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

λ : 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

γ_g : Coefficient de majoration

γ_q : Coefficient de majoration

Qz : Efforts tranchants selon z

Mx : Moments fléchissant selon x

My : Moments fléchissant selon y

η : 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].

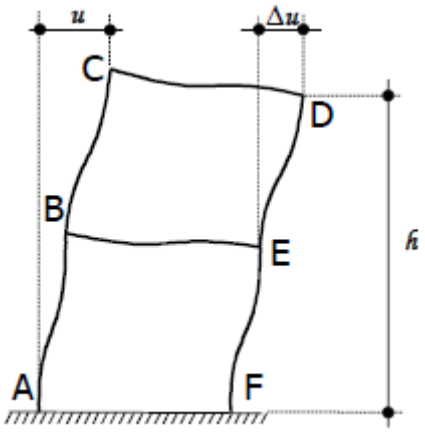
Le plancher repose sur des poutrelles préfabriquées en béton et acier, dont les pièces dénommées « entrevous » peuvent être en terre cuite ou en polystyrène permettant une isolation thermique et une pose plus légère, ou plus récemment en bois aggloméré ou en PVC, permettant des travaux dans des endroits 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

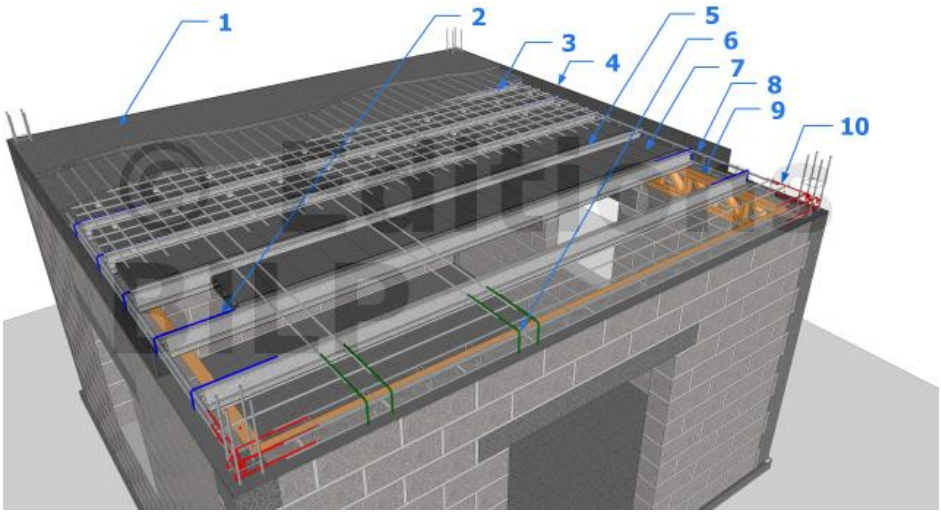


Figure 1:Schéma illustratif des éléments constitutifs d'un plancher à poutrelle et entrevous

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].

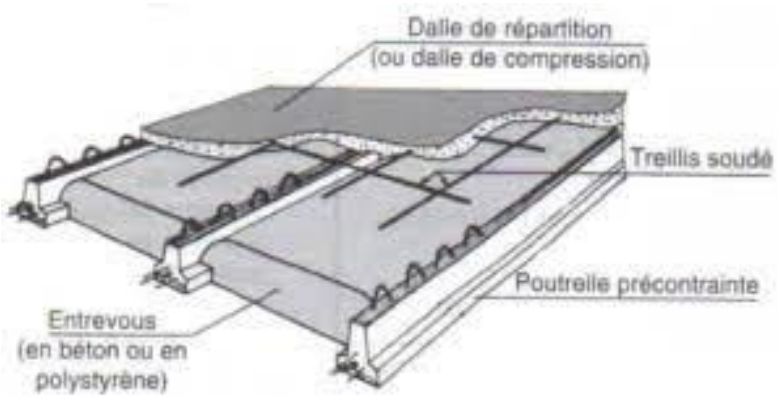


Figure 3:Schéma illustratif de la dalle de répartition

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]

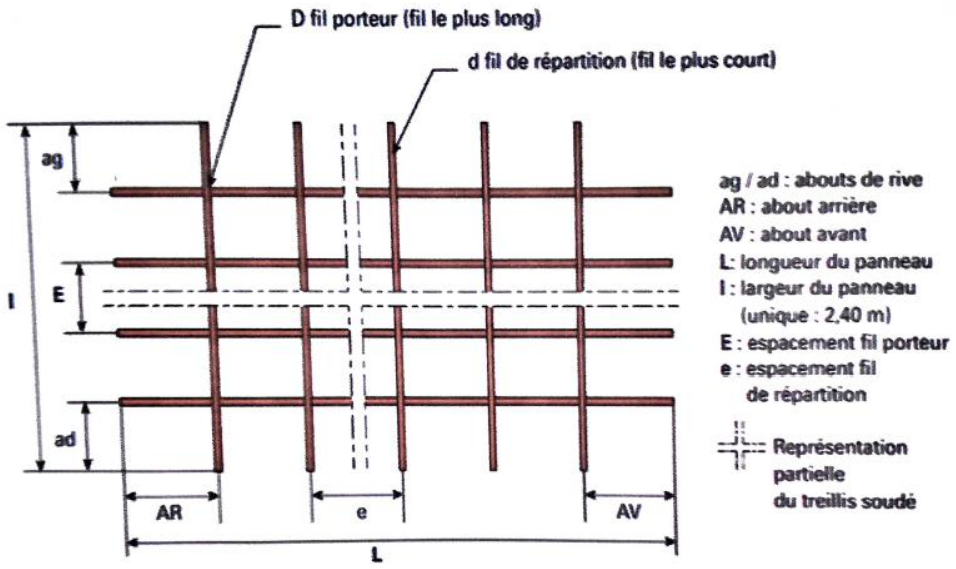


Figure 4:Schéma illustratif des armatures complémentaires mise en œuvre par table de compression

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.

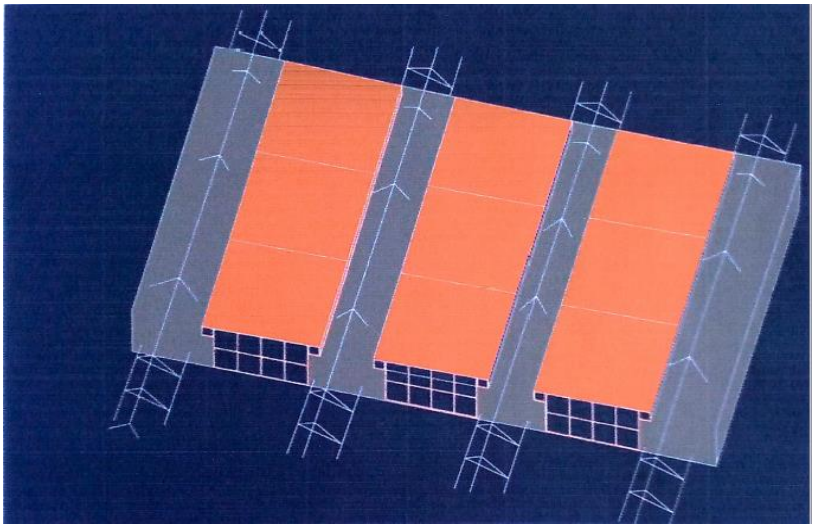


Figure 8:Schéma illustratif de la disposition constructive des planchers en hourdis

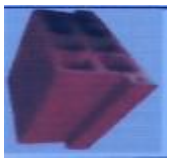
Origine d'hourdis utilisés dans les constructions au Burundi.

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].

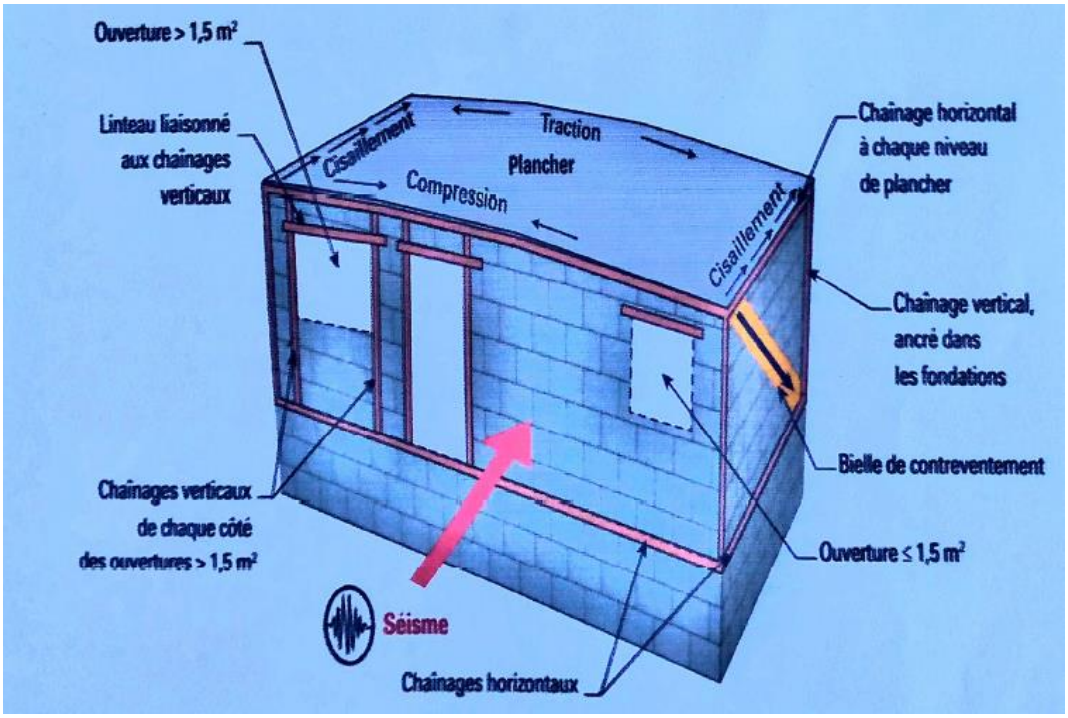


Figure 9:Schéma illustratif du Comportement dynamique des planchers en hourdis [22]

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.

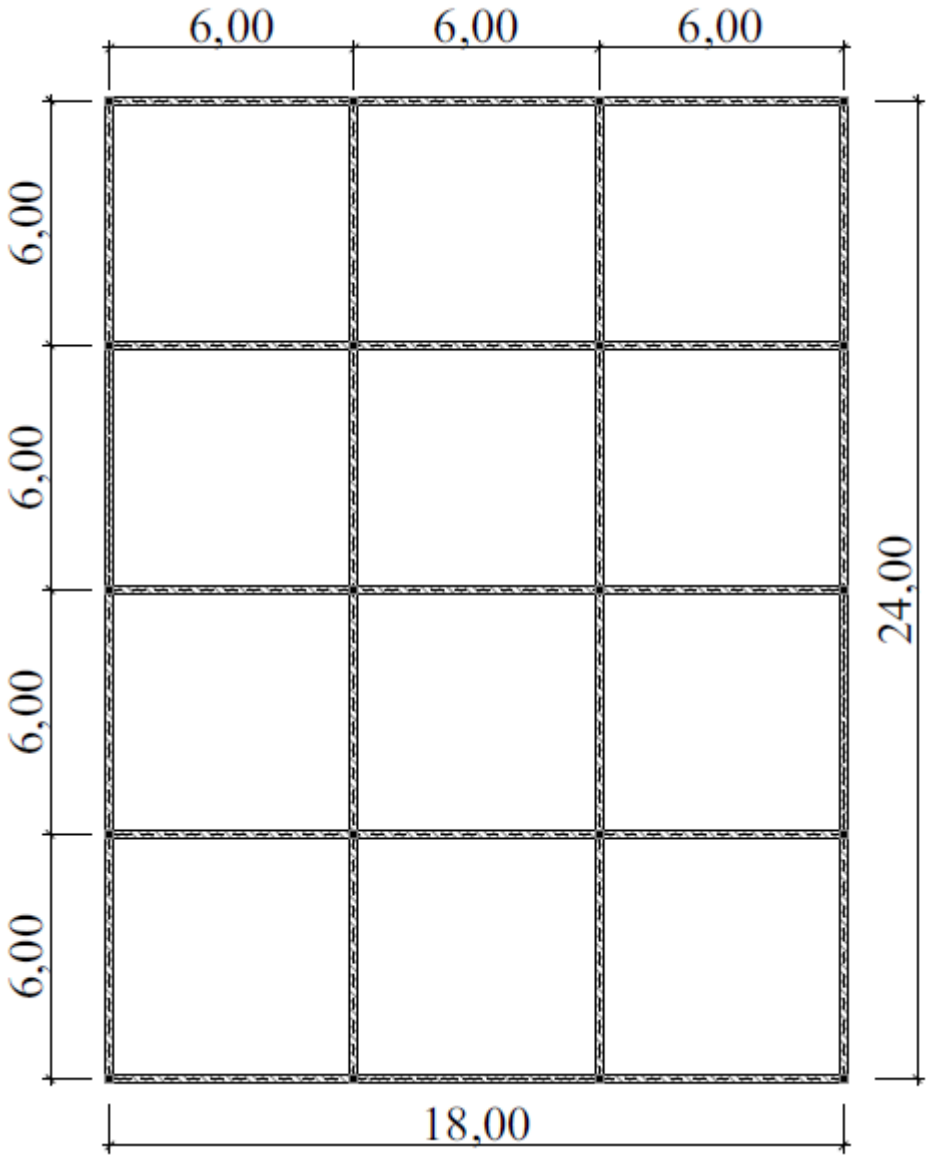


Figure 10:Schéma illustratif de la vue en plan de l'objet d'étude

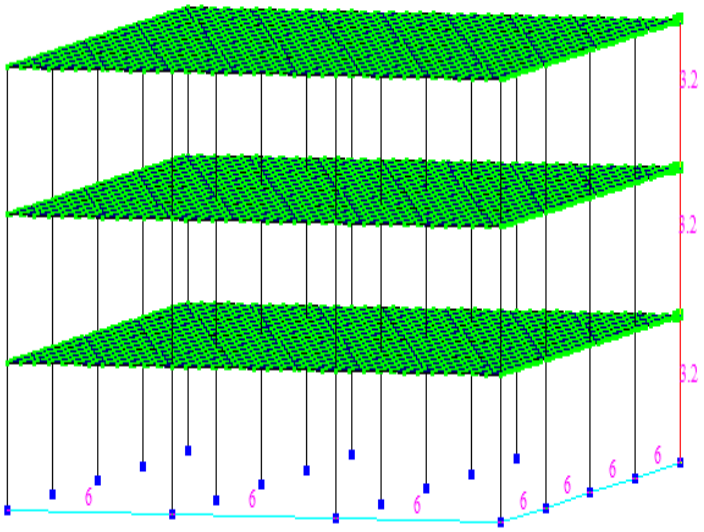


Figure 11:Schéma illustratif du modèle à 3 niveaux

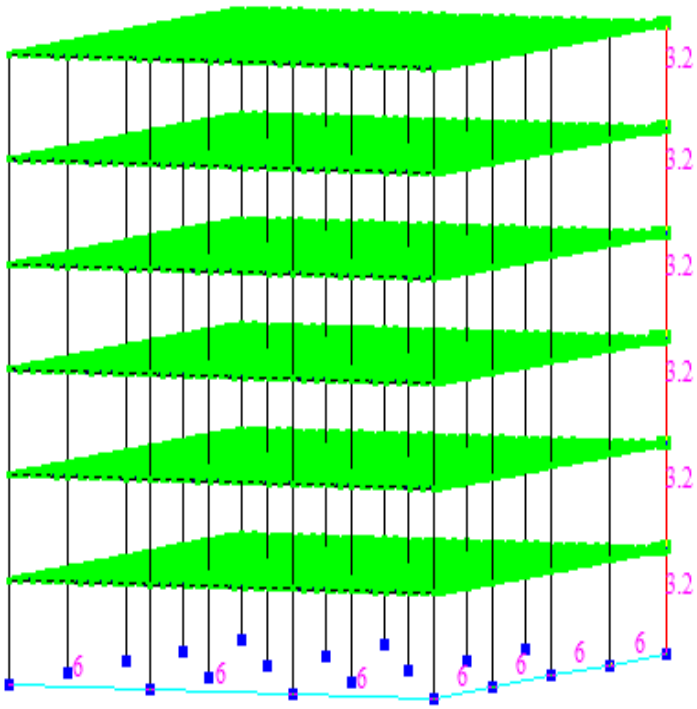


Figure 12:Schéma illustratif du modèle à 6 niveaux

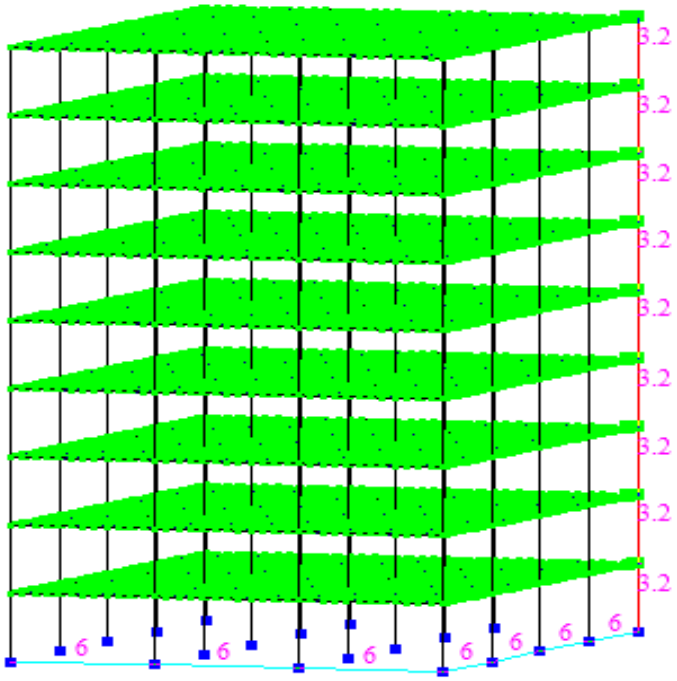


Figure 13:Schéma illustratif du modèle à 9 niveaux

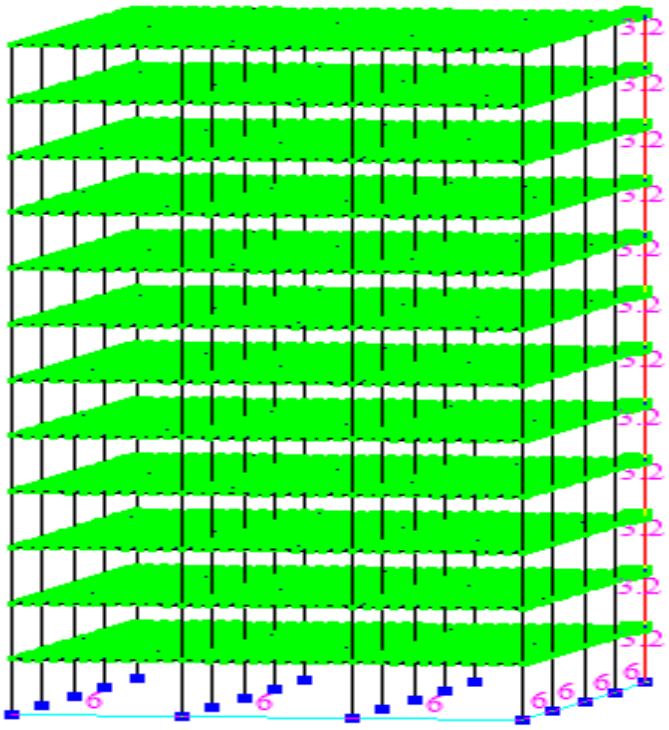


Figure 14:Schéma illustratif du modèle à 12 niveaux

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.

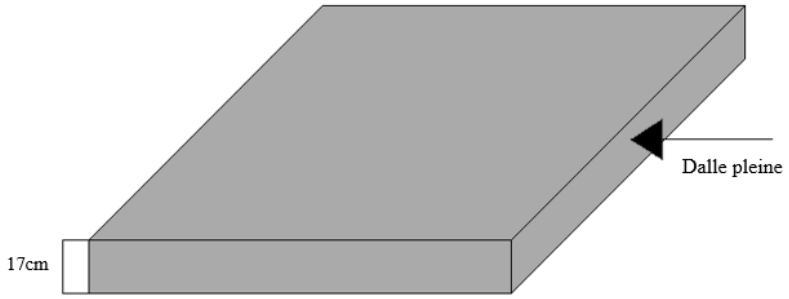


Figure 15:Schéma illustratif de l'épaisseur du plancher sans hourdis

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.

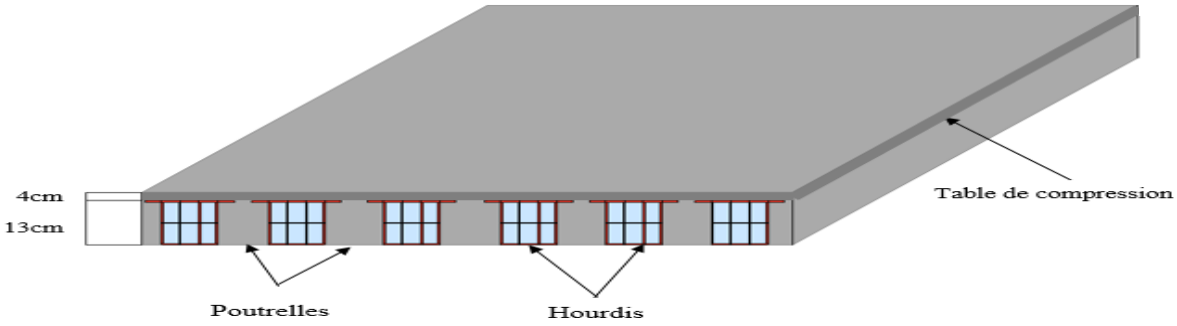


Figure 16:Schéma illustratif des éléments constituants le plancher en hourdis utilisé et son épaisseur

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

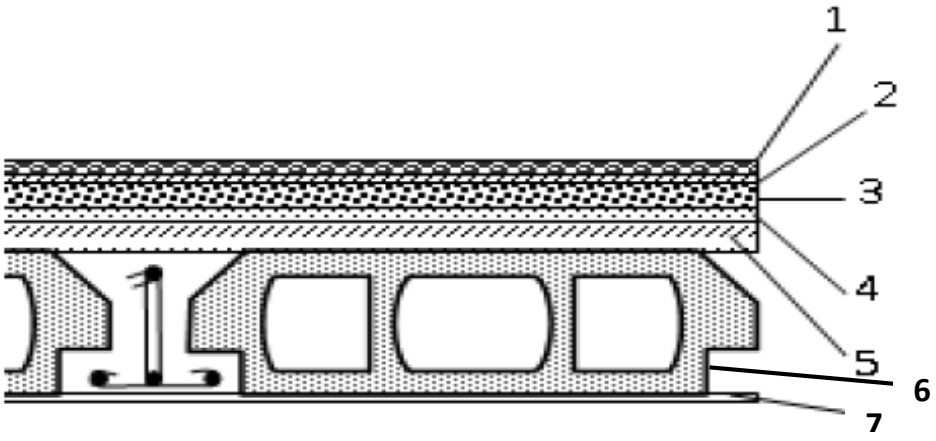


Tableau 4:Charges et surcharges du plancher de rive

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 1er 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 1er 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 ;

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

γ_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.

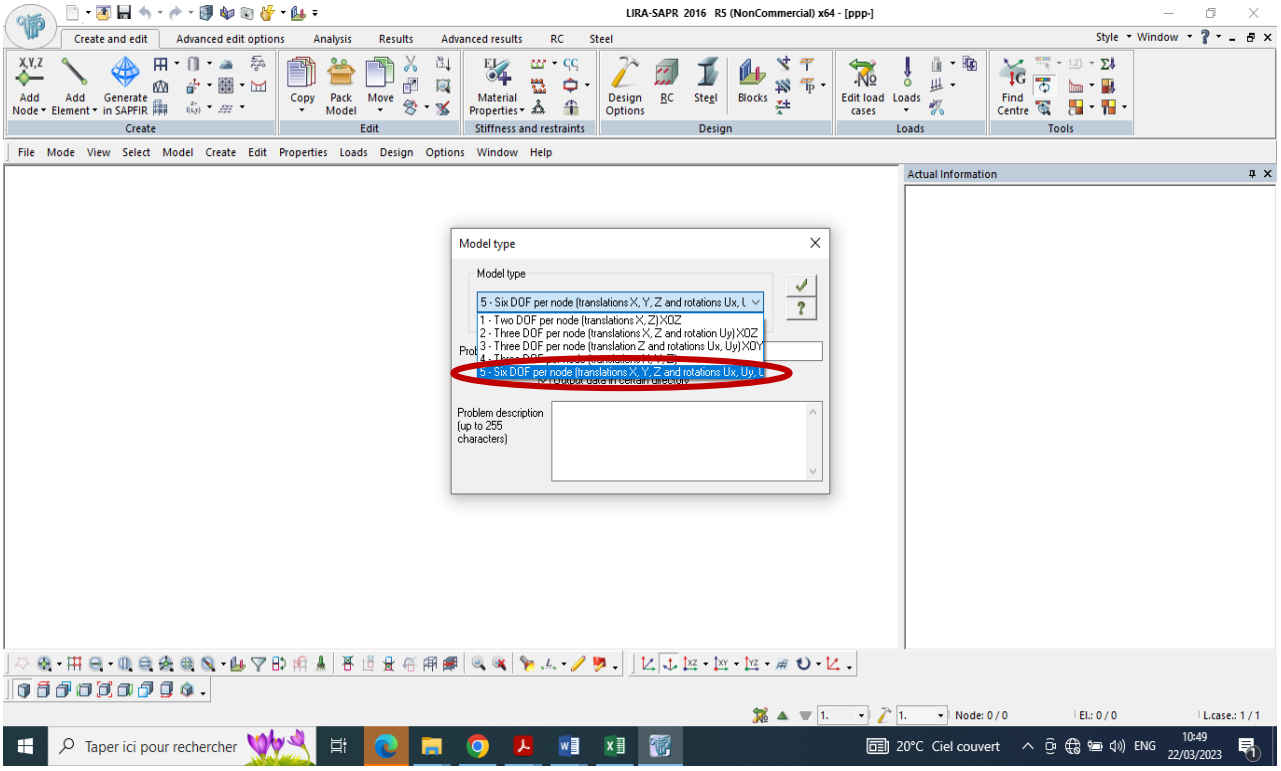


Figure 18:Photo illustrative du modèle de démarrage de l'outil LIRA-SAPR

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

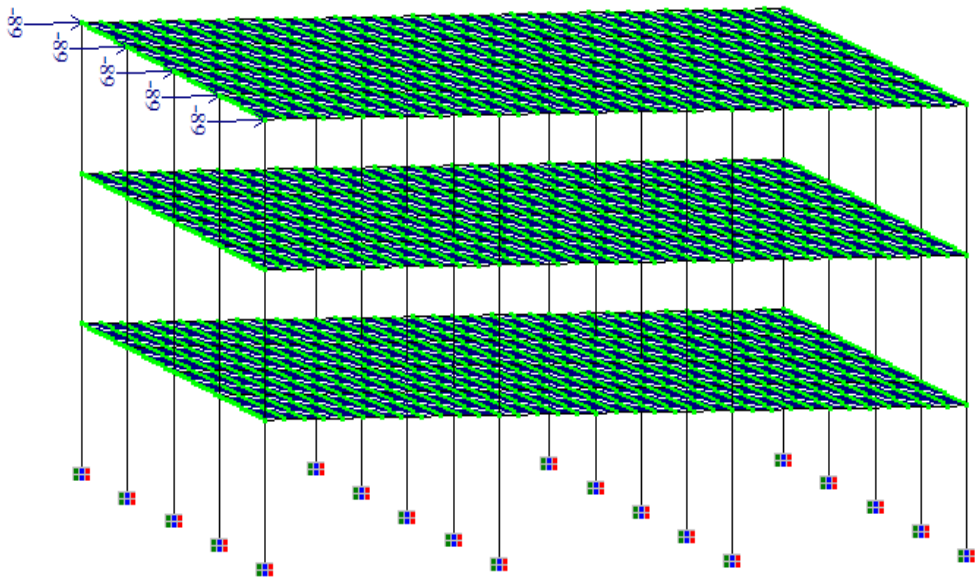


Figure 19:Schéma illustratif du modèle d'étude à 3 niveaux avec un chargement horizontal

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

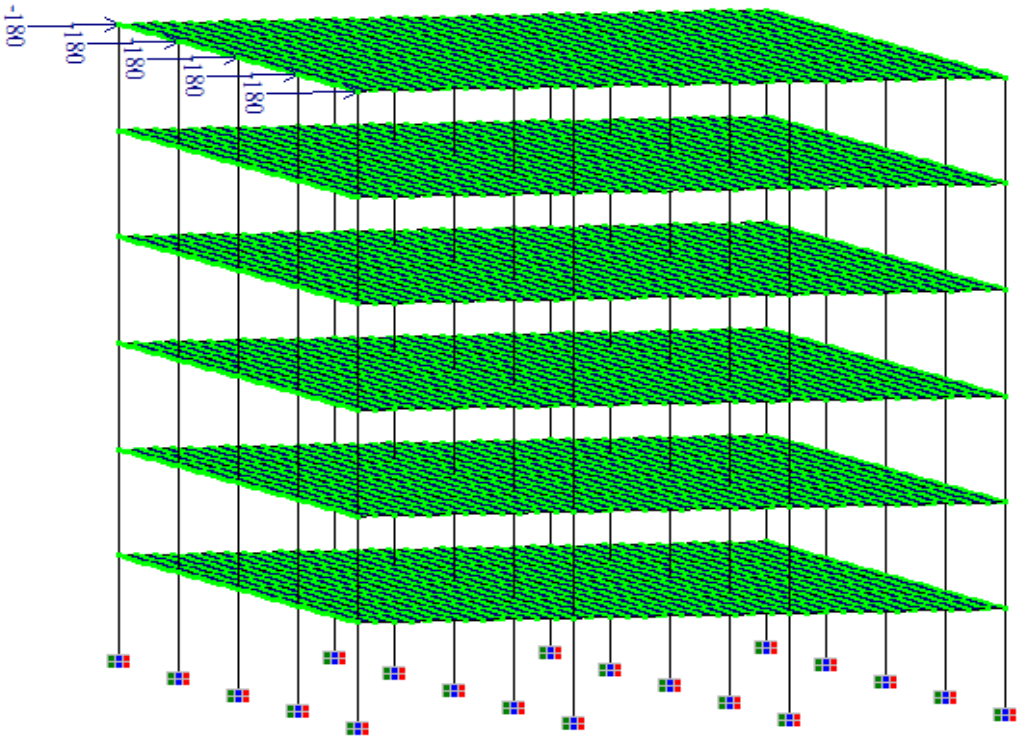


Figure 20:Schéma illustratif du modèle d'étude à 6 niveaux avec un chargement horizontal

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

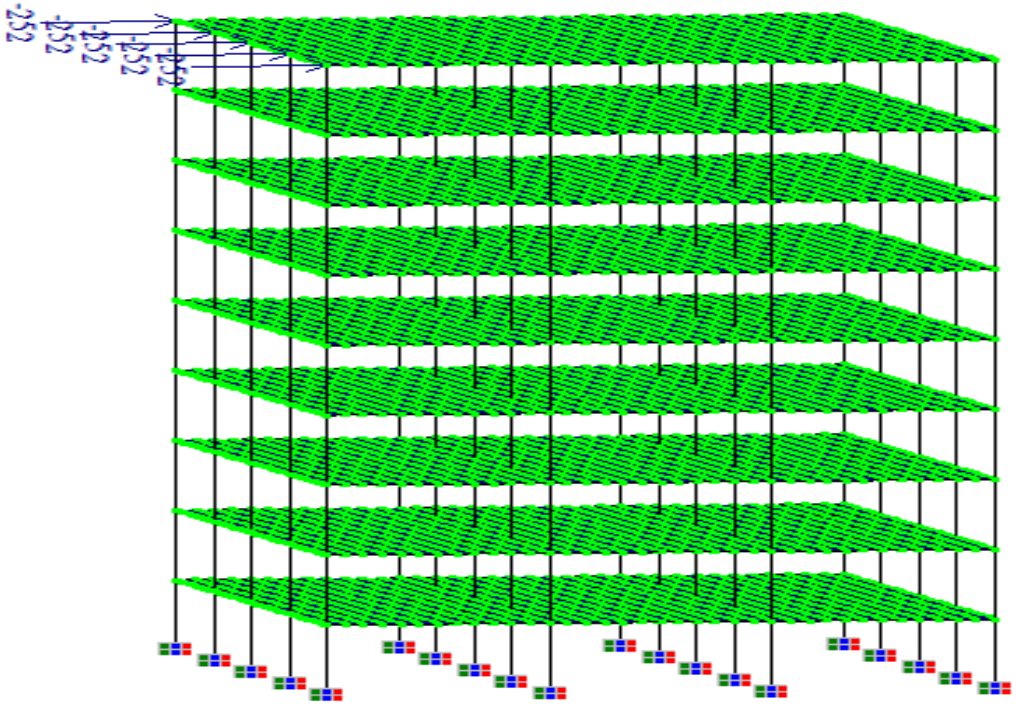


Figure 21:Schéma illustratif du modèle d'étude à 9 niveaux avec un chargement horizontal

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

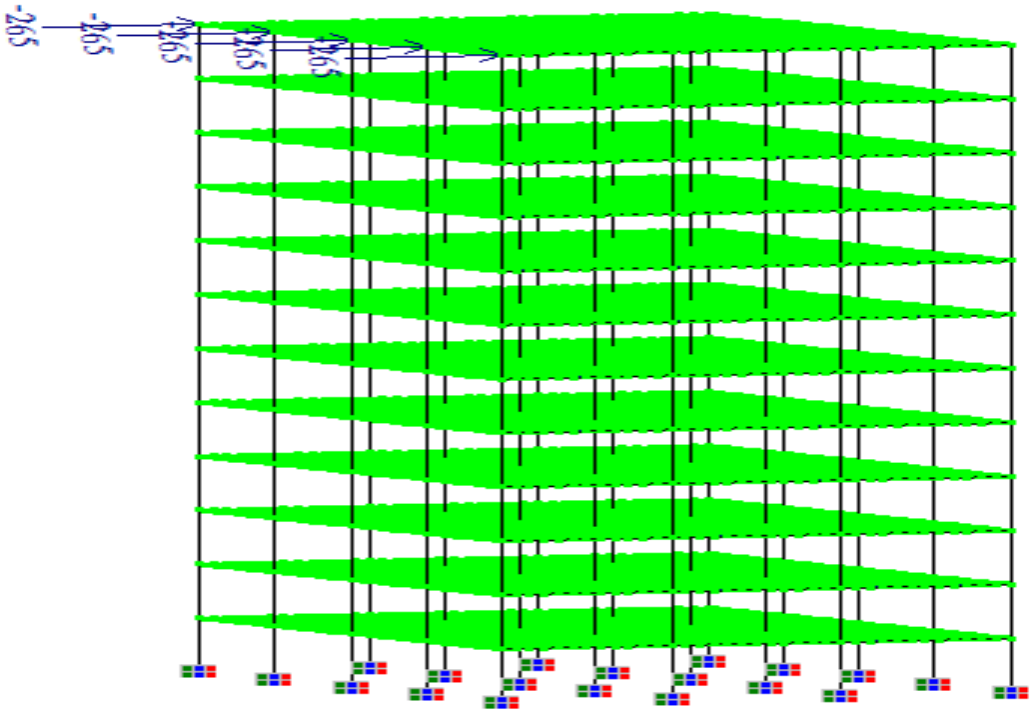
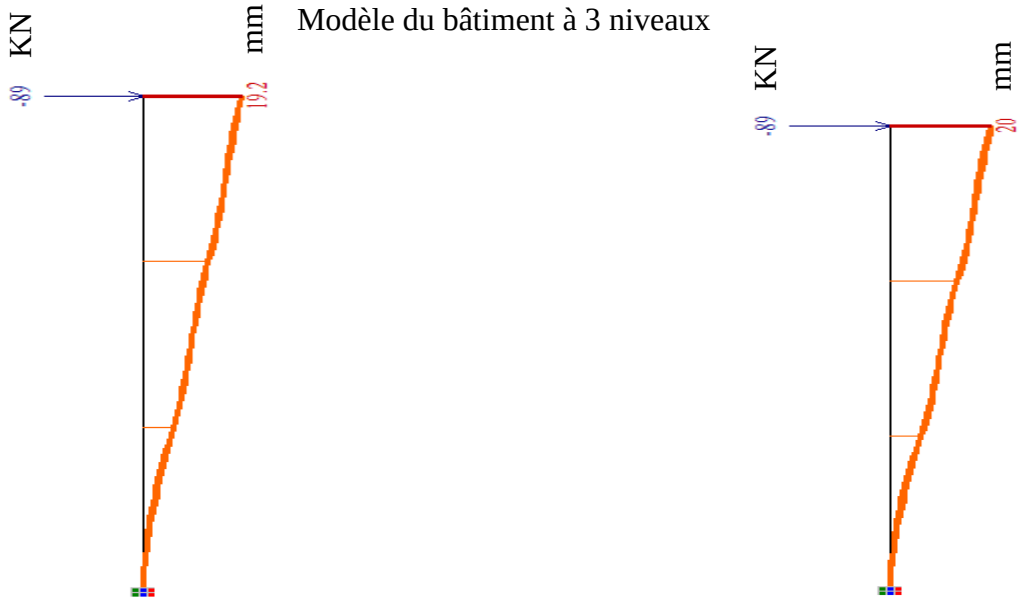


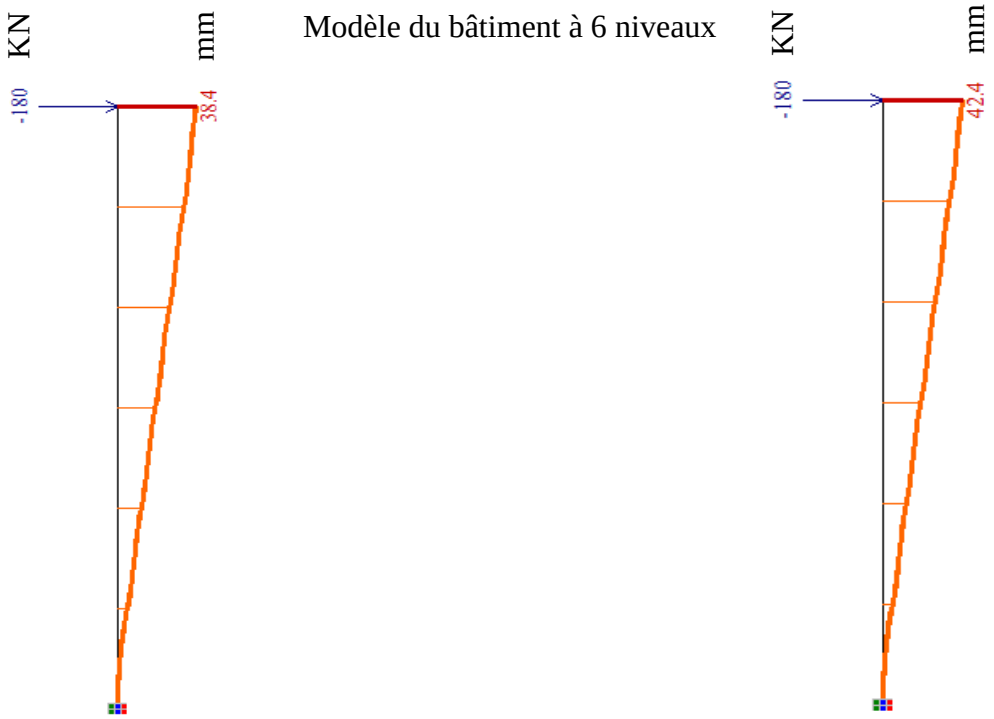
Figure 22:Schéma illustratif du modèle d'étude à 12 niveaux avec un chargement horizontal

Comportement des bâtiments après le chargement horizontal



(a) (b)

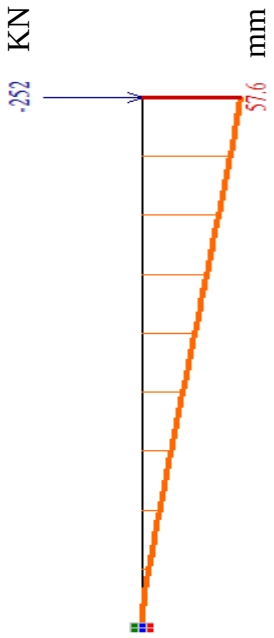
Figure 23:Schémas illustratifs du déplacement des colonnes du bâtiment avec planchers sans hourdis (a) et du bâtiment avec planchers en hourdis (b) de 3 niveaux après le chargement horizontal



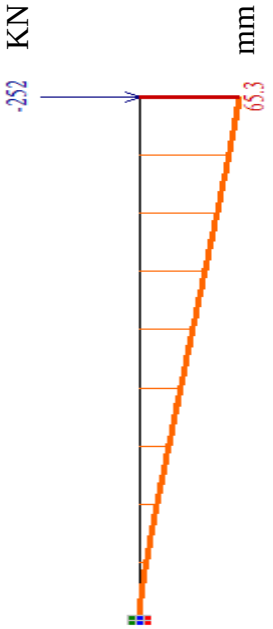
(c) (d)

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



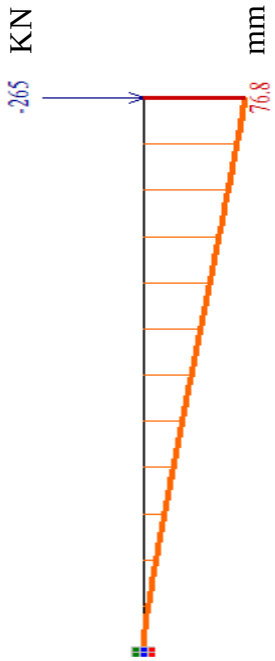
(e)



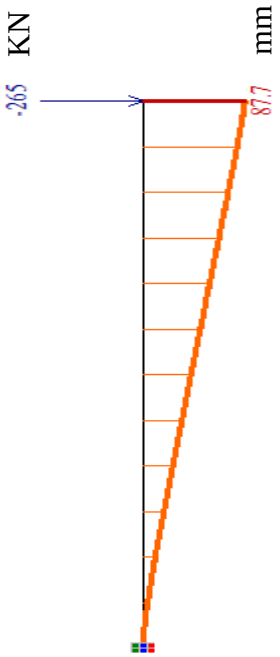
(f)

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

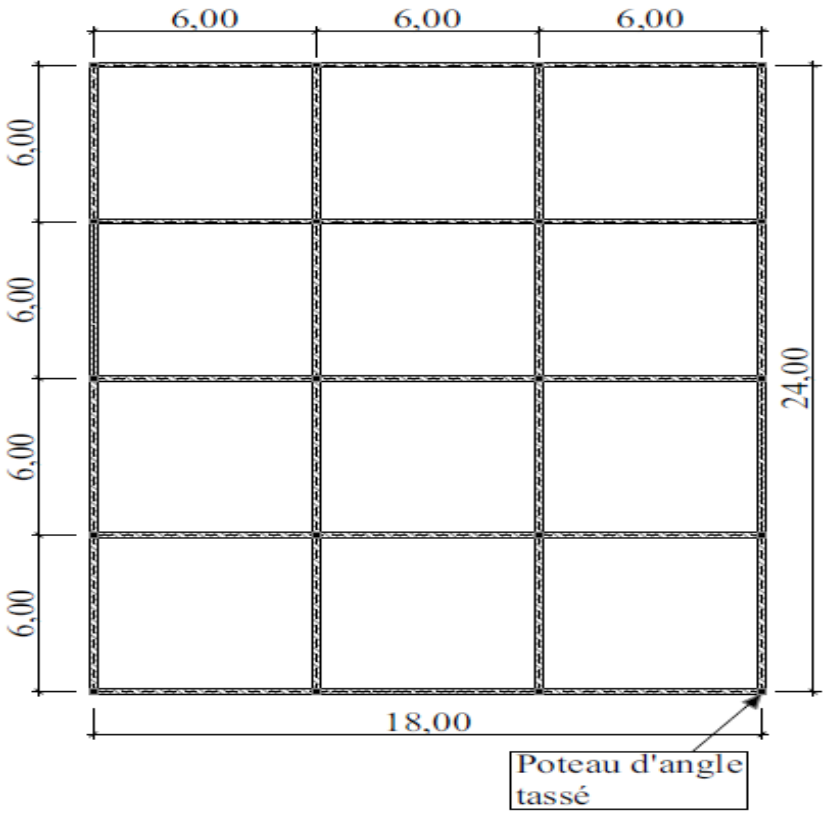


Figure 27:Schéma illustratif du poteau d'angle tassé

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

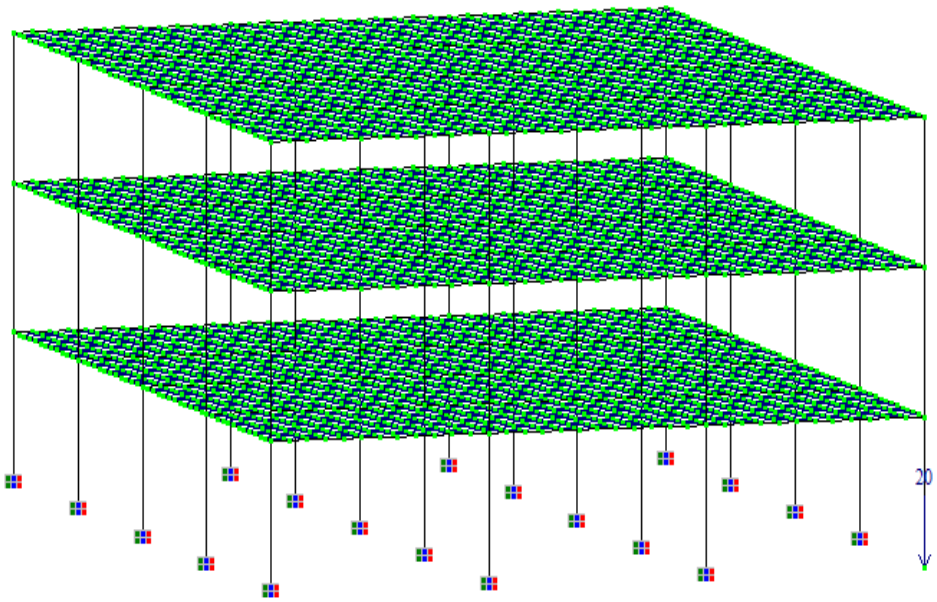


Figure 28:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

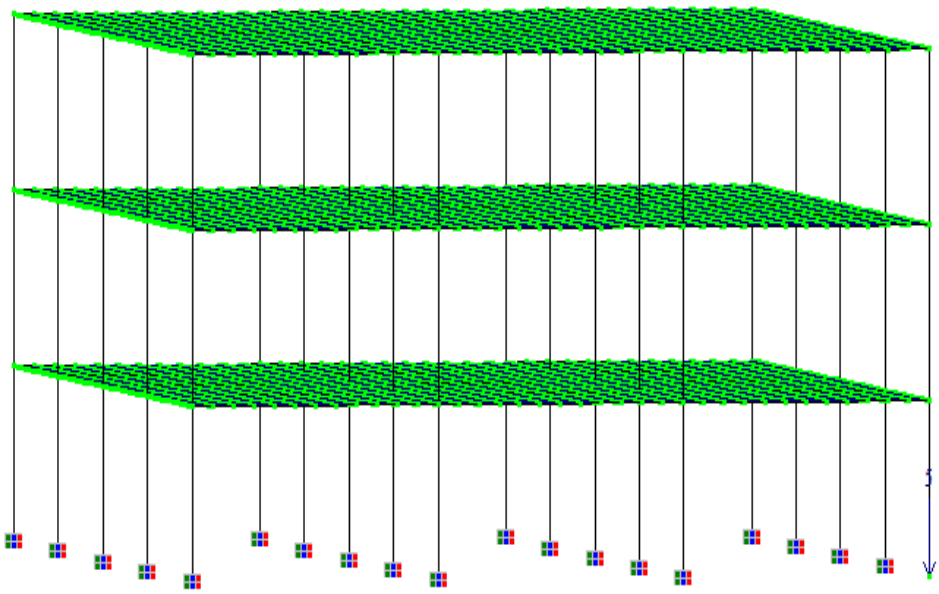


Figure 29:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

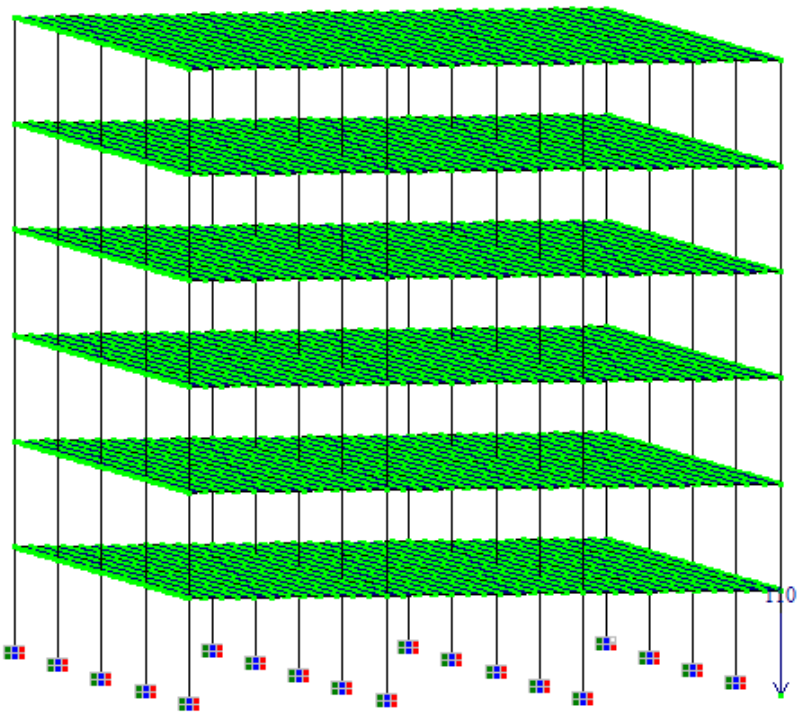


Figure 30:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

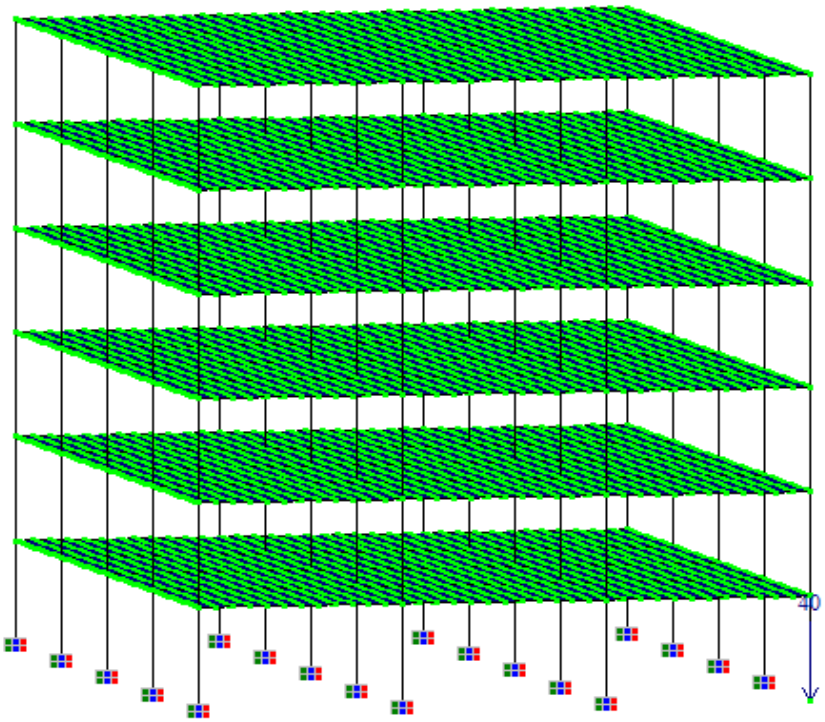


Figure 31:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

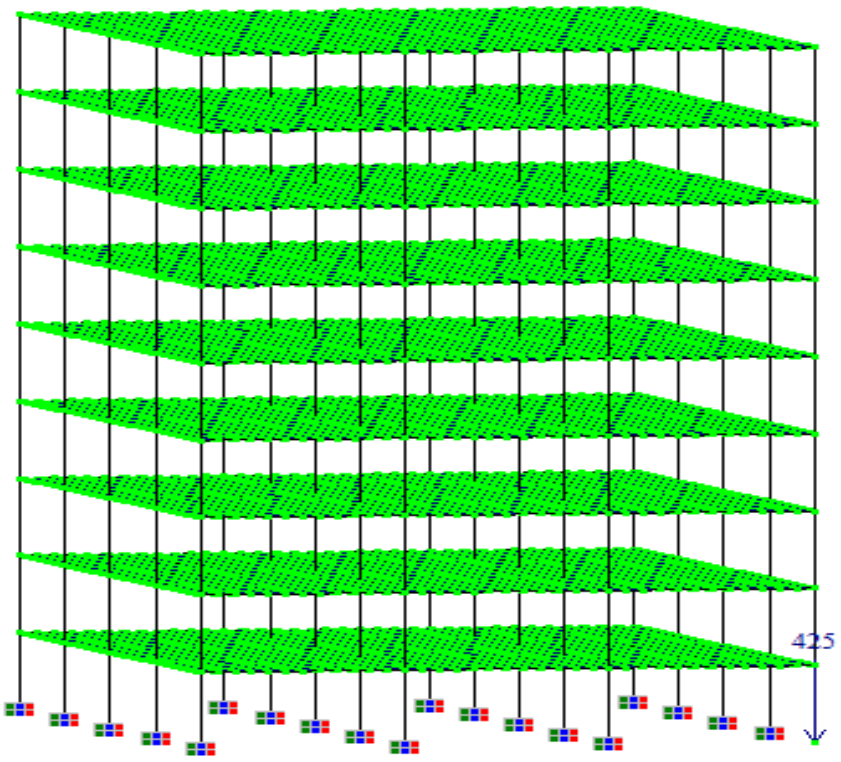


Figure 32:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

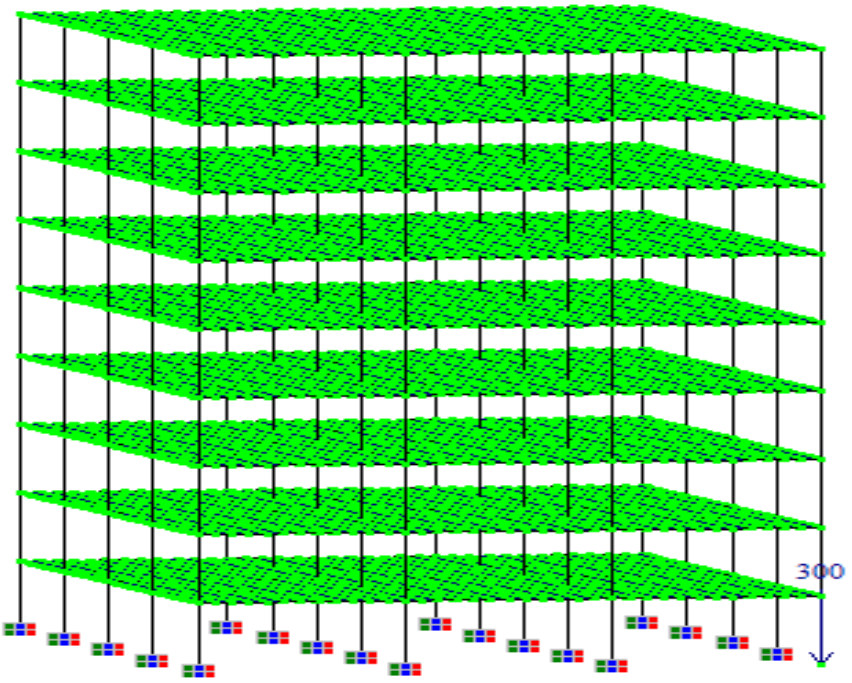


Figure 33:Schéma illustratif du modèle d'étude du Planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

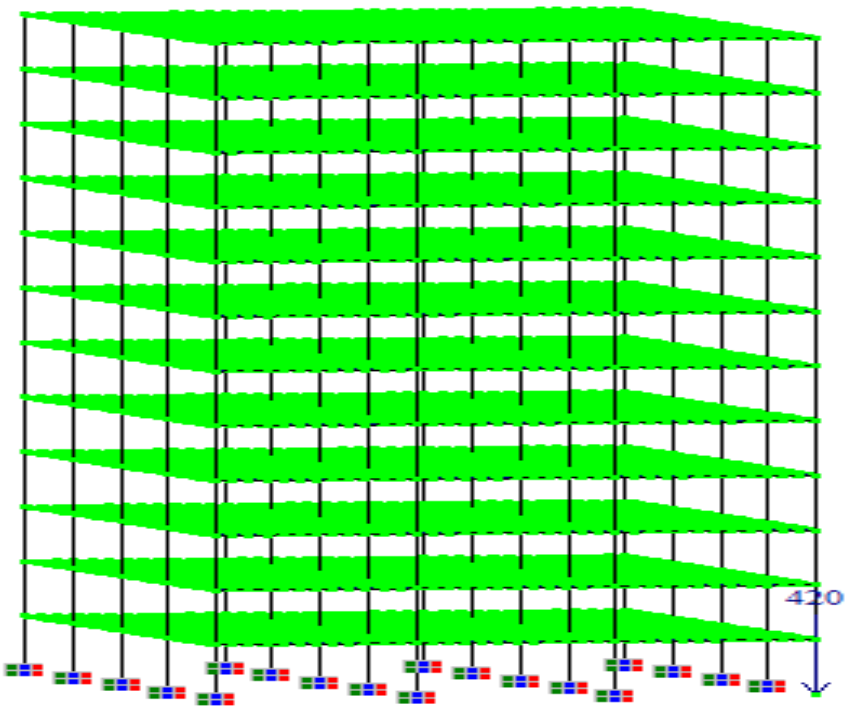


Figure 34:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

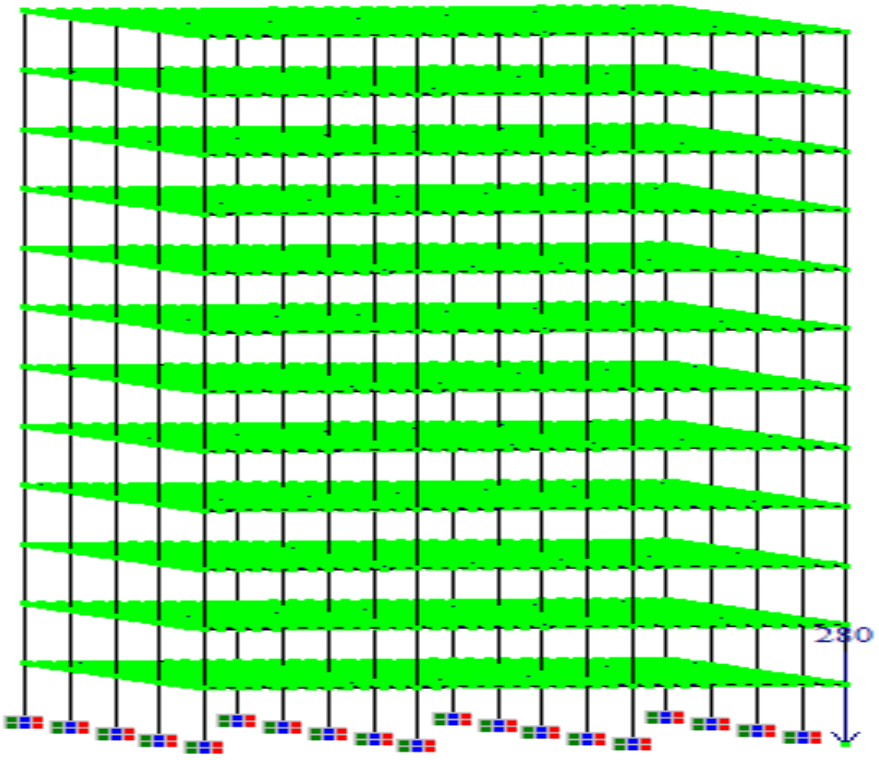


Figure 35:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau d'angle

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

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

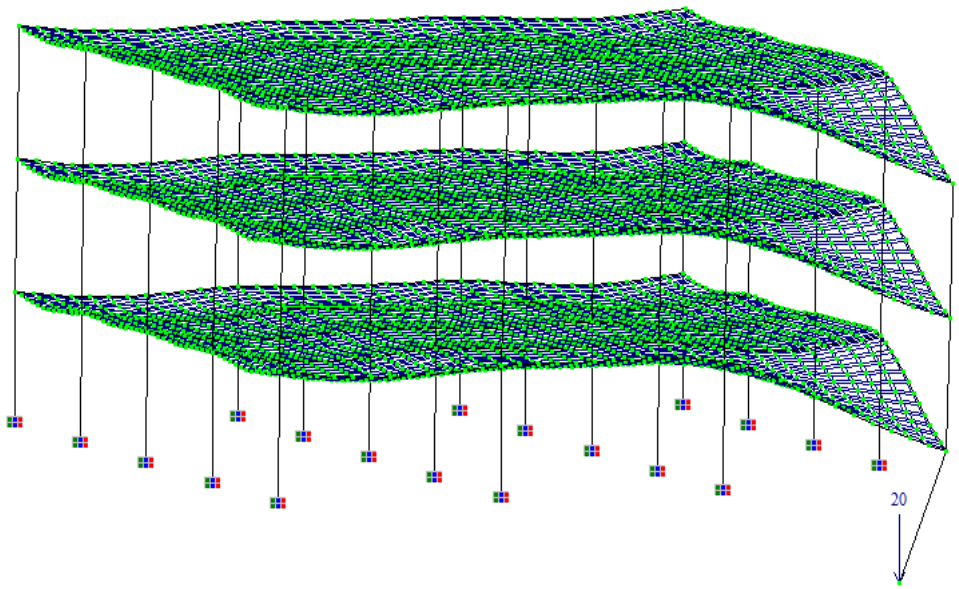


Figure 36:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau d'angle

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

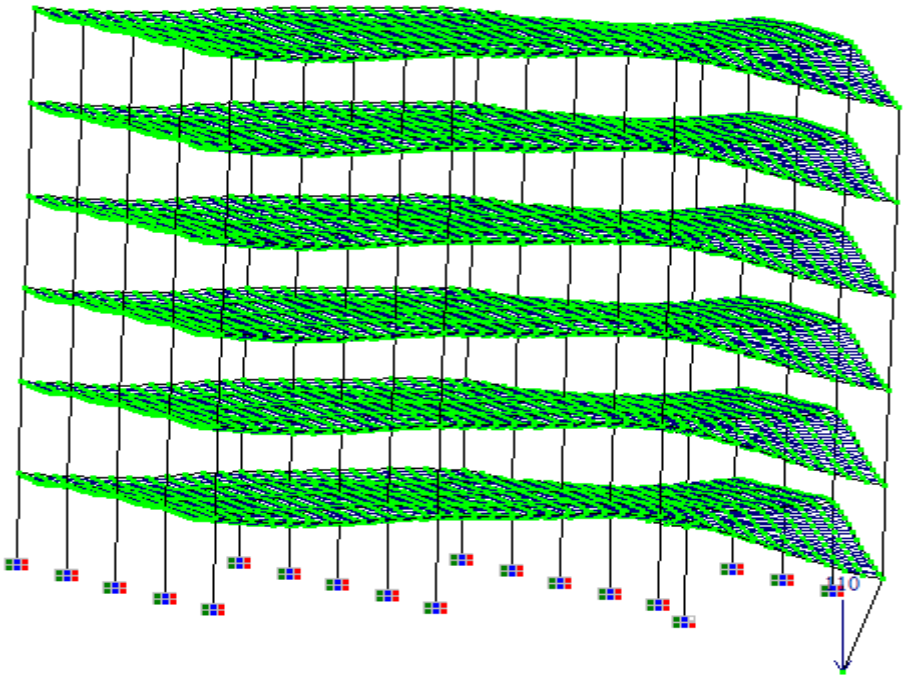


Figure 37:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau d'angle

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

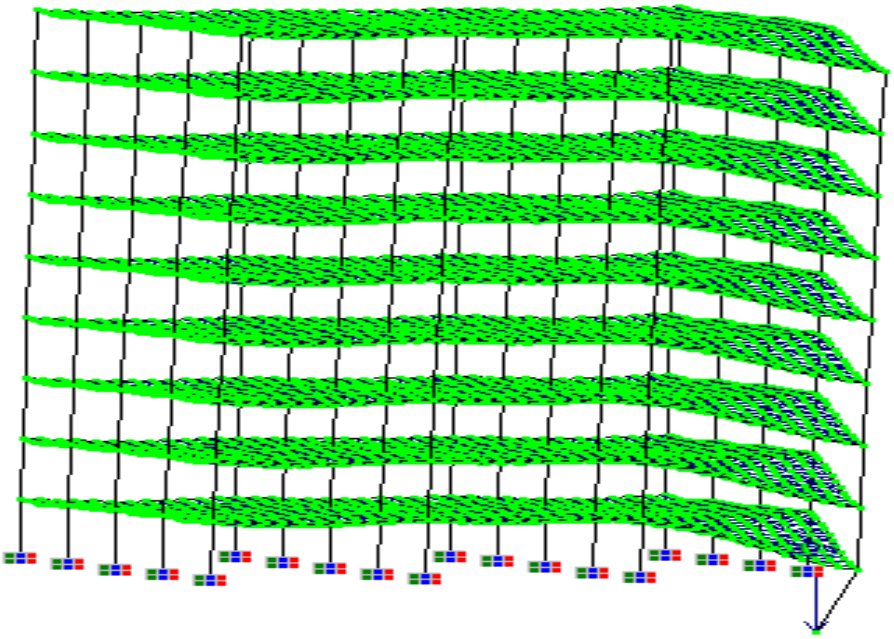


Figure 38:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau d'angle

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

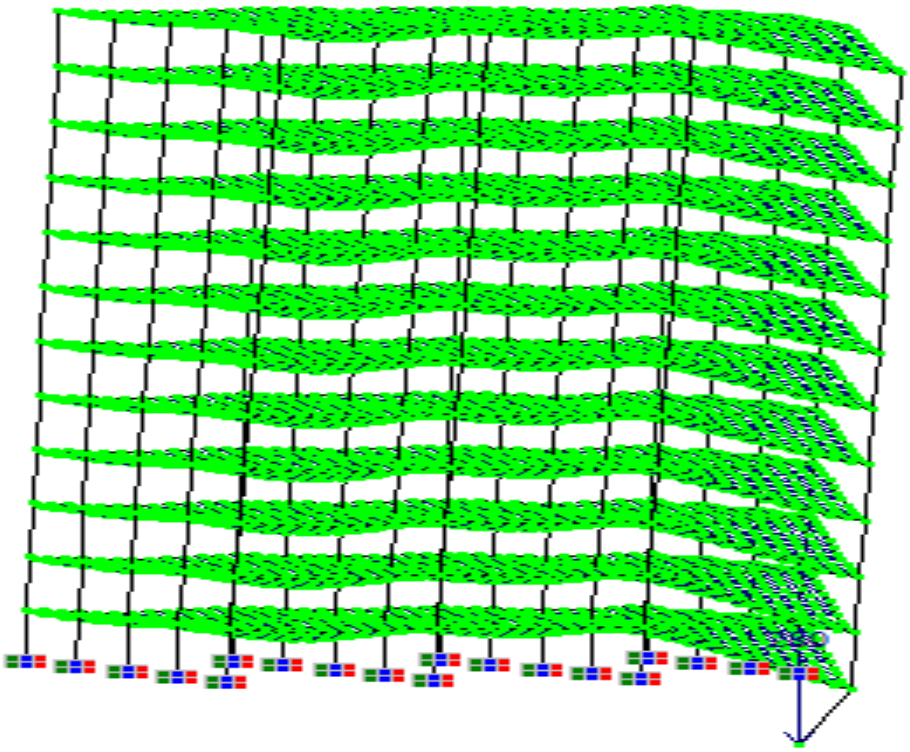


Figure 39:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau d'angle

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

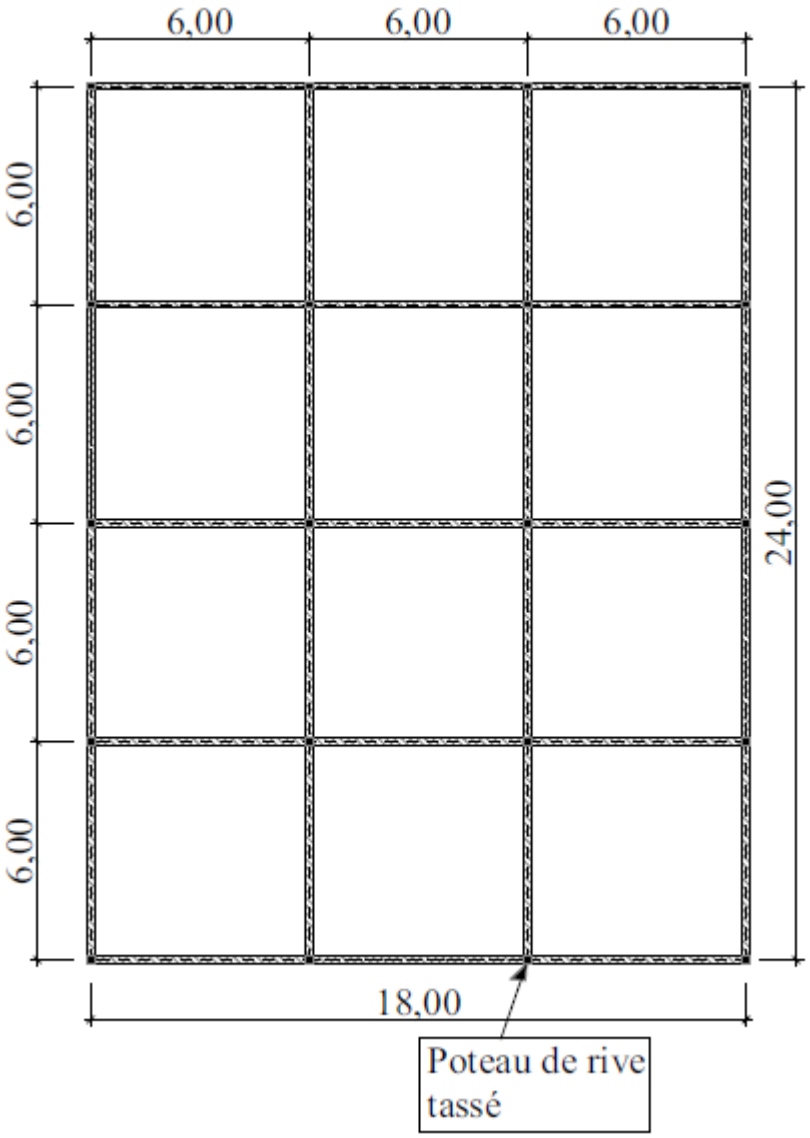


Figure 40:Schéma illustratif du poteau de rive tassé

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

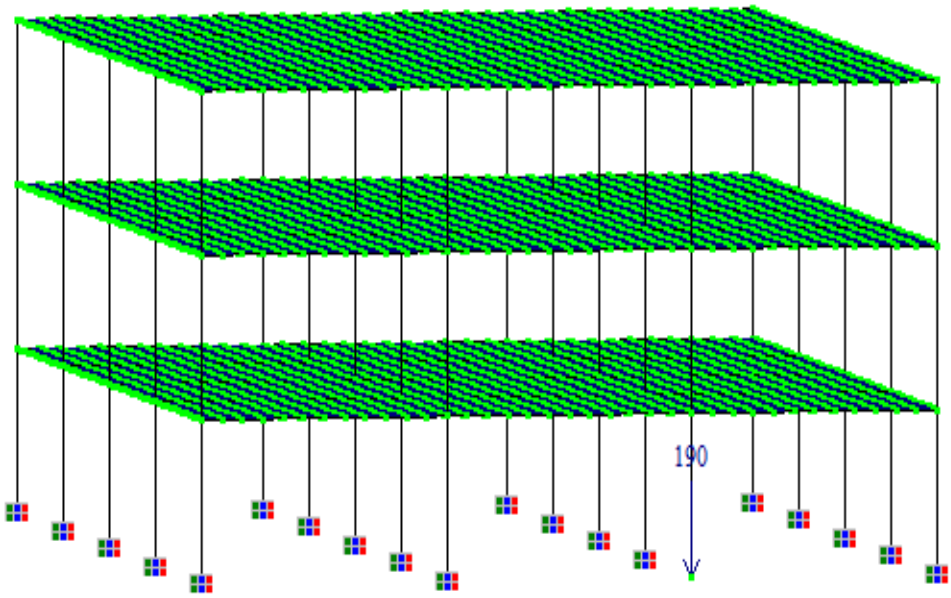


Figure 41:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

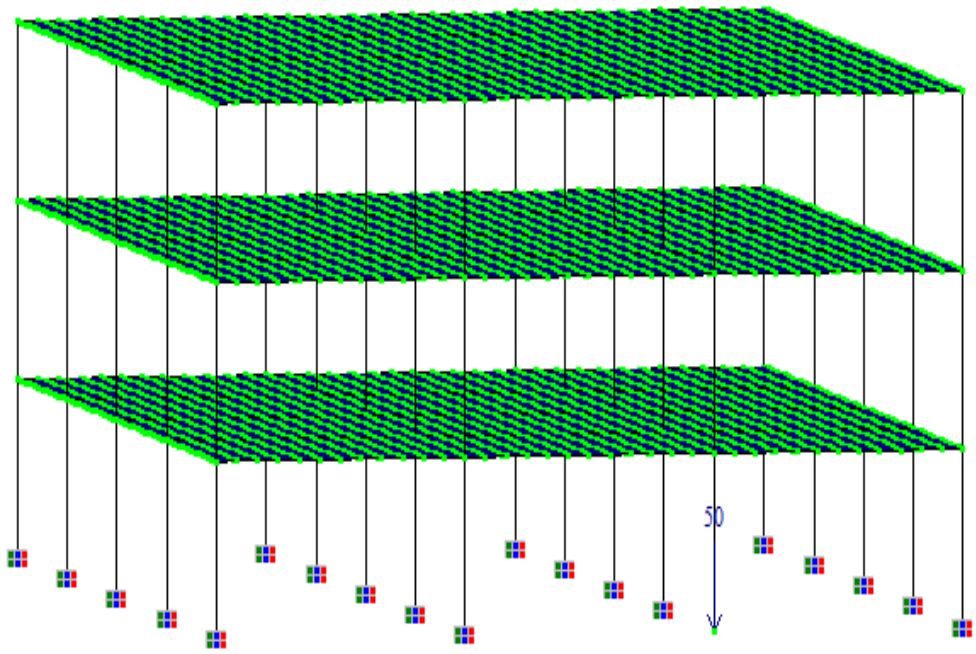


Figure 42:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

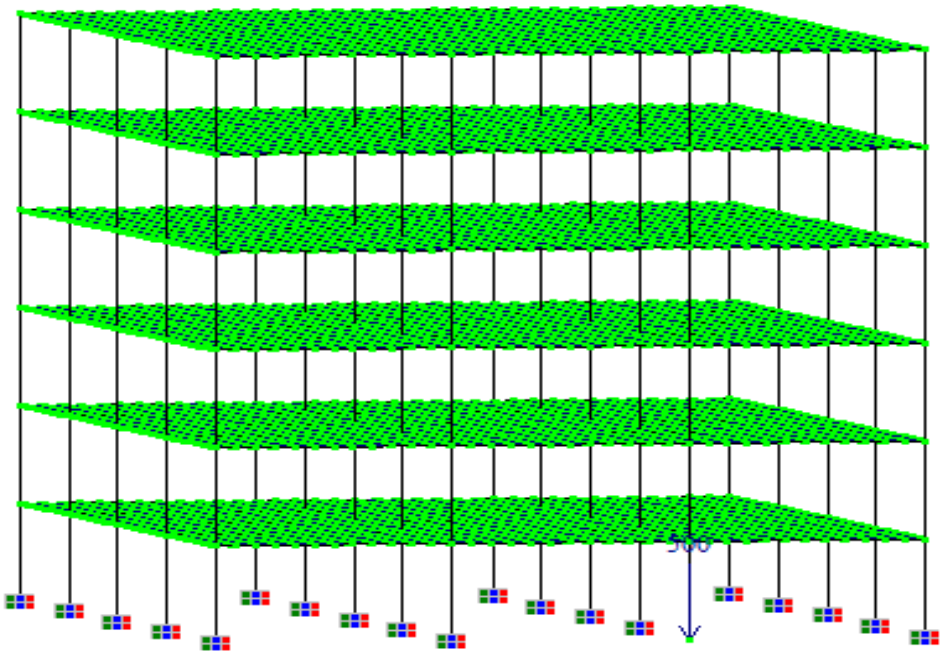


Figure 43:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

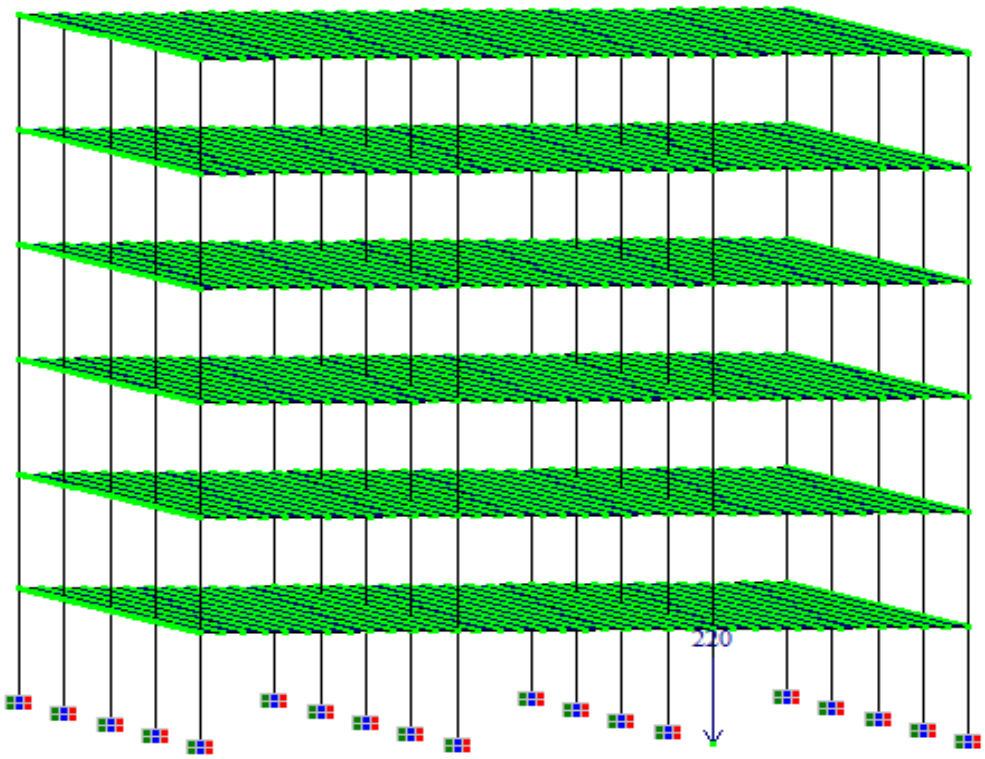


Figure 44:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

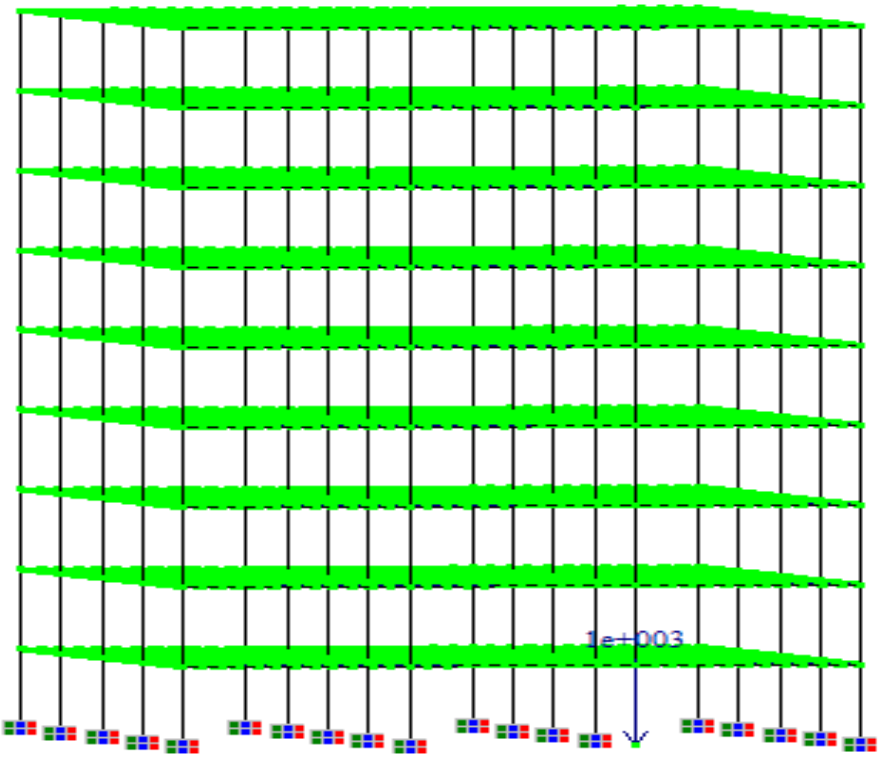


Figure 45:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

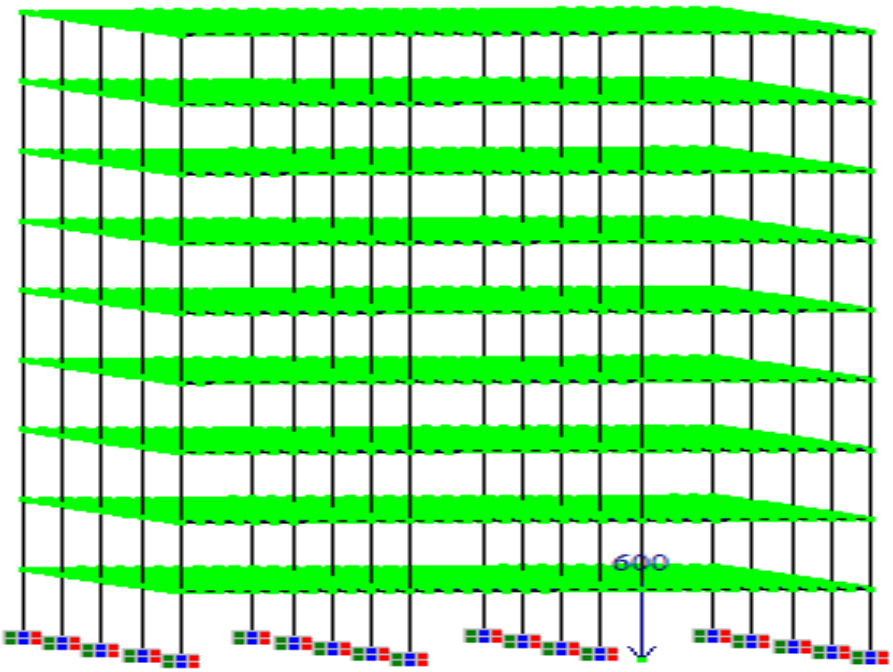


Figure 46:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

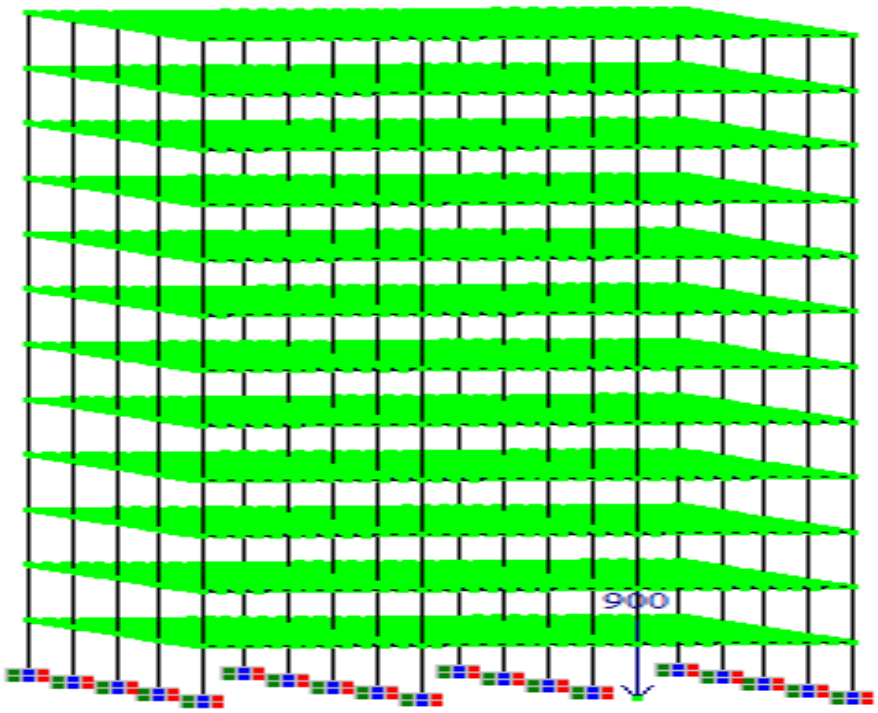


Figure 47:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

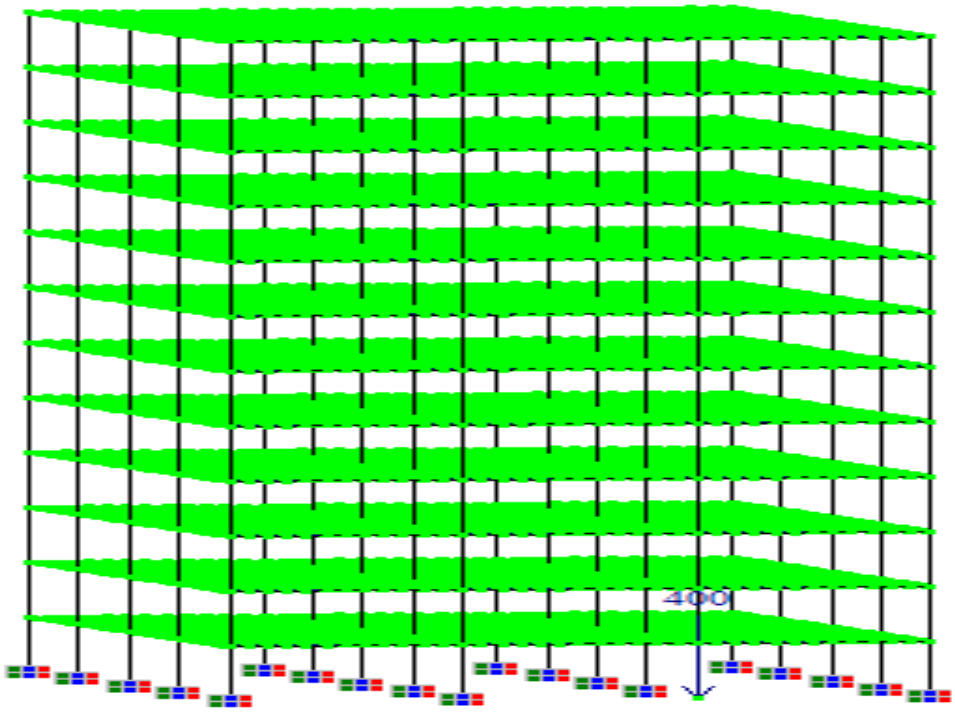


Figure 48:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

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

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

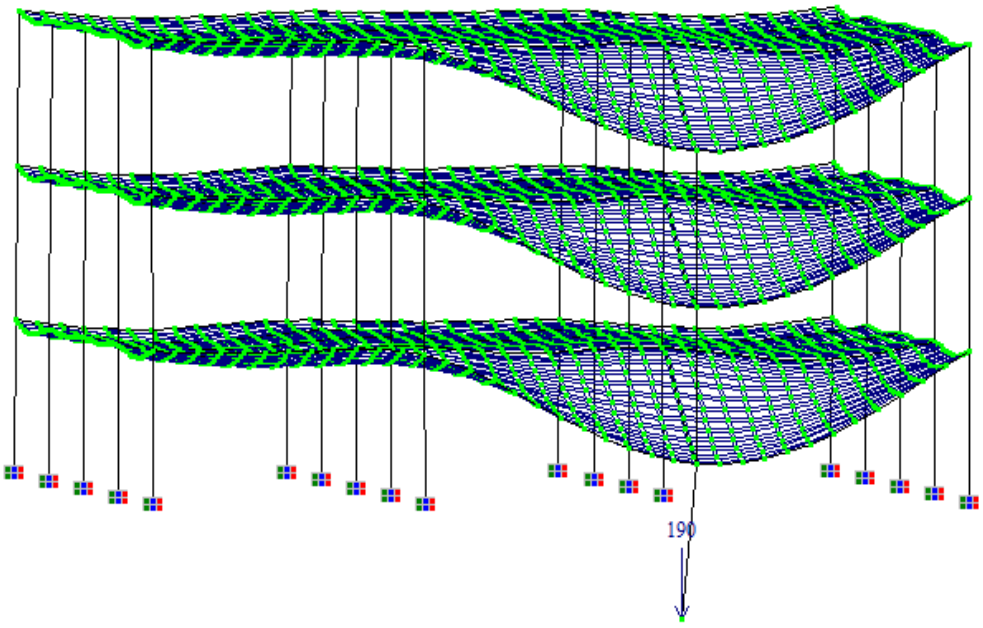


Figure 49:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau de rive

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

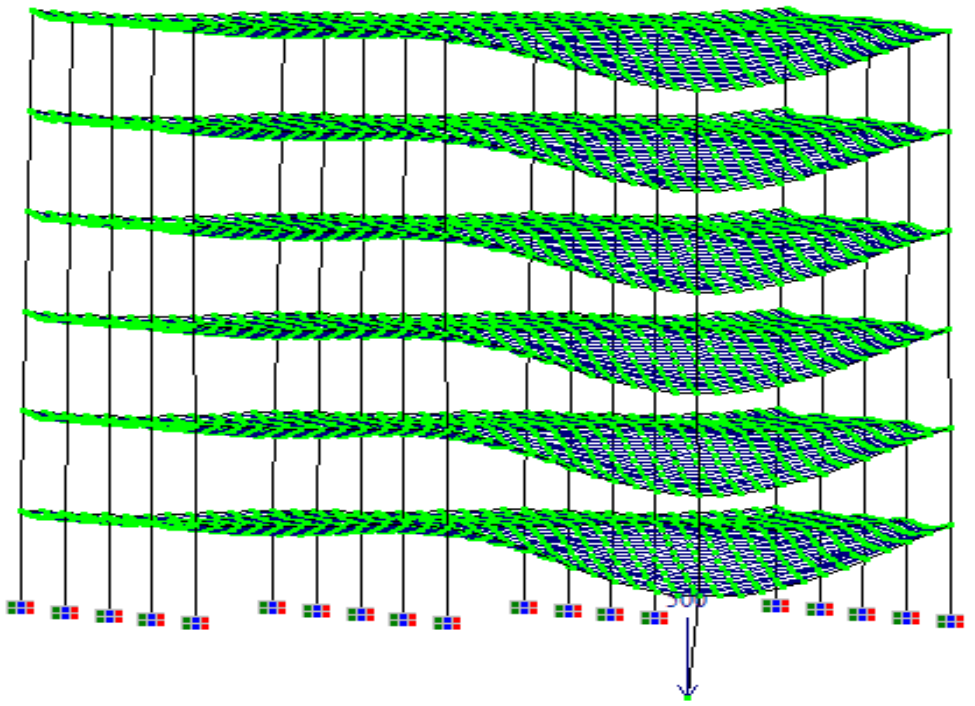


Figure 50:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau de rive

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

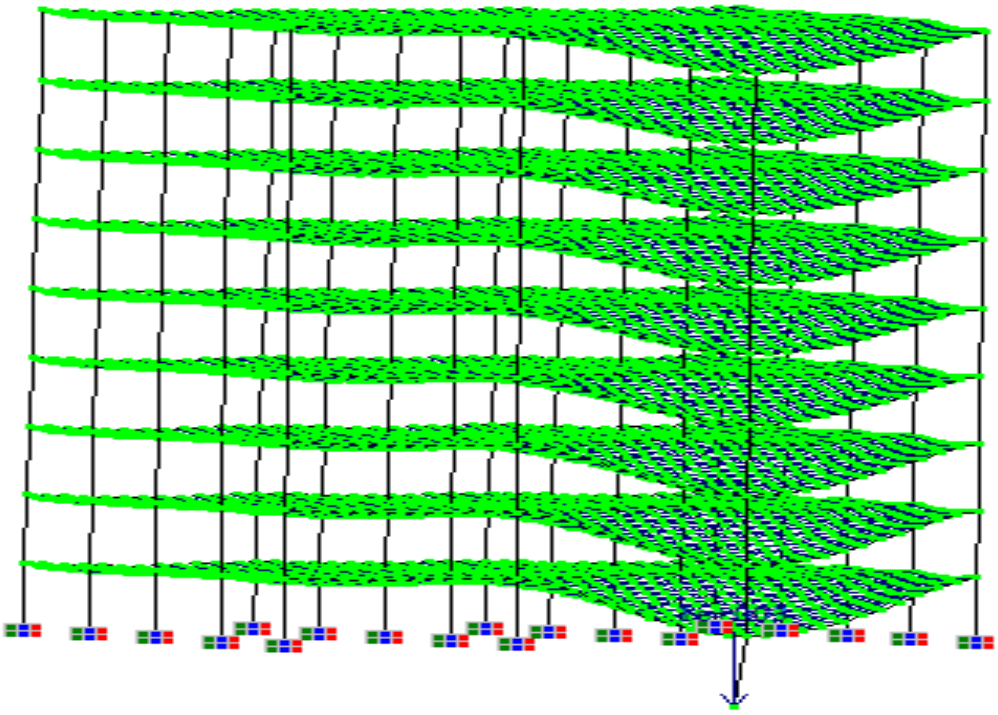


Figure 51:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau de rive

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

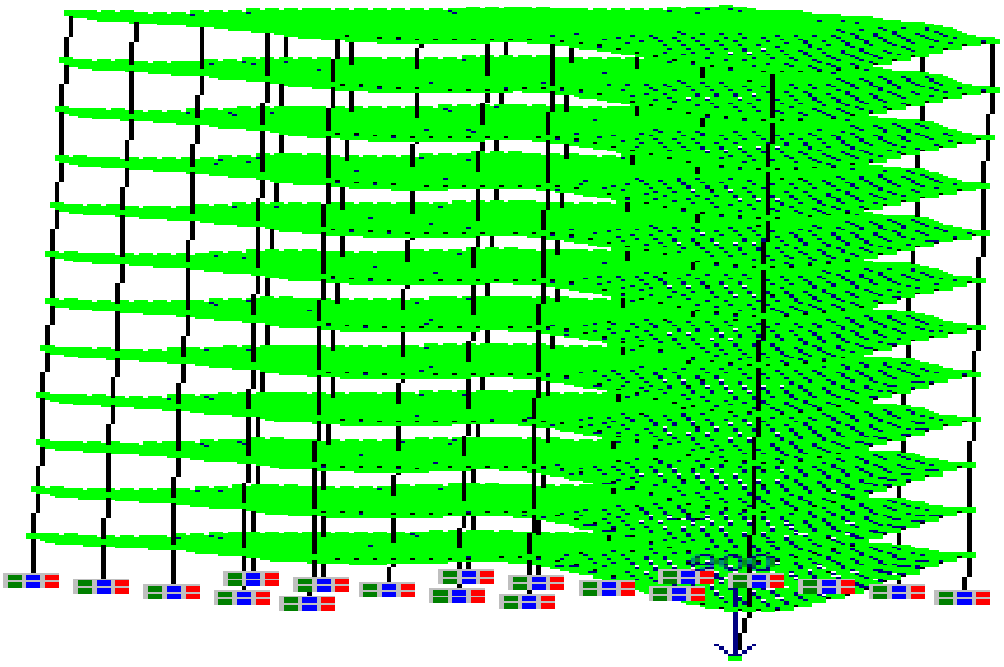


Figure 52:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau de rive

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

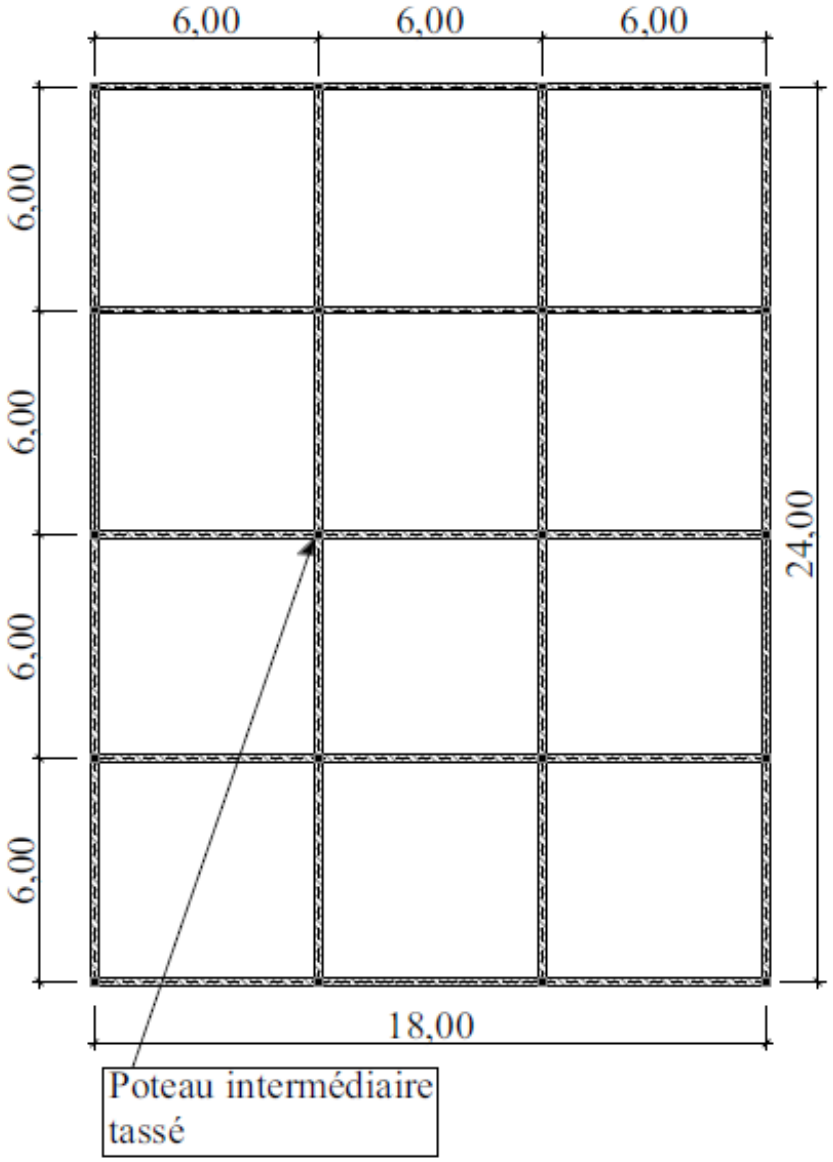


Figure 53:Schéma illustratif du poteau intermédiaire tassé

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

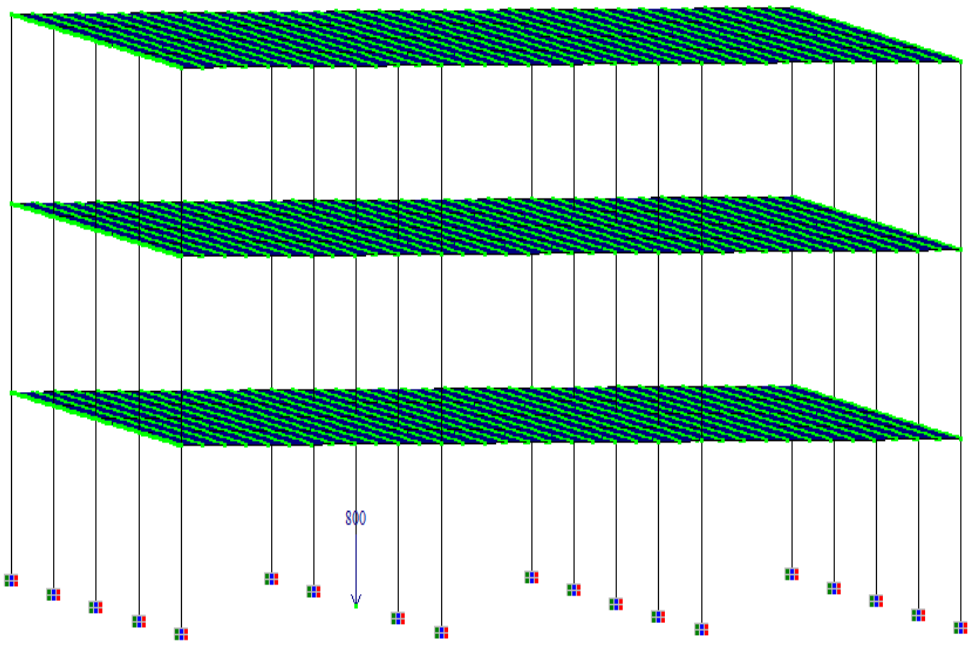


Figure 54:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

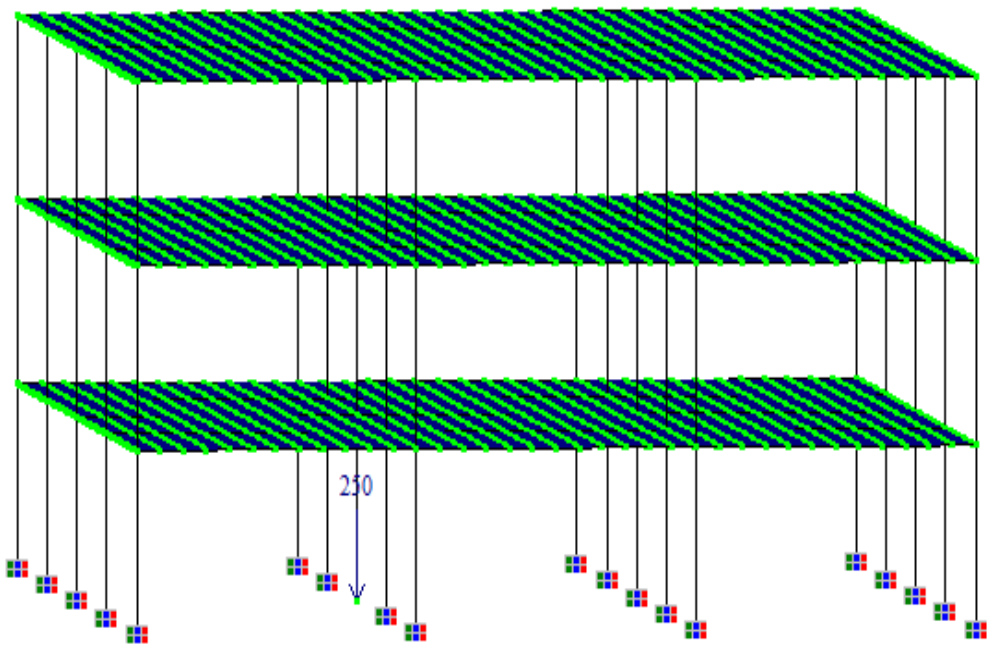


Figure 55:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 3 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

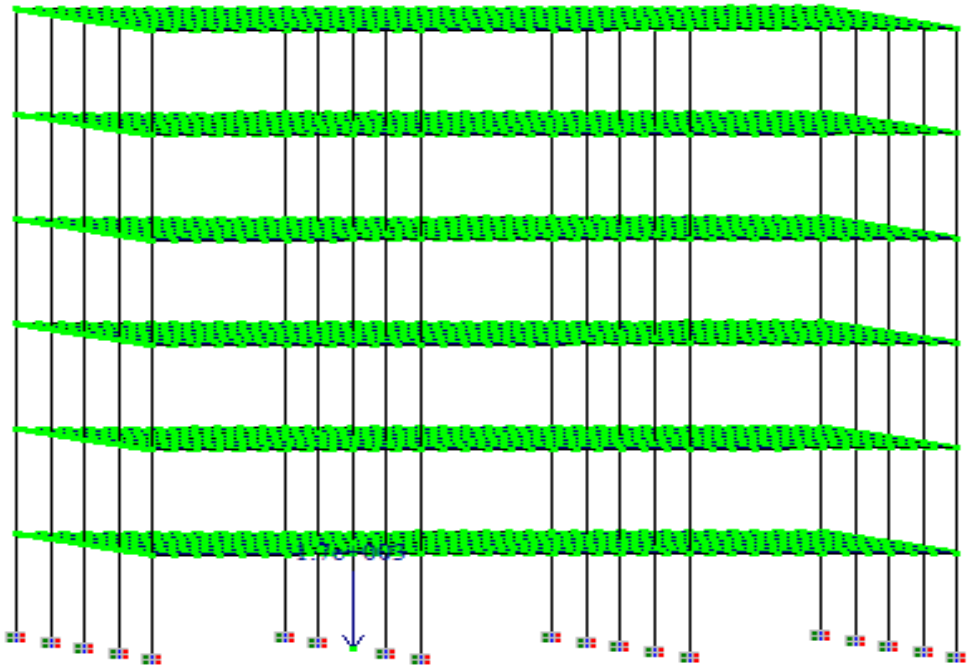


Figure 56:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

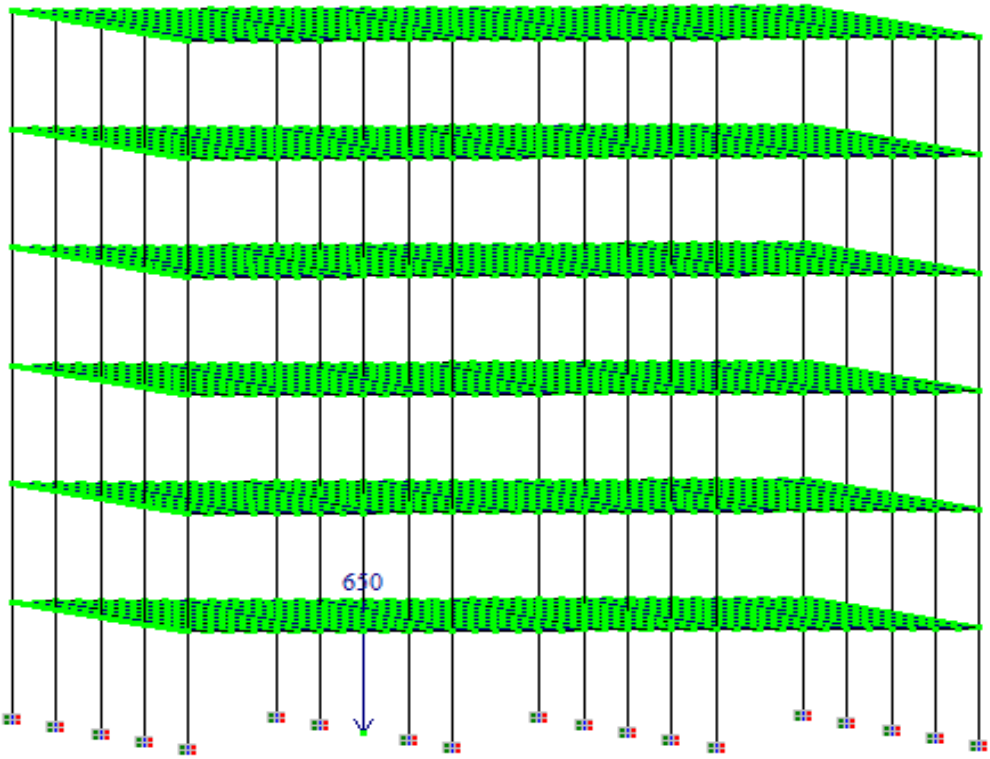


Figure 57:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 6 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

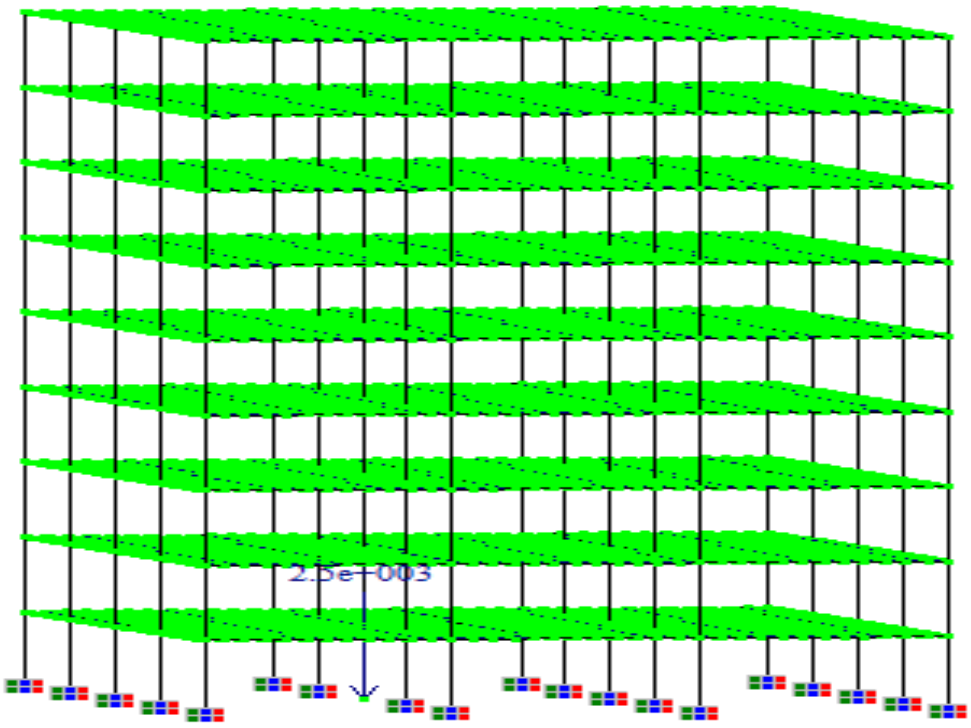


Figure 58:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

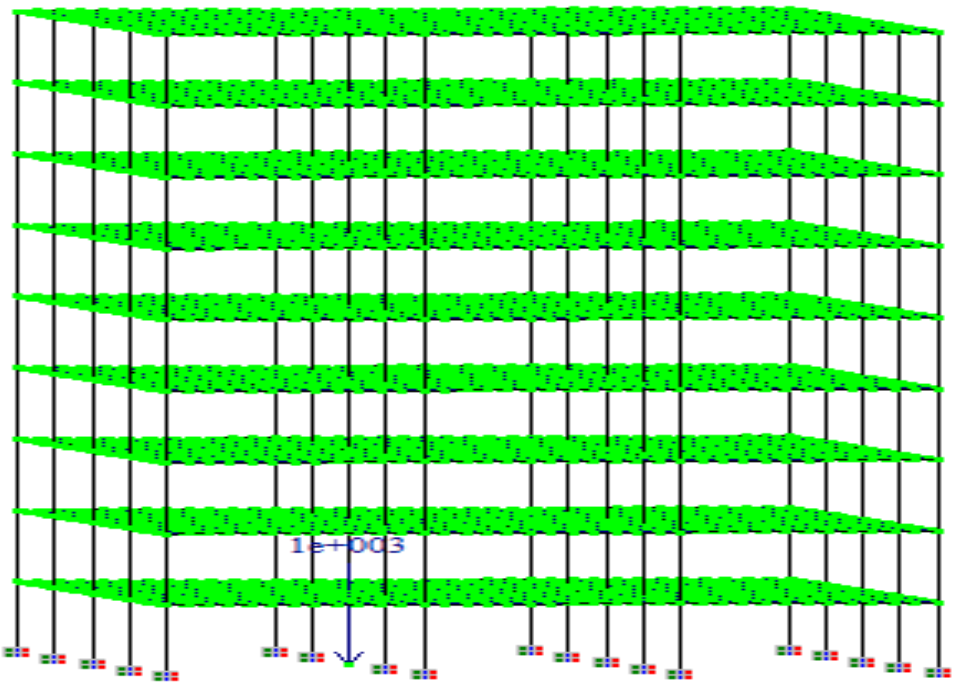


Figure 59:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 9 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

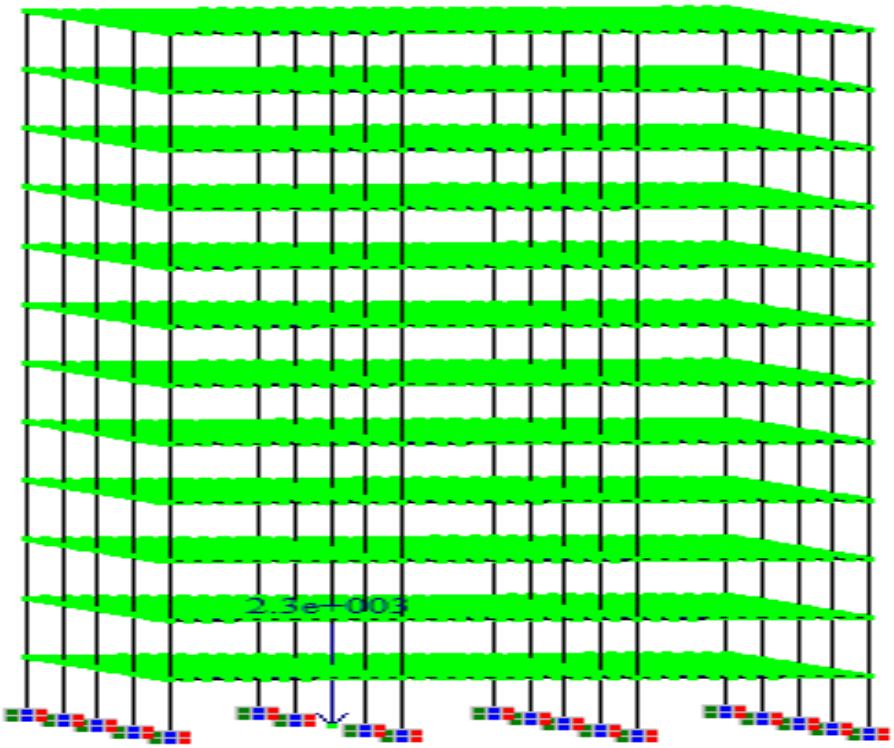


Figure 60:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers sans hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau intermédiaire

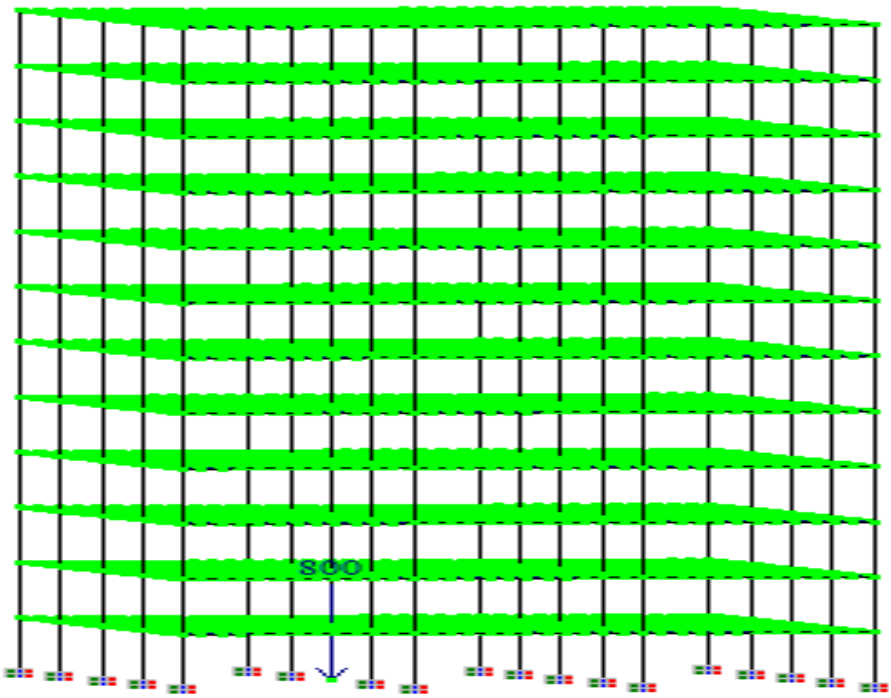


Figure 61:Schéma illustratif du modèle d'étude du bâtiment avec planchers en hourdis à 12 niveaux avec un chargement vertical sur le poteau de rive

f) Comportement des bâtiments après un tassement du poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 3 niveaux

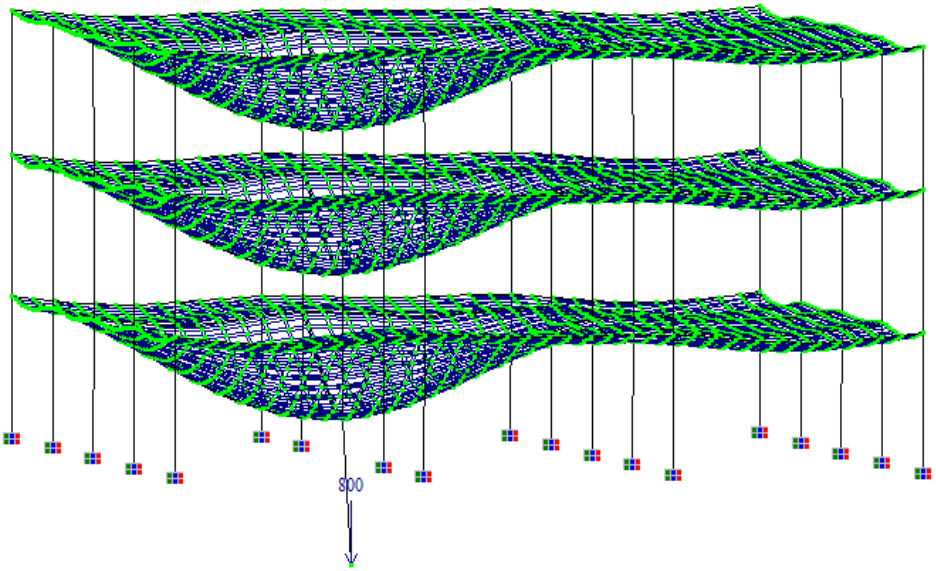


Figure 62:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 3 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 6 niveaux

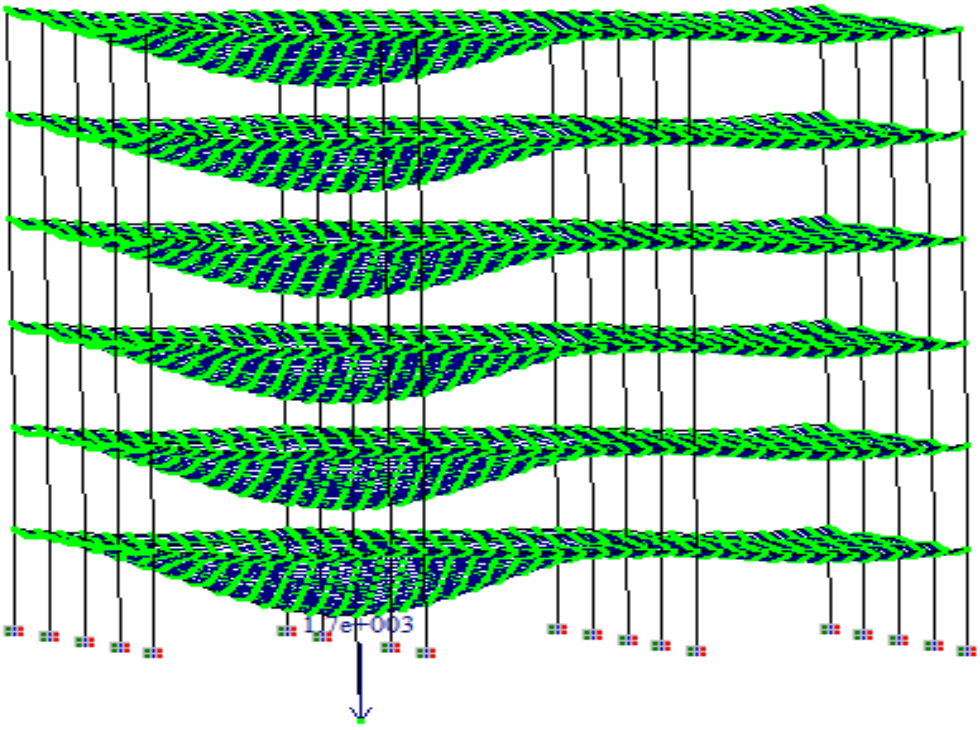


Figure 63:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 6 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 9 niveaux

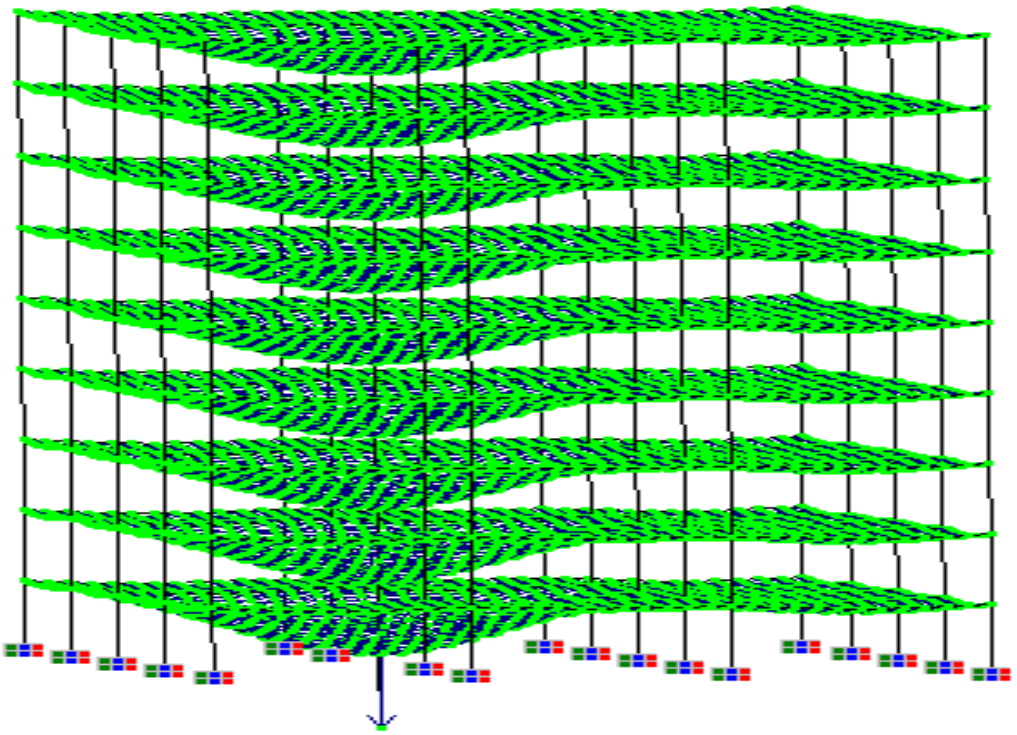


Figure 64:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 9 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire

Modèle du bâtiment à 12 niveaux

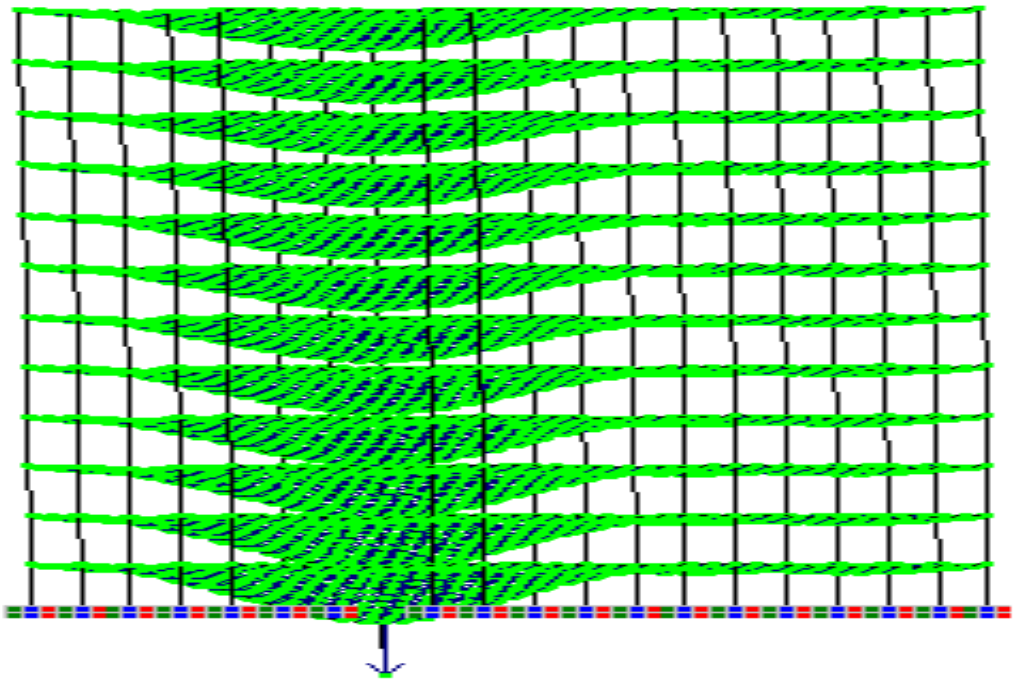


Figure 65:Schéma illustratif du comportement de la structure du bâtiment de 12 niveaux après le tassement du poteau intermédiaire

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

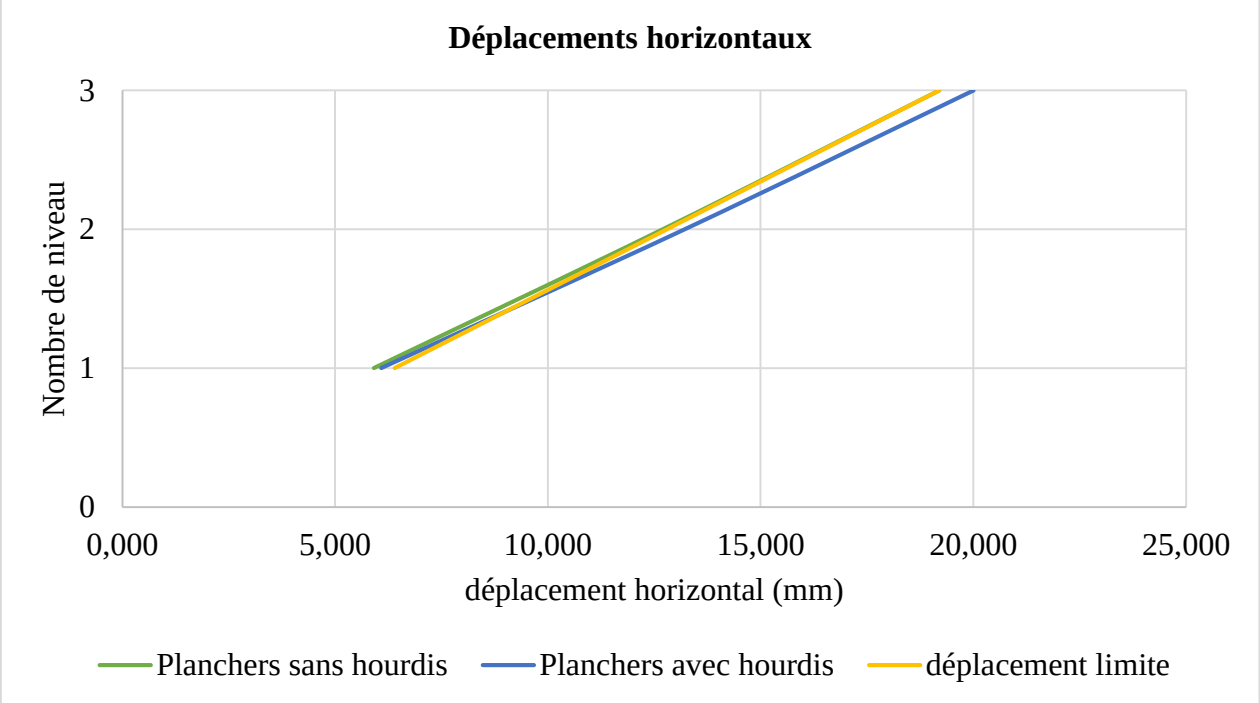


Figure 66:Déplacements horizontaux pour le modèle à 3 niveaux

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

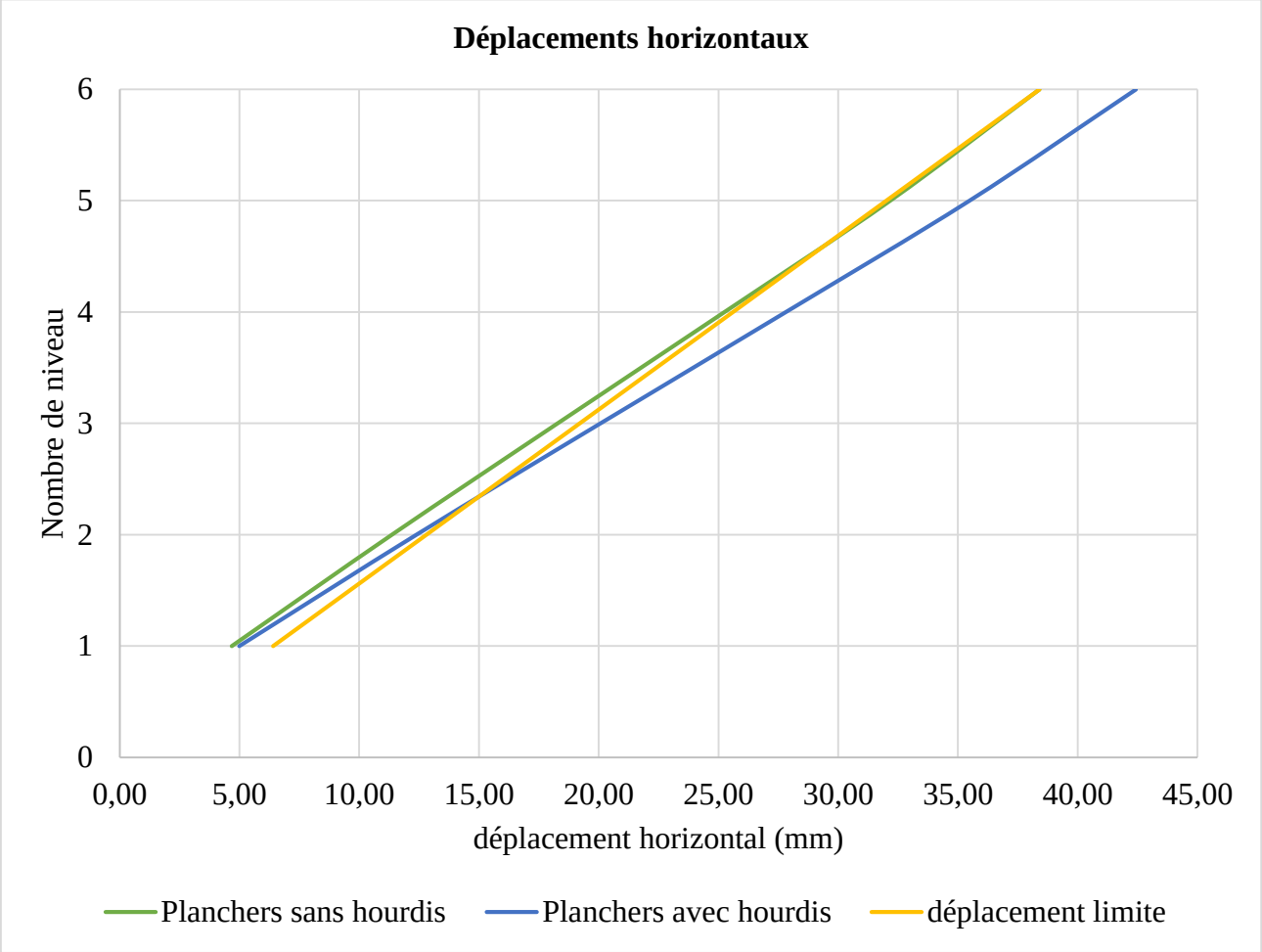


Figure 67:Déplacements horizontaux pour le modèle à 6 niveaux

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

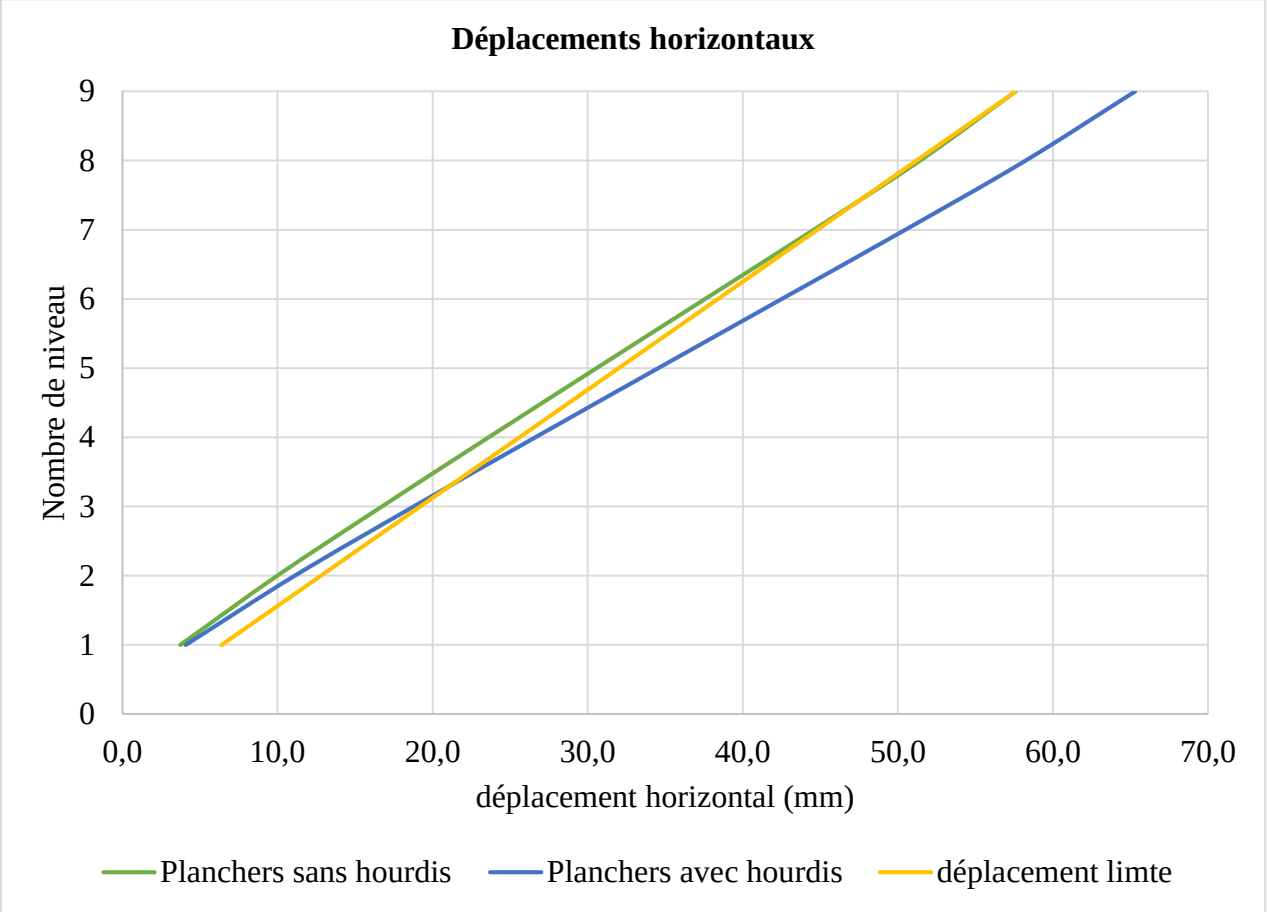


Figure 68:Déplacements horizontaux pour le modèle à 9 niveaux

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

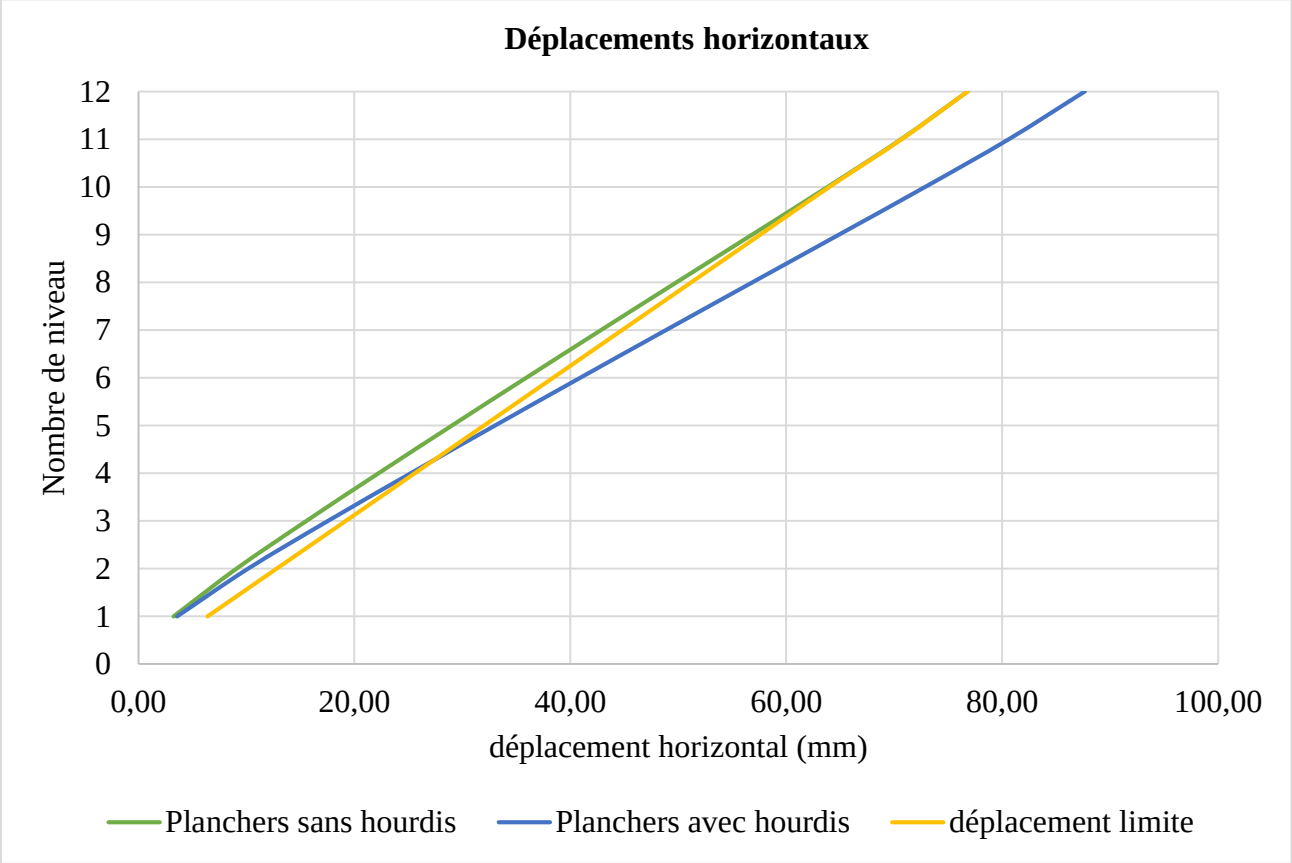


Figure 69:Déplacements horizontaux pour le modèle à 12 niveaux

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

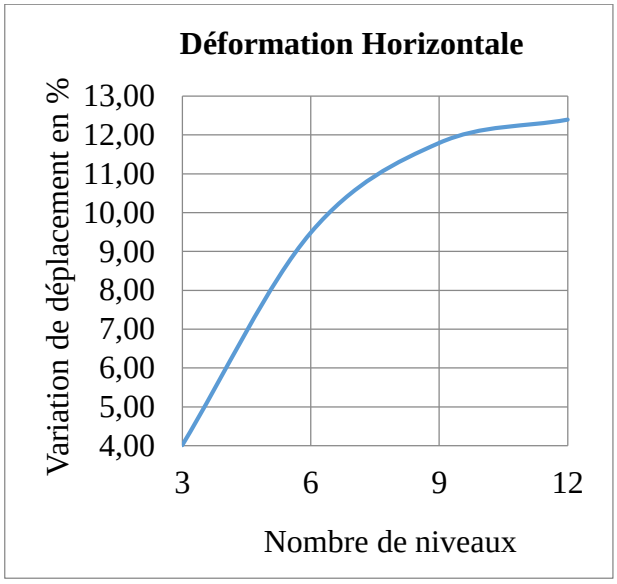


Figure 70:Variation de déplacements en pourcentage selon le modèle d'étude

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

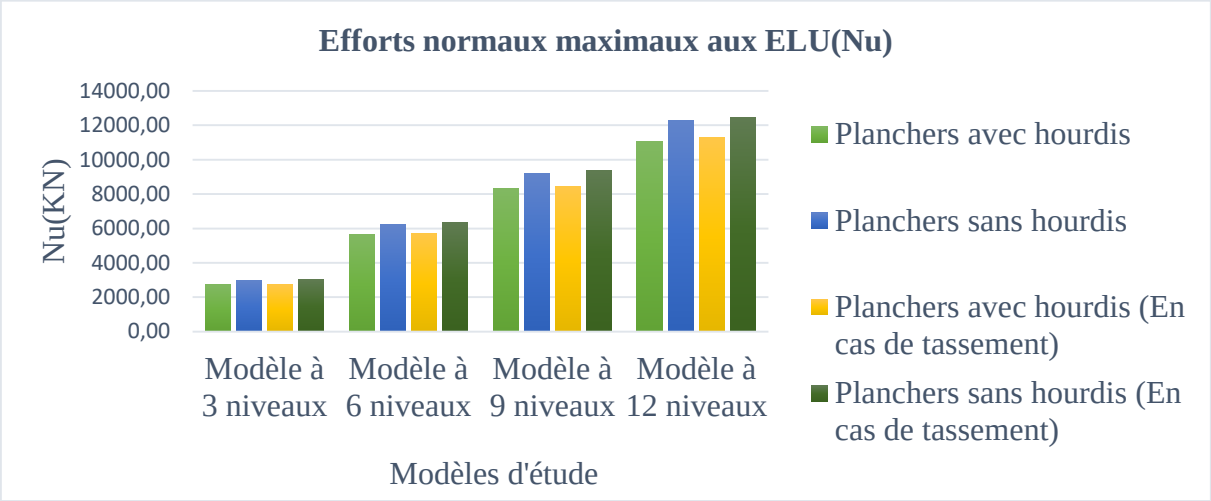


Figure 71:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux

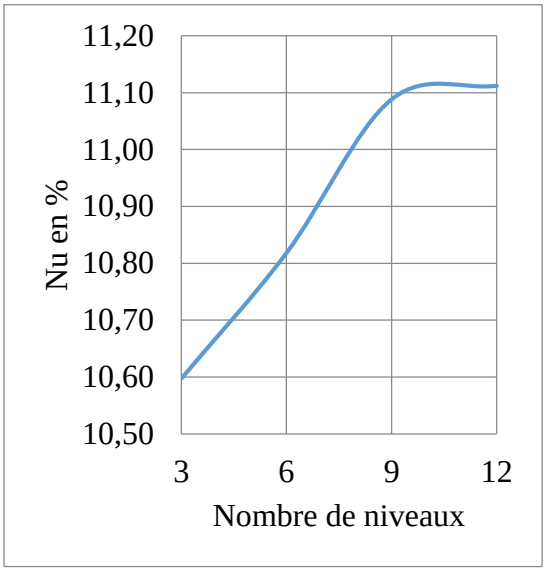


Figure 72:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude

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 1er 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.

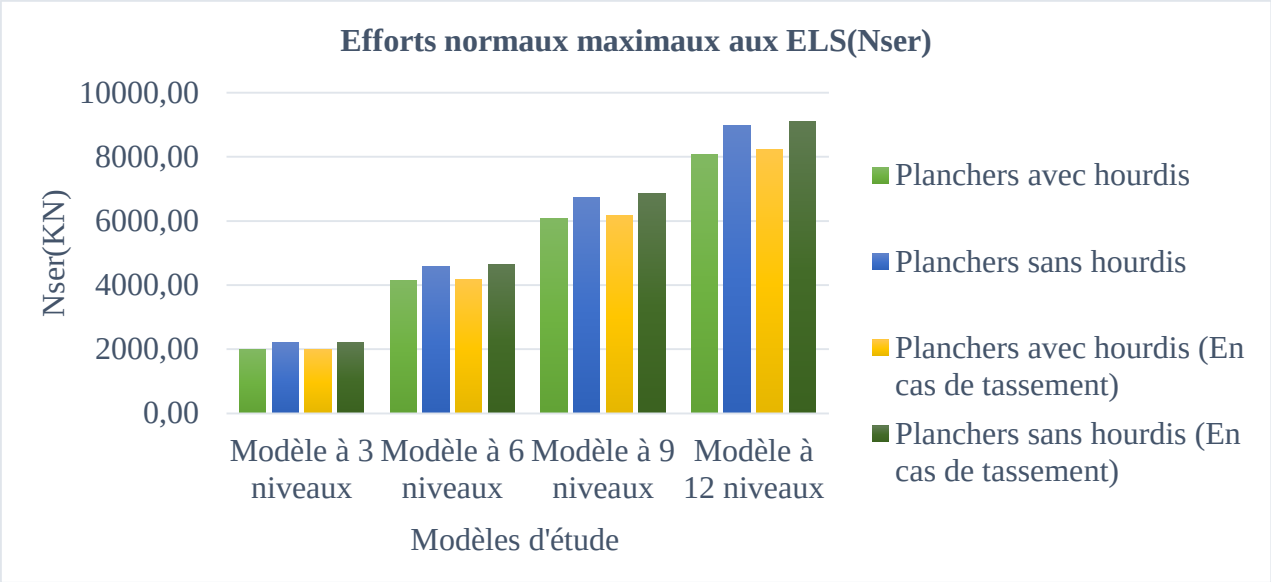


Figure 73:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux

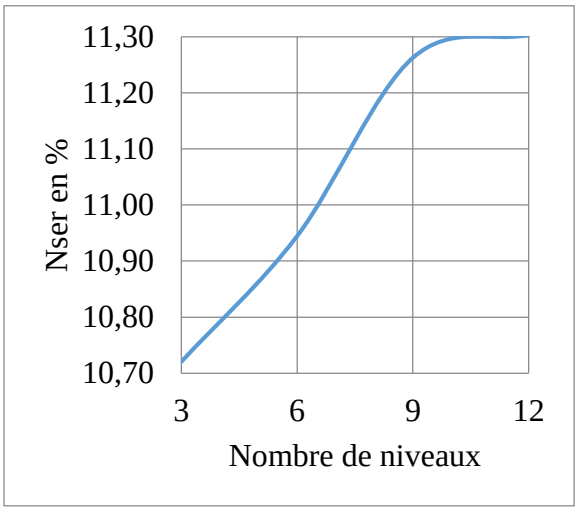


Figure 74:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude

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 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 10.72% et 11.30% plus grands que ceux transmis par les planchers en hourdis.

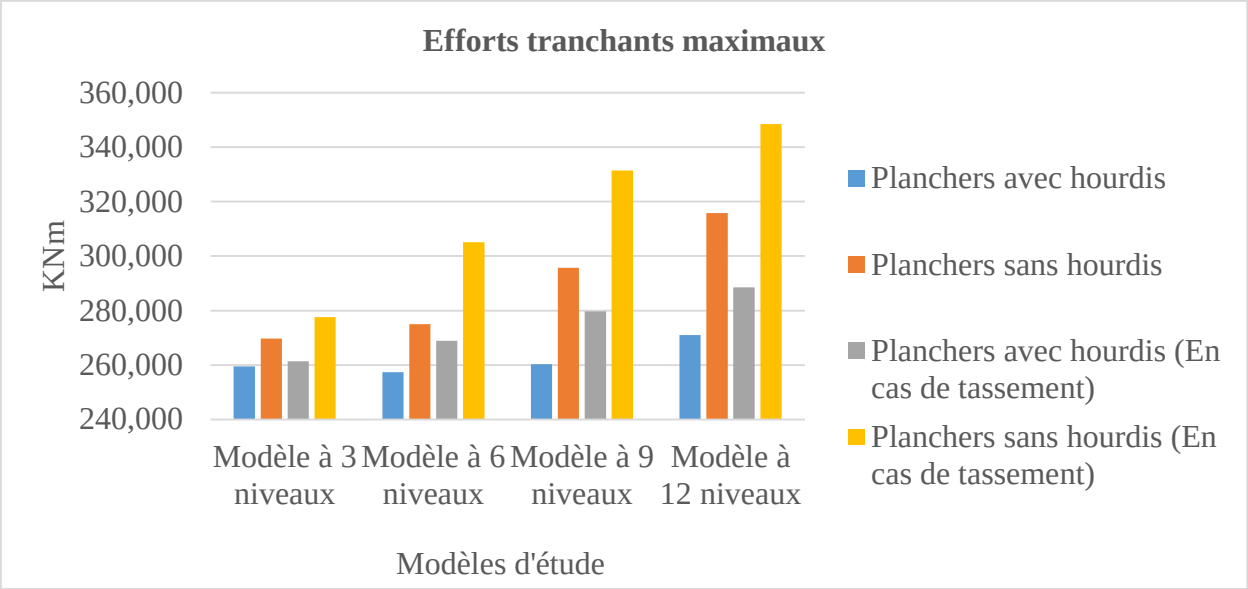


Figure 75:Efforts tranchants maximaux dans les poutres

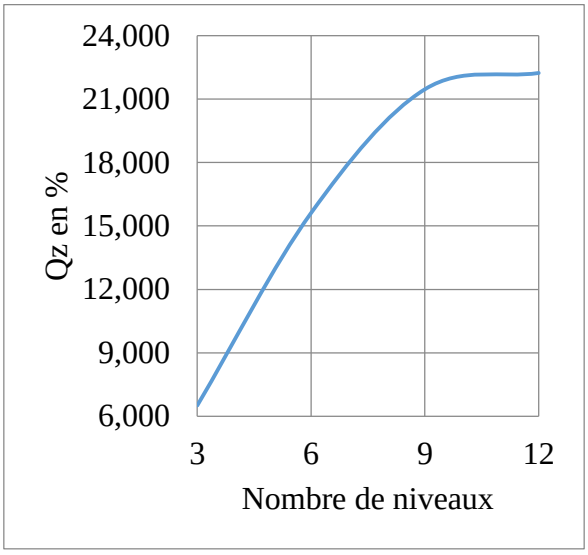


Figure 76:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

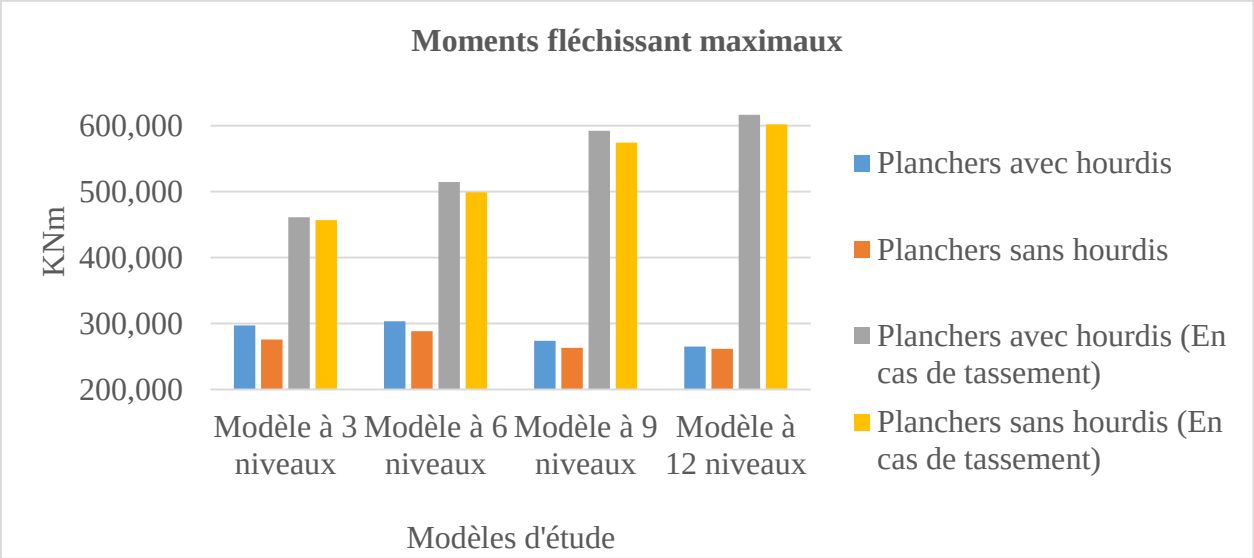


Figure 77:Moments fléchissant maximaux dans les poutres

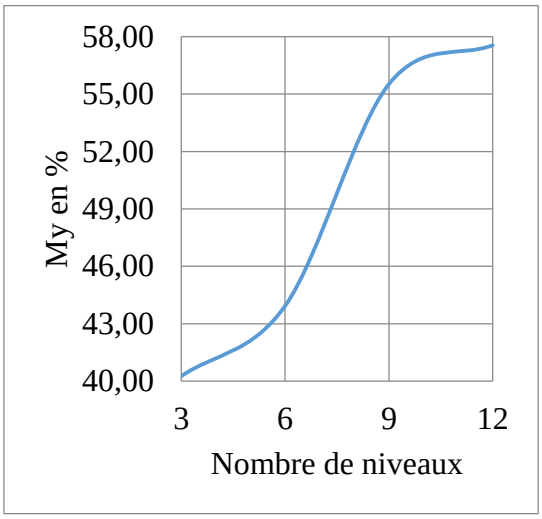


Figure 78:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

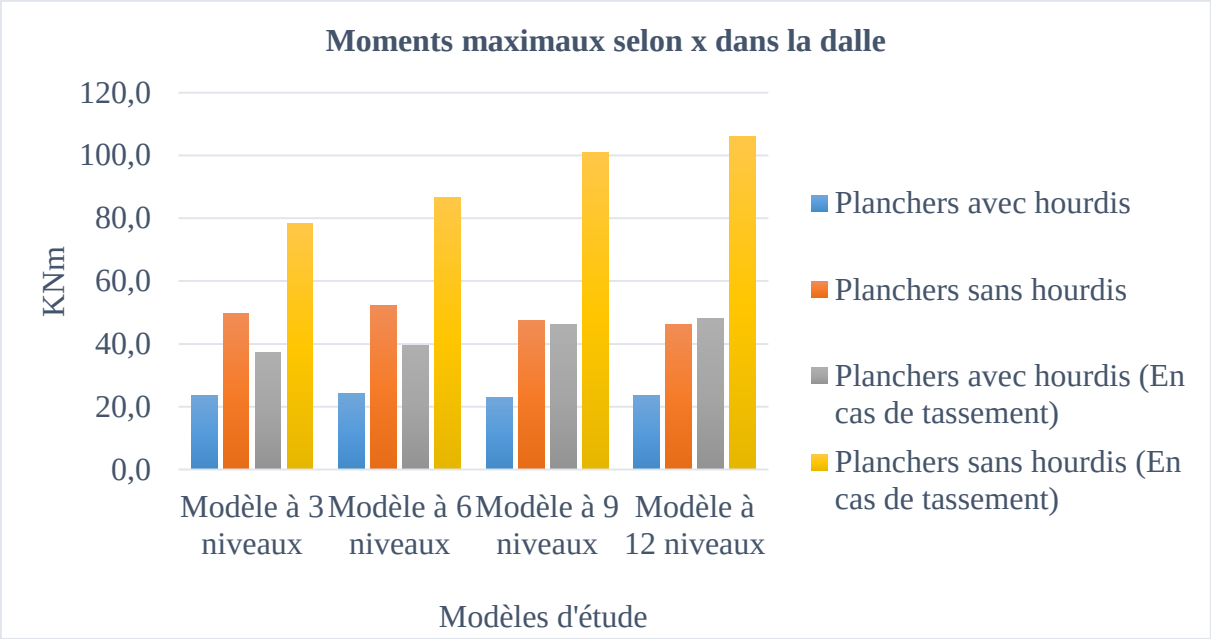


Figure 79:Moments maximaux dans les dalles (sens x)

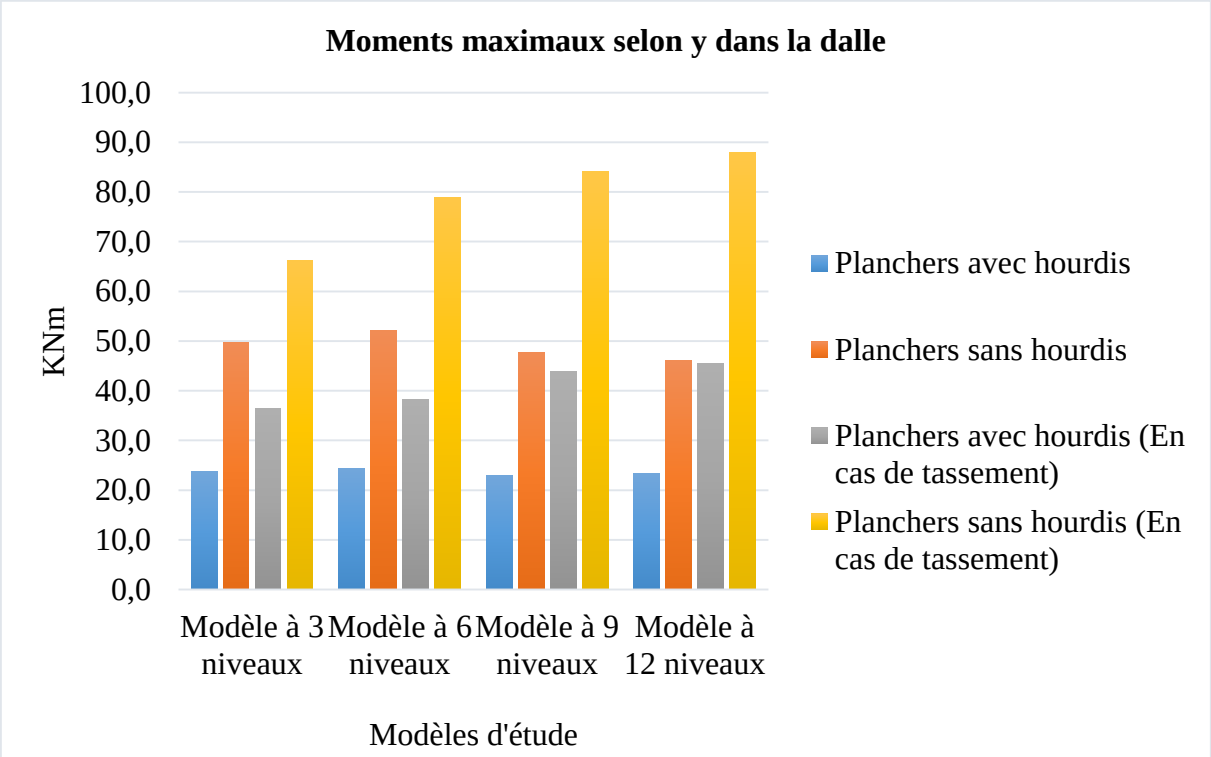
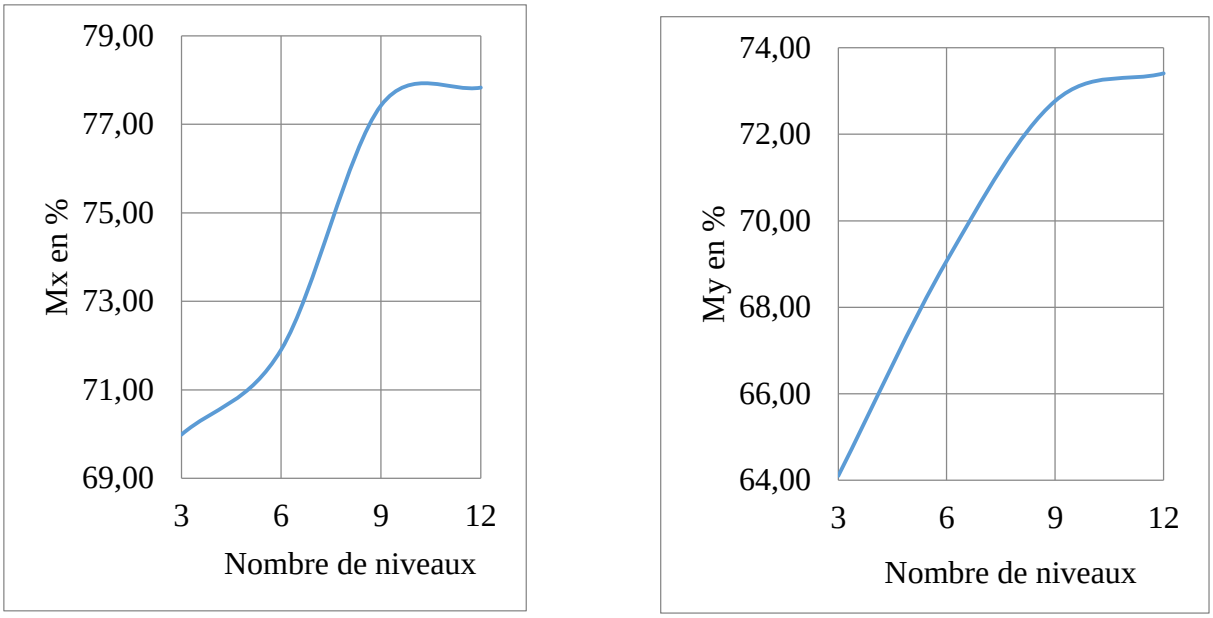


Figure 80:Moments maximaux dans les dalles (sens-y)



(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

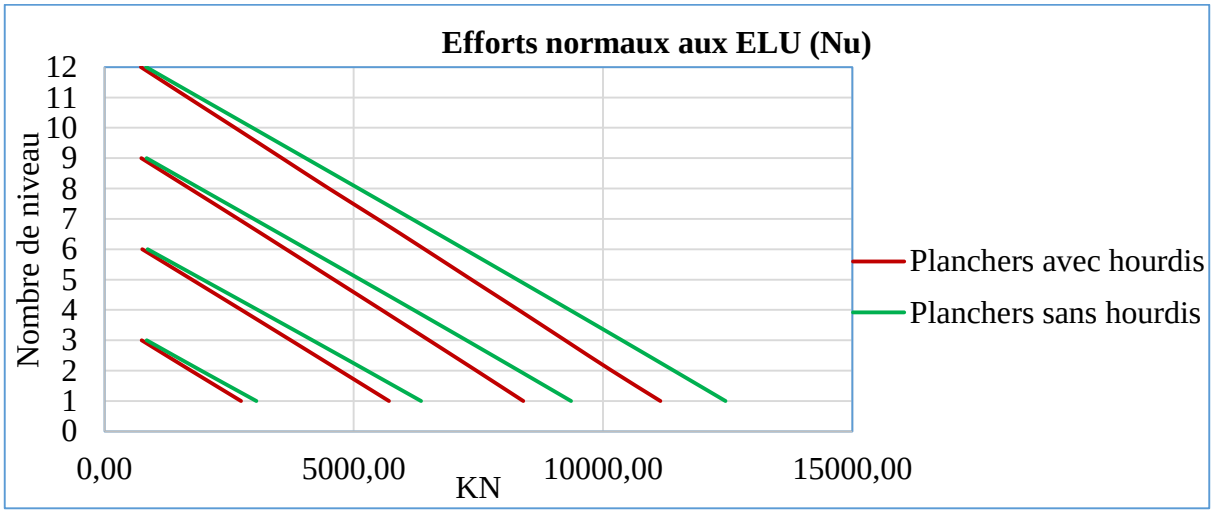


Figure 82:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

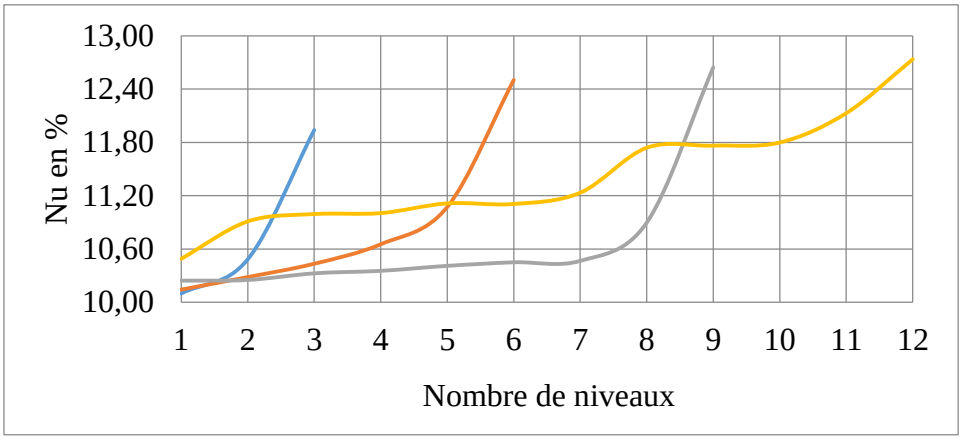


Figure 83:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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.

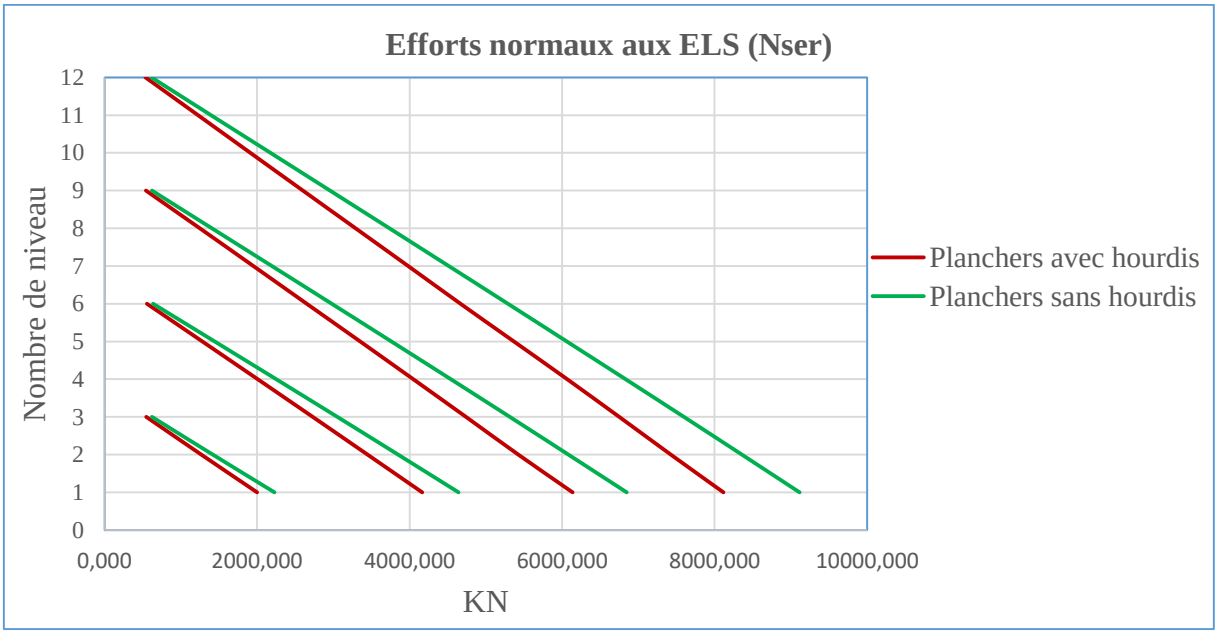


Figure 84:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

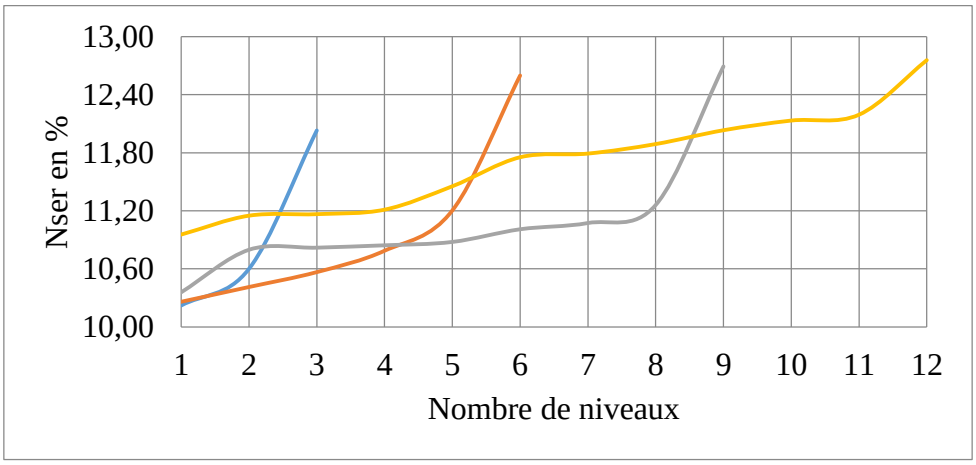


Figure 85:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

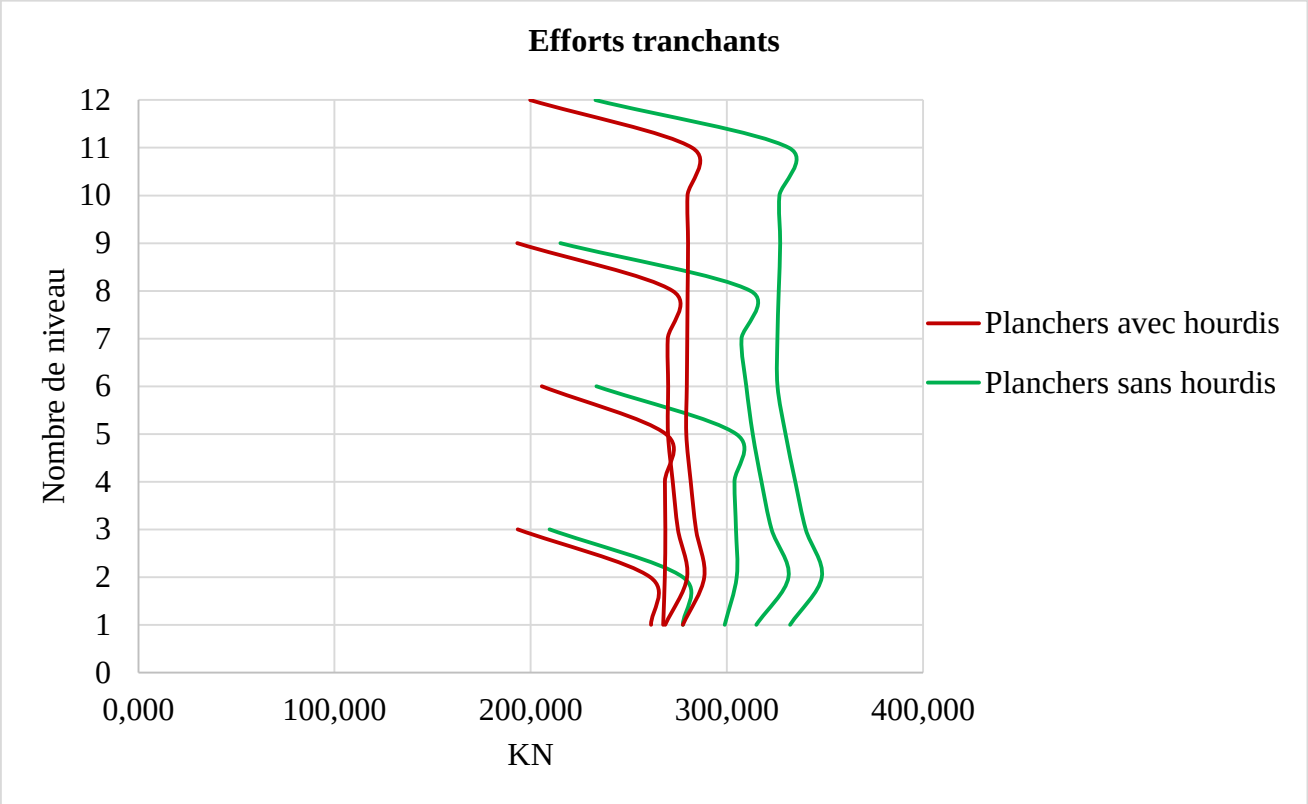


Figure 86:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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 1er 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 2ème niveau pour le bâtiment avec planchers sans hourdis et sur le 5ème 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 2ème 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.

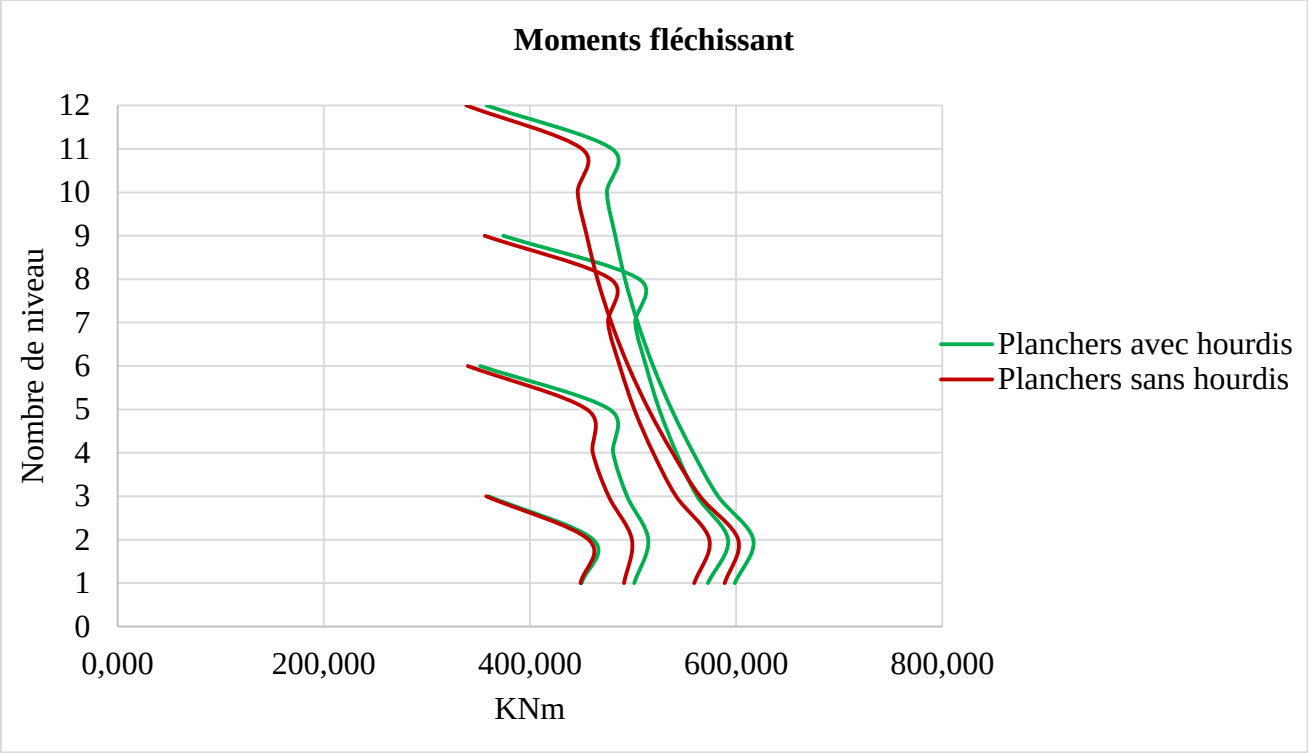


Figure 87:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

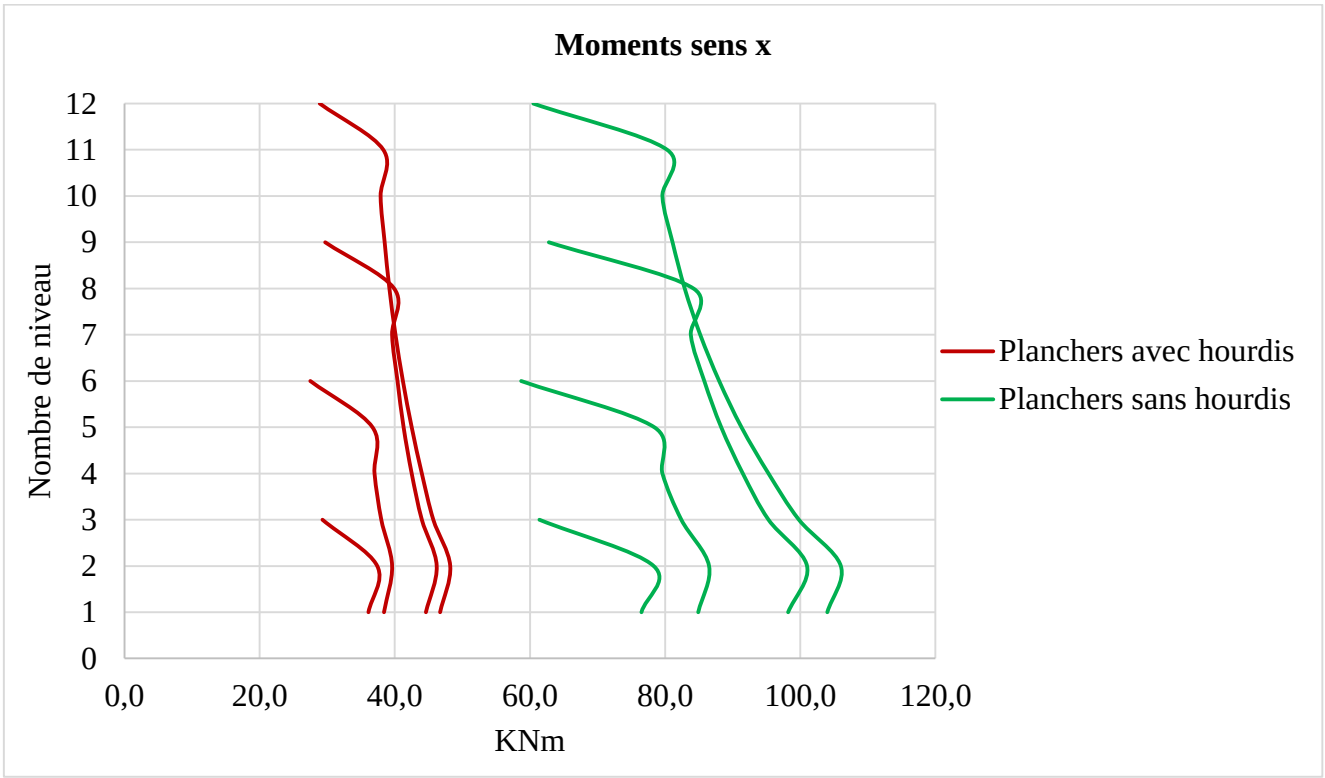


Figure 88:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude

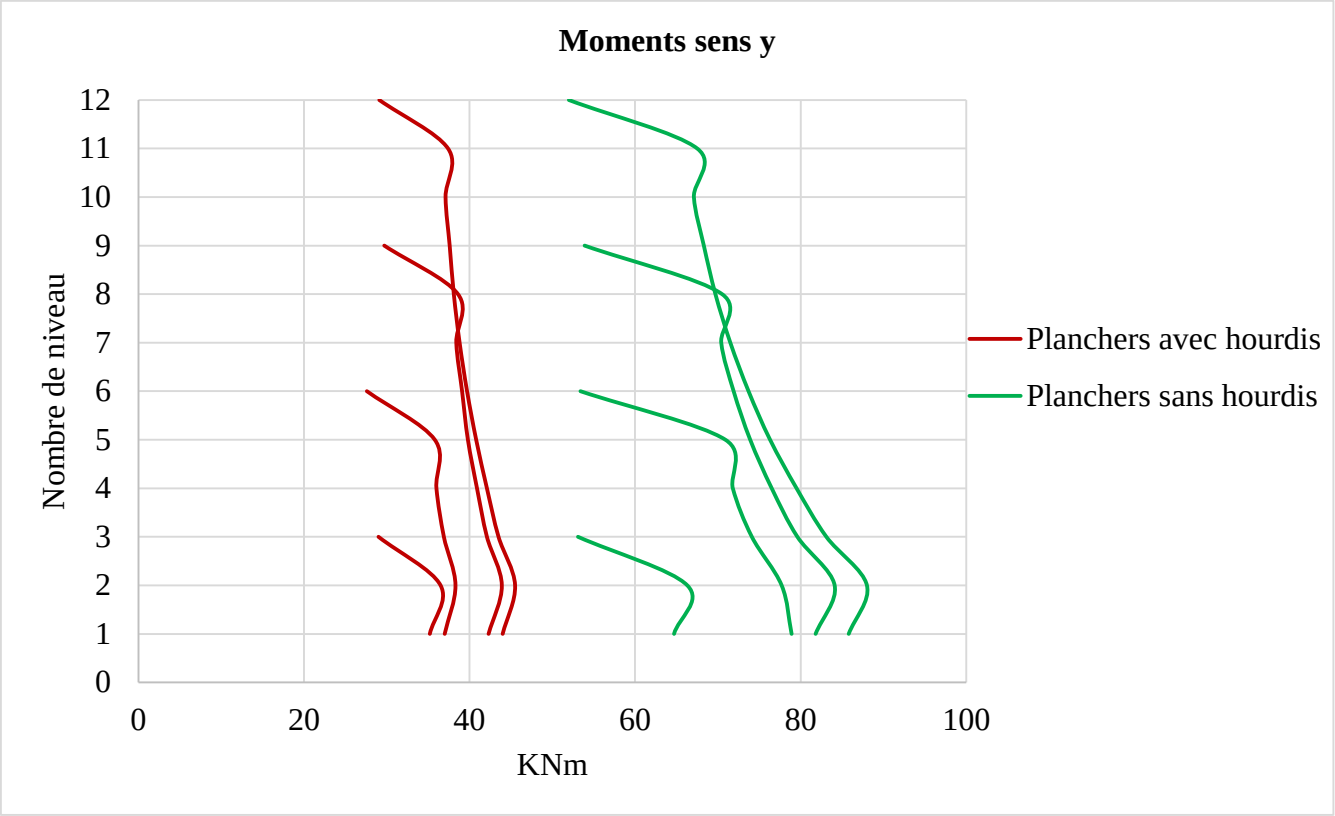


Figure 89:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

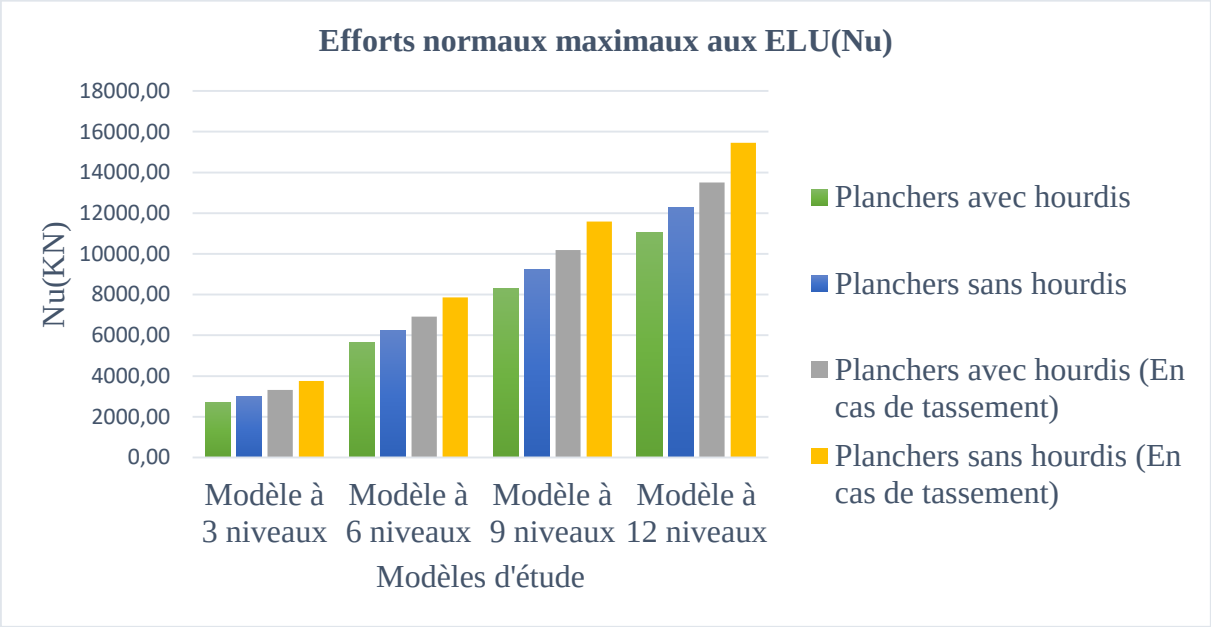


Figure 90:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux

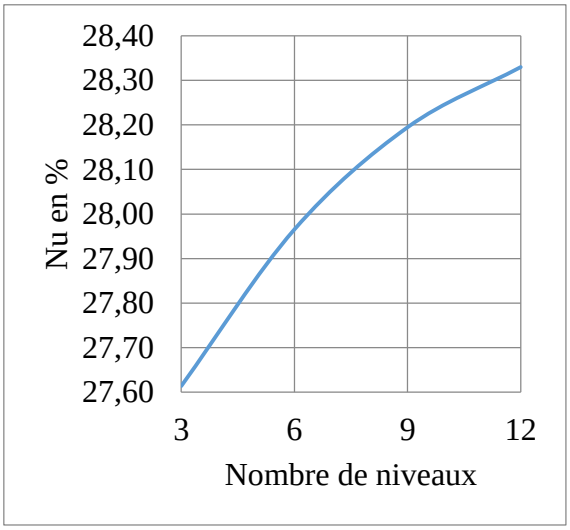


Figure 91:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude

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 1er 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.

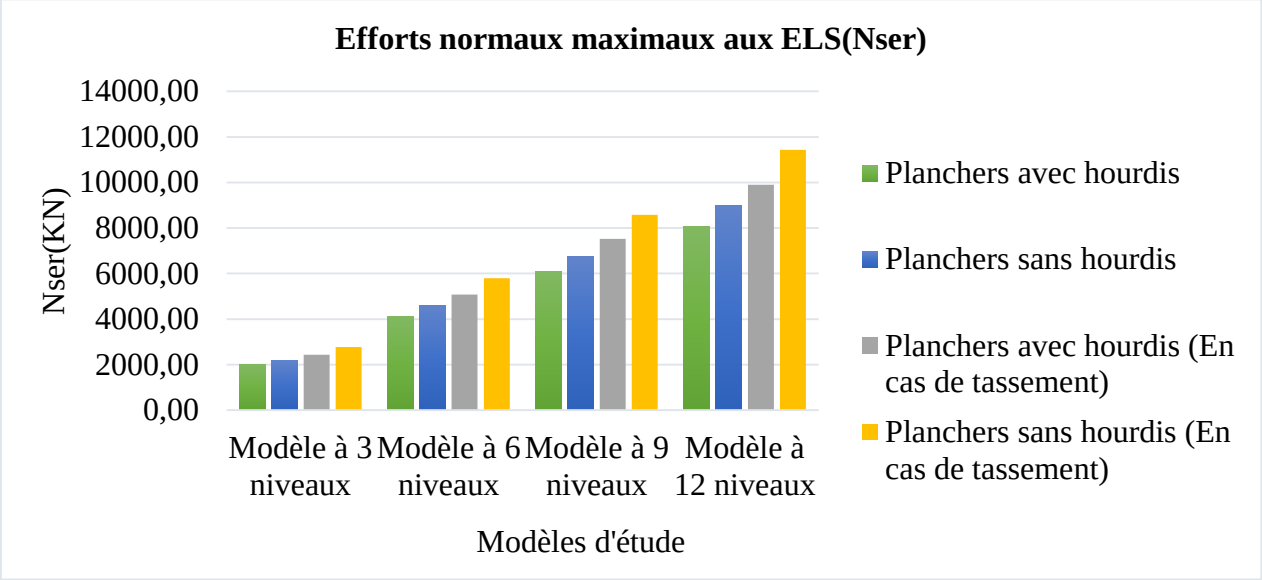


Figure 92:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux

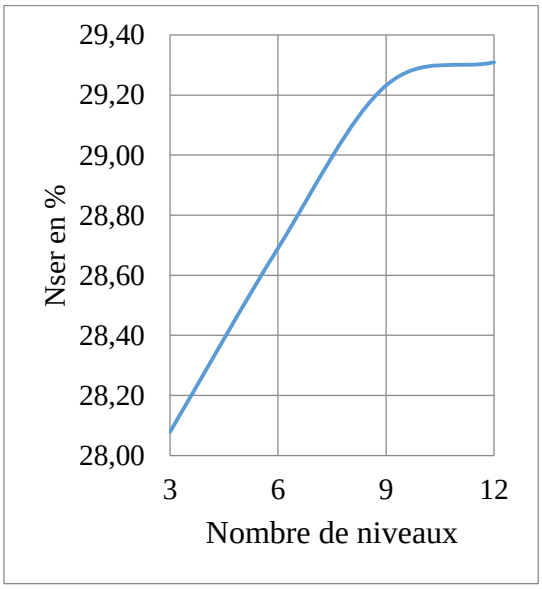


Figure 93:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

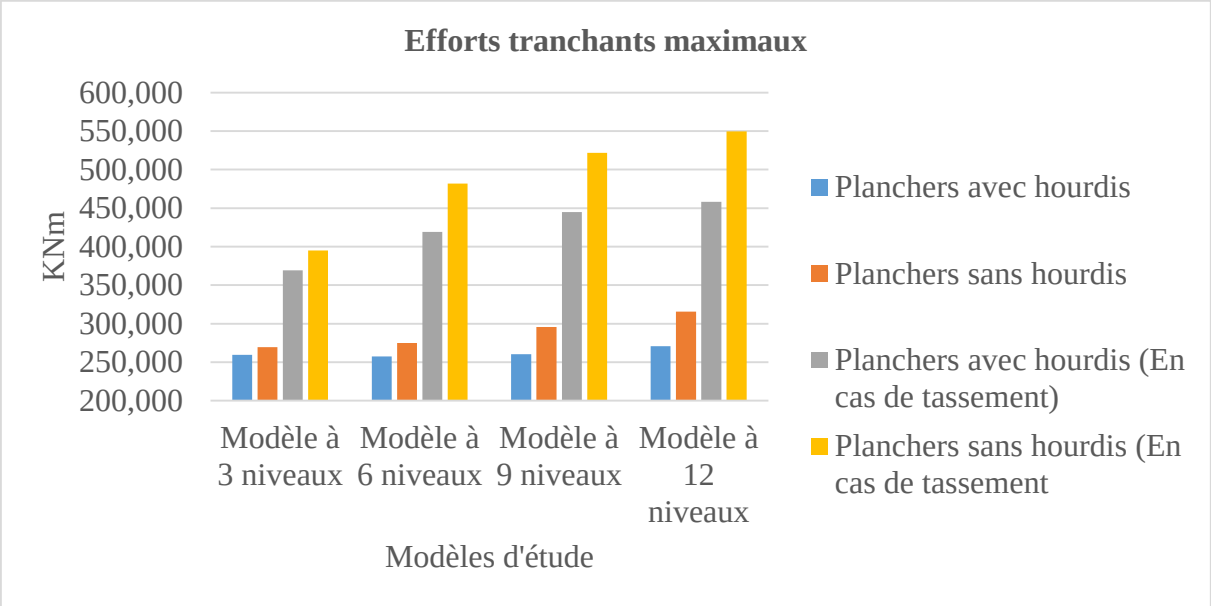


Figure 94:Efforts tranchants maximaux dans les poutres

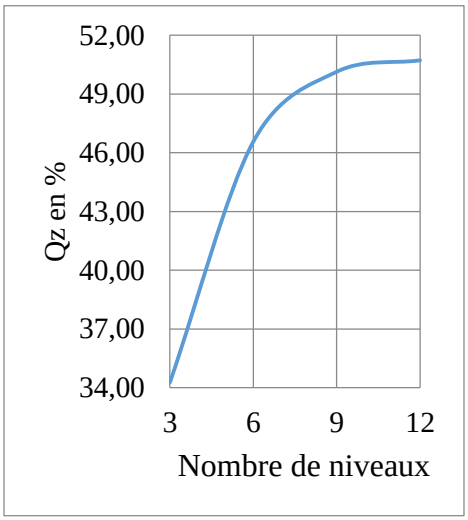


Figure 95:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

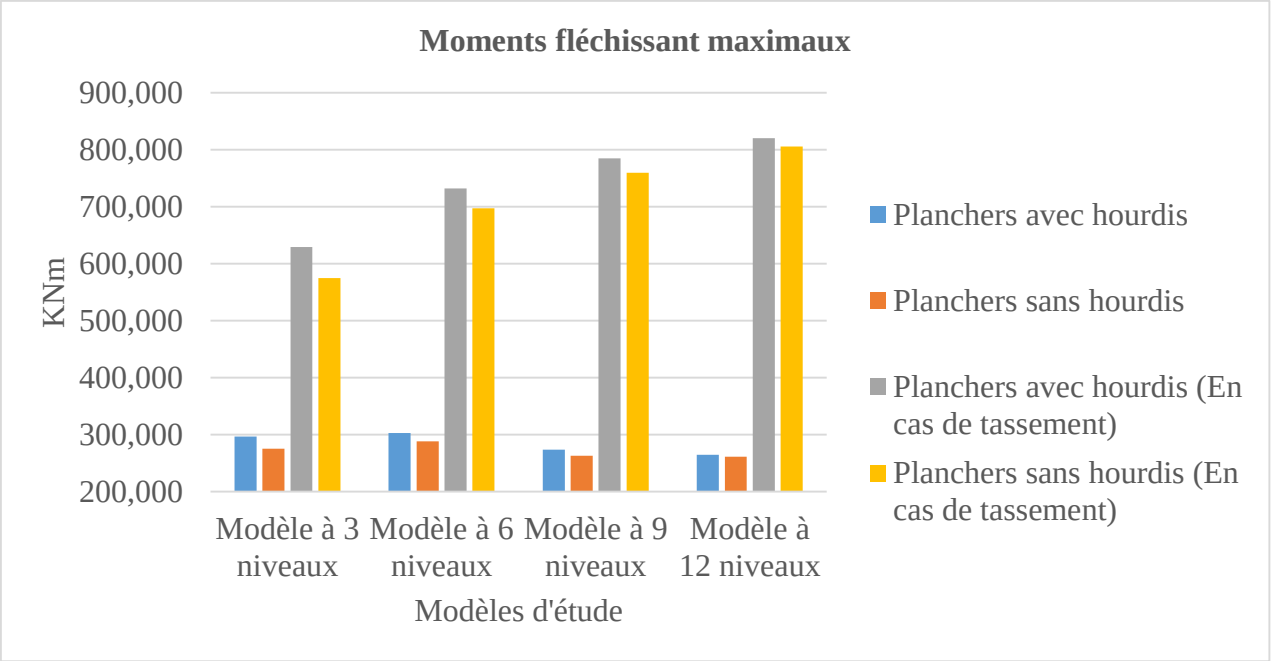


Figure 96:Moments fléchissant maximaux dans les poutres

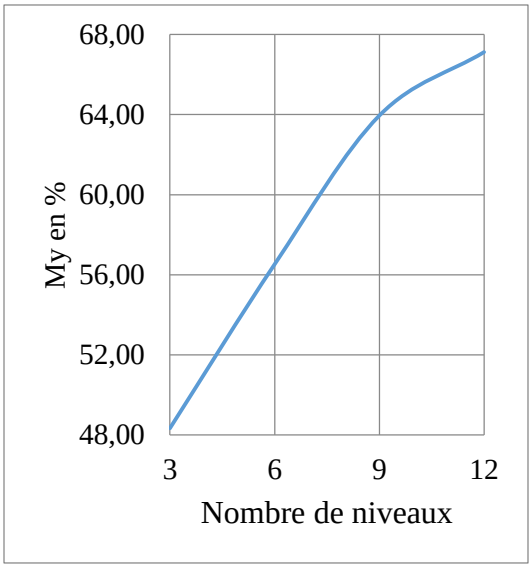


Figure 97:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

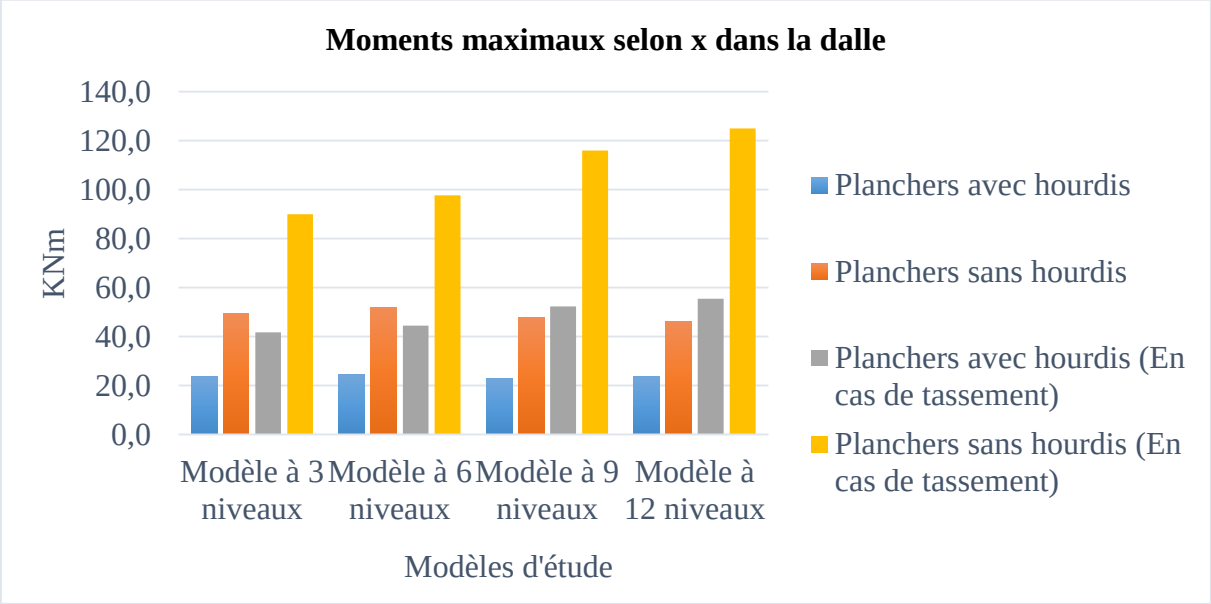


Figure 98:Moments maximaux dans les dalles (sens x)

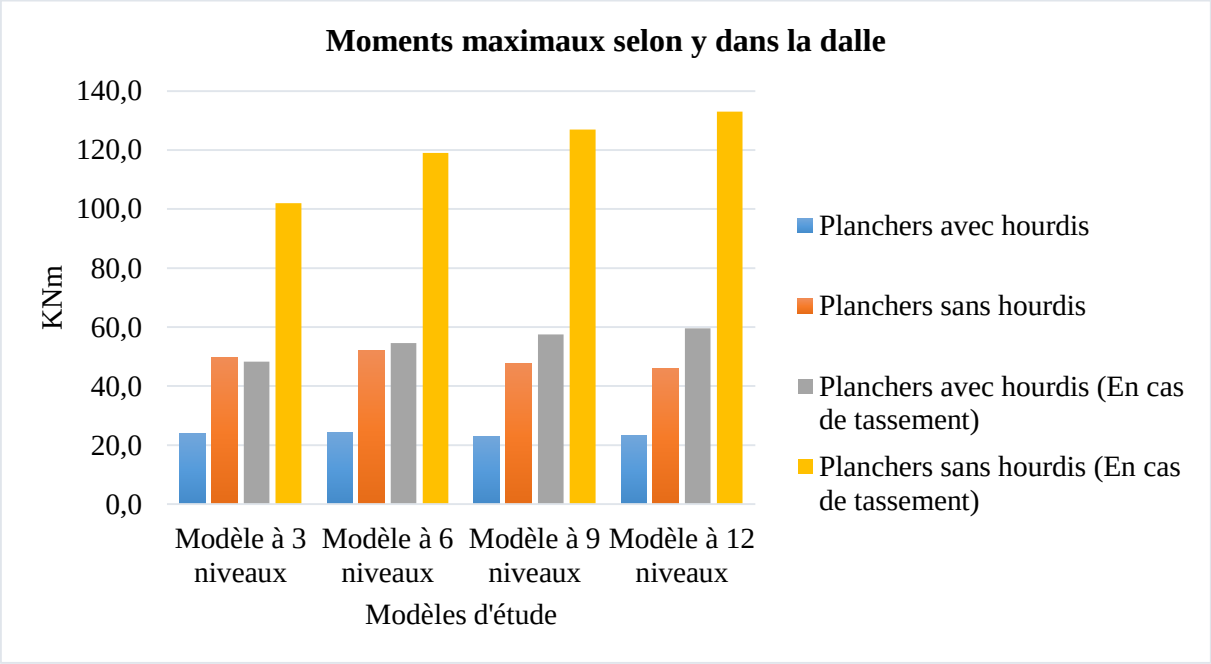
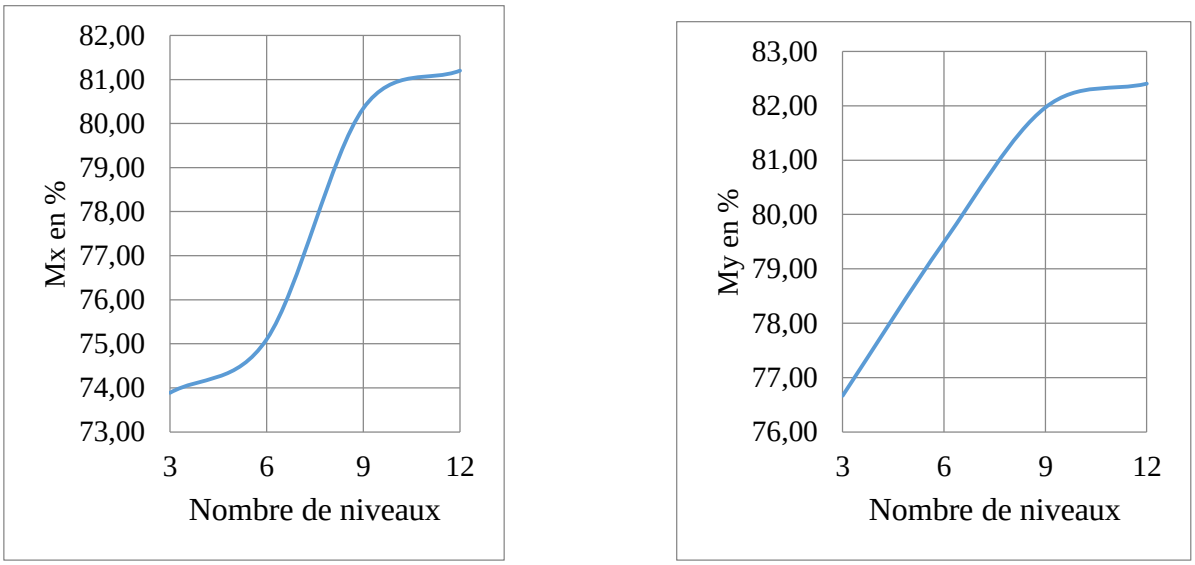


Figure 99:Moments maximaux dans les dalles (sens-y)



(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

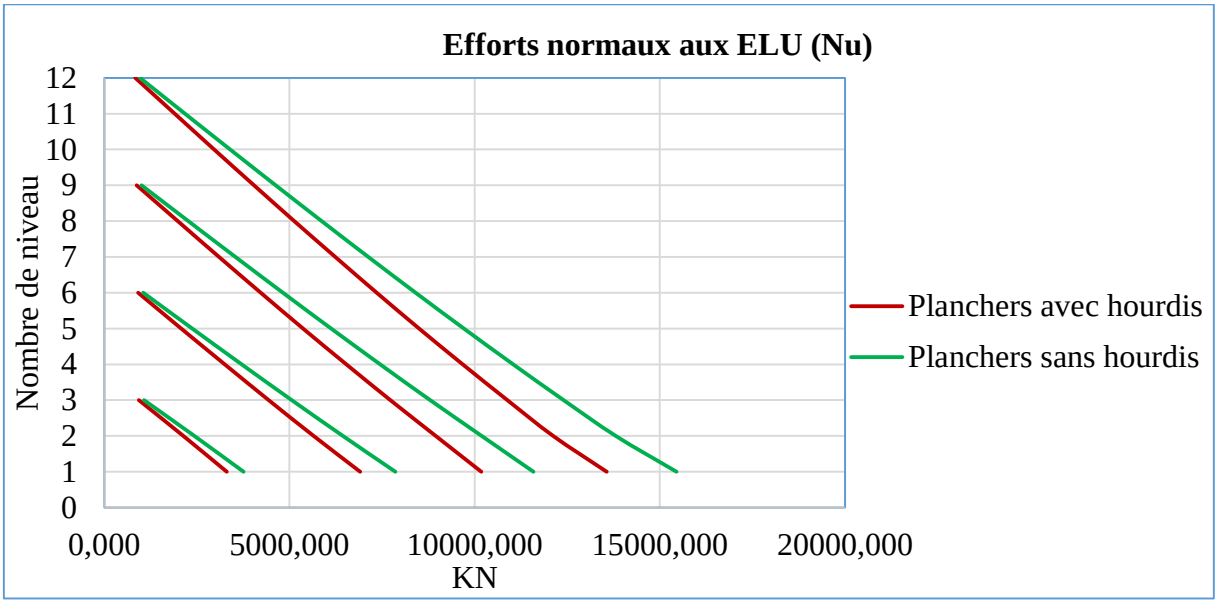


Figure 101:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

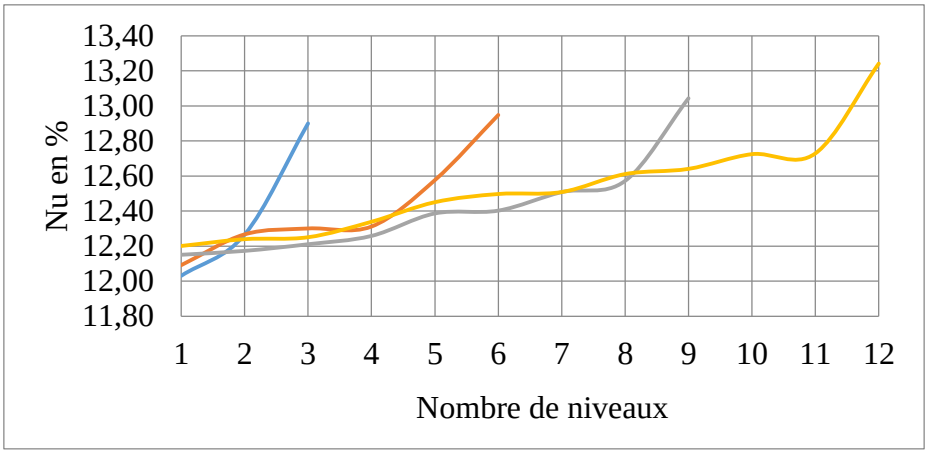


Figure 102:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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.

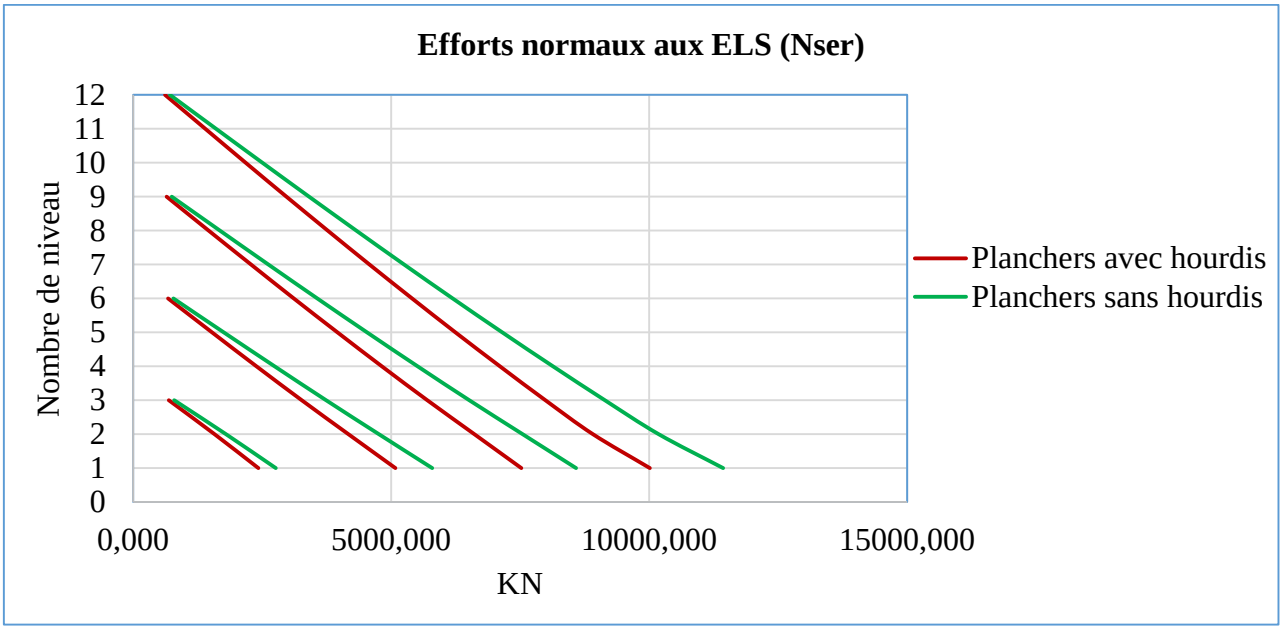


Figure 103:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

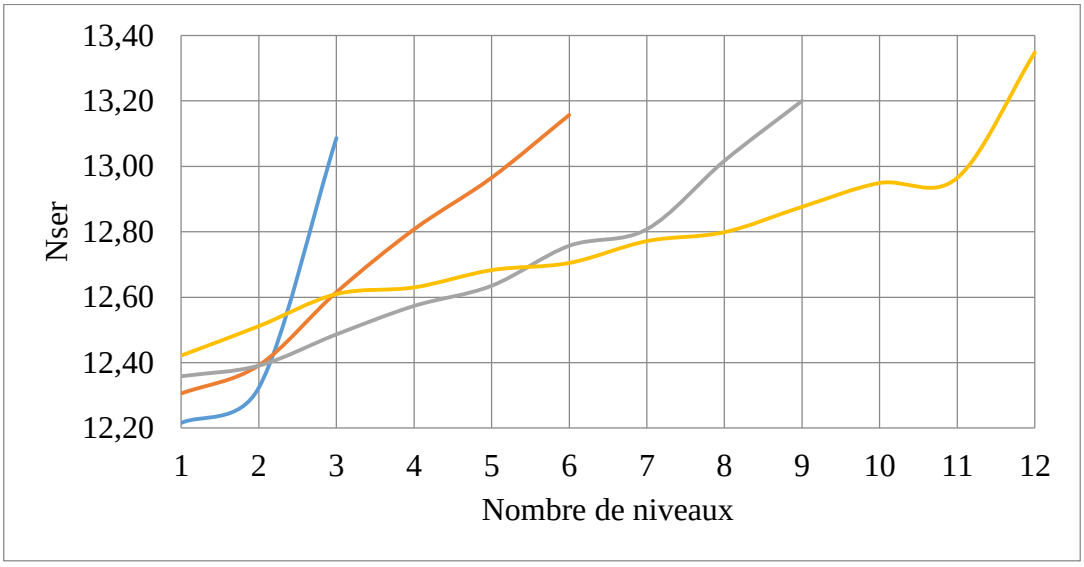


Figure 104:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

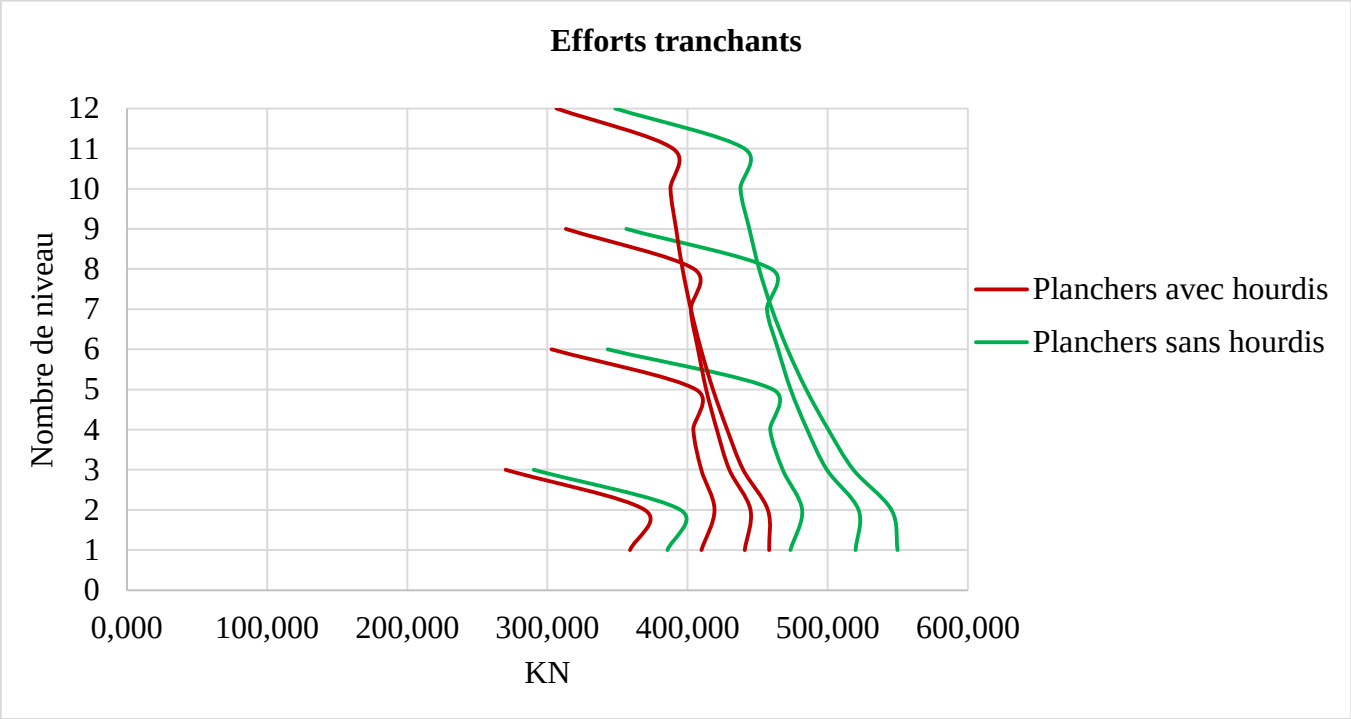


Figure 105:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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 2eme 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 2eme 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 2ème 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.

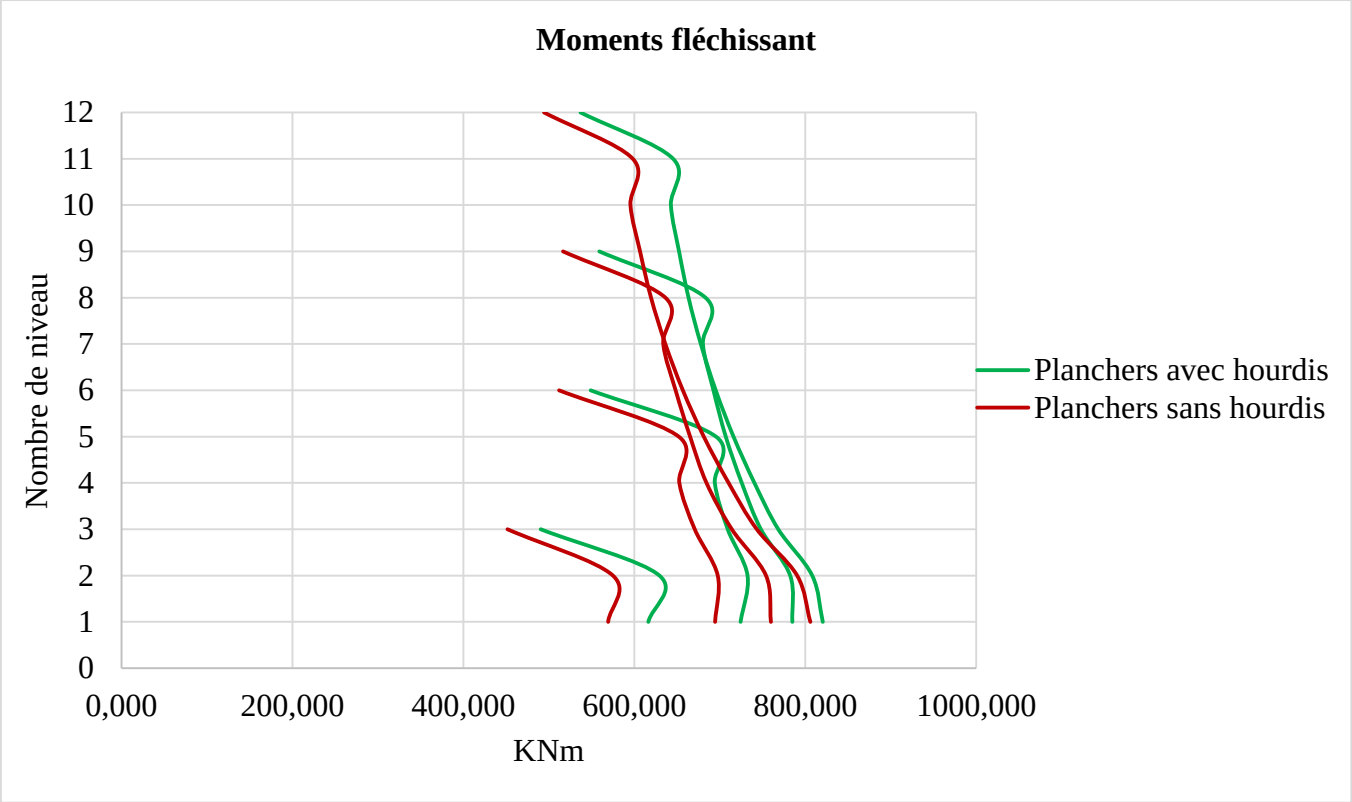


Figure 106:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

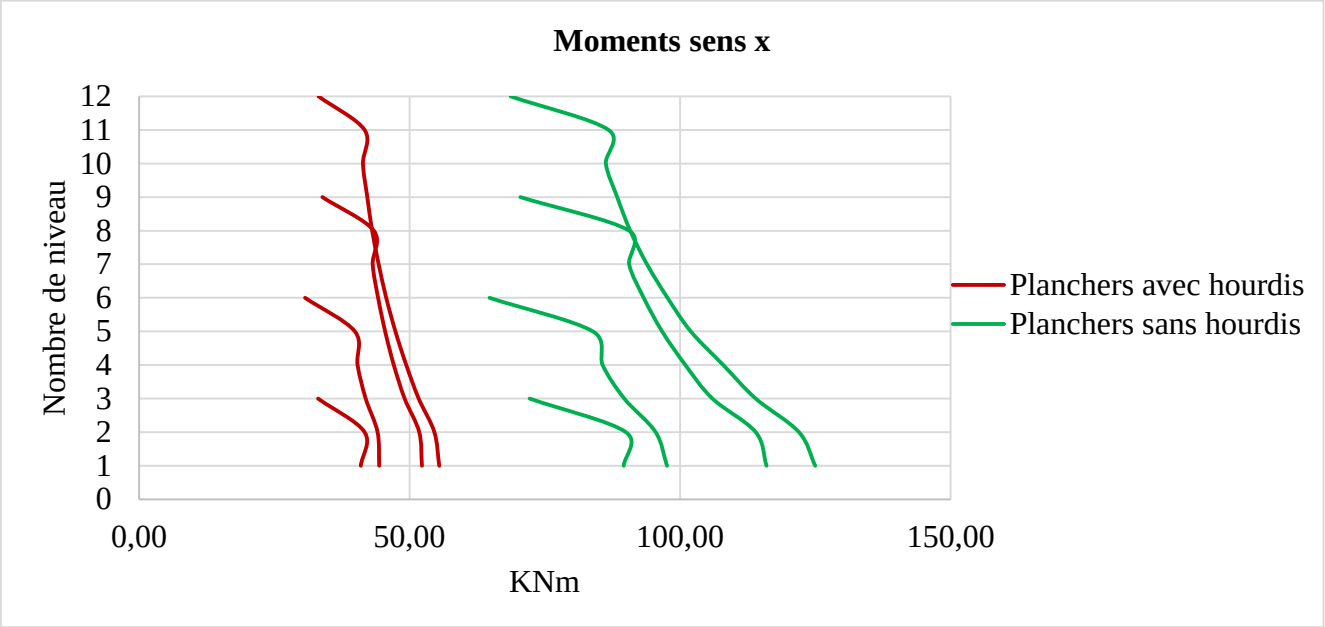


Figure 107:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude

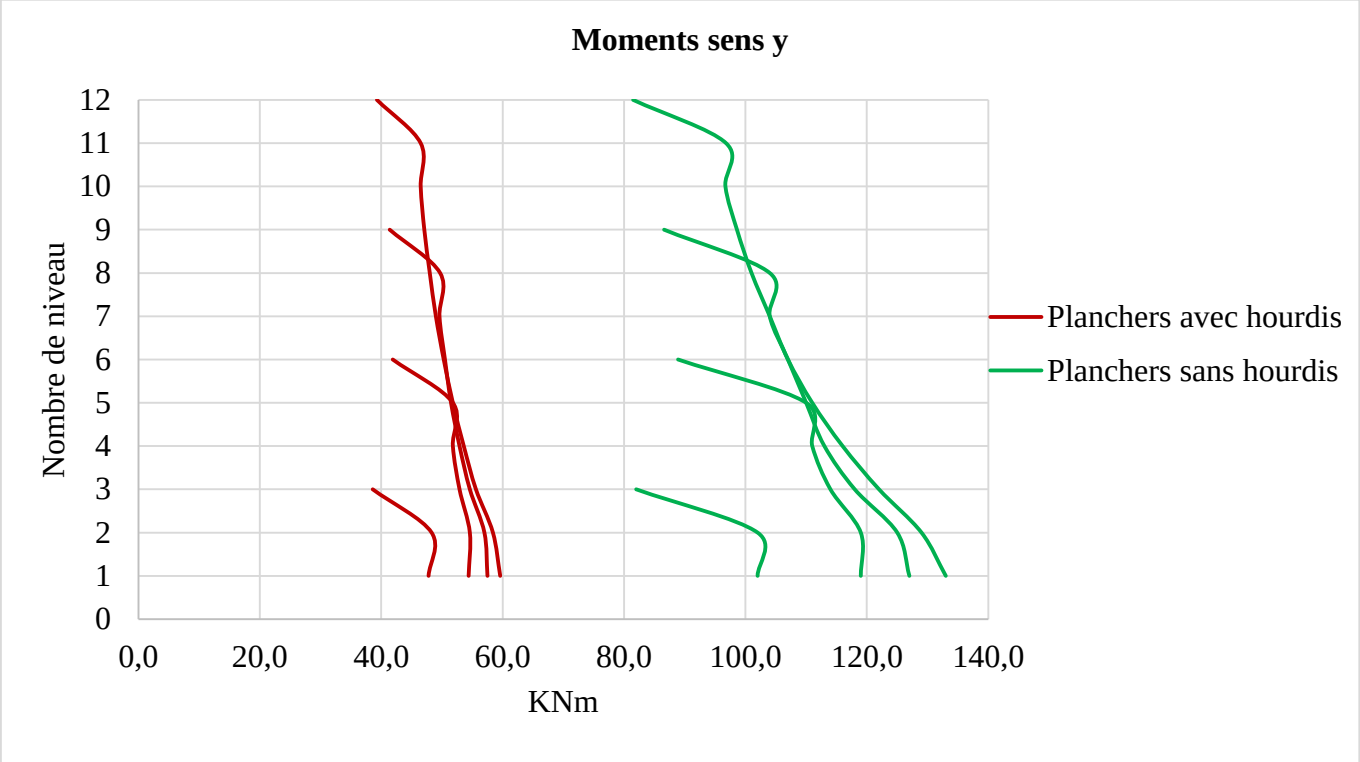


Figure 108:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.19% 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

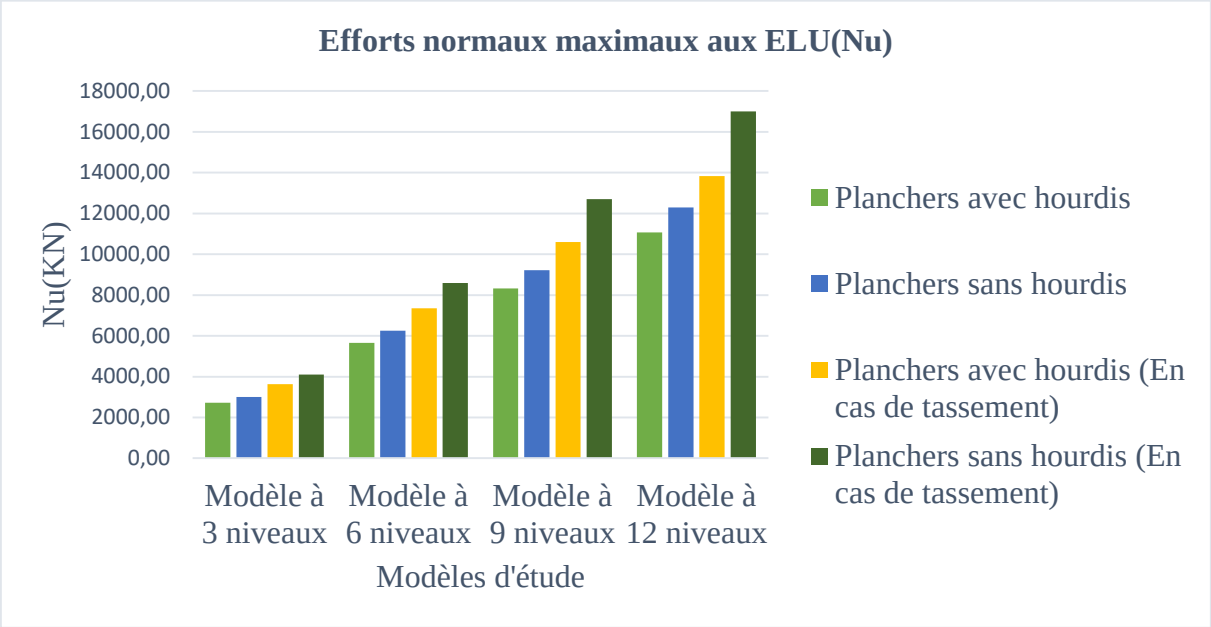


Figure 109:Efforts normaux maximaux aux ELU transmis aux poteaux

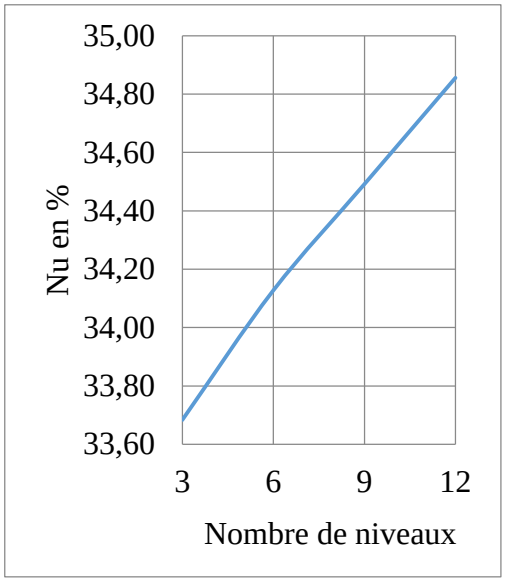


Figure 110:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELU en pourcentage selon le modèle d'étude

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 1er 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.

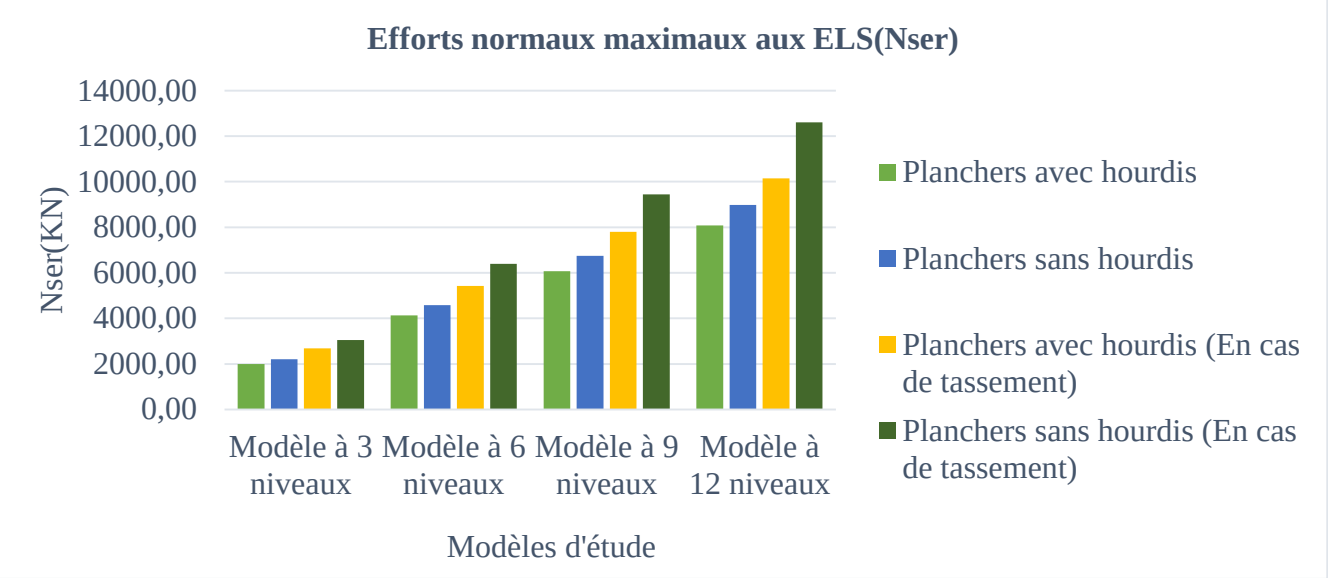


Figure 111:Efforts normaux maximaux aux ELS transmis aux poteaux

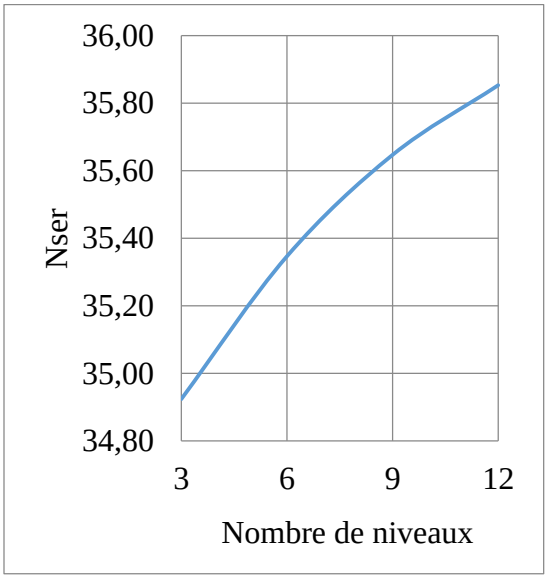


Figure 112:Variation d'efforts normaux maximaux aux ELS en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

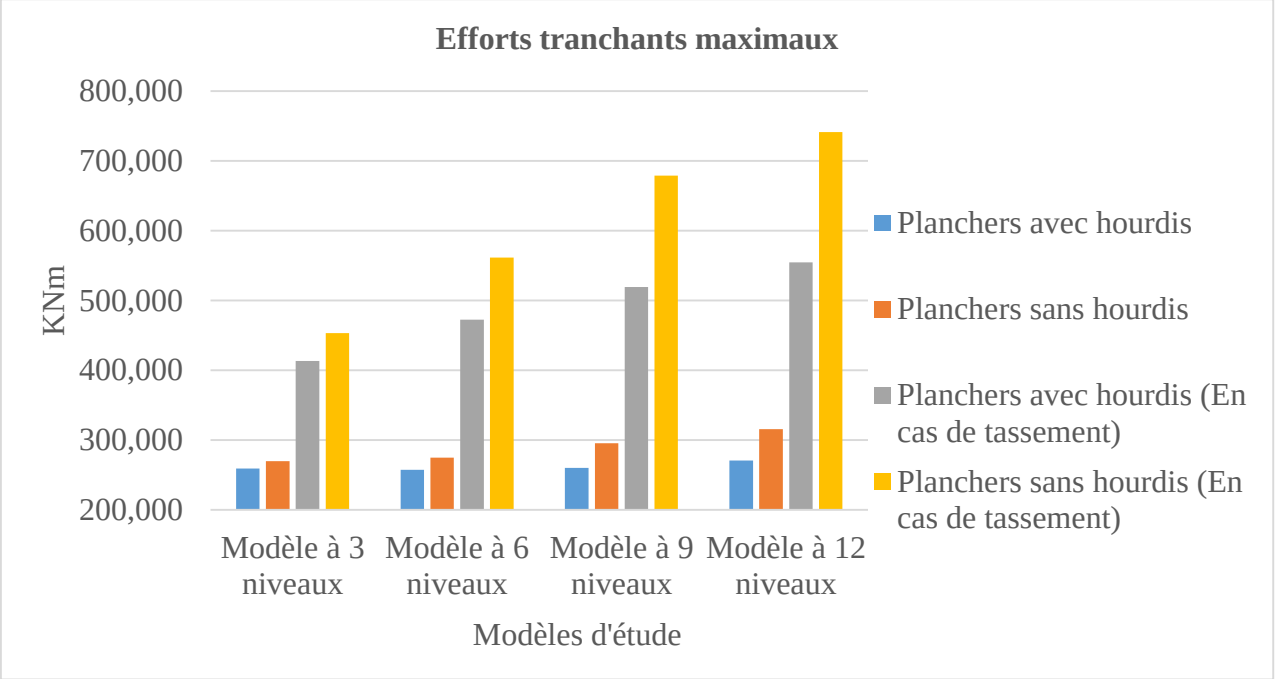


Figure 113:Efforts tranchants maximaux dans les poutres

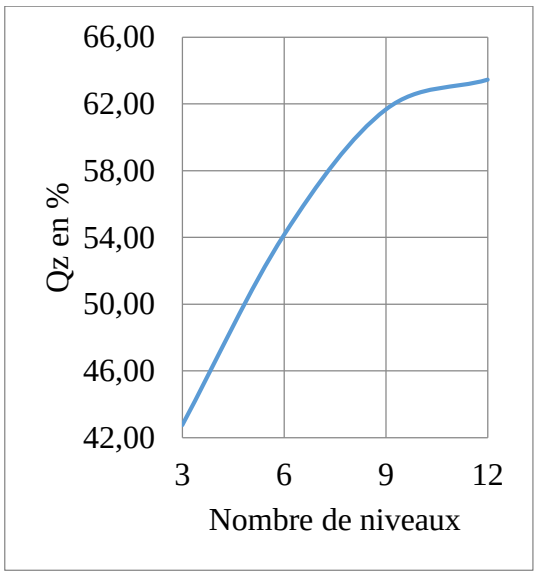


Figure 114:Variation d'efforts tranchants maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

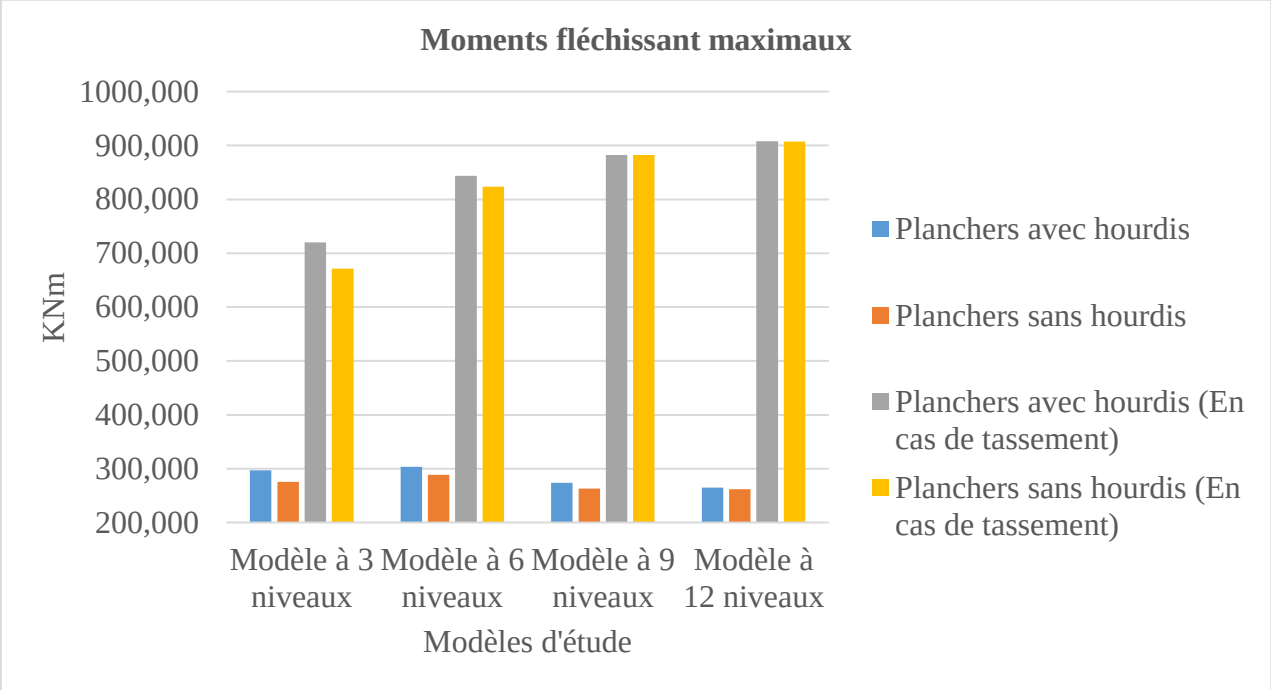


Figure 115:Moments fléchissant maximaux dans les poutres

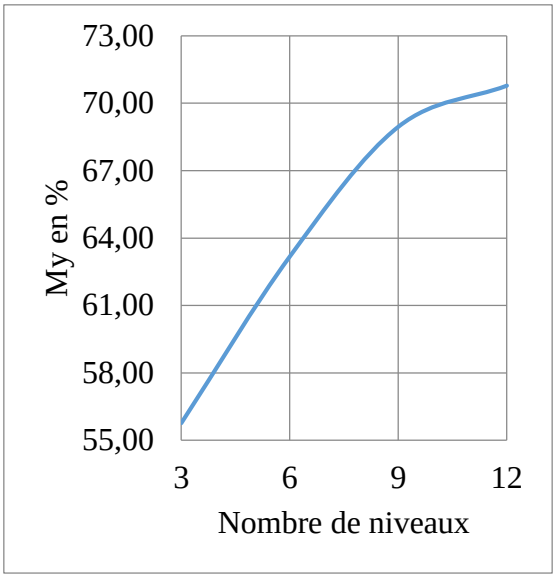


Figure 116:Variation de moments fléchissant maximaux en pourcentage selon le modèle d'étude

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.

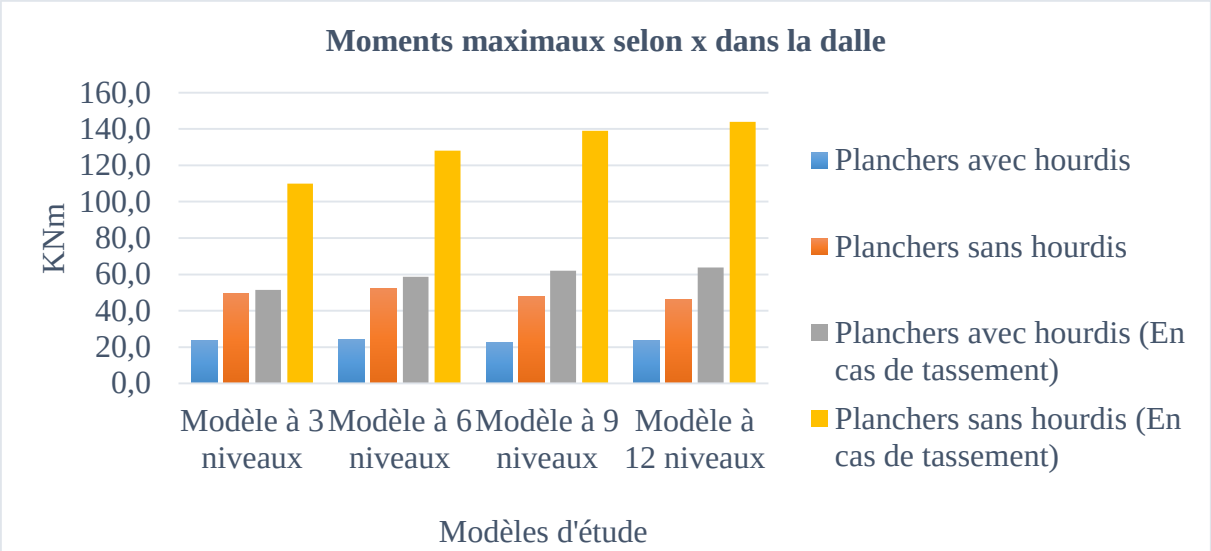


Figure 117:Moments maximaux dans les dalles (sens x)

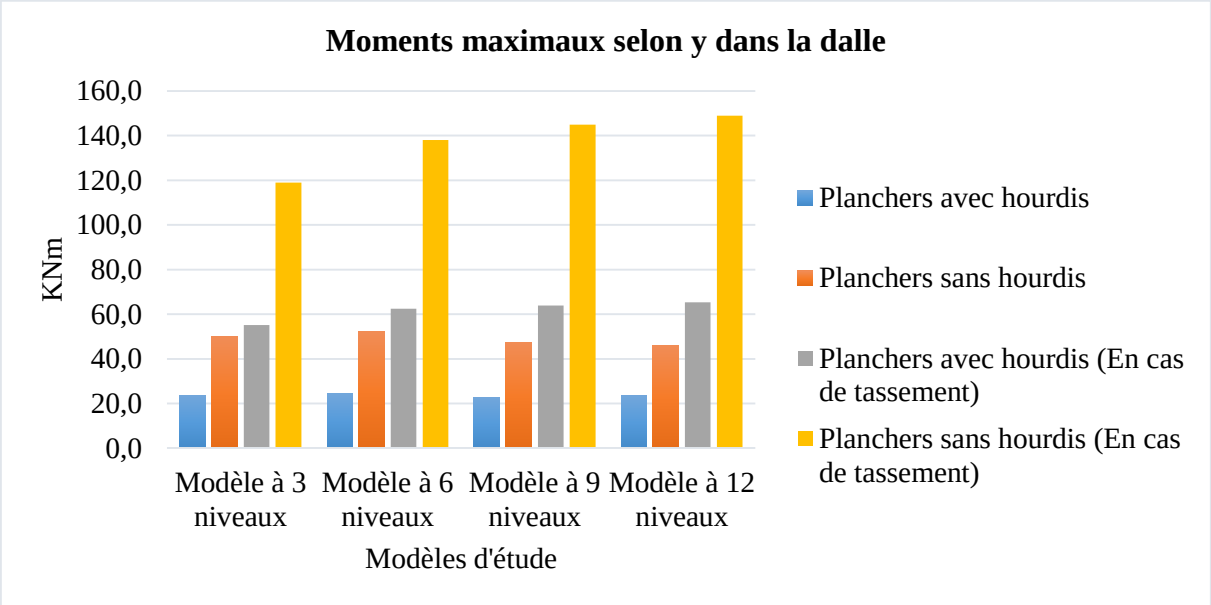
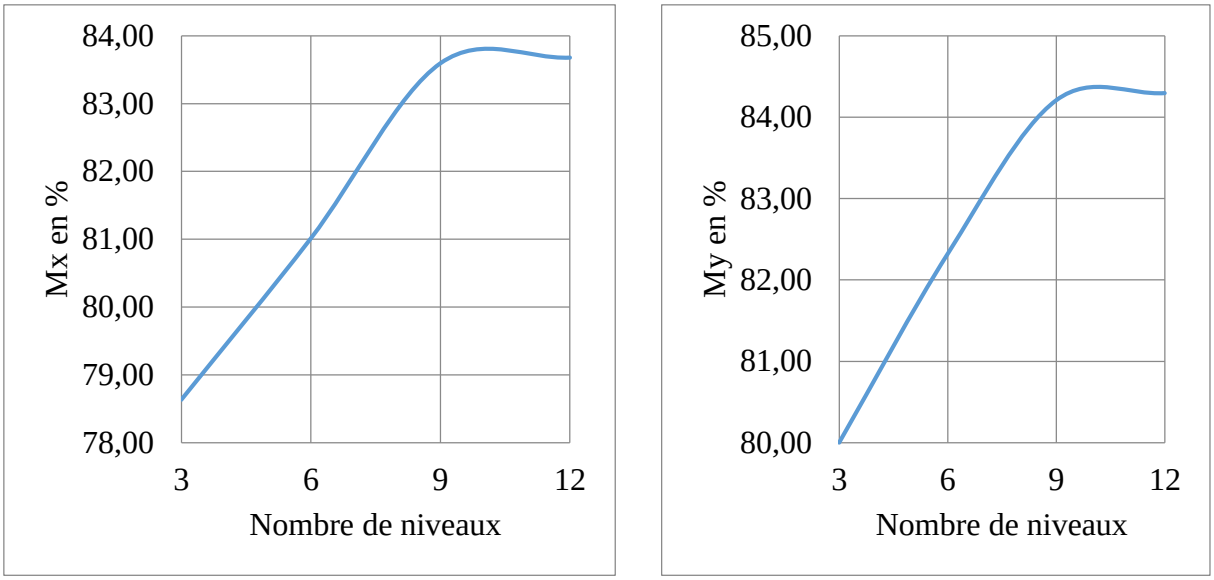


Figure 118:Moments maximaux dans les dalles (sens-y)



(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

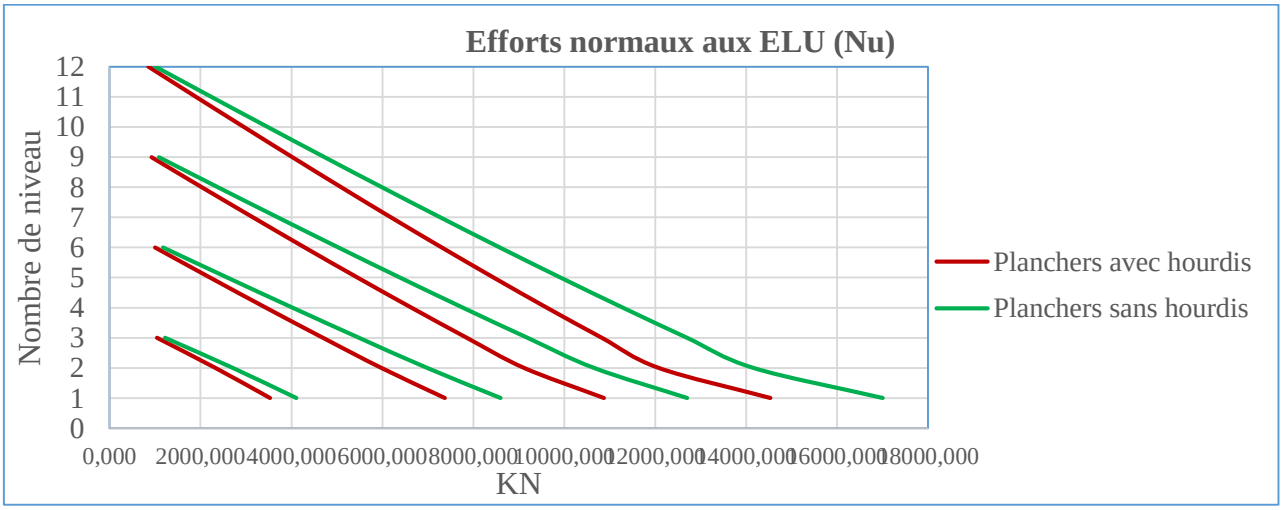


Figure 120:Efforts normaux aux ELU transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

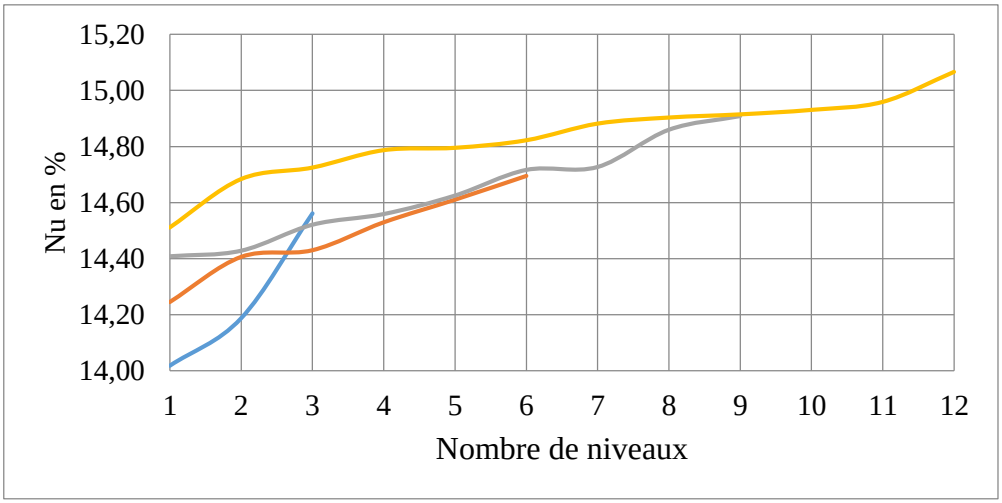


Figure 121:Variation d'efforts normaux aux ELU en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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.

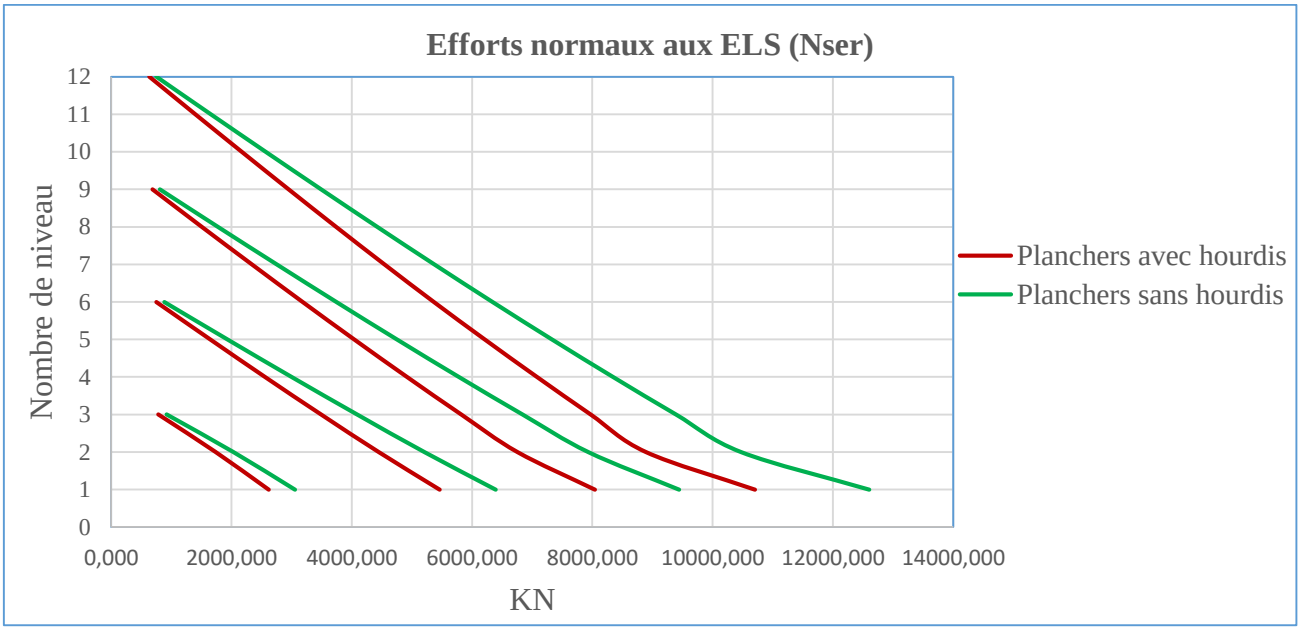


Figure 122:Efforts normaux aux ELS transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

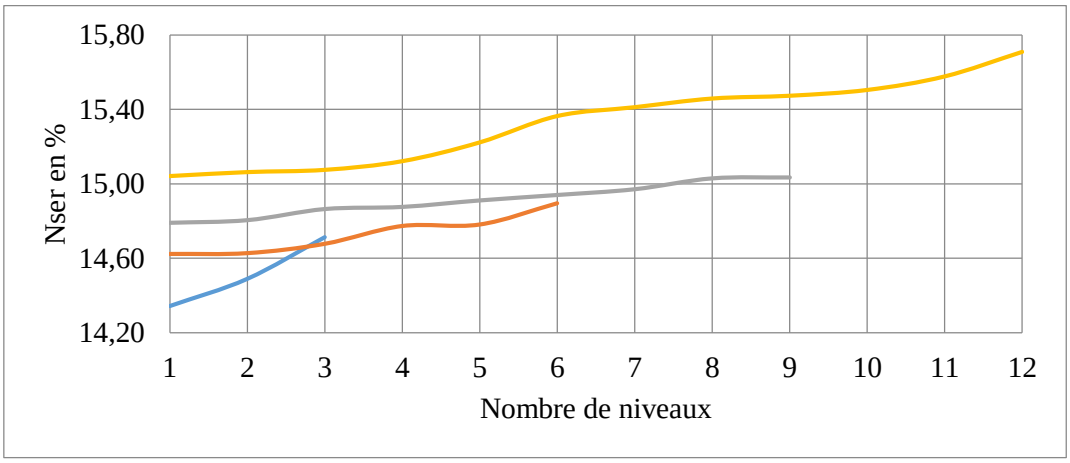


Figure 123:Variation d'efforts normaux aux ELS en pourcentage transmis aux poteaux des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

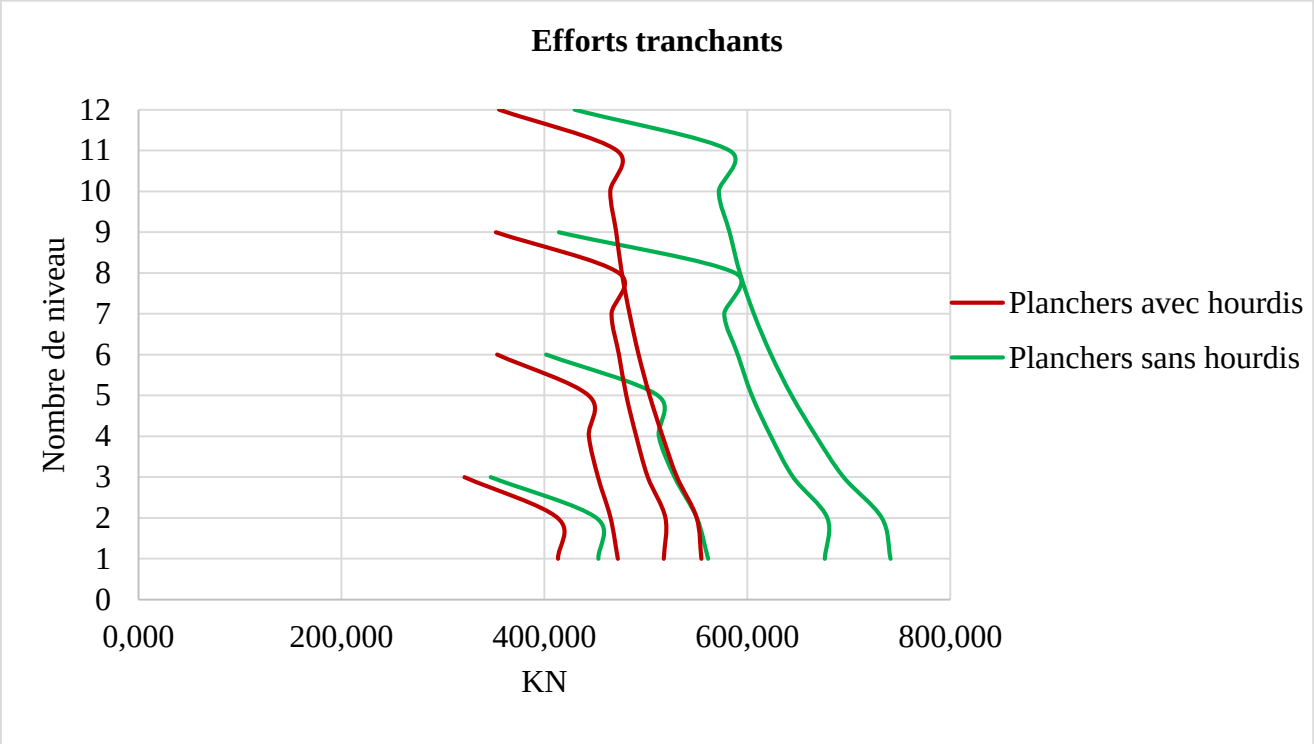


Figure 124:Efforts tranchants dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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 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 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 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 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 2ème 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.

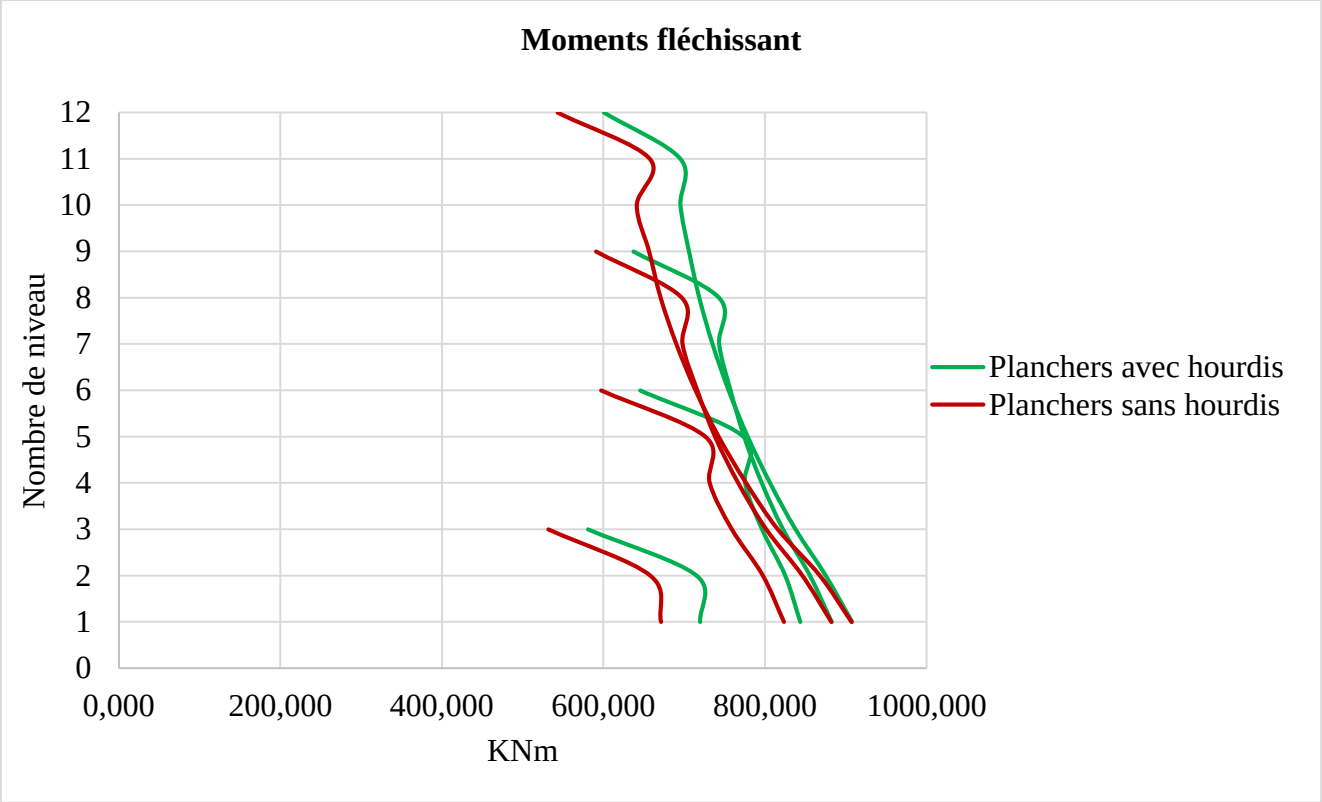


Figure 125:Moments fléchissant dans les poutres des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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

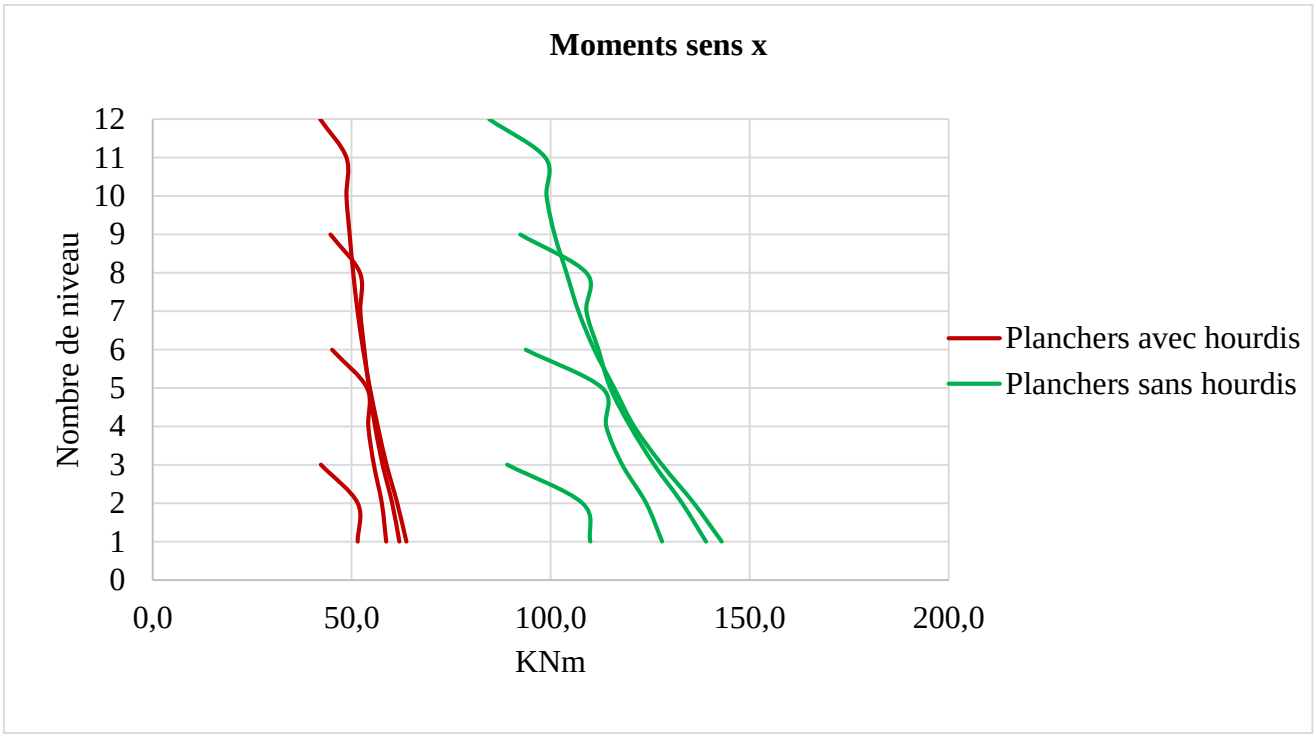


Figure 126:Moments dans le sens x des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude

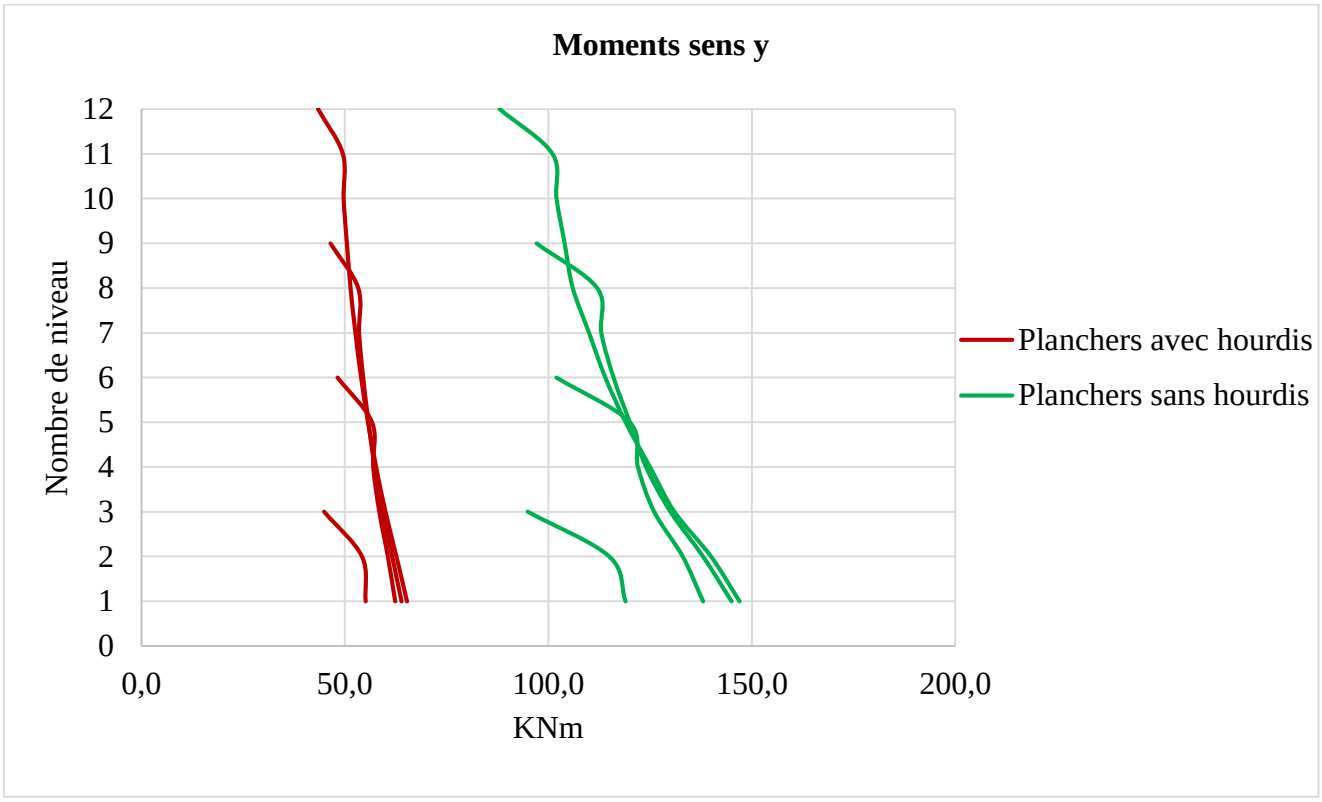


Figure 127:Moments dans le sens y des dalles des différents niveaux des quatre modèles d'étude

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 1er 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 1er 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 1er 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 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.38% 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 1er 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 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 54.78% 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 1er niveau de chaque type de bâtiments ; on remarque aussi que les moments pour le bâtiment avec planchers sans hourdis ont une augmentation de 55.93% 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.).