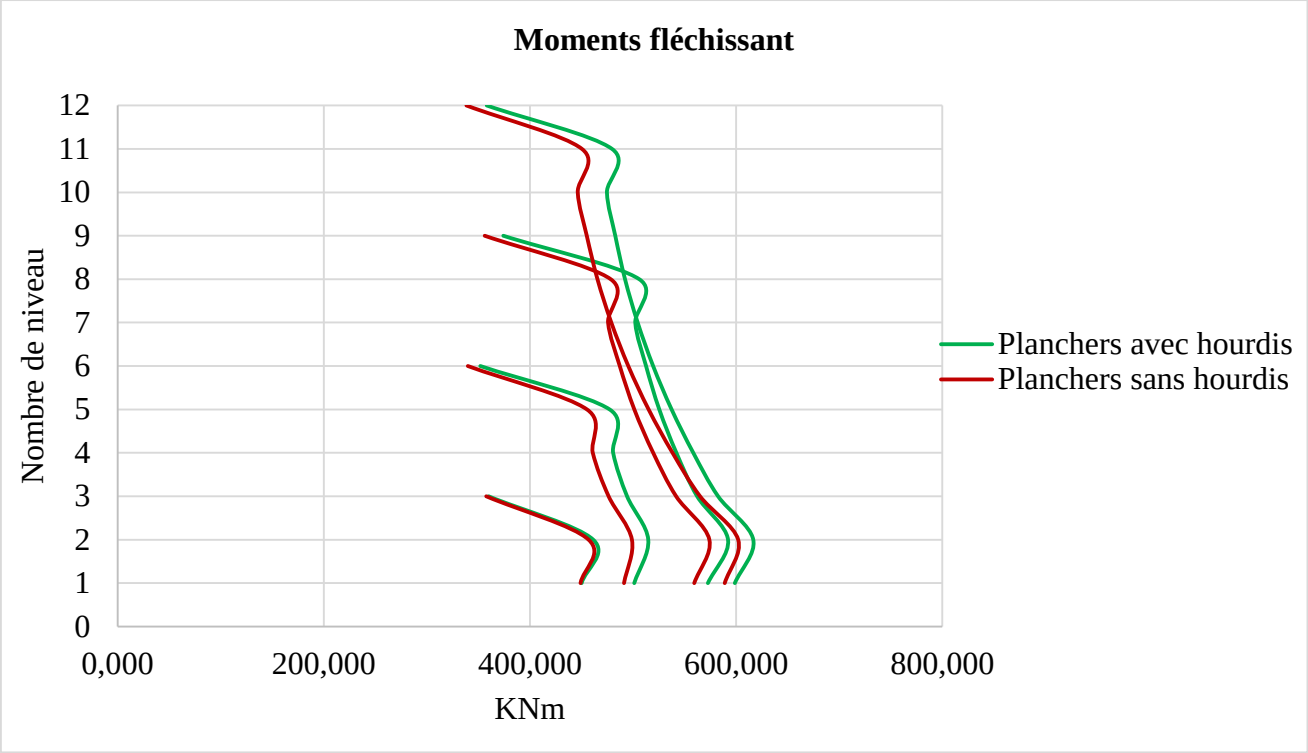



*Figure 87:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-haut (Fig. 87) montre la variation des moments fléchissant transmis aux poutres niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis une augmentation de 0.97% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis une augmentation de 3.08% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments

fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis une augmentation de 3.06% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis une augmentation de 2.37% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis.

Les moments dans les dalles

*Tableau 36:Les moments dans les dalles du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 3 | 29.3 | 29 | 61,4 | 53,1 |
| 2 | 37.4 | 36.5 | 78,3 | 66,3 |
| 1 | 36.1 | 35.2 | 76,5 | 64,7 |

*Tableau 37:Les moments dans les dalles du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 6 | 27,5 | 27,6 | 58,7 | 53,4 |
| 5 | 36,7 | 35,8 | 78,4 | 70,9 |
| 4 | 37 | 36 | 79,6 | 71,8 |
| 3 | 38 | 36,9 | 82,4 | 74,1 |
| 2 | 39,6 | 38,3 | 86,5 | 77,7 |
| 1 | 38,4 | 37 | 84,9 | 78,9 |

*Tableau 38:Les moments dans les dalles du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 9 | 29,7 | 29,7 | 62,8 | 53,9 |
| 8 | 39,9 | 38,6 | 84,2 | 70,5 |
| 7 | 39,6 | 38,4 | 83,8 | 70,4 |
| 6 | 40,4 | 39,1 | 85,8 | 71,9 |
| 5 | 41,3 | 39,8 | 88,3 | 73,9 |
| 4 | 42,5 | 40,9 | 91,5 | 76,5 |
| 3 | 44 | 42,1 | 95,3 | 79,6 |
| 2 | 46,2 | 43,9 | 101 | 84,1 |
| 1 | 44,6 | 42,3 | 98,2 | 81,8 |

*Tableau 39:Les moments dans les dalles du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 28,9 | 29,1 | 60,5 | 52 |
| 11 | 38,3 | 37,4 | 80,3 | 67,5 |
| 10 | 37,9 | 37,1 | 79,6 | 67,1 |
| 9 | 38,5 | 37,6 | 81,1 | 68,3 |
| 8 | 39,2 | 38,1 | 82,9 | 69,7 |
| 7 | 40,1 | 38,8 | 85,2 | 71,5 |
| 6 | 41,2 | 39,7 | 88 | 73,7 |
| 5 | 42,5 | 40,8 | 91,3 | 76,3 |
| 4 | 44 | 42,1 | 95,3 | 79,5 |
| 3 | 45,7 | 43,5 | 99,8 | 83,1 |
| 2 | 48,2 | 45,5 | 106 | 88 |
| 1 | 46,7 | 44 | 104 | 85,8 |

**Graphiques**

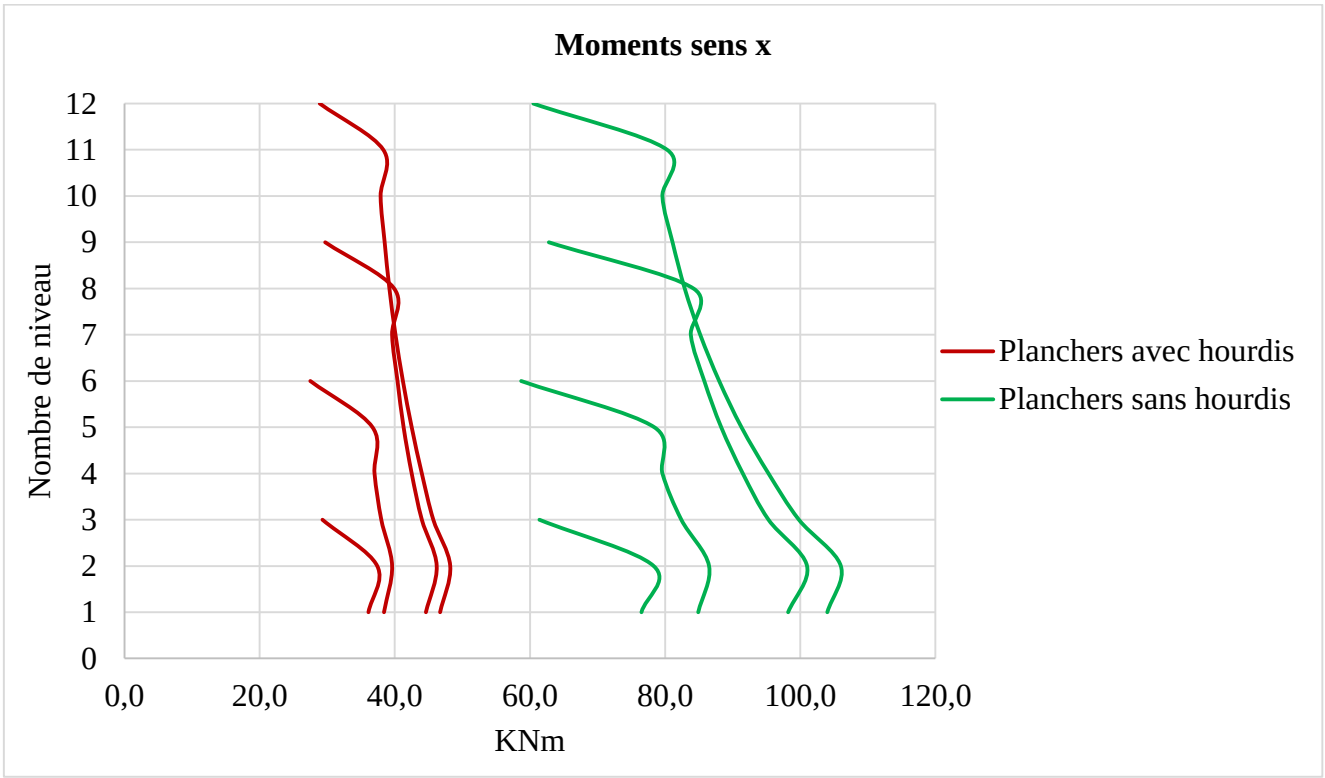



*Figure 88:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

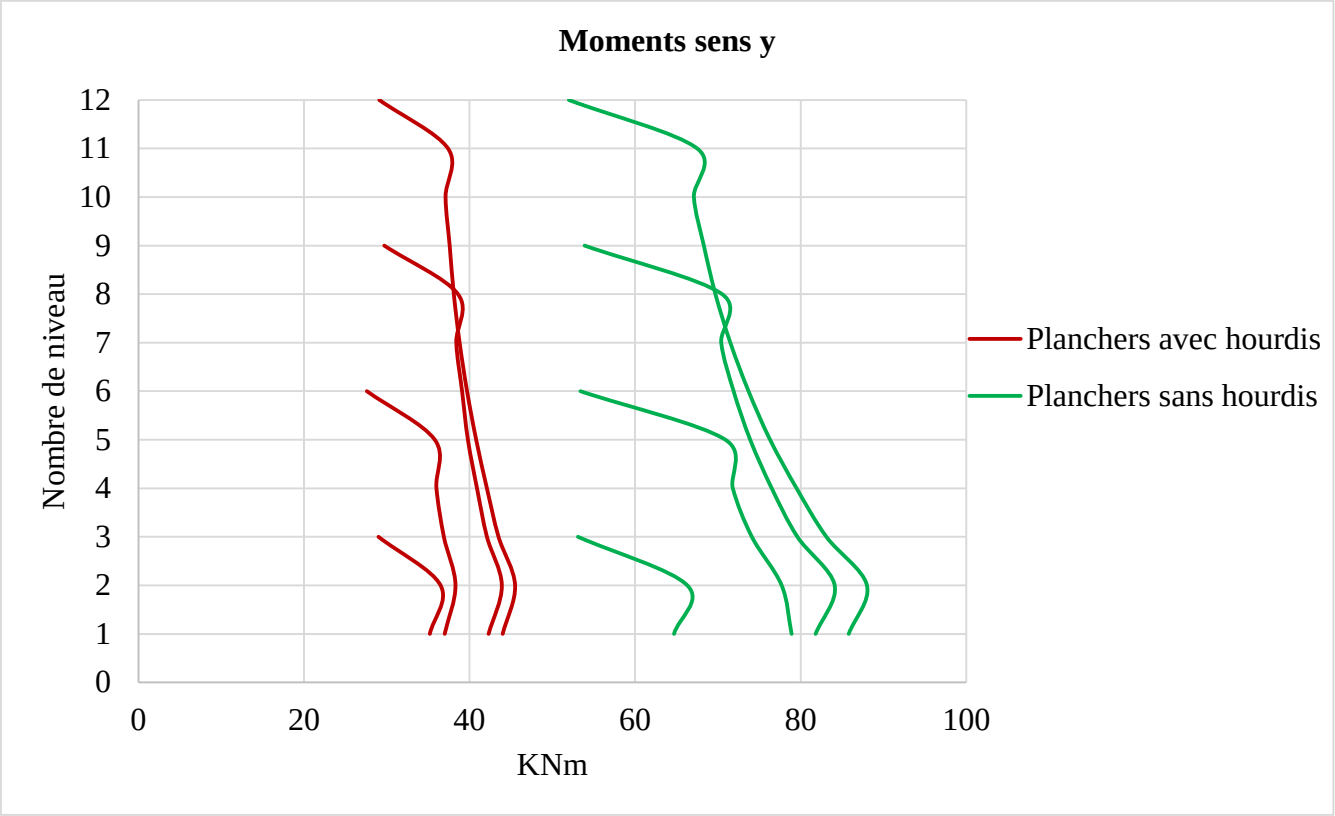



*Figure 89:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

Les figures ci-haut ((Fig. 88 & 89) montre la variation des moments dans les dalles niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement. Les résultats obtenus montrent que :

- Dans le sens de x :
  - Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 52.23% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 54.22% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 54.26% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.53% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis.

❖ Dans le sens de y :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 44.95% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1er niveau pour le bâtiment avec planchers sans hourdis et sur le 2ème niveau pour le bâtiment avec planchers en hourdis; alors on remarque que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 51.46% par rapport aux moments le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 47.80% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 48.30% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis.

## III.4. Résultats des sollicitations en cas du tassement de 50mm du poteau de rive

*Tableau 40:Efforts normaux maximaux dans les poteaux*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| Modèle à 3 niveaux | 3308,43 | 2427,52 | 3760,90 | 2765,32 |
| Modèle à 6 niveaux | 6910,17 | 5083,52 | 7860,66 | 5796,86 |
| Modèle à 9 niveaux | 10180,40 | 7524,18 | 11588,50 | 8585,16 |
| Modèle à 12 niveaux | 13565,10 | 10014,67 | 15450,2 | 11435,10 |

*Tableau 41:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 369,414 | 629,343 | 394,919 | 574,916 |
| Modèle à 6 niveaux | 419,209 | 732,442 | 481,728 | 697,577 |
| Modèle à 9 niveaux | 444,877 | 784,848 | 521,986 | 759,783 |
| Modèle à 12 niveaux | 458,199 | 820,458 | 549,815 | 805,917 |

*Tableau 42:Les moments maximaux dans les dalles*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 41,7 | 48,3 | 90,0 | 102 |
| Modèle à 6 niveaux | 44,4 | 54,6 | 97,6 | 119 |
| Modèle à 9 niveaux | 52,3 | 57,5 | 116 | 127 |
| Modèle à 12 niveaux | 55,5 | 59,6 | 125 | 133 |

**Les graphiques de comparaison**

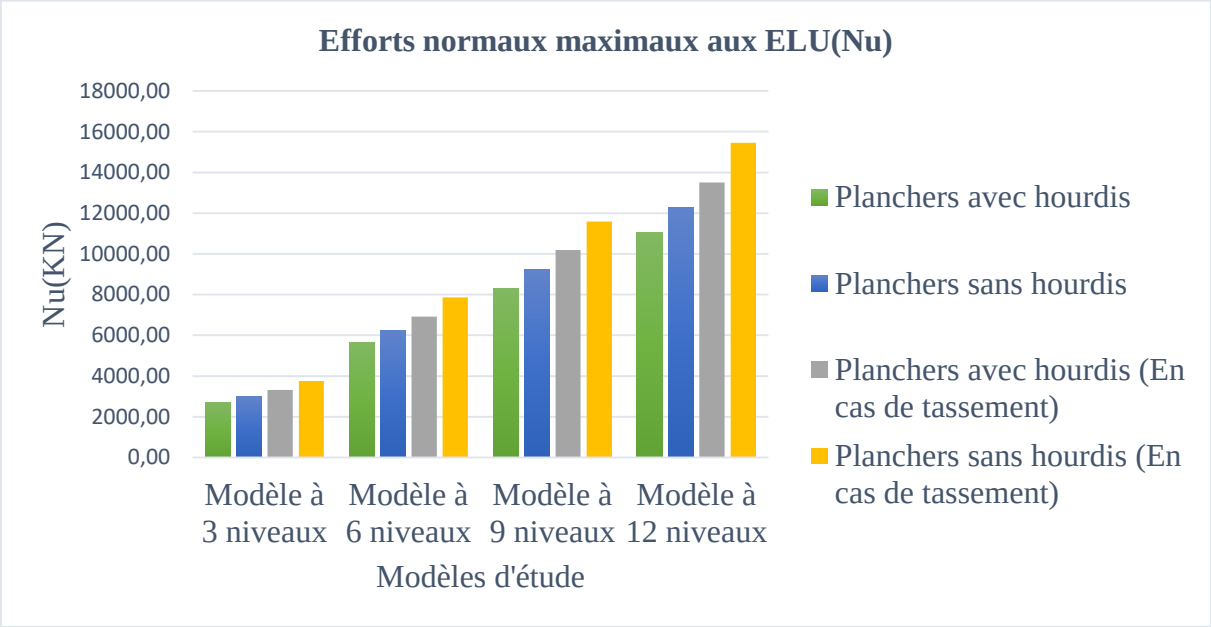



*Figure 90:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux*

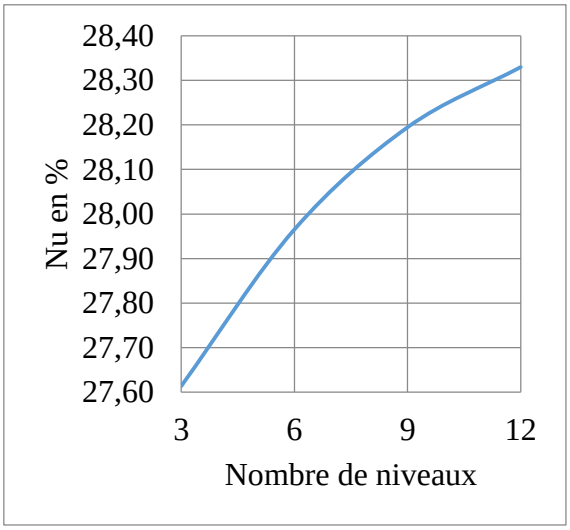



*Figure 91:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 91) nous montre les efforts normaux maximaux aux ELU (Nu) transmis aux poteaux. Les efforts représentés sont les résultats trouvés au moment de calcul de Nu lorsqu'on a les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le poteau de rive du bâtiment a tassé.

Après les résultats obtenus nous pouvons conclure que les planchers sans hourdis après le tassement transmettent autant d'efforts normaux maximaux (Nu) aux poteaux du 1$^{er}$ niveau que ceux des planchers en hourdis. Après le tassement les efforts normaux aux ELU transmis par

les planchers sans hourdis varient entre 27.61% et 28.33% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

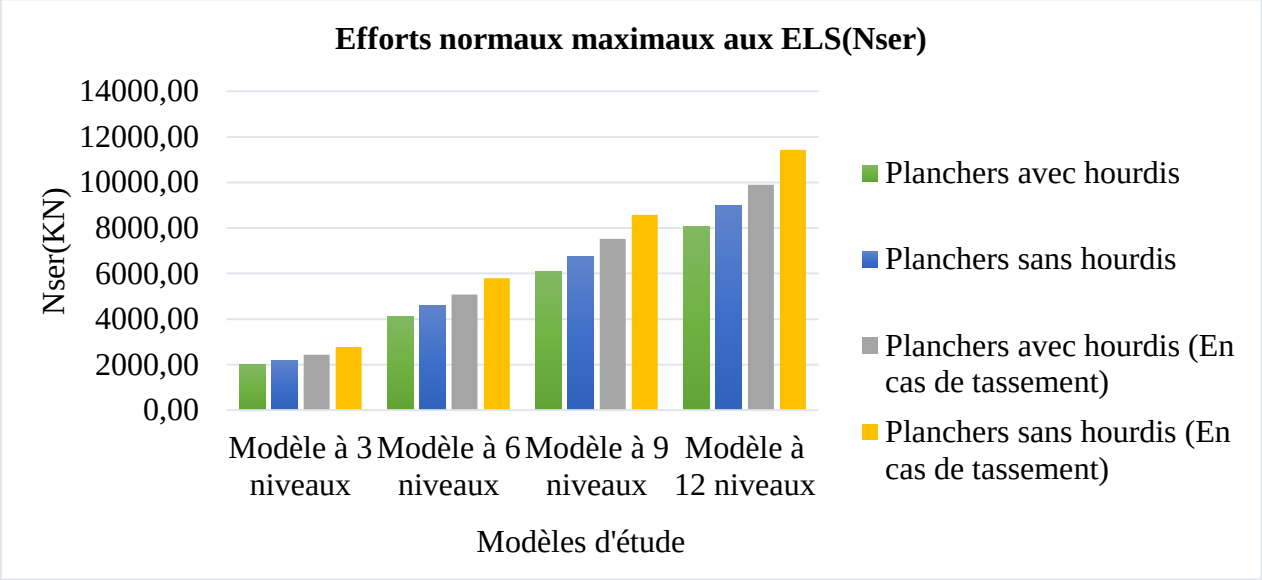



*Figure 92:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux*

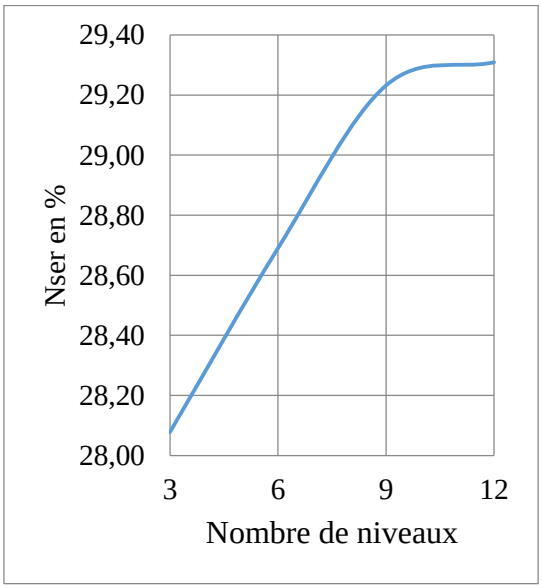



*Figure 93:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude*

Les efforts normaux maximaux aux ELS (Nser) transmis aux poteaux sont représentés sur la figure ci-dessus (Fig. 93). Les efforts représentés sont les résultats trouvés au moment de calcul de Nser lorsqu'on a les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le poteau de rive du bâtiment a tassé.

Après l'analyse des résultats obtenus nous pouvons conclure que les planchers sans hourdis après le tassement transmettent autant d'efforts normaux maximaux (Nser) aux poteaux du 1er

niveau que ceux des planchers en hourdis. Après le tassement selon le modèle d'étude, les efforts normaux aux ELS transmis par les planchers sans hourdis varient entre 28.08% et 29.31% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis.

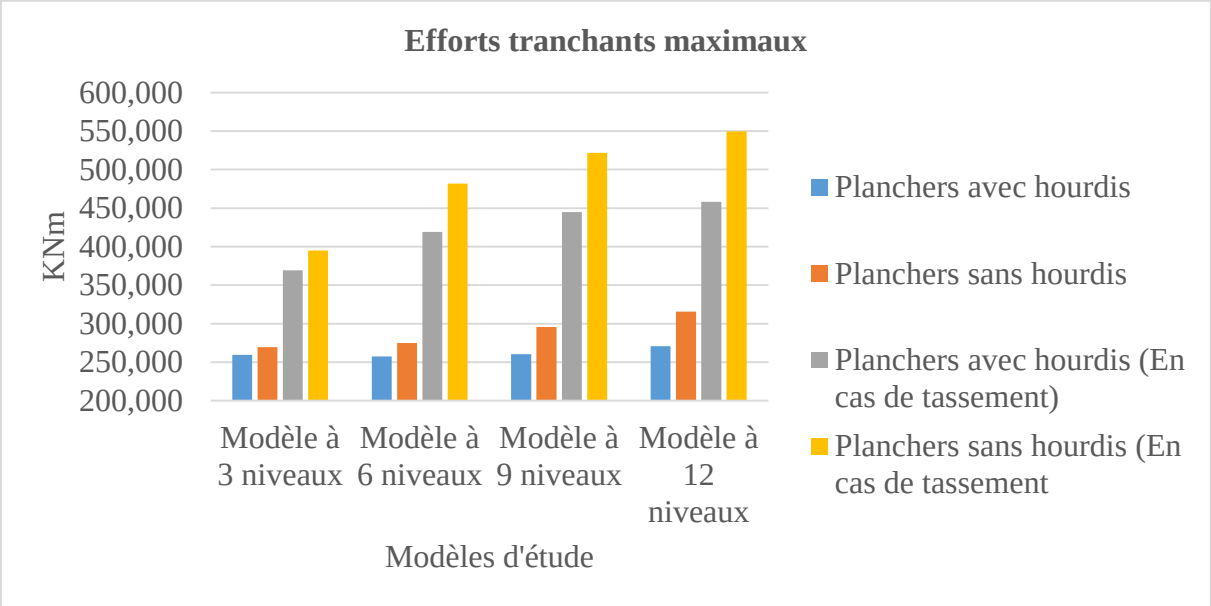



*Figure 94:Efforts tranchants maximaux dans les poutres*

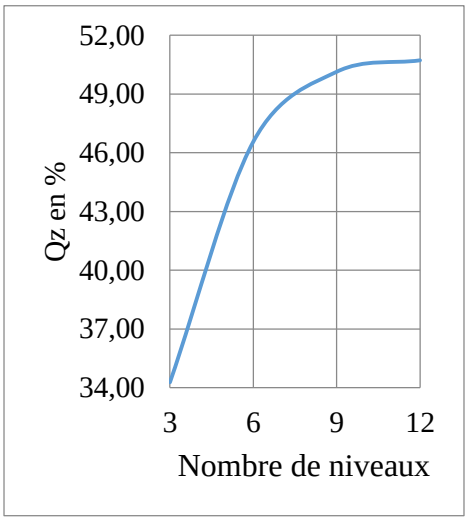



*Figure 95:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude*

Le graphique ci-dessus (Fig. 95) représente la variation des efforts tranchants maximaux transmis aux poutres lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure en disant qu'à cause du tassement les efforts tranchants maximaux transmis aux poutres pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 34.28% à 50.72% plus grands que les efforts tranchants maximaux transmis aux poutres pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

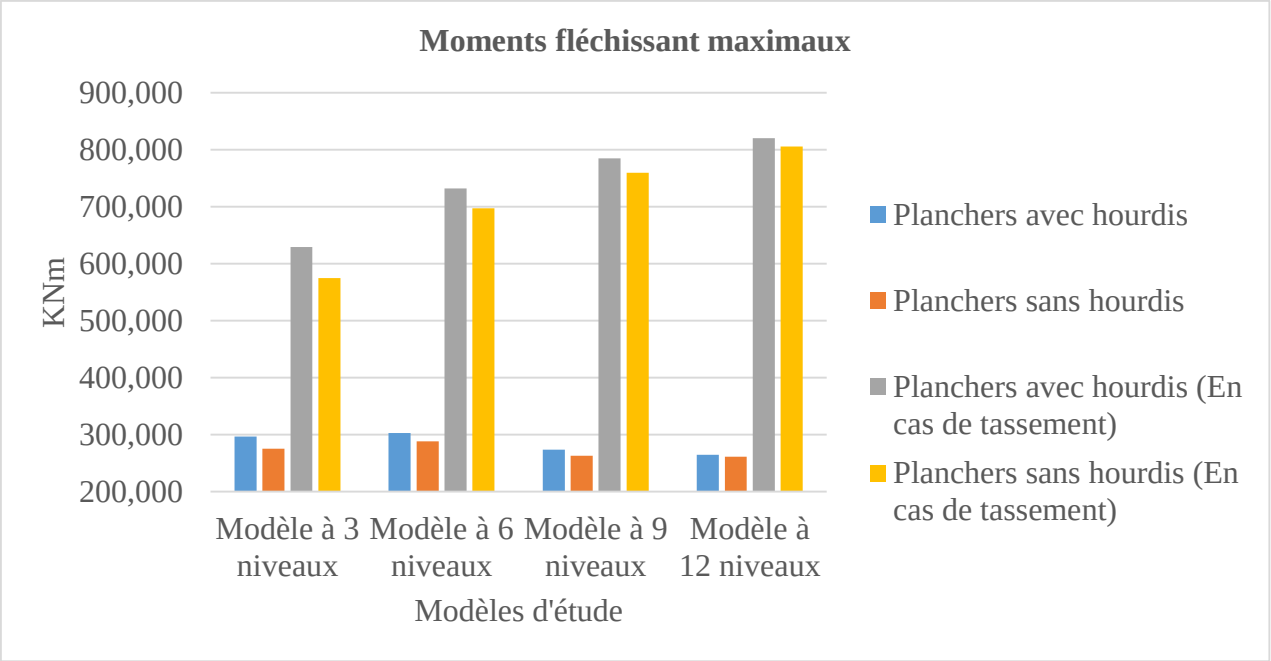



*Figure 96:Moments fléchissant maximaux dans les poutres*

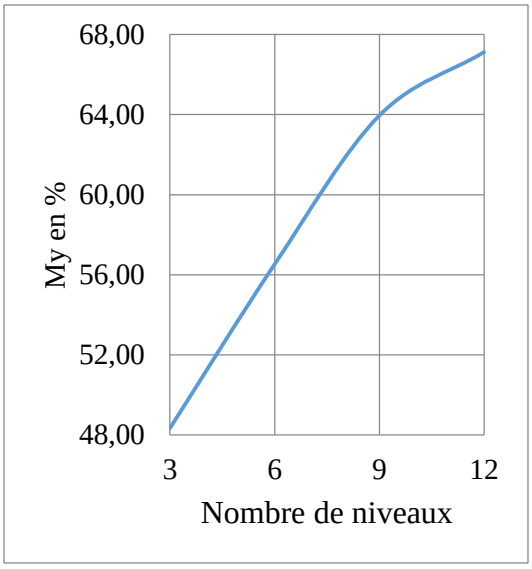



*Figure 97:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 97) représente la variation des moments fléchissant maximaux transmis aux poutres lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans

hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive.

Les résultats obtenus montrent qu'à cause du tassement les moments fléchissant maximaux transmis aux poutres pour le bâtiment avec planchers en hourdis augmentent de 48.34% à 67.12% plus grands que les moments fléchissant maximaux transmis aux poutres pour le cas du bâtiment avec planchers sans hourdis selon le modèle d'étude.

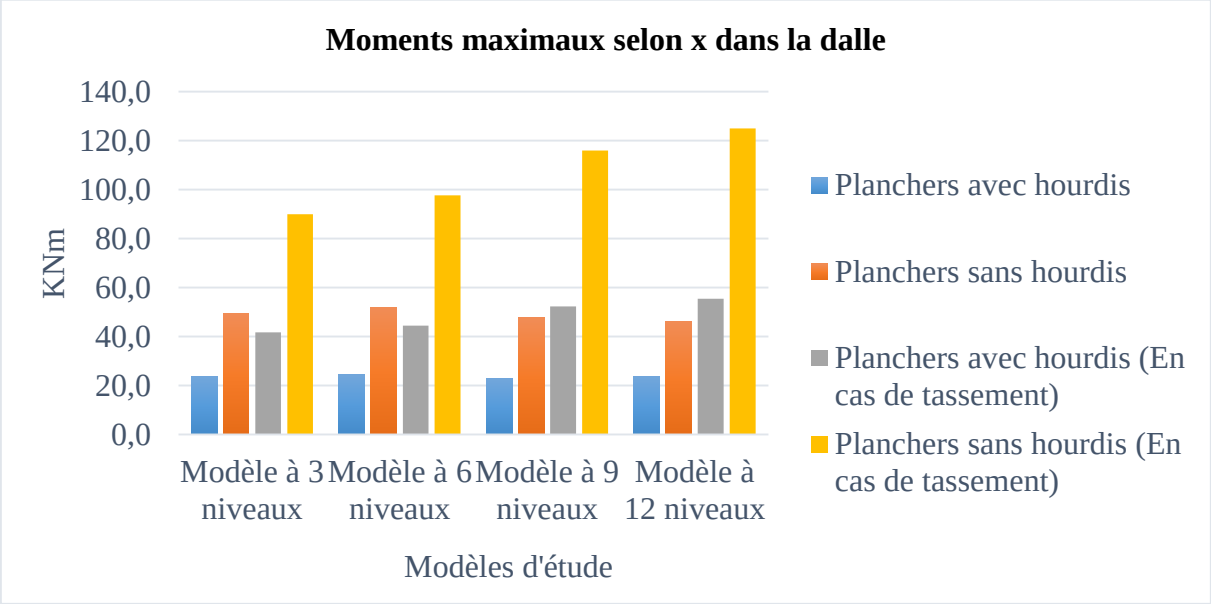



*Figure 98:Moments maximaux dans les dalles (sens x)*

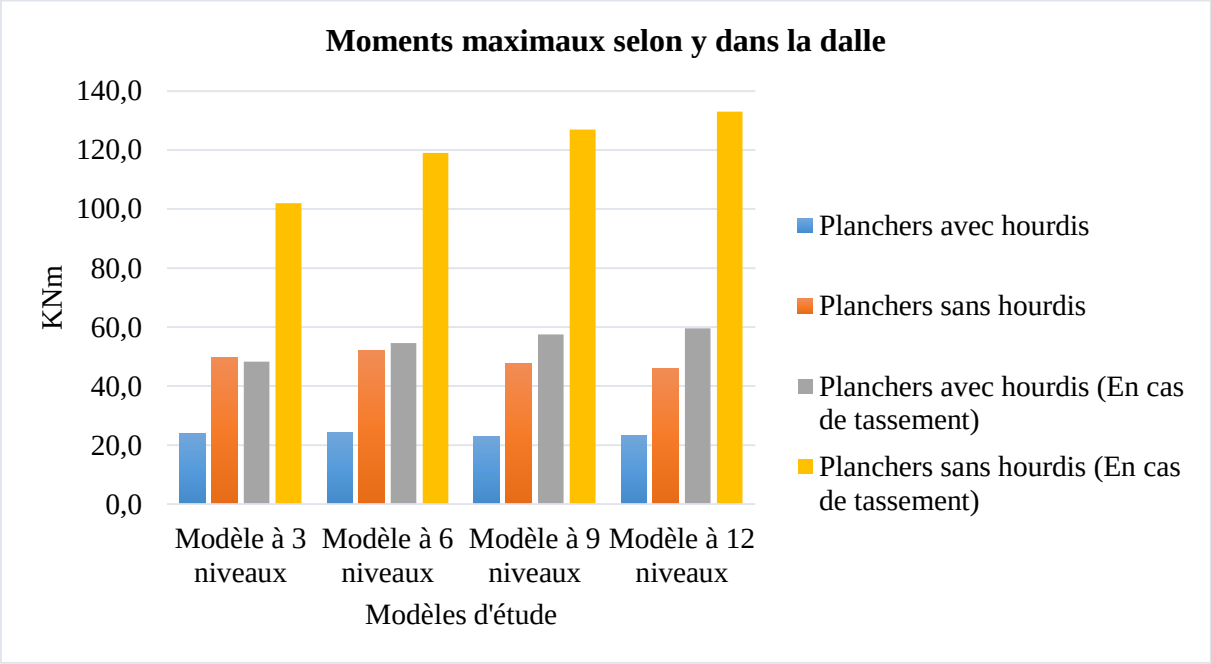
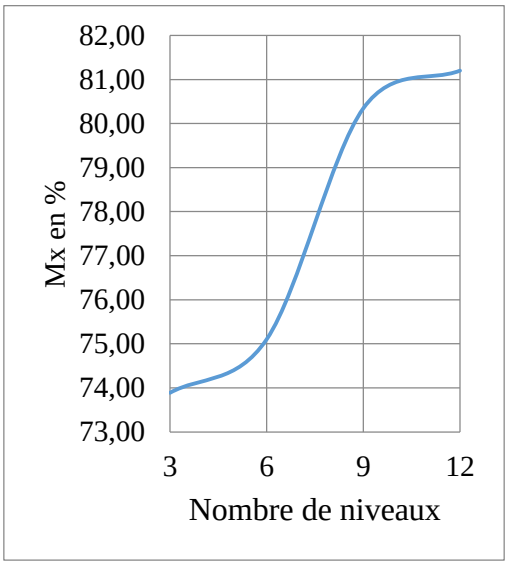
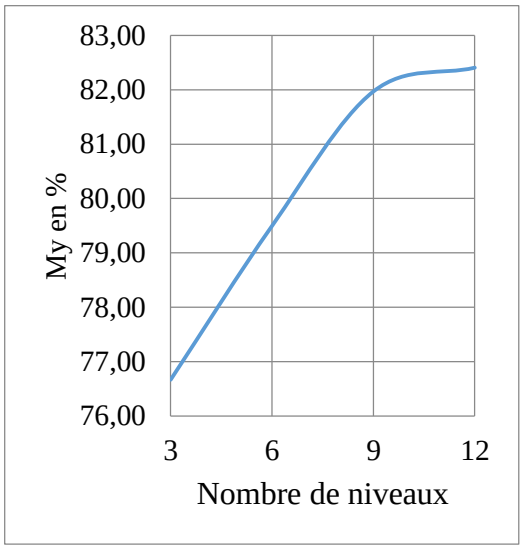



*Figure 99:Moments maximaux dans les dalles (sens-y)*




*(a)* *(b)*

*Figure 100:Variation de moments en pourcentage dans la dalles dans le sens x (a) et dans le sens y (b) selon le modèle d'étude*

Les figures ci-dessus (Fig. 100) représentent la variation des moments dans les dalles dans sens x et y lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive.

- Dans le sens de x les résultats obtenus montrent que suite au tassement les moments maximaux dans les dalles pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 73.89% à 81.20% plus grands que les moments maximaux dans les dalles pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.
- Dans le sens de y les résultats obtenus montrent que suite au tassement les moments maximaux dans les dalles pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 76.67% à 82.41% plus grands que les moments maximaux dans les dalles pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

## III.5. Variations des sollicitations selon les niveaux des structures en cas du tassement de 50mm du poteau de rive

Efforts normaux dans les poteaux

*Tableau 43:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 3 | 935,36 | 692,41 | 1073,890 | 796,660 |
| 2 | 2135,32 | 1577,46 | 2433,860 | 1799,180 |
| 1 | 3308,43 | 2427,52 | 3760,90 | 2765,32 |

*Tableau 44:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 6 | 915,644 | 678,096 | 1051,840 | 780,831 |
| 5 | 2076,740 | 1529,460 | 2375,500 | 1757,300 |
| 4 | 3252,810 | 2390,620 | 3709,520 | 2741,770 |
| 3 | 4439,680 | 3268,860 | 5062,400 | 3740,760 |
| 2 | 5653,670 | 4172,040 | 6444,200 | 4762,150 |
| 1 | 6910,17 | 5083,52 | 7860,66 | 5796,86 |

*Tableau 45:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 9 | 876,104 | 650,48 | 1007,52 | 749,402 |
| 8 | 1985,14 | 1463,82 | 2270,61 | 1682,88 |
| 7 | 3097,95 | 2286,00 | 3540,85 | 2621,79 |
| 6 | 4225,9 | 3115,38 | 4824,24 | 3570,93 |
| 5 | 5366,52 | 3960,89 | 6125,24 | 4533,72 |
| 4 | 6535,94 | 4820,91 | 7449,08 | 5514,23 |
| 3 | 7725,47 | 5702,19 | 8800,04 | 6515,77 |
| 2 | 8950,17 | 6613,02 | 10190,7 | 7548,31 |
| 1 | 10180,40 | 7524,18 | 11588,50 | 8585,16 |

*Tableau 46:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 12 | 838,374 | 620,123 | 966,33 | 715,65 |
| 11 | 1902,69 | 1400,26 | 2180,21 | 1608,84 |
| 10 | 2967,29 | 2181,86 | 3399,93 | 2506,42 |
| 9 | 4043,89 | 2971,93 | 4629,04 | 3411,16 |
| 8 | 5130,46 | 3771,95 | 5870,85 | 4325,57 |
| 7 | 6237,17 | 4581,54 | 7128,90 | 5252,34 |
| 6 | 7356,31 | 5407,39 | 8406,98 | 6194,36 |
| 5 | 8500,25 | 6247,29 | 9709,12 | 7154,71 |
| 4 | 9677,76 | 7109,29 | 11040,00 | 8136,98 |
| 3 | 10883,7 | 7990,79 | 12403,2 | 9143,79 |
| 2 | 12120,9 | 8910,7 | 13811,4 | 10185 |
| 1 | 13565,10 | 10014,67 | 15450,2 | 11435,10 |

**Graphique**

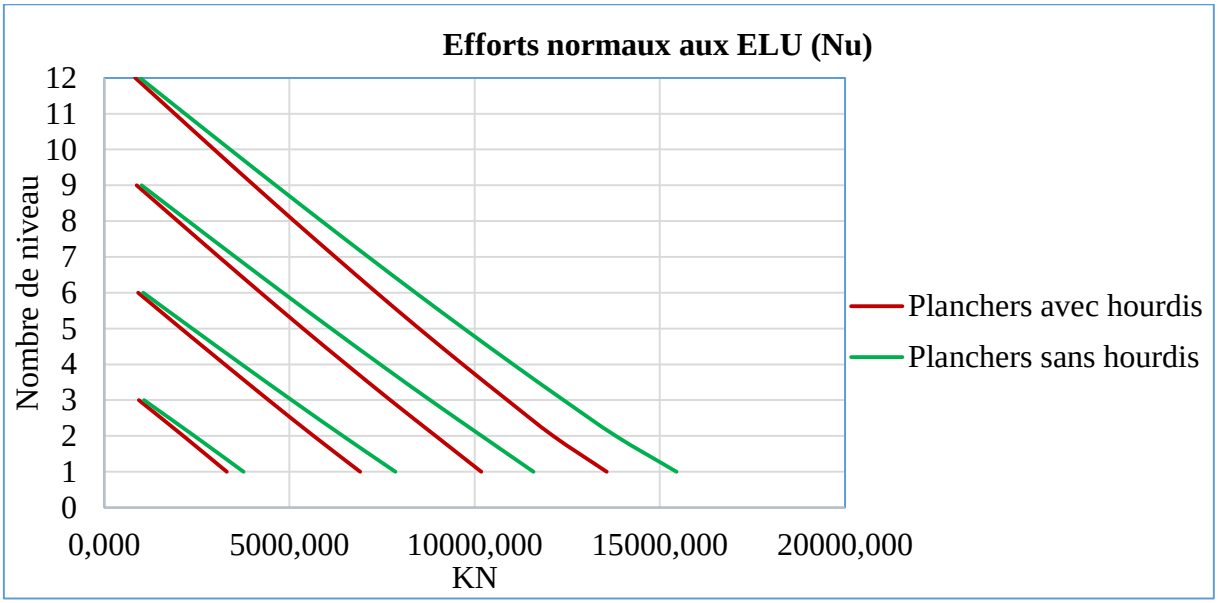



*Figure 101:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

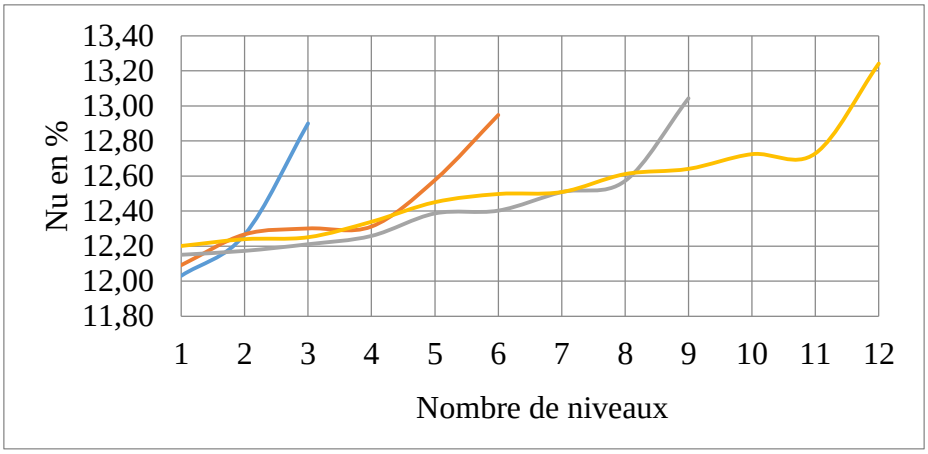



*Figure 102:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 102) représente la variation des efforts normaux aux ELU (Nu) transmis aux poteaux niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.03% à 12.90% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.09% à 12.95% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.15% à 13.04% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.20% à 13.24% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis.

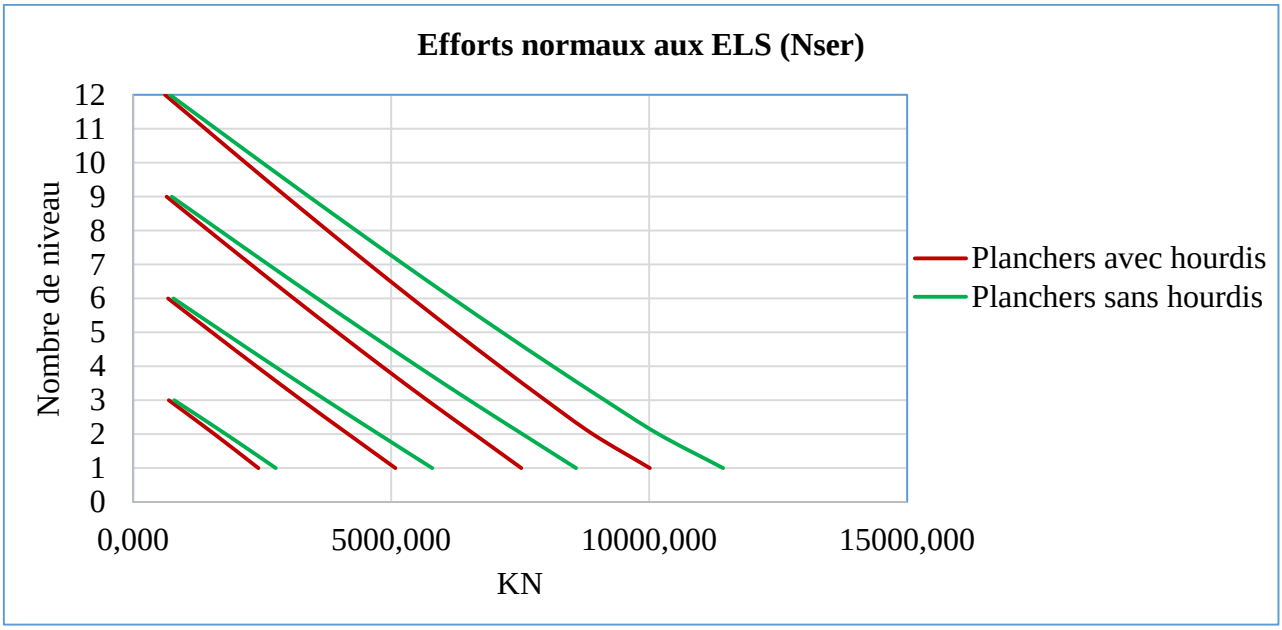



*Figure 103:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

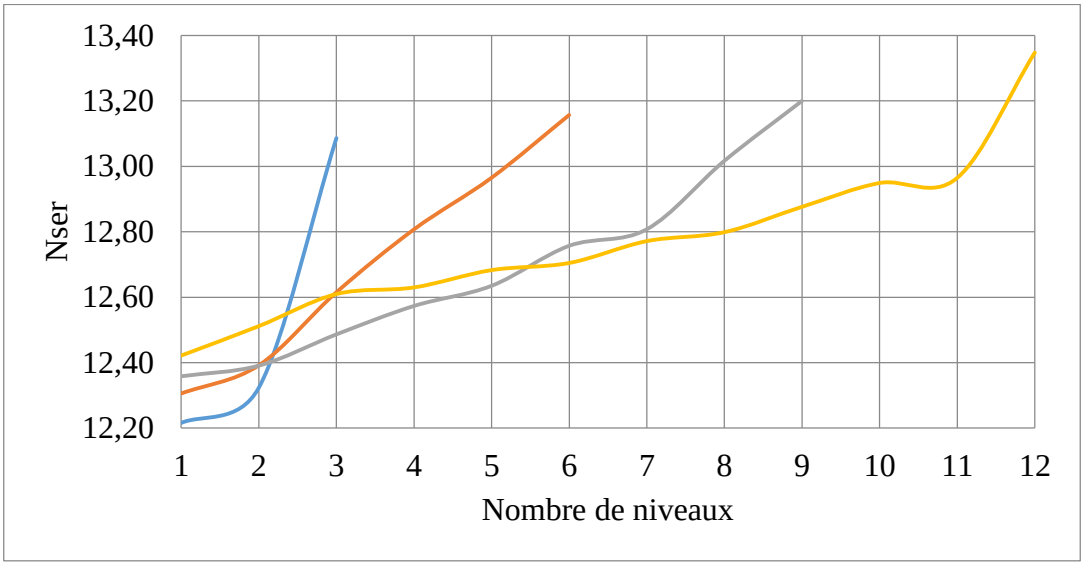



*Figure 104:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 104) représente la variation des efforts normaux aux ELS (Nser) transmis aux poteaux niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.22% à 13.09% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.31% à 13.16% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.36% à 13.20% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 12.42% à 13.35% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis.

Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres

*Tableau 47:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 3 | 270,176 | 490,471 | 290,258 | 451,544 |
| 2 | 369,414 | 629,349 | 394,919 | 574,916 |
| 1 | 358,938 | 616,375 | 385,631 | 569,376 |

*Tableau 48:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 6 | 302,939 | 548,934 | 343,072 | 511,976 |
| 5 | 405,940 | 695,582 | 460,927 | 652,005 |
| 4 | 404,092 | 694,162 | 458,943 | 652,673 |
| 3 | 409,783 | 709,249 | 467,884 | 670,667 |
| 2 | 419,209 | 732,442 | 481,728 | 697,577 |
| 1 | 409,875 | 724,278 | 473,365 | 694,487 |

*Tableau 49:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 9 | 313,168 | 559,042 | 356,338 | 516,602 |
| 8 | 404,554 | 683,357 | 459,761 | 636,401 |
| 7 | 402,323 | 680,245 | 456,612 | 633,856 |
| 6 | 407,453 | 692,565 | 464,575 | 648,294 |
| 5 | 413,259 | 706,951 | 473,526 | 665,242 |
| 4 | 420,882 | 725,696 | 485,341 | 684,438 |
| 3 | 429,815 | 748,038 | 499,389 | 714,033 |
| 2 | 444,877 | 782,314 | 521,986 | 754,048 |
| 1 | 440,777 | 784,848 | 519,819 | 759,783 |

*Tableau 50:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 12 | 306,426 | 537,035 | 348,400 | 494,414 |
| 11 | 389,540 | 645,368 | 440,578 | 598,159 |
| 10 | 387,800 | 642,780 | 437,751 | 595,447 |
| 9 | 391,825 | 652,312 | 444,082 | 606,677 |
| 8 | 396,406 | 663,441 | 451,042 | 619,549 |
| 7 | 402,321 | 677,776 | 460,153 | 636,305 |
| 6 | 409,528 | 695,244 | 471,282 | 656,787 |
| 5 | 418,107 | 716,040 | 484,596 | 681,287 |
| 4 | 428,248 | 740,519 | 500,397 | 710,291 |
| 3 | 439,664 | 768,382 | 518,290 | 743,284 |
| 2 | 457,265 | 808,099 | 545,460 | 790,461 |
| 1 | 458,199 | 820,458 | 549,815 | 805,917 |

**Graphiques**

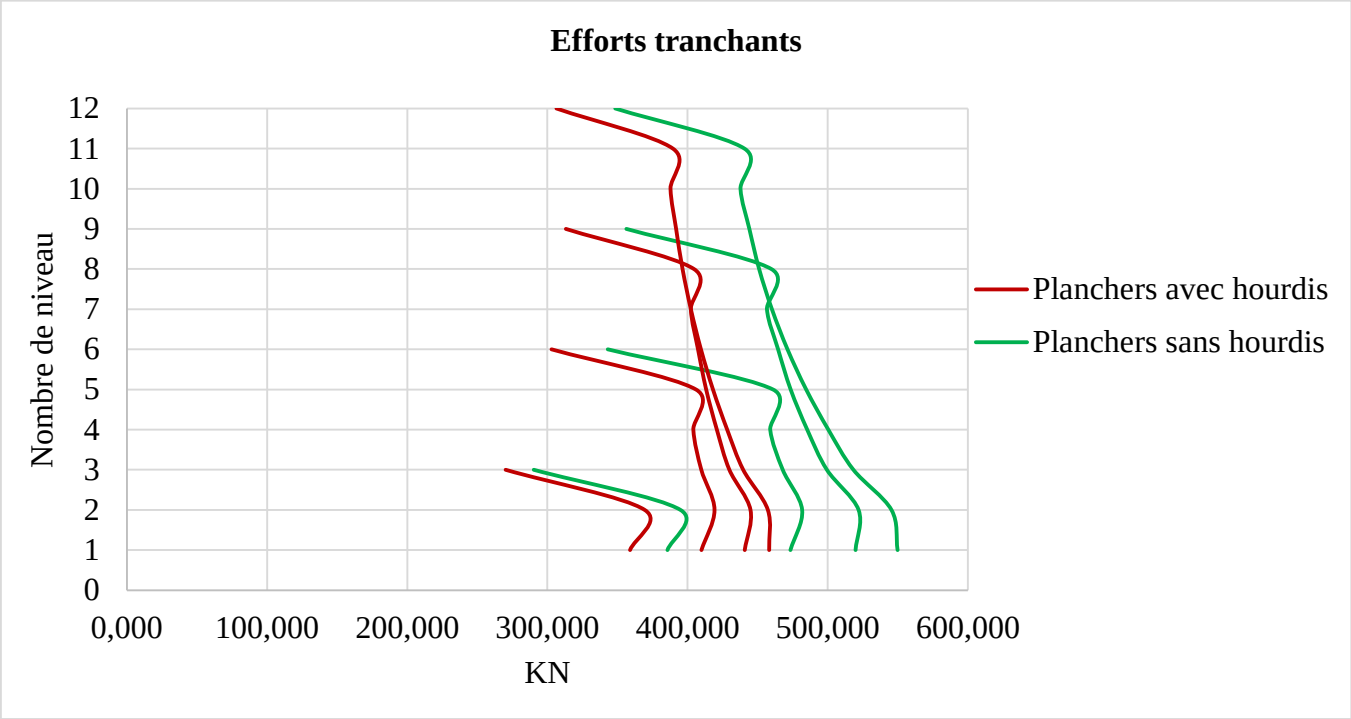



*Figure 105:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-haut (Fig. 105) montre la variation des efforts tranchants transmis aux poutres niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2$^{eme}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 6.46% par rapport aux efforts tranchants du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2$^{eme}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 12.98% par rapport aux efforts tranchants du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2$^{ème}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 14.77% par rapport aux efforts tranchants du bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 16.66% par rapport aux efforts tranchants du bâtiment avec planchers en hourdis.

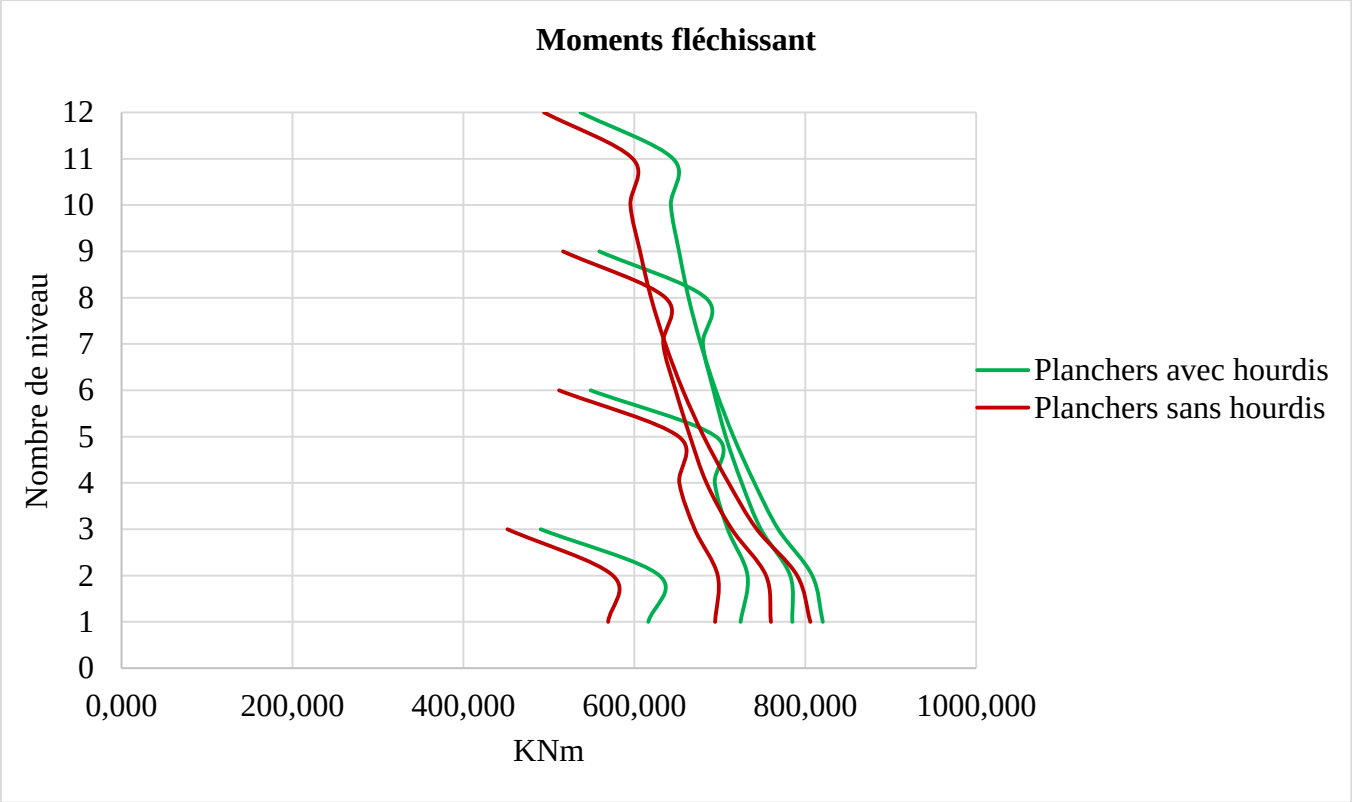



*Figure 106:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-haut (Fig. 106) montre la variation des moments fléchissant transmis aux poutres niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis ont une augmentation de 8.65% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments

fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis une augmentation de 4.76% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis ont une augmentation de 3.19% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis une augmentation de 1.77% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis.

Les moments dans les dalles

*Tableau 51:Les moments dans les dalles du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 3 | 33,10 | 38,6 | 72,2 | 82 |
| 2 | 41,7 | 48,3 | 90,0 | 102 |
| 1 | 41,0 | 47,8 | 89,6 | 102 |

*Tableau 52:Les moments dans les dalles du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 6 | 30,7 | 41,9 | 64,8 | 88,9 |
| 5 | 39,9 | 51,8 | 83,9 | 110 |
| 4 | 40,4 | 51,8 | 85,7 | 111 |
| 3 | 41,9 | 52,9 | 89,7 | 114 |
| 2 | 44,1 | 54,6 | 95,5 | 119 |
| 1 | 44,4 | 54,4 | 97,6 | 119 |

*Tableau 53:Les moments dans les dalles du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 9 | 33,9 | 41,4 | 70,5 | 86,6 |
| 8 | 43,4 | 49,7 | 90,6 | 104 |
| 7 | 43,2 | 49,6 | 90,6 | 104 |
| 6 | 44,2 | 50,5 | 93,3 | 107 |
| 5 | 45,5 | 51,5 | 96,7 | 110 |
| 4 | 47,1 | 52,9 | 101 | 113 |
| 3 | 49,1 | 54,6 | 106 | 118 |
| 2 | 51,8 | 57,0 | 114 | 125 |
| 1 | 52,3 | 57,5 | 116 | 127 |

*Tableau 54:Les moments dans les dalles du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 12 | 33,2 | 39,3 | 68,7 | 81,5 |
| 11 | 41,7 | 46,5 | 86,8 | 96,8 |
| 10 | 41,4 | 46,5 | 86,3 | 96,7 |
| 9 | 42,2 | 47,1 | 88,4 | 98,6 |
| 8 | 43,1 | 48,0 | 90,8 | 101 |
| 7 | 44,3 | 49,0 | 93,9 | 104 |
| 6 | 45,7 | 50,3 | 97,7 | 107 |
| 5 | 47,4 | 51,8 | 102 | 111 |
| 4 | 49,4 | 53,6 | 108 | 116 |
| 3 | 51,7 | 55,6 | 114 | 122 |
| 2 | 54,6 | 58,4 | 122 | 129 |
| 1 | 55,5 | 59,6 | 125 | 133 |

**Graphiques**

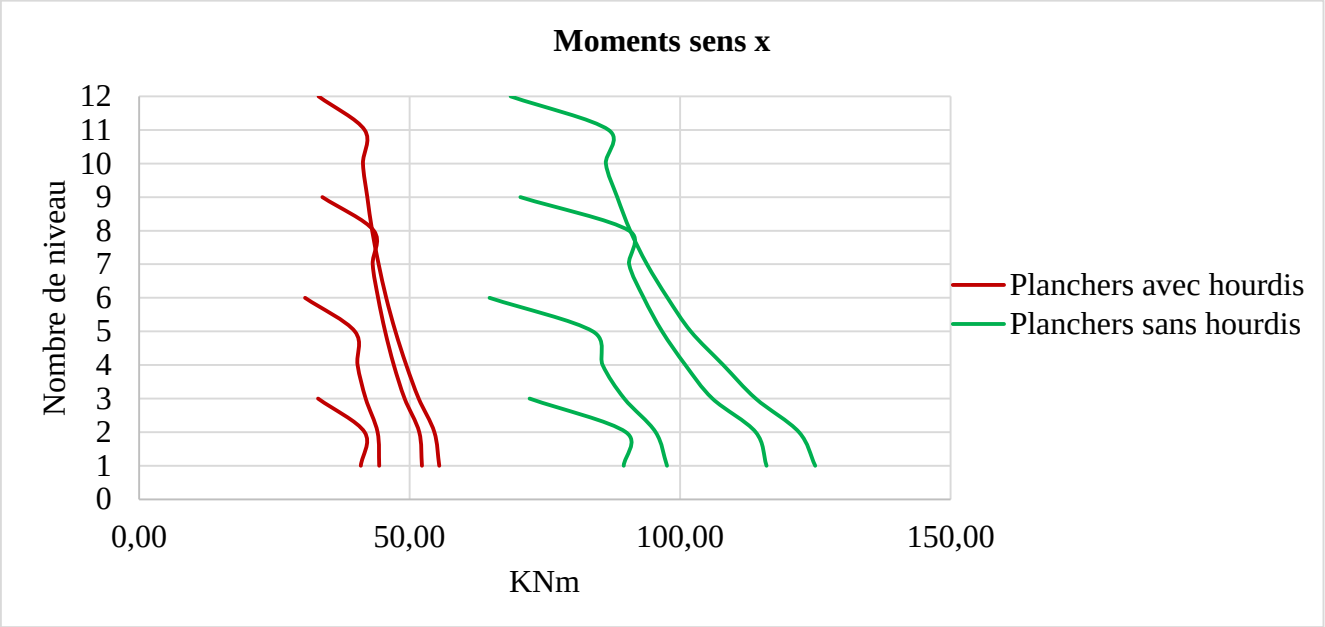



*Figure 107:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

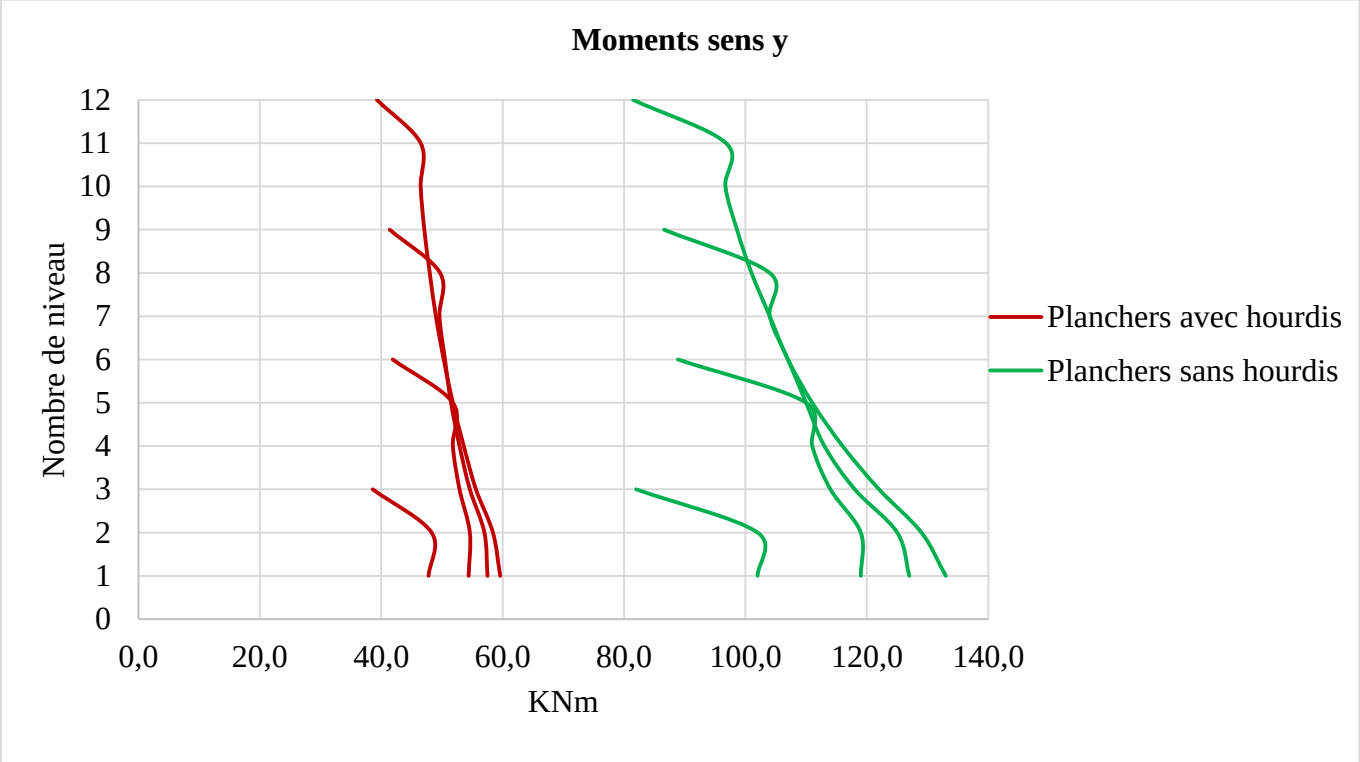



*Figure 108:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

Les figures ci-haut (Fig. 107 & 108) montrent la variation des moments dans les dalles niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau de rive. Les résultats obtenus montrent que :

- Dans le sens de x :
  - Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 53.67% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.51% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.91% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.60% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis.
- Dans le sens de y :
  - Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 52.65% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 2eme niveau pour le bâtiment avec planchers sans hourdis et sur le 2ème niveau pour le bâtiment avec planchers en hourdis; alors on remarque que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.12% par rapport aux moments le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments

pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.72% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.19% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis.

## III.6. Résultats des sollicitations en cas du tassement de 50mm du poteau intermédiaire

*Tableau 55:Efforts normaux maximaux dans les poteaux*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| Modèle à 3 niveaux | 3529,66 | 2617,85 | 4105,10 | 3056,23 |
| Modèle à 6 niveaux | 7371,49 | 5458,70 | 8595,98 | 6393,70 |
| Modèle à 9 niveaux | 10872,20 | 8044,68 | 12702,40 | 9441,00 |
| Modèle à 12 niveaux | 14531,40 | 10706,10 | 16998,0 | 12601,70 |

*Tableau 56:Les efforts tranchants et moments fléchissant maximaux dans les poutres*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 413,372 | 719,836 | 453,326 | 671,441 |
| Modèle à 6 niveaux | 472,349 | 843,679 | 561,352 | 823,721 |
| Modèle à 9 niveaux | 519,254 | 882,435 | 678,880 | 882,333 |
| Modèle à 12 niveaux | 554,679 | 908,081 | 741,191 | 907,129 |

*Tableau 57:Les moments maximaux dans les dalles*

| Type de Modèle | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| Modèle à 3 niveaux | 51,5 | 55,1 | 110,0 | 119 |
| Modèle à 6 niveaux | 58,7 | 62,4 | 128,0 | 138 |
| Modèle à 9 niveaux | 62,0 | 63,9 | 139 | 145 |
| Modèle à 12 niveaux | 63,8 | 65,3 | 143 | 147 |

**Les graphiques de comparaison**

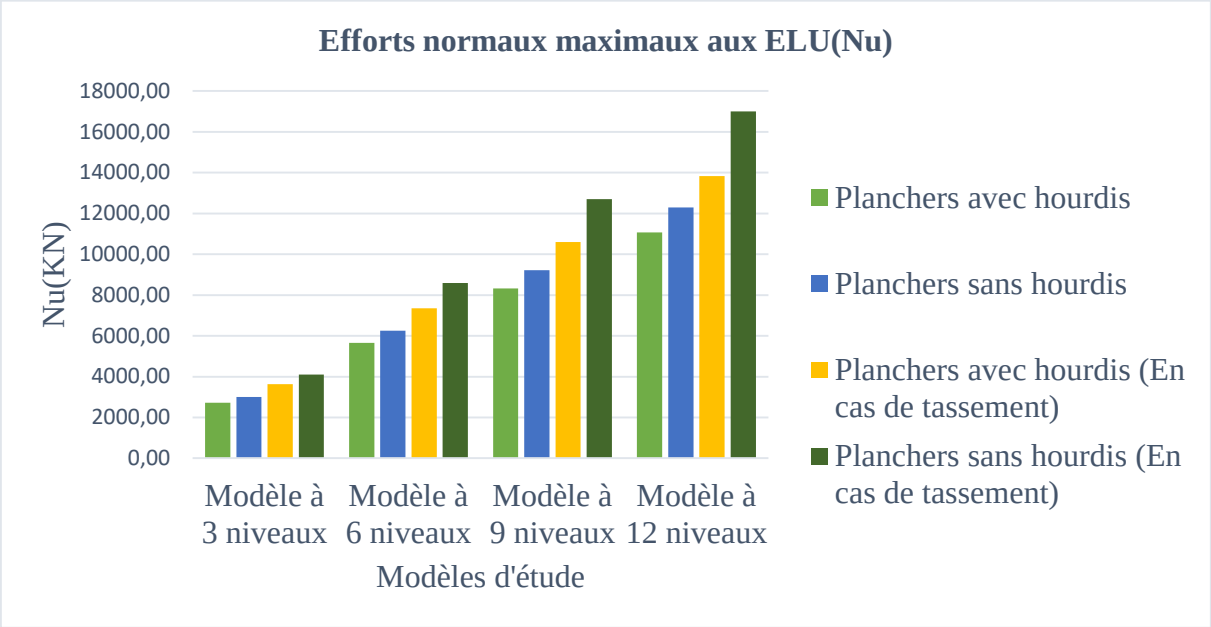



*Figure 109:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux*

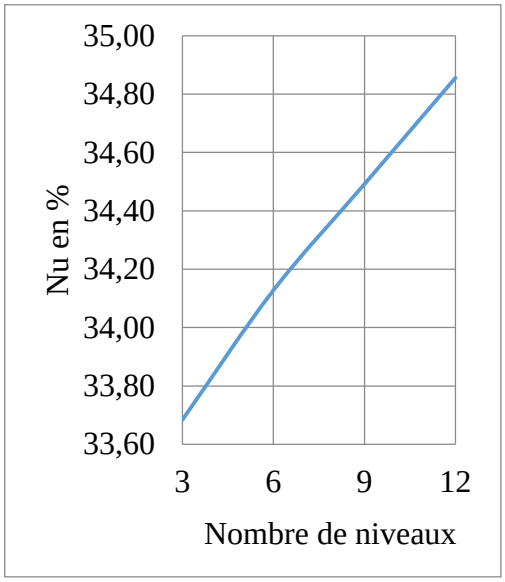



*Figure 110:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 110) nous montre les efforts normaux maximaux aux ELU (Nu) transmis aux poteaux. Les efforts représentés sont les résultats trouvés au moment de calcul de Nu lorsqu'on a les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le poteau intermédiaire du bâtiment a tassé.

Après les résultats obtenus nous pouvons conclure que les planchers sans hourdis après le tassement transmettent autant d'efforts normaux maximaux (Nu) aux poteaux du 1$^{er}$ niveau que

ceux des planchers en hourdis. Après le tassement les efforts normaux aux ELU transmis par les planchers sans hourdis varient entre 33.68% et 34.86% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

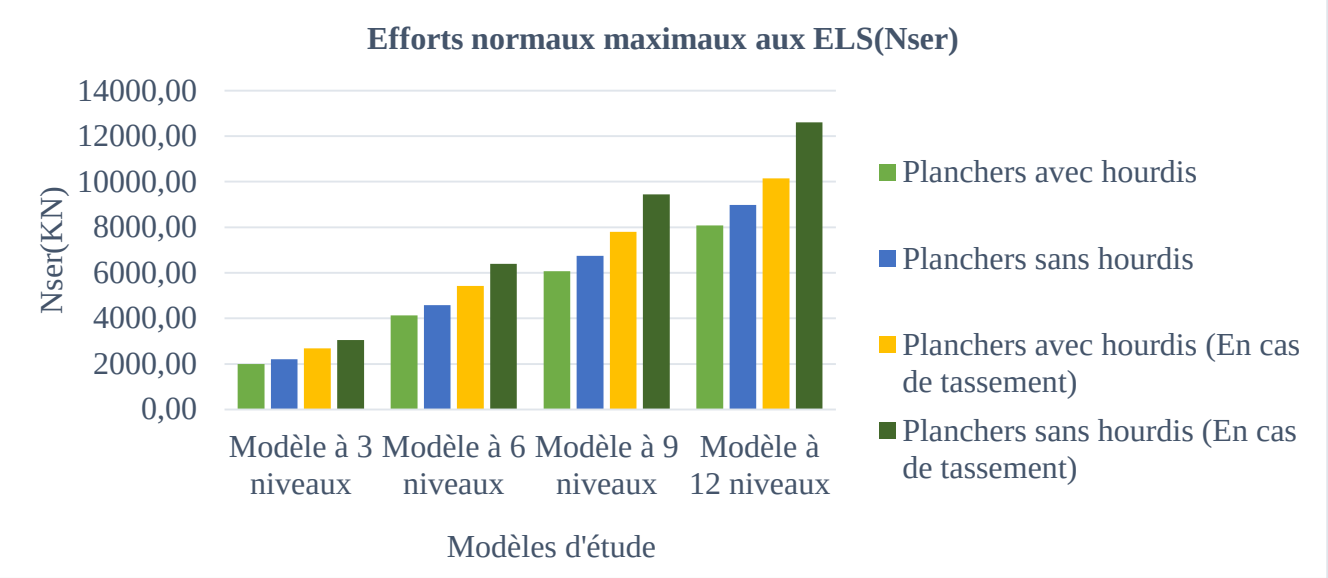



*Figure 111:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux*

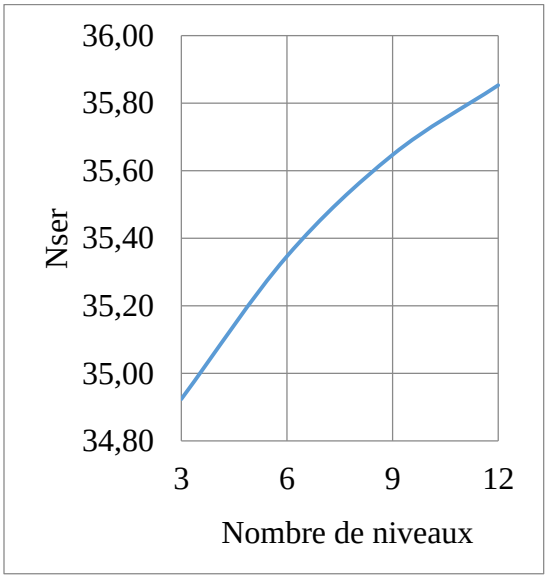



*Figure 112:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude*

Les efforts normaux maximaux aux ELS (Nser) transmis aux poteaux sont représentés sur la figure ci-dessus (Fig. 112). Les efforts représentés sont les résultats trouvés au moment de calcul de Nser lorsqu'on a les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le poteau intermédiaire du bâtiment a tassé.

Après l'analyse des résultats obtenus nous pouvons conclure que les planchers sans hourdis après le tassement transmettent autant d'efforts normaux maximaux (Nser) aux poteaux du 1er niveau que ceux des planchers en hourdis. Après le tassement selon le modèle d'étude, les efforts normaux aux ELS transmis par les planchers sans hourdis varient entre 34.92% et 35.85% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis.

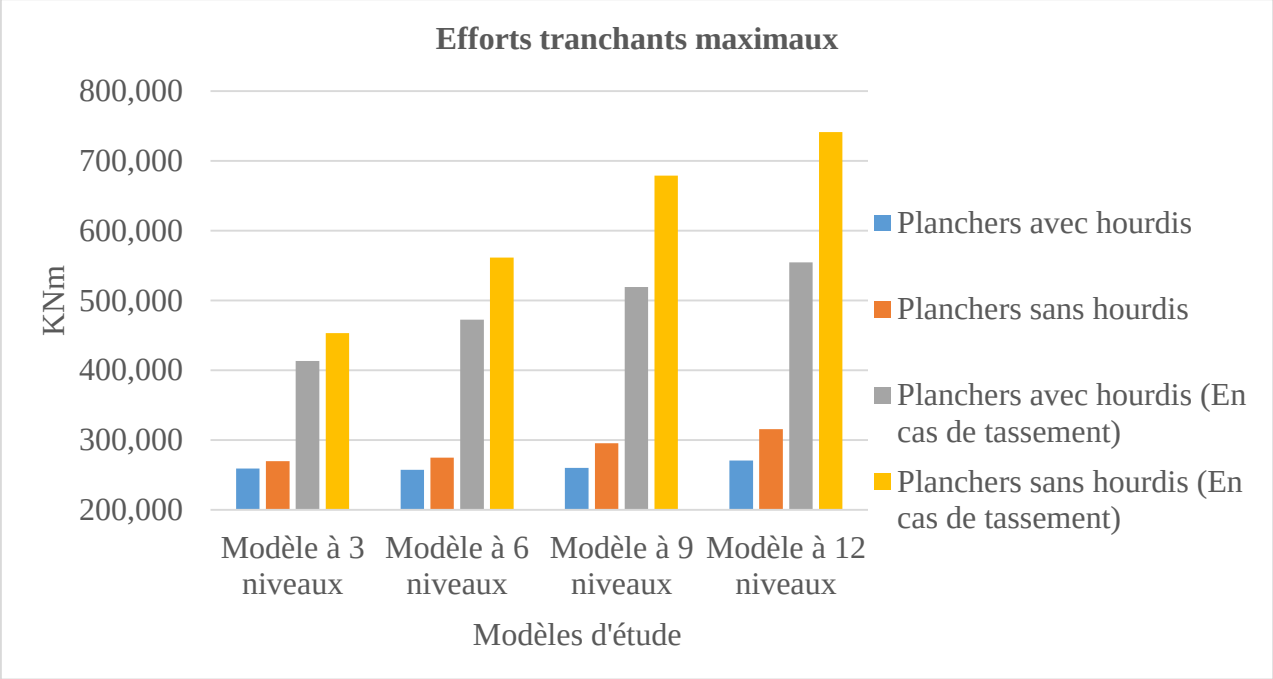



*Figure 113:Efforts tranchants maximaux dans les poutres*

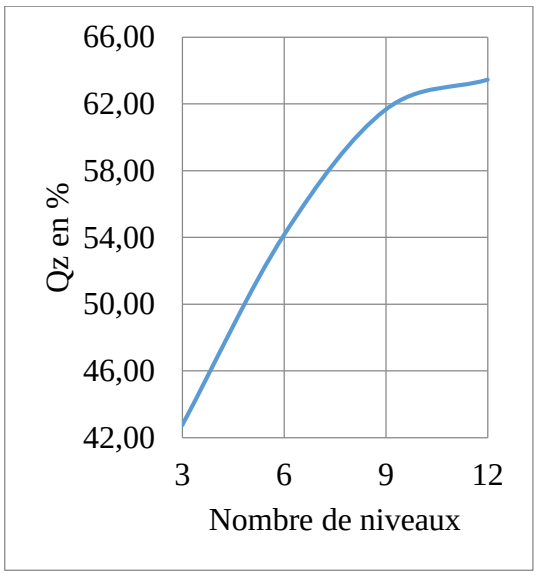



*Figure 114:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude*

Le graphique ci-dessus (Fig. 114) représente la variation des efforts tranchants maximaux transmis aux poutres lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans

hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure en disant qu'à cause du tassement les efforts tranchants maximaux transmis aux poutres pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 42.75% à 63.44% plus grands que les efforts tranchants maximaux transmis aux poutres pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

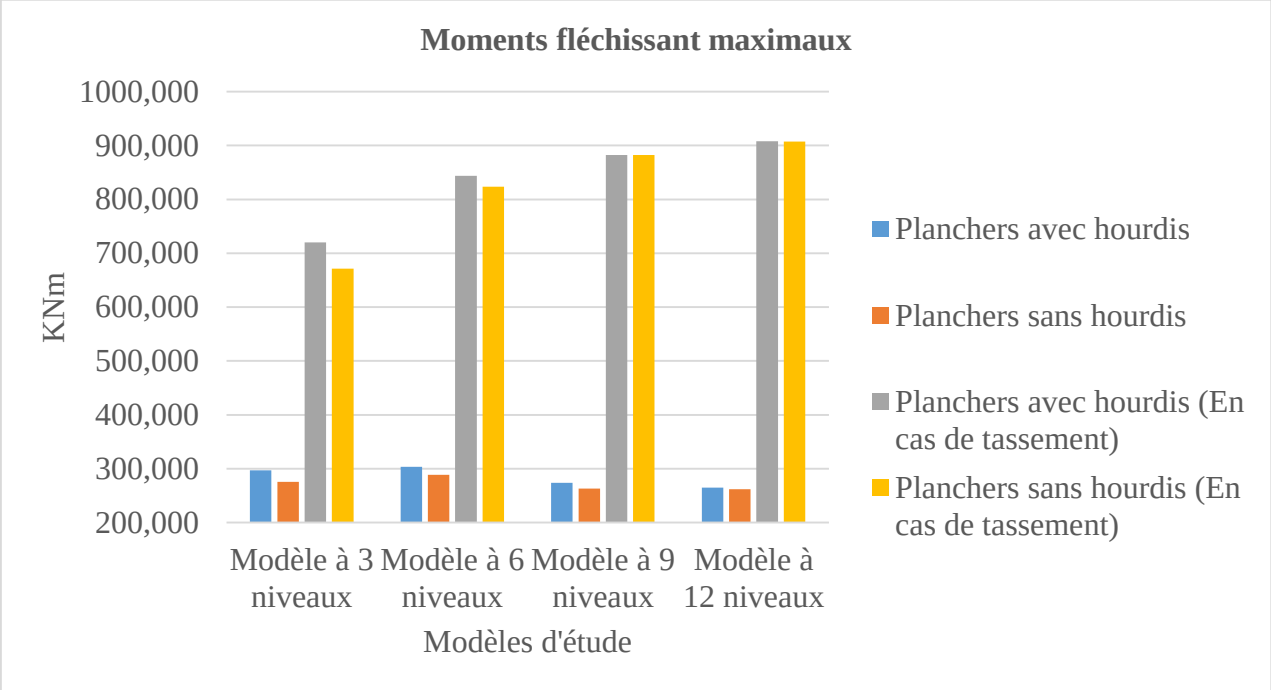



*Figure 115:Moments fléchissant maximaux dans les poutres*

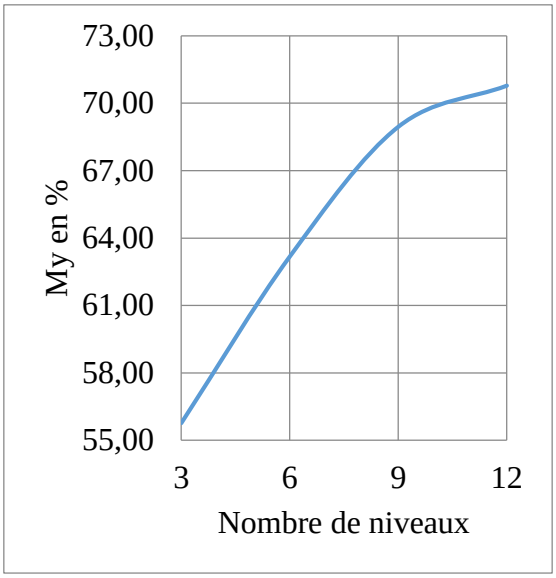



*Figure 116:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 116) représente la variation des moments fléchissant maximaux transmis aux poutres lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire.

Les résultats obtenus montrent qu'à cause du tassement les moments fléchissant maximaux transmis aux poutres pour le bâtiment avec planchers en hourdis augmentent de 55.77% à 70.79% plus grands que les moments fléchissant maximaux transmis aux poutres pour le cas du bâtiment avec planchers sans hourdis selon le modèle d'étude.

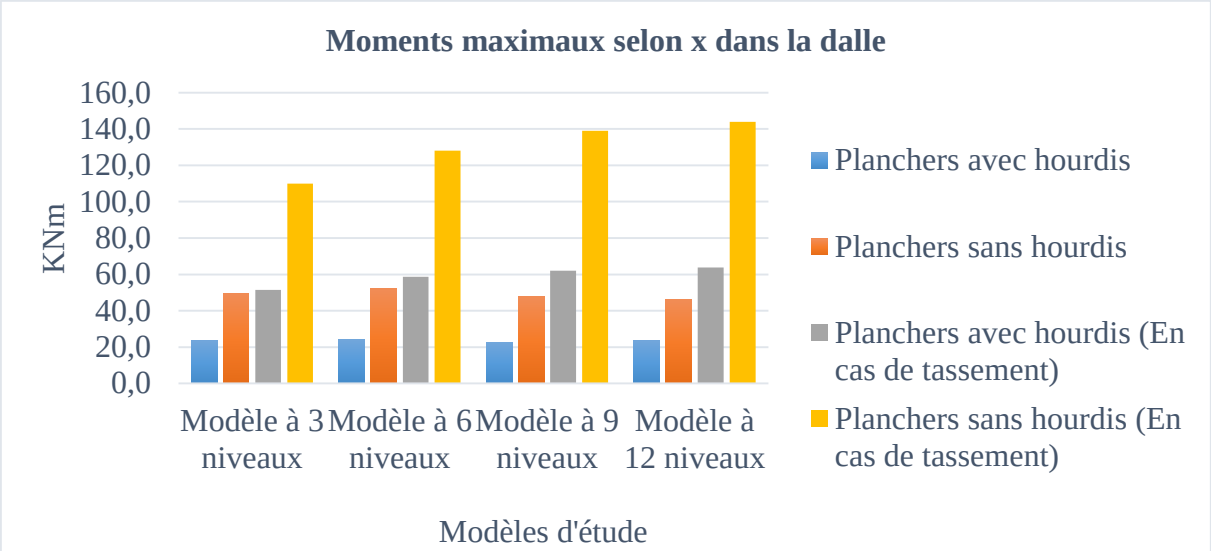



*Figure 117:Moments maximaux dans les dalles (sens x)*

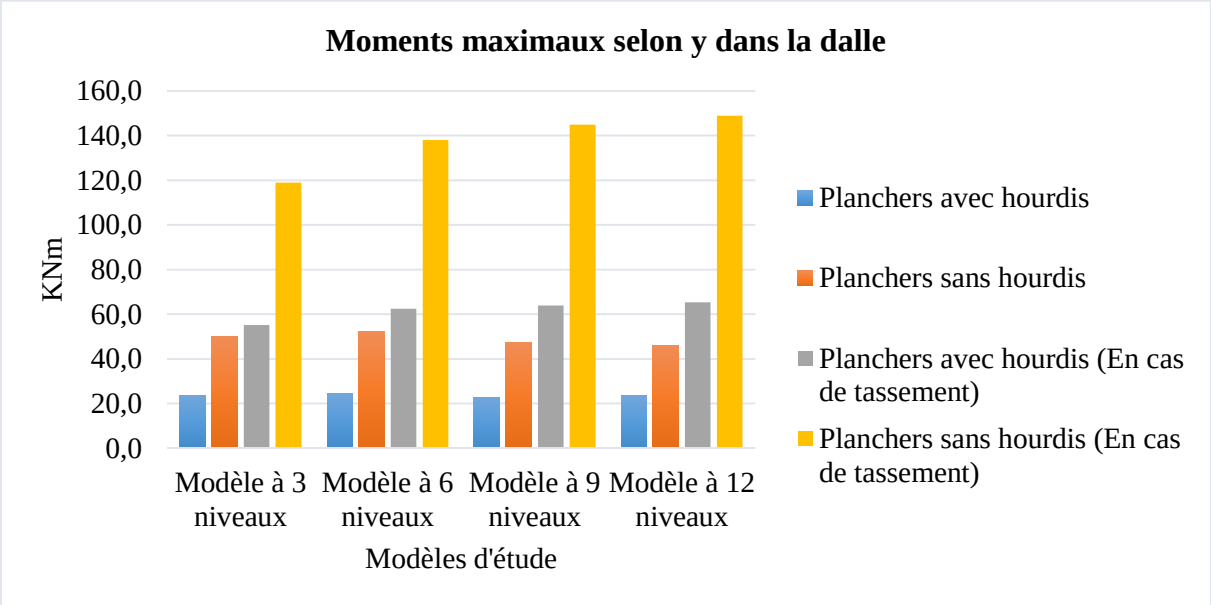
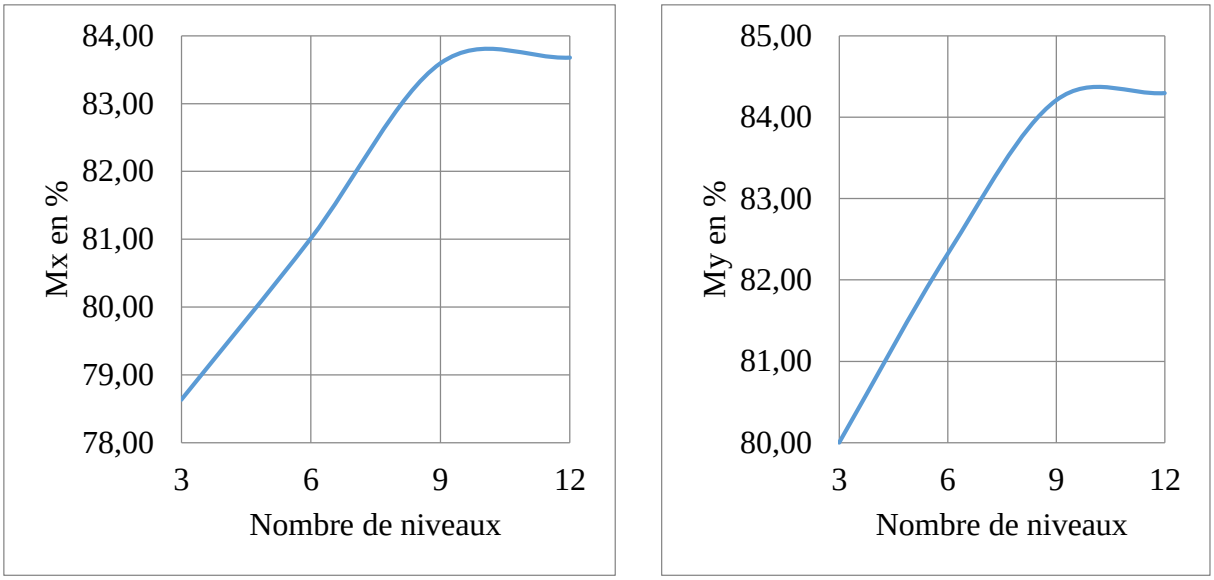



*Figure 118:Moments maximaux dans les dalles (sens-y)*




*(a)* *(b)*

*Figure 119:Variation de moments en pourcentage dans la dalles dans le sens x (a) et dans le sens y (b) selon le modèle d'étude*

Les graphiques ci-dessus (Fig. 119) représentent la variation des moments dans les dalles dans sens x et y lorsqu'on a un bâtiment avec les planchers en hourdis et les planchers sans hourdis et dans le cas où le bâtiment est à l'état normal et dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire.

- Dans le sens de x les résultats obtenus montrent que suite au tassement les moments maximaux dans les dalles pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 78.64% à 83.57% plus grands que les moments maximaux dans les dalles pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.
- Dans le sens de y les résultats obtenus montrent que suite au tassement les moments maximaux dans les dalles pour le bâtiment avec planchers sans hourdis augmentent de 80% à 84.08% plus grands que les moments maximaux dans les dalles pour le cas du bâtiment avec planchers en hourdis selon le modèle d'étude.

## III.7. Variations des sollicitations selon les niveaux des structures en cas du tassement de 50mm du poteau intermédiaire

Efforts normaux dans les poteaux

*Tableau 58:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 3 | 1043,20 | 783,958 | 1220,990 | 919,205 |
| 2 | 2325,53 | 1736,66 | 2710,000 | 2030,940 |
| 1 | 3529,66 | 2617,85 | 4105,10 | 3056,23 |

*Tableau 59:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 6 | 1002,920 | 751,156 | 1175,690 | 882,635 |
| 5 | 2211,950 | 1649,540 | 2590,420 | 1935,670 |
| 4 | 3438,960 | 2559,540 | 4023,570 | 3003,240 |
| 3 | 4692,770 | 3491,760 | 5484,130 | 4092,460 |
| 2 | 5975,580 | 4448,440 | 6981,310 | 5210,660 |
| 1 | 7371,49 | 5458,70 | 8595,98 | 6393,70 |

*Tableau 60:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 9 | 920,815 | 688,443 | 1082,15 | 810,267 |
| 8 | 2029,05 | 1509,02 | 2383,19 | 1775,95 |
| 7 | 3154,87 | 2341,44 | 3699,73 | 2753,71 |
| 6 | 4291,64 | 3184,65 | 5032,21 | 3744,02 |
| 5 | 5453,12 | 4043,49 | 6387,26 | 4752,07 |
| 4 | 6639,63 | 4922,47 | 7771,01 | 5782,70 |
| 3 | 7855,94 | 5824,46 | 9190,47 | 6841,39 |
| 2 | 9114,69 | 6758,49 | 10651,5 | 7932,9 |
| 1 | 10872,20 | 8044,68 | 12702,40 | 9441,00 |

*Tableau 61:Efforts normaux dans les poteaux du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Nu(KN) | Nser(KN) | Nu(KN) | Nser(KN) |
| 12 | 856,164 | 631,735 | 1008,03 | 749,48 |
| 11 | 1899,1 | 1395,63 | 2233,15 | 1653,16 |
| 10 | 2952,84 | 2168,66 | 3471,08 | 2566,62 |
| 9 | 4015,64 | 2948,44 | 4719,52 | 3488,21 |
| 8 | 5091,79 | 3738,21 | 5983,51 | 4421,78 |
| 7 | 6185,65 | 4542,72 | 7267,08 | 5370,44 |
| 6 | 7303,83 | 5363,92 | 8574,78 | 6337,71 |
| 5 | 8445,07 | 6211,86 | 9911,48 | 7327,34 |
| 4 | 9614,20 | 7081,69 | 11282,50 | 8343,41 |
| 3 | 10824,7 | 7974,86 | 12693,8 | 9390,57 |
| 2 | 12072,7 | 8895,2 | 14150,5 | 10472,8 |
| 1 | 14531,40 | 10706,10 | 16998,0 | 12601,70 |

**Graphique**

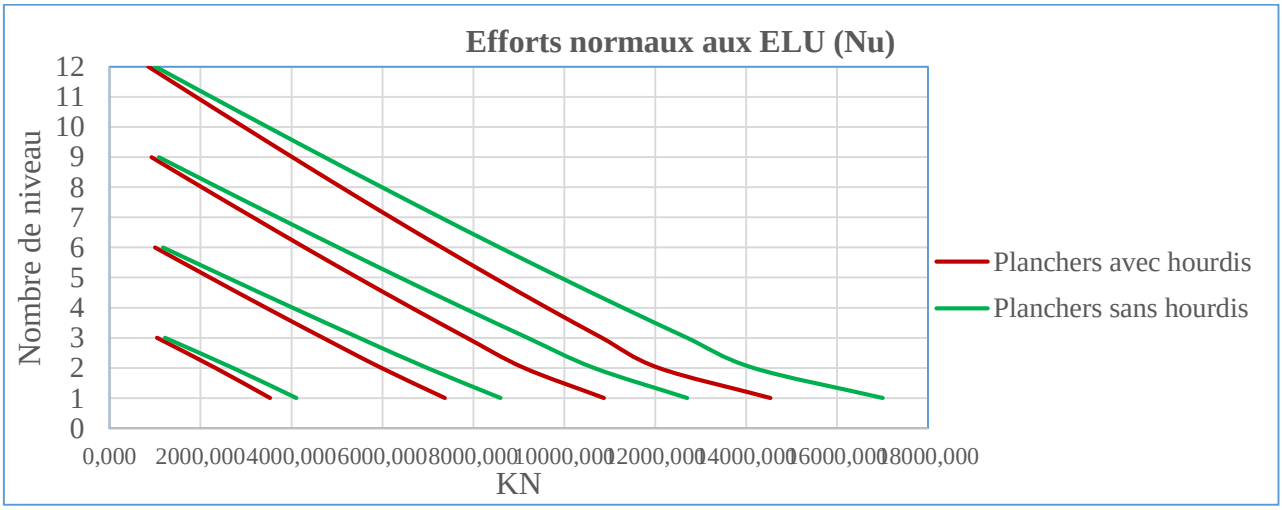



*Figure 120:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

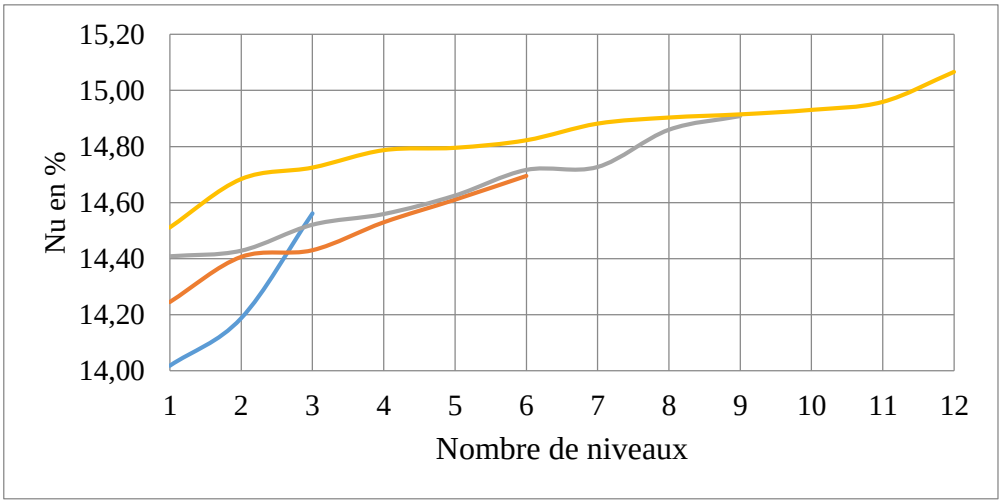



*Figure 121:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 121) représente la variation des efforts normaux aux ELU (Nu) transmis aux poteaux niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.02% à 14.56% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.24% à 14.70% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.41% à 14.91% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, les efforts normaux aux ELU (Nu) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.51% à 15.07% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis.

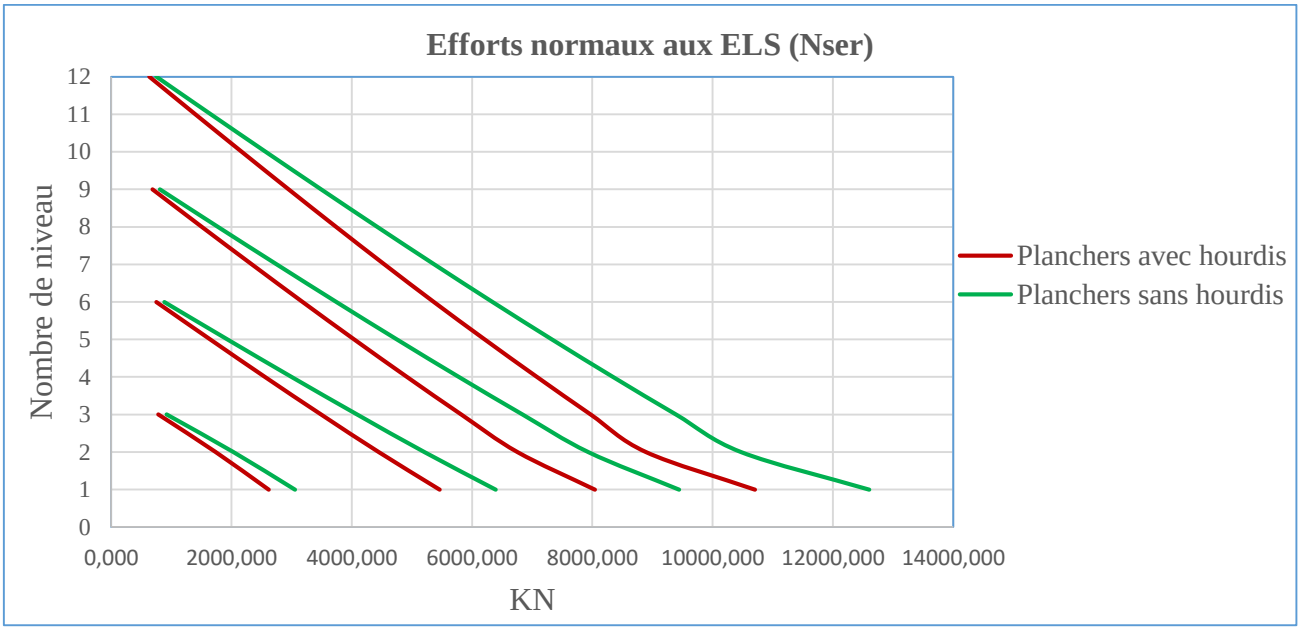



*Figure 122:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

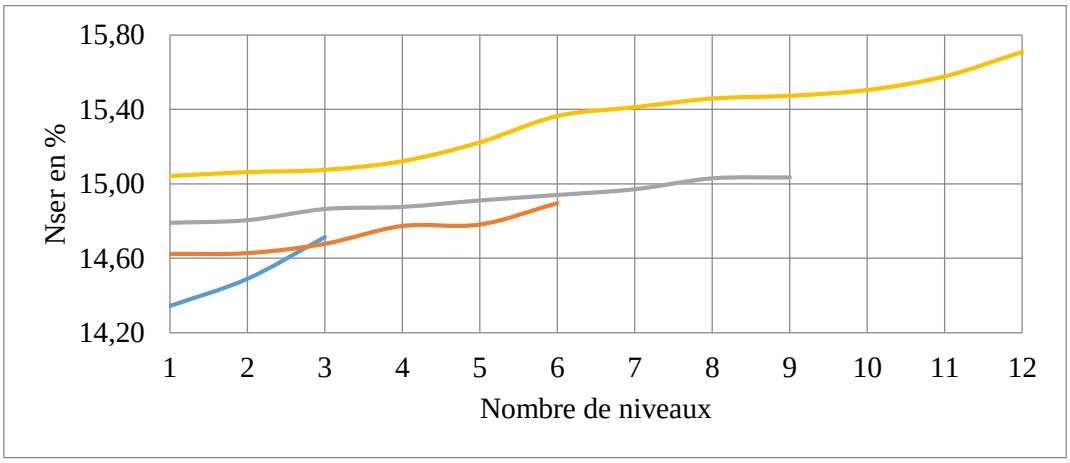



*Figure 123:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-dessus (Fig. 123) représente la variation des efforts normaux aux ELS (Nser) transmis aux poteaux niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.34% à 14.71% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.62% à 14.90% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 14.79% à 15.04% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, les efforts normaux aux ELS (Nser) suivant les niveaux du bâtiment avec planchers sans hourdis varient entre 15.04% à 15.71% plus grands que ceux du bâtiment avec planchers en hourdis.

Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres

*Tableau 62:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 3 | 321,291 | 581,133 | 347,228 | 531,854 |
| 2 | 413,004 | 715,469 | 451,441 | 658,225 |
| 1 | 413,372 | 719,836 | 453,326 | 671,441 |

*Tableau 63:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 6 | 353,465 | 645,488 | 401,694 | 597,424 |
| 5 | 443,454 | 773,491 | 511,648 | 726,488 |
| 4 | 443,801 | 775,320 | 512,790 | 731,782 |
| 3 | 452,836 | 796,367 | 528,322 | 759,243 |
| 2 | 465,206 | 825,055 | 550,275 | 797,667 |
| 1 | 472,349 | 843,679 | 561,352 | 823,721 |

*Tableau 64:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 9 | 352,209 | 637,385 | 414,375 | 590,722 |
| 8 | 473,477 | 743,196 | 588,075 | 697,071 |
| 7 | 466,153 | 743,299 | 577,311 | 697,920 |
| 6 | 473,481 | 757,364 | 590,640 | 716,219 |
| 5 | 480,708 | 774,223 | 604,503 | 738,249 |
| 4 | 490,530 | 796,037 | 623,274 | 766,981 |
| 3 | 501,870 | 822,316 | 645,187 | 801,700 |
| 2 | 519,254 | 855,576 | 678,880 | 846,491 |
| 1 | 517,612 | 882,435 | 676,349 | 882,333 |

*Tableau 65:Les efforts tranchants et moments fléchissant dans les poutres du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Qz(KN) | My(KNm) | Qz(KN) | My(KNm) |
| 12 | 355,498 | 600,678 | 429,708 | 543,184 |
| 11 | 471,410 | 695,268 | 582,357 | 657,357 |
| 10 | 464,957 | 695,361 | 571,879 | 641,222 |
| 9 | 470,808 | 705,923 | 582,476 | 656,457 |
| 8 | 476,329 | 718,690 | 592,639 | 670,749 |
| 7 | 483,979 | 735,085 | 606,443 | 690,225 |
| 6 | 492,876 | 755,028 | 623,337 | 714,027 |
| 5 | 503,701 | 778,708 | 643,631 | 742,587 |
| 4 | 516,479 | 806,353 | 667,830 | 776,632 |
| 3 | 530,675 | 837,932 | 694,859 | 815,800 |
| 2 | 550,049 | 875,370 | 732,604 | 867,938 |
| 1 | 554,679 | 908,081 | 741,191 | 907,129 |

**Graphiques**

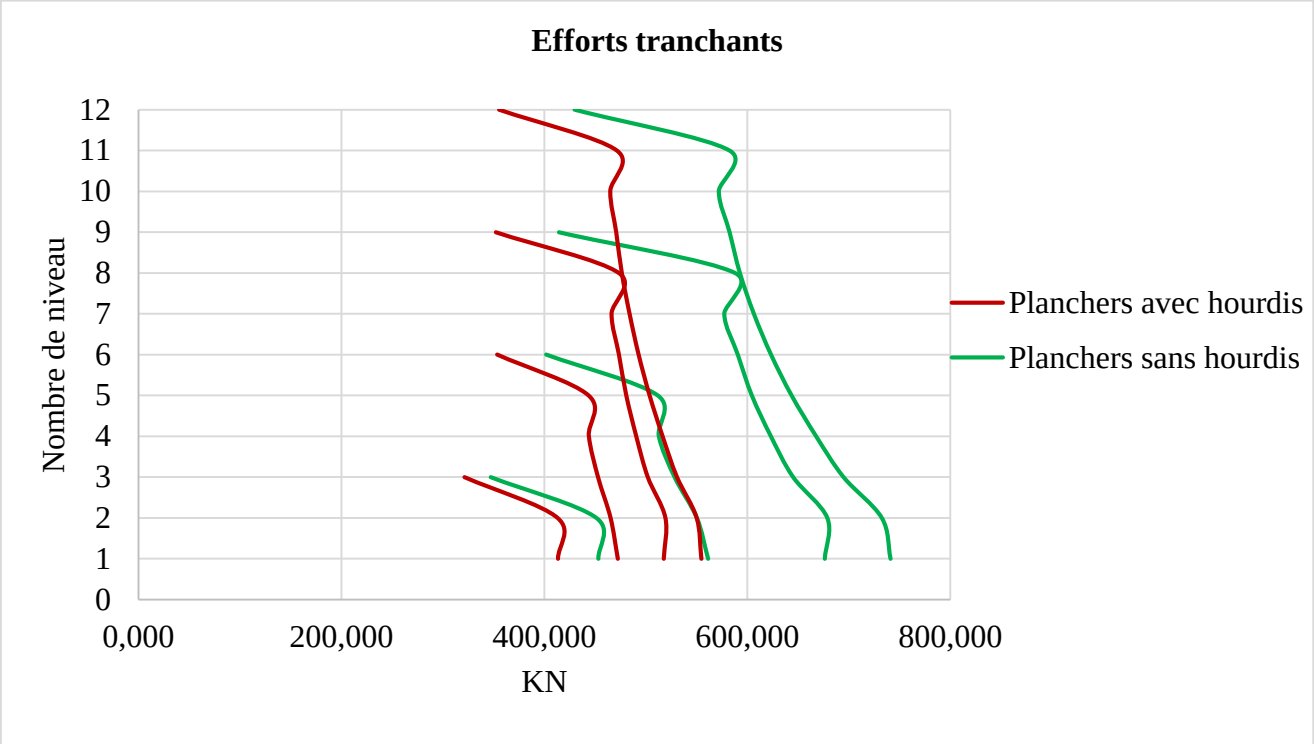



*Figure 124:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-haut (Fig. 124) montre la variation des efforts tranchants transmis aux poutres niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 8.81% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 15.86% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 2$^{ème}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 23.51% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les efforts tranchants maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les efforts tranchants pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 25.16% par rapport aux efforts tranchants le bâtiment avec planchers en hourdis.

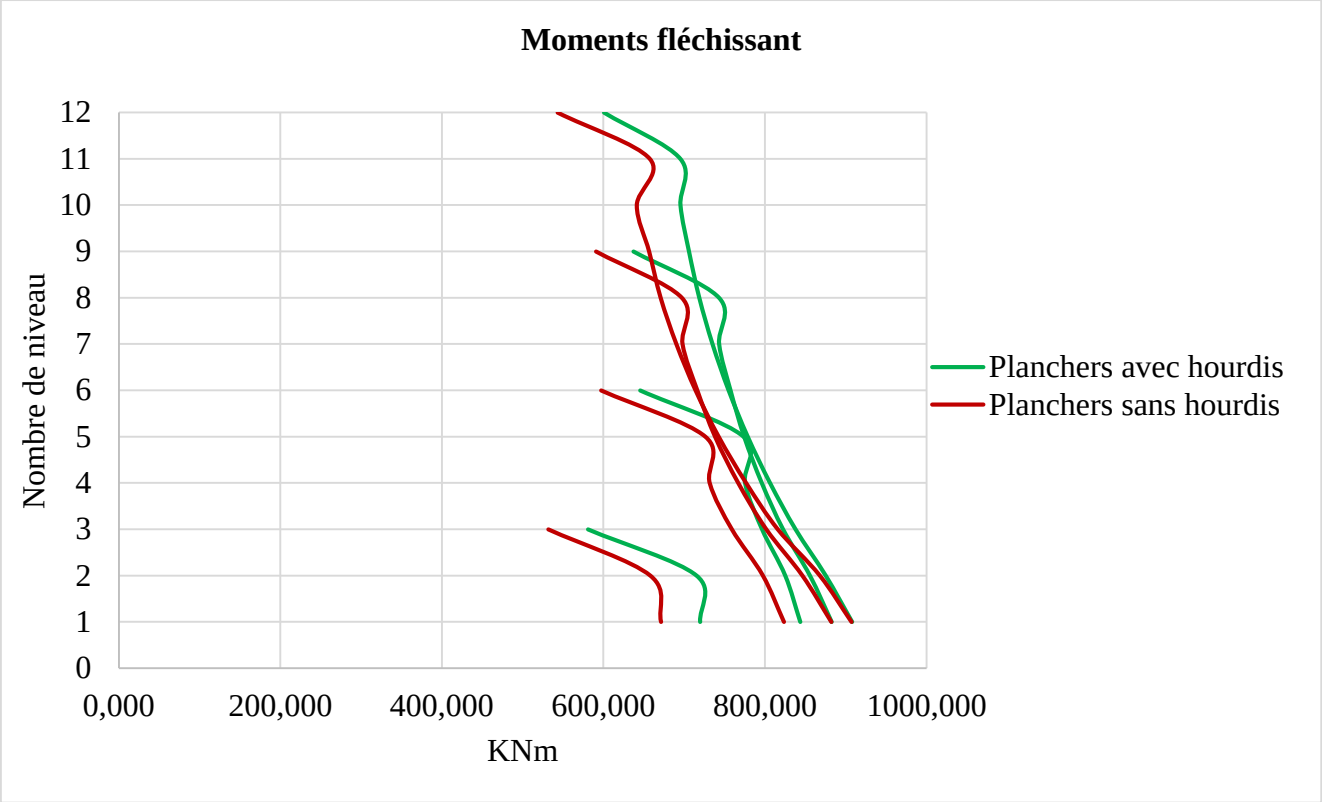



*Figure 125:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

La figure ci-haut (Fig. 125) montre la variation des moments fléchissant transmis aux poutres niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire. Les résultats obtenus montrent que :

- Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis ont une augmentation de 6.72% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 2ème niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis ont une augmentation de 2.37% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis ont une augmentation de 0.01% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ;
- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments fléchissant maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers en hourdis ont une augmentation de 0.10% par rapport aux moments fléchissant pour le bâtiment avec planchers sans hourdis.

Les moments dans les dalles

*Tableau 66:Les moments dans les dalles du modèle à 3 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 3 | 42,3 | 44,9 | 89,1 | 94,9 |
| 2 | 51,5 | 54,2 | 108,0 | 115 |
| 1 | 51,5 | 55,1 | 110,0 | 119 |

*Tableau 67:Les moments dans les dalles du modèle à 6 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 6 | 45,1 | 48,2 | 93,8 | 102 |
| 5 | 53,9 | 56,7 | 113,0 | 120 |
| 4 | 54 | 57 | 114,0 | 122 |
| 3 | 55,6 | 58,5 | 118 | 126 |
| 2 | 57,6 | 60,6 | 124 | 133 |
| 1 | 58,7 | 62,4 | 128 | 138 |

*Tableau 68:Les moments dans les dalles du modèle à 9 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 9 | 44,7 | 46,5 | 92,4 | 97,1 |
| 8 | 52,1 | 53,3 | 109,0 | 112 |
| 7 | 52,2 | 53,5 | 109,0 | 113 |
| 6 | 53,2 | 54,5 | 112 | 116 |
| 5 | 54,4 | 55,8 | 115 | 120 |
| 4 | 55,9 | 57,3 | 120 | 124 |
| 3 | 57,8 | 59,3 | 126 | 130 |
| 2 | 60,2 | 61,6 | 133 | 138 |
| 1 | 62,0 | 63,9 | 139 | 145 |

*Tableau 69:Les moments dans les dalles du modèle à 12 niveaux*

| | Planchers en hourdis | | Planchers sans hourdis | |
|---|---|---|---|---|
| Niveau | Mx(KNm) | My(KNm) | Mx(KNm) | My(KNm) |
| 12 | 42,1 | 43,4 | 84,6 | 88 |
| 11 | 48,7 | 49,5 | 98,7 | 101 |
| 10 | 48,7 | 49,7 | 99,0 | 102 |
| 9 | 49,5 | 50,5 | 101 | 104 |
| 8 | 50,4 | 51,4 | 104 | 106 |
| 7 | 51,5 | 52,6 | 107 | 110 |
| 6 | 52,9 | 54,0 | 111 | 114 |
| 5 | 54,6 | 55,7 | 116 | 119 |
| 4 | 56,6 | 57,7 | 121 | 125 |
| 3 | 58,8 | 60 | 128 | 131 |
| 2 | 61,5 | 62,7 | 136 | 140 |
| 1 | 63,8 | 65,3 | 143 | 147 |

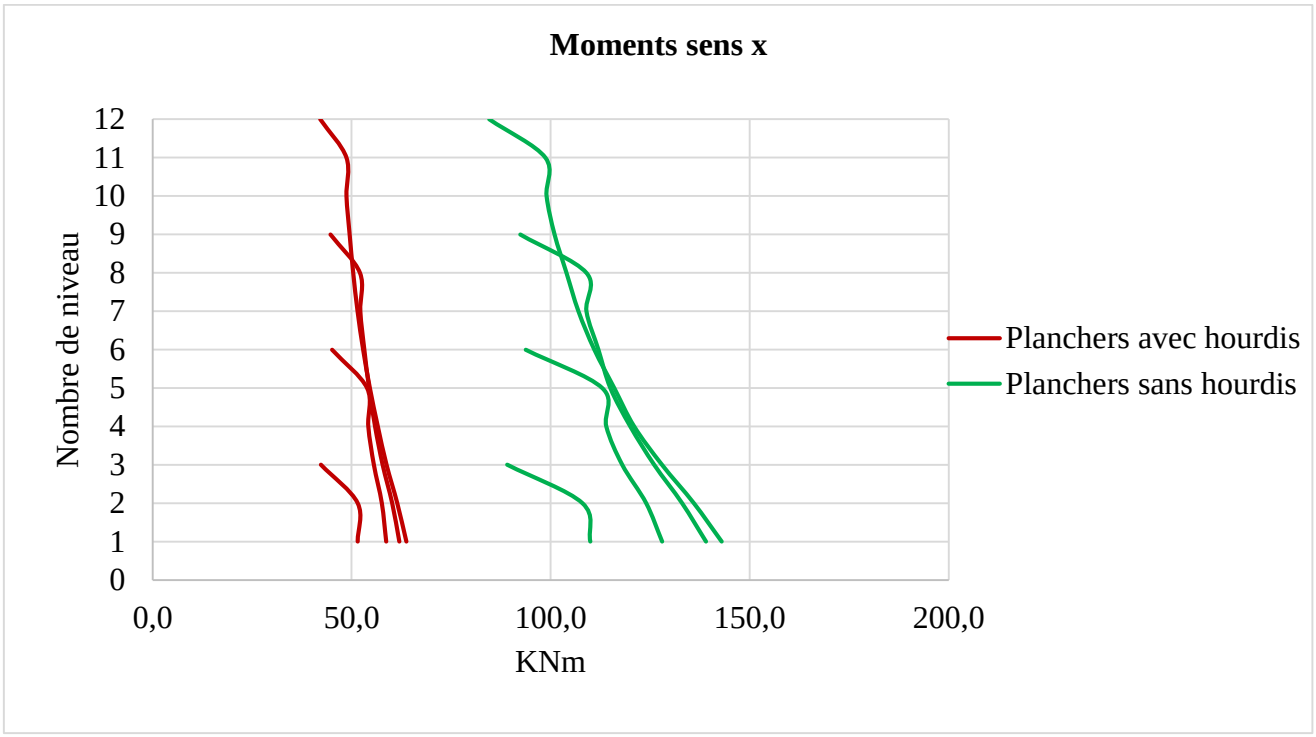



*Figure 126:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

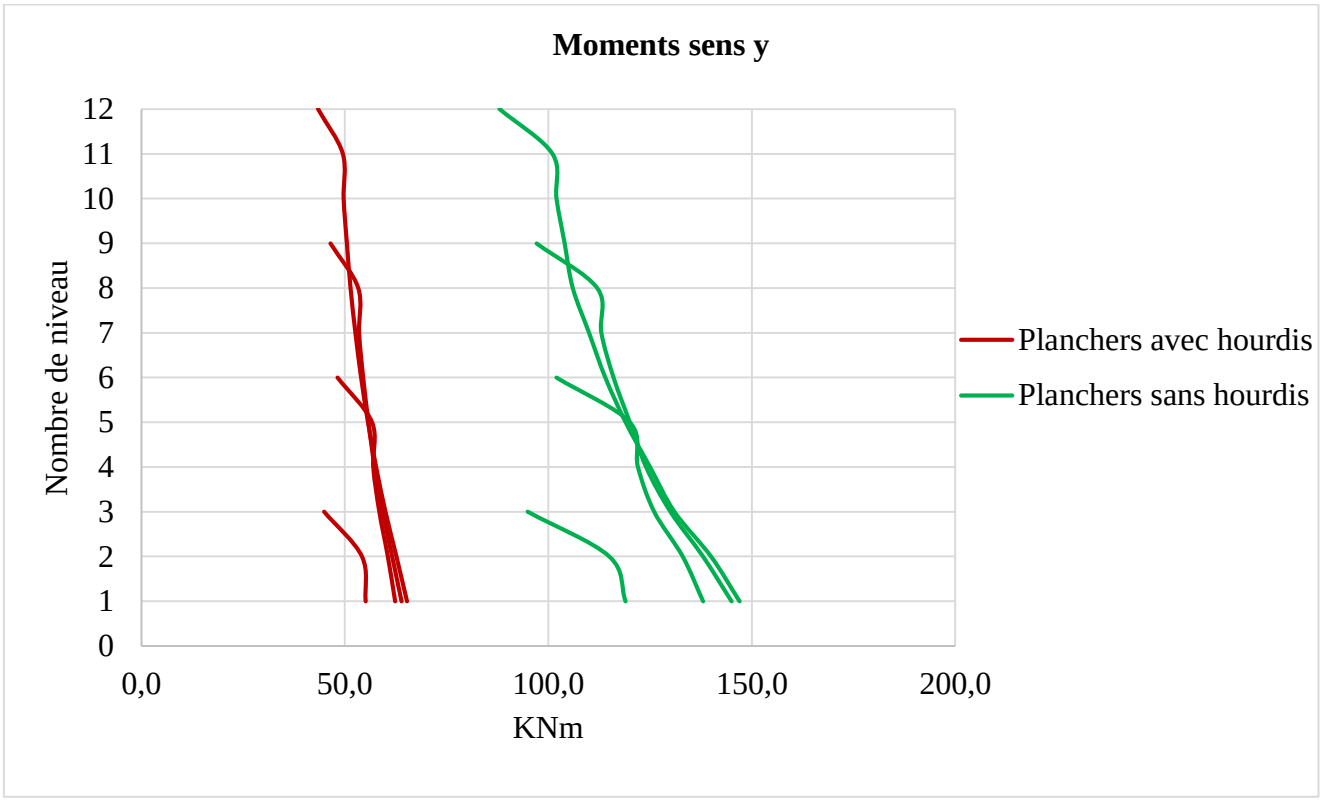



*Figure 127:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude*

Les figures ci-haut (Fig. 126 & 127) montrent la variation des moments dans les dalles niveau par niveau dans le cas où le bâtiment a subi un tassement du poteau intermédiaire. Les résultats obtenus montrent que :

- Dans le sens de x :
  - Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 53.18% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 54.14% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis une augmentation de 54.40% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.38% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis.
- Dans le sens de y :
  - Pour le modèle du bâtiment à 3 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 53.70% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 6 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.78% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;
  - Pour le modèle du bâtiment à 9 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1$^{er}$ niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.93% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis ;

- Pour le modèle du bâtiment à 12 niveaux, on observe les moments maximaux sur le 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.58% par rapport aux moments pour le bâtiment avec planchers en hourdis.

**Discussion des résultats**

Les résultats des déplacements horizontaux montrent qu'il y a un écart considérable entre les modèles de bâtiments avec planchers en hourdis et les modèles de bâtiments avec planchers sans hourdis la cause de cet écart est que les modèles avec planchers sans hourdis ont un poids supérieur par rapport au poids des modèles avec planchers en hourdis.

En se basant aussi sur les résultats trouvés dans cette étude, les modèles avec planchers en hourdis ont des sollicitions faibles par rapport aux sollicitions des modèles avec planchers sans hourdis cela est dû au poids des planchers en hourdis qui est inférieur au poids des planchers sans hourdis.

## III.8. Conclusion

L'analyse faite des résultats au cours de ce chapitre montrent que les planchers en hourdis ont une influence considérable dans la construction des bâtiments en béton armé en cas du chargement horizontal et en cas du chargement vertical.

- ✓ En cas du chargement horizontal, les modèles avec planchers en hourdis ont des déplacements qui ne sont pas admissibles tandis que les modèles avec planchers sans hourdis ont des déplacements admissibles. Ce dépassement de déplacements cause l'endommagement immédiat des modèles avec planchers en hourdis.

- ✓ En cas du chargement vertical, nous avons remarqué que les sollicitations des modèles avec planchers sans hourdis augmentent beaucoup par rapport aux sollicitations des modèles avec planchers en hourdis. La diminution de sollicitations rend les modèles avec planchers en hourdis légers par rapport aux modèles avec planchers sans hourdis.

## CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons fait une étude sur 4 modèles différents, à savoir : Modèle à 3 niveaux, Modèle à 6 niveaux, Modèle à 9 niveaux et Modèle à 12 niveaux afin d'analyser les

impacts des bâtiments avec planchers en hourdis. L'étude est faite suivant les règles BAEL 91 modifié 99, RPA99 version 2003.

Nous avons fait une étude lorsque le bâtiment est à l'état normal et lorsque le bâtiment a subi un tassement après le chargement vertical sur différents poteaux, à savoir : le poteau d'angle, le poteau de rive et le poteau intermédiaire.

- Pour le cas du tassement du poteau d'angle cette réduction d'efforts normaux est comprise entre :
    - 10.60% et 11.11% d'efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux dans tous les modèles d'étude ;
    - 10.72% et 11.30% d'efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux dans tous les modèles d'étude.
- Pour le cas du tassement du poteau de rive:
    - 27.61% et 28.33% d'efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux dans tous les modèles d'étude ;
    - 28.08% et 29.31% d'efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux dans tous les modèles d'étude ;
- Pour le cas du tassement du poteau intermédiaire :
    - 33.68% et 34.84% d'efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux dans tous les modèles d'étude ;
    - 34.92% et 35.85% d'efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux dans tous les modèles d'étude ;

En cas du tassement, il est remarquable que les efforts normaux augmentent beaucoup lorsqu'il y a le tassement du poteau intermédiaire. L'influence des planchers avec hourdis aux poteaux du premier niveau justifie aussi l'influence qu'ils apportent aux fondations.

En considérant aussi les sollicitations dans les poutres et dalles, nous avons constaté que les modèles avec planchers sans hourdis ont des sollicitations plus grandes par rapport aux celles des modèles avec planchers sans hourdis.

Alors la diminution des sollicitations dans les éléments de la structure permet de :

- rendre un bâtiment léger ;
- diminuer les dimensions des semelles ;
- réduction des contraintes de cisaillement ;
- réduire la quantité d'aciers utilisés dans les éléments structuraux.
- Etc.

En cas du chargement horizontal de la structure, les planchers en hourdis contribuent dans la déformation de la structure plus que les planchers sans hourdis. En cas de forces latérales, les modèles avec planchers en hourdis subissent une grande déformation horizontale dépassant même les déformations limite entre 4.02% et 12.39%, cela est l'inconvénient de la légèreté du bâtiment avec des planchers en hourdis. Cette légèreté provoque l'endommagement rapide des modèles avec planchers en hourdis.

**RECOMMANDATIONS**

Cette étude ne peut être achevée sans émettre quelques recommandations aux différentes personnes physiques ou morales ayant un intérêt direct ou indirect à ce sujet :

- A base des résultats trouvés, nous recommandons aux réalisateurs de projets d'utiliser souvent des planchers sans hourdis pour des bâtiments élancés ;
- Pour les futurs travaux de mémoire, nous recommandons aux étudiants d'étendre les études sur le comportement des structures en béton armé lorsque les planchers sont en hourdis.

**BIBLIOGRAPHIE**

[1] Michel MATANA: collection, concevoir et construire. Maçonnerie 3, Editions natives ,2004.

[2] NBN- Normes belges, « Déformations des structures Valeurs limites de déformation – Bâtiment », 2002.

[3] (NF P94-261) : Eurocode 7 : Application aux fondations superficielles, juin 2013

[4] Jouve/Lenox/Cb-illustrations, Laubywane - éditeur : Dylan/DHUP : Calpin de chantier, Planchers a poutrelles et. Entrevous, 2017. ISBN : 978-2-11451970-1.

[5] Alain MAUGARD : programme d'accompagnement des professionnels « règles de l'art grenelle Environnement 2012 », plancher a poutrelles et entrevous, description, principe de conception et mise en œuvre, NEUF, 2014

[6] Henri RENAUD : Constructeur, Bâtiment, technologie, BEP-BACPRO, Edition Foucher, tome 1, 1995.Collection moniteur, technique. Bureaux Veritas 2e édition moniteur, 1997.ISBN :2.281-11165-2.

[7] Henri RENAUD : construction des maisons individuelles, gros œuvre et second œuvre. 2e édition Eyrolles, 2006.

[8] NF P06-001 : Norme française : Bases de calcul des constructions - Charges d'exploitation des bâtiments, juin 1986

[9] D. Didier, N. Girard, M. Le Brazide, P. Nataf, R. Pralat et J. Thiesset : Chantier, matériel et matériaux mise en œuvre. Normalisation, Edition Nathan AFNOR, 2001.

[10] GEORGES pruniaux, mis à jour par François Michel : couvertures, toitures terrasse : concevoir et réalisations des ouvrages performants, supprimer les risques de pathologie, Eviter les contentieux.

[11] M. belasougui : calcul des ouvrages en béton armé, Alger : office de publications universitaires, 1991.

[12] Règles parasismiques algériennes (RPA) 99/version 2003.

[13] Jean-Pierre Mougin : Béton armé, BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage ,2006.

[14] Gérard Philipponat : fondations et ouvrages en terre. Edition Eyrolles, 1976.

[15] J.P. Mougin: cours de béton armé, BAEL91, calcul des éléments simples et des structures de bâtiments, Edition Eyrolles, 1992.

[16] J. Perchât et J. Roux : maîtrise du BAEL91 et DTU associés. Edition Eyrolles, 1994.

[17] J. P. Mougin : béton arme, BEA91 L et DTU associés. Edition Eyrolles, 1995.

[18] JEAN Pierre Mougin : cours de béton armé BEAL91, calcul des cléments simples et des structures en béton armé. Edition Eyrolles, 1997.

[19] P. faessel, J-R Robinson et A. Morcsset : tables d'états ultimes des poteaux en béton arme, Eyrolles sn, 1997.

[20] ISTEEBU : Projections démographiques 2010 2050

[21] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hourdis

[22] Mikerego E., Akimana T., Gatore J.P. Assessment on the structural impact of the slabs with joists used in the reinforced concrete structures in Burundi. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(3):358-366. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.3.358-366 (rus.).