

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

N° :



FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : STRUCTURE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Intitulé

MODELISATION D'UN BÂTIMENT R+4 A USAGE
D'HABITATION PAR LA MÉTHODE STATIQUE
ÉQUIVALENTE

Présenté par :

- **Souleimane Mohamed Lemine Moutaly**
- **Hamoud Mohamed Oumar**

Soutenu devant le jury composé de :

Hamitouche Ammar

Bouguerra Kheireddine

Minasry Youcef

Université M'sila

Université M'sila

Université M'sila

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Nous remercions dieu tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie jusqu'à la réalisation de ce travail.

On remercie vivement notre encadreur et notre enseignant Mr YUCEF MINASSRY, pour son Soutien au travail.

Nous n'oublierons pas de remercier tous les enseignants du département de génie civil, pour les efforts qu'ils ont fournis durant notre cursus afin de nous amener jusqu'au bout de la formation.

Enfin, grands mercis à nos familles respectives et nos amis qui nous ont aidés.

Nous profitons de l'occasion pour remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

- ♥ Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.
- ♥ A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **Yacouba**.
- ♥ A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Mohamed**.
- ♥ A ma grande mère, mes frères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.
- ♥ A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant merci pour leurs amours et leurs encouragements.
- ♥ Sans oublier mon binôme **Souleimane Mohamed Lemine Moutaly** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

HAMOUD MOHAMED OUMAR

Dédicaces

- ♥ Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.
- ♥ A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **Maimouna**.
- ♥ A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Mohamed Lemine**.
- ♥ A Mon frère **Mohamed** qui a ma soutenue financièrement et moralement tout au long de mon parcours académique.
- ♥ A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant merci pour leurs amours et leurs encouragements.
- ♥ Sans oublier mon binôme **Hamoud Mohamed Oumar** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Souleimane Mohamed Lemine Moutaly

Résumé :

Le but de ce travail est l'étude sismiques d'un bâtiment d'habitations en béton armé (R+4) en utilisant l'analyse statique linéaire (méthode statique équivalente). Cette méthode permet de déterminer les actions sismiques, les sollicitations et par conséquent de déterminer les déformations et le ferrailage des éléments structurales. La modalisation numérique basées sur la méthode des éléments finis à l'aide du logiciel robot structural analysis version 2014.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو الدراسة الزلزالية لمبنى سكني من الخرسانة المسلحة (R + 4) باستخدام التحليل الخطي الساكن (الطريقة الساكنة المكافئة). تتيح هذه الطريقة تحديد الإجراءات الزلزالية، والضغوط، وبالتالي تحديد الإنكار وتقوية العناصر الهيكلية. التعديل العددي على أساس طريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج الروبوت التحليلي اصدار 2014.

Abstract :

The purpose of this work is the seismic study of a reinforced concrete building (R+4) using the linear static analysis (equivalent static method). This method allows to determine the seismic actions, the solicitations and consequently to determine the demensions and the reinforcement of the structural elements. The numerical modelling based on the finite element method using robot analysis software version 2014.

SOMMAIRE

Introduction générale :	1
CHAPITRE I : SEISME ET L’ACTION SISMIQUE	
I.1 Introduction :	2
I.2 Origine du séisme :	2
I.3 Classification des séismes :	3
I.3.1 Superficiels :	3
I.3.2 Intermédiaires :	3
I.3.3 Profonds :	3
I.4 Mouvement sismique :	3
I.5 Ondes sismique :	4
I.6 La propagation des ondes sismiques et leur enregistrement :	6
I.7.1 L'intensité :	7
I.7.2 La magnitude :	7
I.8 Aspect physique :	7
I.9 Contexte tectonique :	8
I.10 Zone sismique en Algérie :	9
I.11 L’histoire sismique de l’Algérie :	9
I.12 Caractéristiques de la sismicité algérienne :	10
I.13 Risque sismique :	10
I.14 Explication du mécanisme de rupture :	11
I.15 L’action sismique :	13
I.16 Comportement de bâtiment lors d’un séisme :	14
I.17 Types de sol (site) :	15
I.18 Spectre de réponse :	15
I.19 Conclusion :	18

CHAPITRE II : METHODES DE CALCUL DE L'ACTION SISMIQUE

II.1 Introduction :	19
II.2 Les différents méthodes de calcul sismique :	19
II.3 Conditions d'application des méthodes :	20
II.3.1 Méthode statique équivalent :	20
II.3.2 Méthodes dynamiques :	20
II.3.2.1 La méthode d'analyse modale méthode spectrale :	20
II.3.2.2 La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes :	20
II.4 Méthode Statique Equivalente :	21
II.4.1 Principe :	21
II.4.2 Modélisation :	21
II.4.3 Calcul de la force sismique totale :	22
II.4.3.1 Conditions minimales sur les files de contreventement :	25
II.4.3.2 Redondance en plan :	25
II.4.3.3 Régularité en plan :	25
II.4.3.4 Régularité en élévation :	25
II.4.3.5 Contrôle de la qualité des matériaux :	26
II.4.3.6 Contrôle de la qualité de l'exécution :	26
II.4.3.7 Estimation de la période fondamentale de la structure :	27
II.4.3.8 Version simplifiée de la formule de Rayleigh :	28
II.4.3.9 Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :	28
II.4.3.10 Effet de la torsion d'axe vertical :	29
II.5 Méthode Dynamique Modale Spectrale :	30
II.5.1 Principe :	30
II.5.2 Modélisation :	30

II.5.3 Spectre de réponse de calcul :	31
II.5.4 Résultante des forces sismiques de calcul :	33
II.5.5 Calcul des déplacements :	33
II.6 Méthode D'analyse Dynamique Par Accélérogrammes :	34
II.7 Conclusion :	35

CHAPITRE III : MODELISATION SISMIQUE D'UN BATIMENT EN B.A PAR LA METHODE STATIQUE EQUIVALENTE

III.1 Introduction :	36
III.2 Principe de la méthode statique équivalente :	37
III.3 Condition d'application :	36
III.3.1 Régularité en plan :	37
III.3.2 Régularité en élévation :	39
III.4 Présentation de l'ouvrage :	39
III.5 Modélisation :	43
III.6 Calcul de la force sismique totale :	43
III.7 Estimation de la période fondamentale de la structure :	44
III.8 Distribution verticale de la force sismique selon la hauteur :	46
III.9 Distribution de l'effort tranchant selon la hauteur :	48
III.10 Calcul des moments fléchissant selon la hauteur :	49
III.11 Distribution horizontale des forces sismiques selon XX :	50
III.12 Distribution horizontale des forces sismiques selon YY :	50
III.13 Le Diagramme NMT Du Poutre La Plus Sollicites :	51
III.14 Le Diagramme NMT Du Poteaux La Plus Sollicites :	51
III.15 Ferrailage :	53
III.16 Conclusion :	56
Conclusion générale :	57

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : zone du déroulement d'un séisme.	2
Figure I-2 : Représentation schématique des ondes P	4
Figure I-3 : Représentation schématique des ondes S	5
Figure I-4 : Représentation schématique des ondes L	5
Figure I-5 : Représentation schématique des ondes R.....	6
Figure I-6 : appareil d'enregistrement sismologique.....	7
Figure I-7 : Contexte sismotectonique de la collision Afrique Eurasie.	8
Figure I-8 : Carte : zonage sismique du territoire national Algérienne.....	9
Figure I-9 : Carte des intensités maximales observées.	11
Figure I-10 : plan du segment de faille rompu.	12
Figure I-11 : Composantes du mouvement sismique. [5]	13
Figure I-12 : Types du mouvement d'une structure de génie civil en cas du séisme.	14
Figure I-13 : enregistrement par accélérogrammes	16
Figure I-14 : Excitation sismique de l'oscillateur.....	17
Figure II-1 : Organisation des méthodes d'analyse	19
Figure II-2: Modes propres de vibration	34
Figure III-1: vue en plan RDC	41
Figure III-2 : vue en 3D	42
Figure III-3 : vue en 2D etage terrasse.....	42
Figure III-4 :Distribution verticale de la force sismique	47
Figure III-5 :Effort tranchant au niveau d'étage.....	48
Figure III-6:Moments fléchissant au niveau d'étage	49
Figure III-7 : Distribution horizontale des forces sismiques selon XX	50
Figure III-8 : Distribution horizontale des forces sismiques selon YY	50
Figure III-9 : Diagramme du moment de poutre	51
Figure III-10 : Diagramme d'effort tranchant du poteau	51
Figure III-11 : Diagramme du moment M_y du poteau.....	52
Figure III-12 : Diagramme du moment M_y du poteau.....	52
Figure III-13 : schéma du ferrailage poutre	55
Figure III-14 : schéma du ferrailage poteaux.....	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 : Coefficient d'accélération de zone A.....	22
Tableau II-2 : Valeurs de ξ (%)	23
Tableau II-3 : valeurs du coefficient de comportement R.....	24
Tableau II-4 : Valeurs des pénalités P_q	26
Tableau II-5 : Valeurs des pénalités P_q :	27
Tableau II-6 : valeurs du coefficient C_T	27
Tableau II-7: Valeurs de T_1 et T_2	31
Tableau III-1 : Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur	47
Tableau III-2 : Effort tranchant au niveau d'étage	48
Tableau III-3 : Moments fléchissant au niveau d'étage.....	49

LISTE DES NOTATIONS

Notations

A	Coefficient d'accélération de zone
a_g	Accélération maximale du sol
b	Largeur de la section du poteau ou poutre
C_T	Coefficient en fonction du système de contreventement
D	Dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée,
d_g	Déplacement maximal du sol
E	Module de déformation linéaire
E_b	Module d'élasticité du béton
E_s	Module d'élasticité de l'acier :
F_j	Force appliquée en chaque niveau
f_n	Forces horizontales appliquées aux niveaux n
f_t	Partie de l'effort tranchant à la base, appliquée au niveau « n » en plus de f_n
f_e	Résistance limite élastique de l'acier haute adhérence
f_c	Résistance en compression du béton;
f_{bu}	Contrainte limite du béton en compression
f_{c28}	Résistance caractéristique du béton à la compression
g	Accélération de la pesanteur ($g = 9.81 m / s^2$)
h	Hauteur totale la structure
h_e	Hauteur d'étage
h	Hauteur du poteau ou poutre
I_i	Moment d'inertie du file i
I_{il}	Moment d'inertie longitudinal de file i
I_{it}	Moment d'inertie transversal de file i
L	Longueur
l_s	Longueur de la section de poteau ou poutre
m_i	Masse concentrée au niveau i
N	Effort normal
Q	Facteur de qualité
R	Coefficient de comportement
S₁	Site rocheux
S₂	Site ferme
S₃	Site meuble
S₄	Site très meuble
S_a	Spectres de réponse d'accélération
T₁, T₂	Périodes de transition
T	Période propre de la structure.
V_t	Résultante de force sismique à la base
V_K	Effort tranchant au niveau de l'étage k
V_s	Vitesse moyenne de cisaillement

W	Poids total de la structure
Z	Zone sismique
W_i	Charges gravitaires au niveau « i »
WG_i	Charges permanentes au niveau « i »
WQ_i	Charges d'exploitations au niveau « i »
S_e	Spectre de réponse en accélération
E	Effort de l'action sismique
E_i	Valeur modale de E selon le mode i
K	Nombre de mode retenue
P_q	Pénalité à retenir
X_g	Abscisse de centre de gravite de masse
Y_g	Ordonnée de centre de gravité de masse
X_c	Abscisse de centre de gravité de rigidité
Y_c	Ordonnée de centre de gravité de rigidité
E_x	Excentricité par rapport à x
E_y	Excentricité par rapport à y
L	Longueur du bâtiment
I	Largeur du bâtiment
M_k	Moment fléchissant au niveau de l'étage K
R_i	Rigidité de fil i
Δ_k	Déplacement relatif au niveau k par rapport au niveau k-1
δ_k	Déplacement horizontal à chaque niveau
δ_{ek}	Déplacement du aux forces sismique F_i
δ_i	Fleche horizontale du au fi
δ_N	Fleche horizontale au sommet du bâtiment

Notations grecques

ω	Pulsation
θ	Rotation
γ_b	Masse volumique du béton
ε_{be}	Déformation limite élastique
ε_{bu}	Déformation ultime du béton
η	Facteur de correction d'amortissement
β	Coefficient de pondération
ξ	Amortissement relatif

INTRODUCTION GENERALE :

Les séismes sont les risques naturels majeurs les plus meurtriers dans le monde, généralement associés à des dégâts considérables. Ils correspondent à une rupture superficielle ou profonde des roches résistantes. Au moment de la rupture, l'énergie libérée va se dissiper d'une part sous forme de chaleur et d'autre part, sous forme d'ondes qui se propagent à l'intérieur de la terre, se traduisant en surface par des vibrations du sol.

Les séismes constituent l'un des aléas les plus destructifs en Algérie, dont le nord se trouve dans une zone de forte sismicité. Aujourd'hui, si le mécanisme du séisme est mieux connu, tant du point de vue de son origine que de sa propagation, il reste encore un phénomène imprévisible. L'analyse du comportement sismique des structures dans ces zones constitue un meilleur outil de prévention du risque sismique. Depuis plusieurs années

Notre mémoire est divisé en 3 chapitres, Après l'introduction générale.

❖ Le premier chapitre

Donne une connaissance du phénomène sismique (généralités sur les séismes).

❖ Le second chapitre

Est consacré à étudier les différentes méthodes de calcul sismique.

❖ Le troisième chapitre

Est consacré pour la modélisation du bâtiment R+4 sur robot.

En fin une conclusion générale, faisant la synthèse de ce travail.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous avons procédé au calcul d'un bâtiment Composé d'un RDC + 04étages (R+4), dont le système de contreventement est assuré par des portiques mixte (poteaux ; poutres et des voiles). Notre étude sera basée sur l'application de la méthode statique équivalente pour bien comprendre le comportement de la structure dans le domaine linéaire et étudier ce bâtiment en trouvant les résultats tel que les sollicitations et par conséquent de déterminer les déformations et le ferraillage des éléments structuraux par la modélisation sur le logiciel Robot.

CHAPITRE I

SEISME ET L'ACTION SISMIQUE

I.1 Introduction :

Les séismes sont l'une des manifestations de la tectonique des plaques. Le risque sismique se mesure sous forme de probabilité établie d'après deux variables : l'aléa et la vulnérabilité.

L'étude d'un séisme est effectuée par des équipes pluridisciplinaires, associant différents domaines de la science : **géologie, sismologie, histoire, archéologie, ingénierie et Architecture**. La complémentarité des données issues de ces différents domaines est apparue comme une nécessité sans laquelle il est parfois impossible d'avancer dans la recherche entreprise [1].

I.2 Origine du séisme :

Les séismes sont localisés le long de failles actives. En profondeur, les roches sont soumises à des contraintes (forces). Au niveau d'une faille, les roches peuvent se déformer pendant des années puis se rompre brutalement au niveau du foyer sismique. De cet endroit partent des ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions.

La zone la plus touchée par ces destructions en surface est l'épicentre. Elle se situe à la perpendiculaire du foyer [2].

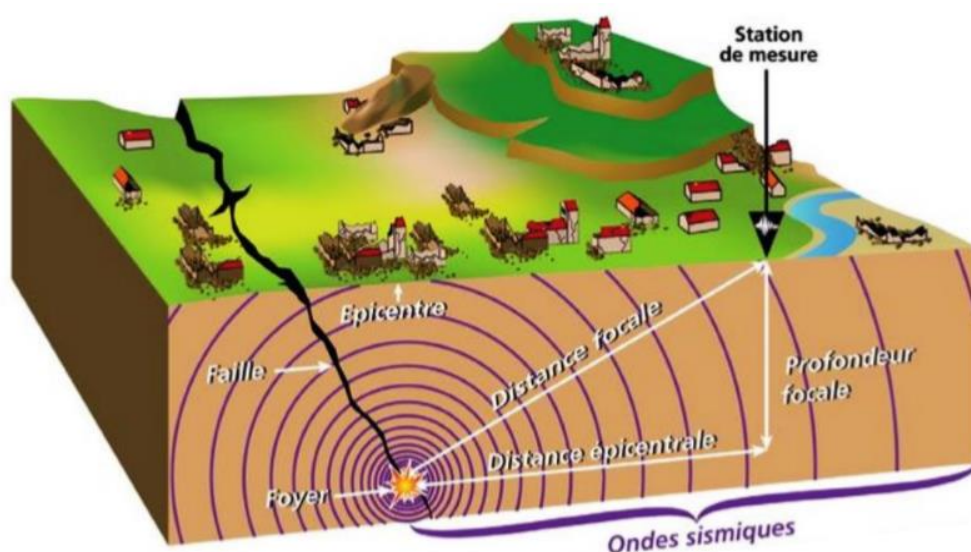


Figure I-1 : zone du déroulement d'un séisme

I.3 Classification des séismes :

Les séismes sont classés selon : 3 catégories

I.3.1 Superficiels :

« Les plaques lithosphériques ont une épaisseur moyenne d'environ 70Km, la majorité des séismes sont superficiels c'est à dire leurs foyers ne dépassent pas une profondeur de quelques dizaines de kilomètres (0-70Km). Cette catégorie de séismes constitue la majorité des séismes destructeurs ».

I.3.2 Intermédiaires :

« Ce sont des ébranlements dont la profondeur des foyers est comprise entre 70 et 300 ou 350 Km, ils constituent environ 25% de la totalité des séismes ».

I.3.3 Profonds :

« Ils sont plus rare que les deux catégories précédentes et ne représentent qu'environ 5%. Ils ont des foyers qui se situent entre 300 et 700 Km. On les distingue des autres types de séismes du fait qu'ils produisent des dégâts sur de grandes surfaces » [1].

I.4 Mouvement sismique :

L'action sismique réglementaire définie dans l'arrêté du 4 octobre 2010 – Section II est Représentée sous forme de spectres de réponse en accélération, $S_e(T)$, pour les directions horizontale et verticale.

Seuls les mouvements vibratoires de la sollicitation sismique sont considérés.

Les spectres sont définis par une forme spectrale standard, forfaitaire, qui dépend de la zone Sismique et de la classe de sol.

Les accélérations d'ancrage de ces spectres sont censées Correspondre à une probabilité annuelle de dépassement inférieure à 2×10^{-4} , soit une période De retour au moins égale à 5000 ans.

Ce paragraphe vise à guider l'utilisateur dans la détermination des paramètres nécessaires à L'établissement du spectre de réponse propre à l'équipement étudié. Il fournit également les Formules permettant de déterminer des paramètres complémentaires liés à l'action sismique Décrite par le spectre de réponse réglementaire, pouvant être nécessaires à l'étude de L'équipement : déplacements et vitesses de sol, et magnitude du séisme (pour

les études de Liquéfaction). Enfin il établit les règles de cumul de l'action sismique avec les autres actions unitaires [1].

I.5 Ondes sismique :

Il existe plusieurs types d'ondes suivant le type de déplacement des particules :

Déplacement dans la direction de propagation de l'onde : ce sont les ondes de compression P (pour « premières »), on peut les comparer aux ondes sonores. La propagation se déroule par compression et dilation successive de la roche perpendiculairement au front d'onde.

C'est l'onde P qui provoque le grondement sourd entendu lors d'un séisme : en effet, l'onde P est très similaire aux ondes sonores, et si elle se situe dans la bonne gamme de fréquences, elle peut être entendue par une oreille humaine.

Onde P : déplacement perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde : ce sont les ondes de cisaillement S (pour « secondaires »). Le déplacement est parallèle au front d'ondes, selon des plans verticaux ou horizontaux.

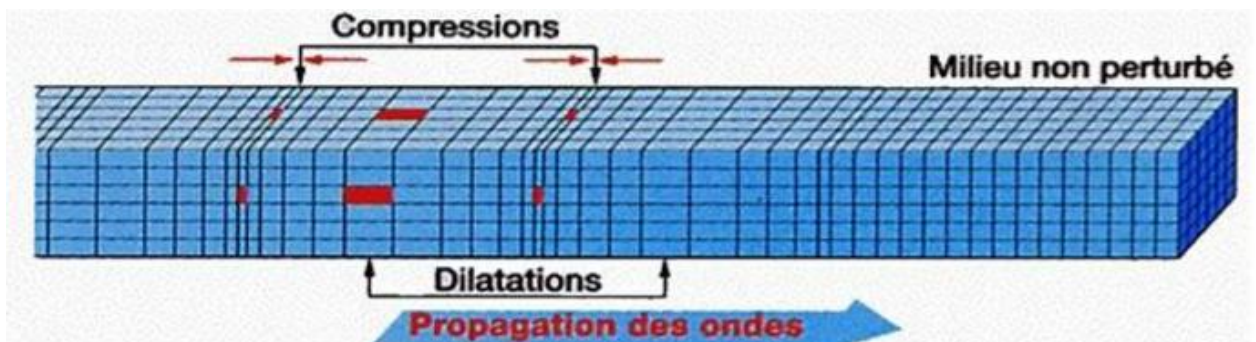


Figure I-2 : Représentation schématique des ondes P

Onde S :

Déplacement des particules situées en surface : ce sont les ondes de surface (ondes de Rayleigh et Love), qui ne se propagent pas à l'intérieur de la Terre. L'amplitude de ces ondes est maximale en surface et diminue avec la profondeur.

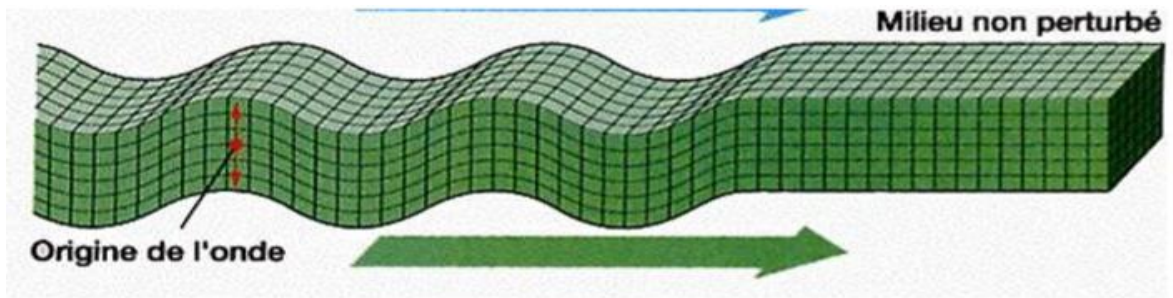


Figure I-3 : Représentation schématique des ondes S

Les ondes P sont plus rapides que les ondes S : elles arrivent donc plus tôt vers les instruments de mesure. C'est de là que viennent les noms P « premières » et S « secondes ».

Les ondes se déplacent en général plus rapidement dans les milieux plus denses (comparer les vitesses dans la croûte et le manteau) : pour expliquer cela, on peut faire une analogie avec le son, qui se propage plus vite dans le béton ou le métal que dans l'air.

Les ondes S ne se propagent pas dans le noyau externe, qui est liquide :

Les ondes S ne se propagent pas dans les fluides car ils n'offrent pas de résistance au cisaillement. L'absence de cohésion entre les atomes empêche la propagation du déplacement de proche en proche. Ceci prouve bien que le manteau est solide (propagation des ondes S).

Il y'a d'autre types d'ondes tel que :

Les ondes Love ou ondes L :

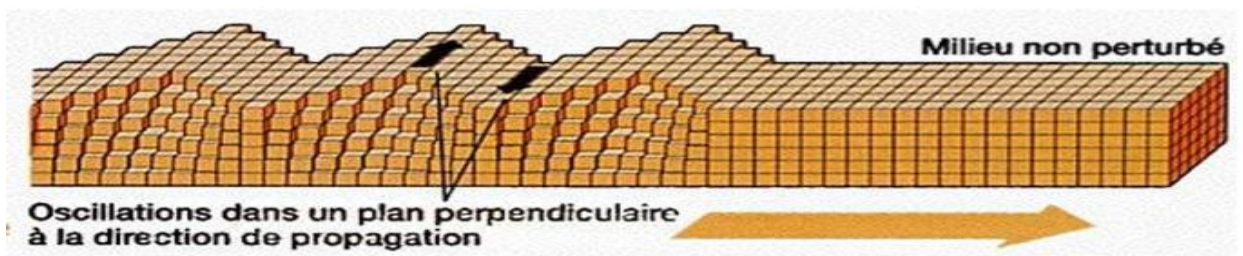


Figure I-4 : Représentation schématique des ondes L

Les ondes de Rayleigh ou ondes R :

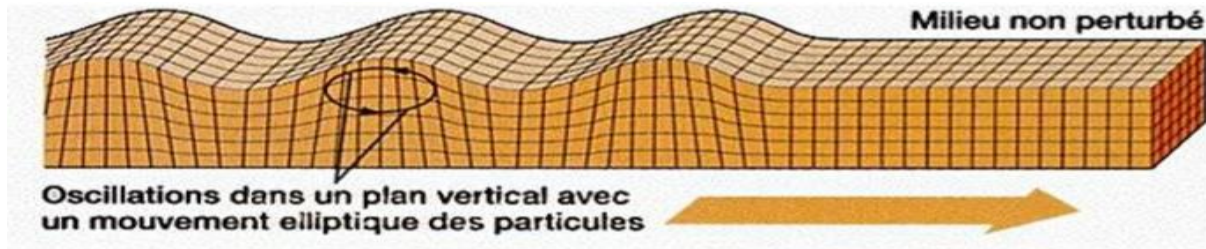


Figure I-5 : Représentation schématique des ondes R

Le sismogramme montre bien les différences d'arrivée entre les ondes P et S, et les ondes de surface : ce signal a été enregistré peu après le séisme d'Arequipa au Pérou ($M_w=8.4$), le 23 juin 2001. Les trois signaux représentent le mouvement dans les 3 dimensions de l'espace : les 2 du haut sont les composantes horizontales, et celle du bas correspond au déplacement vertical. On remarque bien que l'onde P est plus énergétique sur la composante verticale, et l'onde S sur le mouvement horizontal.

Ce signal a été enregistré par une station située à Albuquerque au Nouveau-Mexique (USA), à plusieurs milliers de kilomètres de l'épicentre : ceci met bien en évidence le trajet des ondes sismiques.

Le signal enregistré est souvent très complexe : ceci est dû à la réflexion et la réfraction des ondes sur les discontinuités à l'intérieur de la Terre [3].

I.6 La propagation des ondes sismiques et leur enregistrement :

Les géologues étudient les secousses sismiques à l'aide de sismographes. Ces appareils enregistrent les ondes qui arrivent à la surface. Les enregistrements obtenus sont des sismogrammes [2].

Appareils enregistreurs

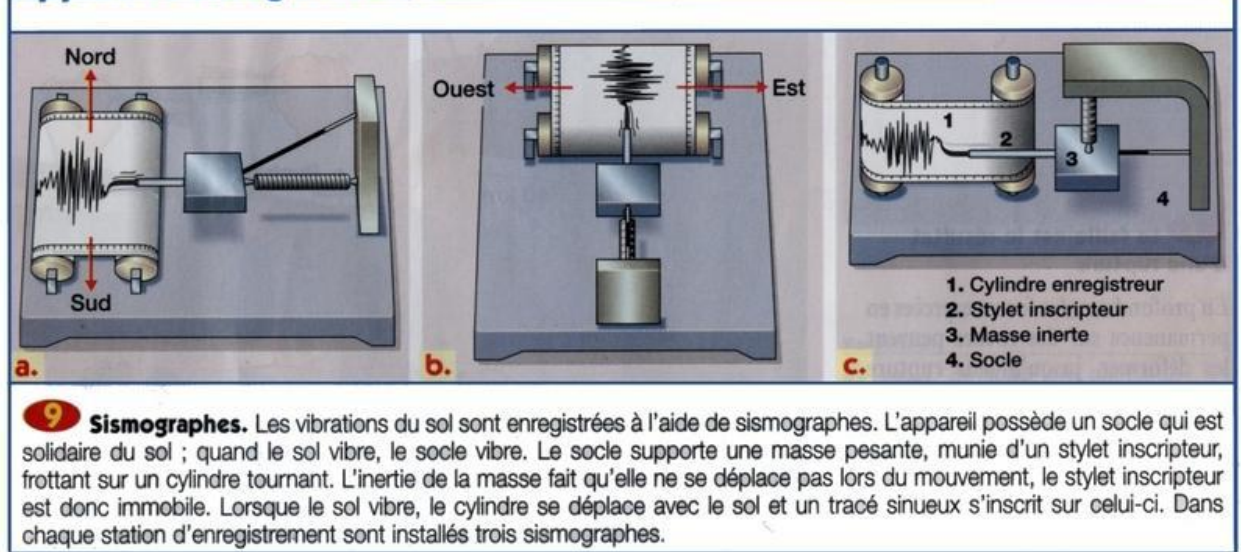


Figure II-6 : appareil d'enregistrement sismologique

I.7 Intensité et Magnitude :

Il ne faut pas confondre magnitude et intensité :

I.7.1 L'intensité :

D'un séisme est estimé à partir des effets produits en surface, l'échelle utilisée est l'échelle MSK, du nom de trois sismologues [2].

I.7.2 La magnitude :

Évalue l'énergie libérée au foyer du séisme.

Les contraintes qui s'appliquent sur les roches en profondeur conduisent à une accumulation d'énergie. Lors de la rupture des roches, cette énergie est libérée.

La magnitude mesure l'énergie libérée lors du séisme.

Elle dépend de la longueur de la faille activée et de l'importance du déplacement le long de la faille, l'échelle utilisée est l'échelle de Richter [2].

I.8 Aspect physique :

Un tremblement de terre, ou séisme, résulte de l'accumulation de tensions jusqu'au moment où les plaques de la croûte terrestre qui ont emmagasiné l'énergie de déformation la relâchent brusquement. Suite à ce processus les plaques bougent, pour reprendre leur

état initial D'équilibre, ce qui crée des ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions [1].

I.9 Contexte tectonique :

L'Algérie se situe sur une frontière active de plaques au niveau de la convergence de L'Afrique et de l'Eurasie (figure 1). Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 6 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Le déplacement rapide des bords de la faille génère alors des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface.

Les principales failles actives sont localisées au niveau de la chaîne de montagne nord-africaine (Atlas). Le mouvement relatif des bords de la faille tel qu'il a été enregistré par les sismomètres montre un raccourcissement cohérent avec le mouvement global des plaques. Pour le moment, la faille qui est à l'origine du séisme du 21 mai 2003 n'est pas identifiée. Compte tenu des premières informations sismologiques, la prolongation orientale de la faille majeure connue localement (faille de Thenia) pourrait avoir été activée lors de ce séisme [3].

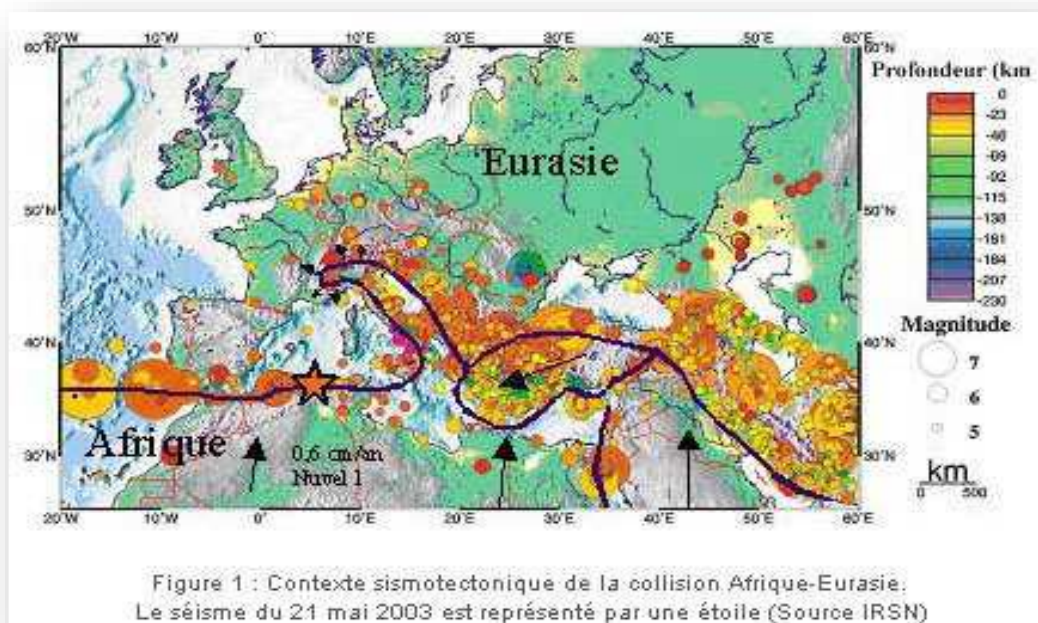


Figure II-7 : Contexte sismotectonique de la collision Afrique Eurasie

I.10 Zone sismique en Algérie :

Le zonage sismique du territoire algérien montre que la bande tellienne notamment dans sa frange littorale est soumise au degré d'aléas sismique le plus élevé. Le territoire national est divisé en cinq (5) zones de sismicité croissante, définies :

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone IIa et IIb : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée [4].

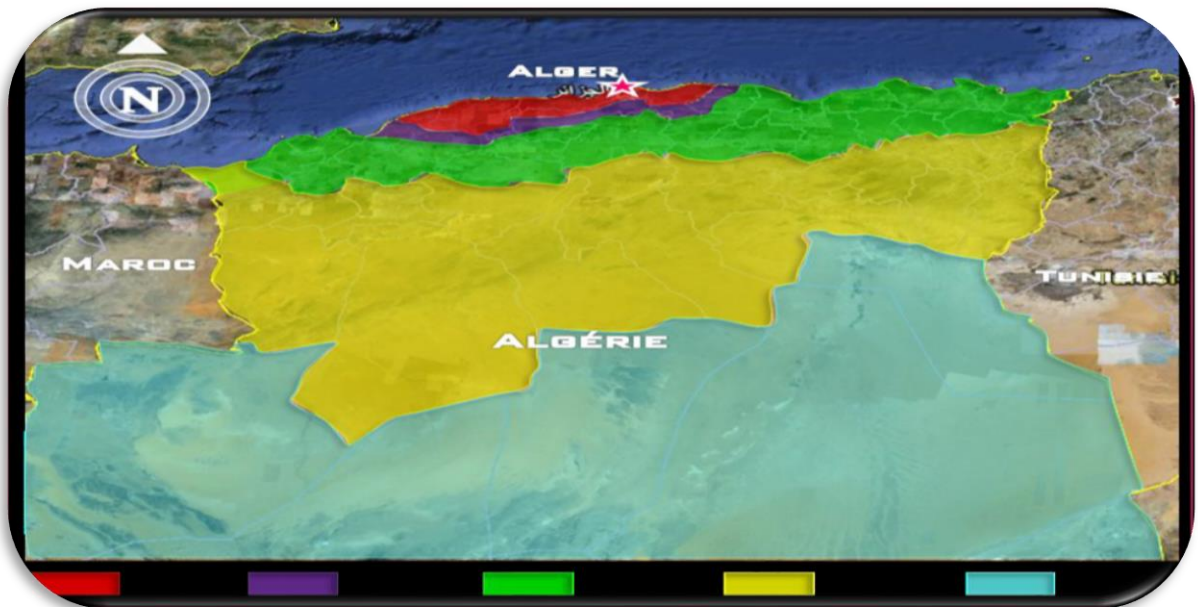


Figure II-8 : Carte : zonage sismique du territoire national Algérienne

Source : Auteur en référence du RPA99 version (2003) / APRES ADDENDA

I.11 L'histoire sismique de l'Algérie :

Compte tenu de sa localisation dans une zone de convergence de plaques, l'Algérie est une région à forte sismicité . Au cours de son histoire, elle a subi plusieurs séismes destructeurs. Parmi les plus notables, on peut citer : 1715, séisme d'Alger, 20000 morts ; 1954 séisme d'Orléans ville (EL Asnam), magnitude 6,7, 1 200 morts, 20000 bâtiments détruits ; 1980 séisme d'El Asnam, magnitude 7,1, 2600 morts. Néanmoins, aucun séisme majeur n'avait été répertorié jusqu'alors dans la région de l'épicentre.

En effet, dans cette région l'intensité maximale observée ne dépasse pas V. Compte tenu de l'importance des destructions engendrées par le séisme du 21 mai 2003, l'intensité de cette secousse est a priori supérieure à VIII. Une évaluation précise ne pourra être réalisée qu'après enquête sur le terrain [3].

I.12 Caractéristiques de la sismicité algérienne :

Les informations fournies par la sismicité historique et par les études de sismotectonique, de sismologie, de paléo sismologie, d'aléa sismique, nous possédons aujourd'hui des indications importantes sur l'activité sismique en Algérie du Nord. L'Algérie se trouve sur la plaque africaine laquelle est en collision avec la plaque eurasiennne.

Les deux plaques étant limitées par une longue zone sismique qui s'étend des Accords à la Turquie en passant par Gibraltar, le Maghreb, l'Italie, la Yougoslavie, la Grèce ... (CRAAG)

Le mouvement de la confrontation entre la plaque eurasiennne et la plaque africaine a donné naissance à de gigantesques fracturations sous formes de failles géologiques dont la conséquence la naissance du relief important de l'Algérie du nord. Les vitesses de rapprochement entre la plaque africaine et eurasiennne varient de **0.5 à 1 cm/an** en méditerranée occidentale, à **2.5 cm/an** en méditerranée orientale (BADDARI. K ; DJEDDI.M 2002) 14. Ces vitesses sont déduites des vecteurs déplacements obtenus à partir de l'expansion océanique dans l'atlantique [5].

I.13 Risque sismique :

Ensemble des pertes (des vies, de dommages, de propriété, de vies, d'activité économique abrupte ou d'environnement endommagé) attendues et résultant des interactions entre l'aléa sismique (le tremblement de terre) et les conditions de vulnérabilité. Par convention, le risque est exprimé par la convolution suivante :

$$\text{Risque Sismique} = \text{Aléa Sismique} * \text{Vulnérabilité Sismique} / \text{Capacité De Gestion Des Désastres}$$

La relation symbolique " $\text{risque} = \text{aléa} * \text{vulnérabilité}$ " exprime de manière synthétique le lien qui existe entre les composants du risque sismique, l'aléa sismique, la vulnérabilité au séisme et la valeur exposée ou enjeu. La relation montre qu'un aléa sismique sévère combiné avec une vulnérabilité élevée et un enjeu important et surtout dosé par une mauvaise gestion du risque ont une forte chance de conduire à un désastre. Cette relation simple et intuitive à, toutefois, le mérite d'indiquer les approches potentielles que l'on peut envisager en vue de réduire le risque sismique [5].

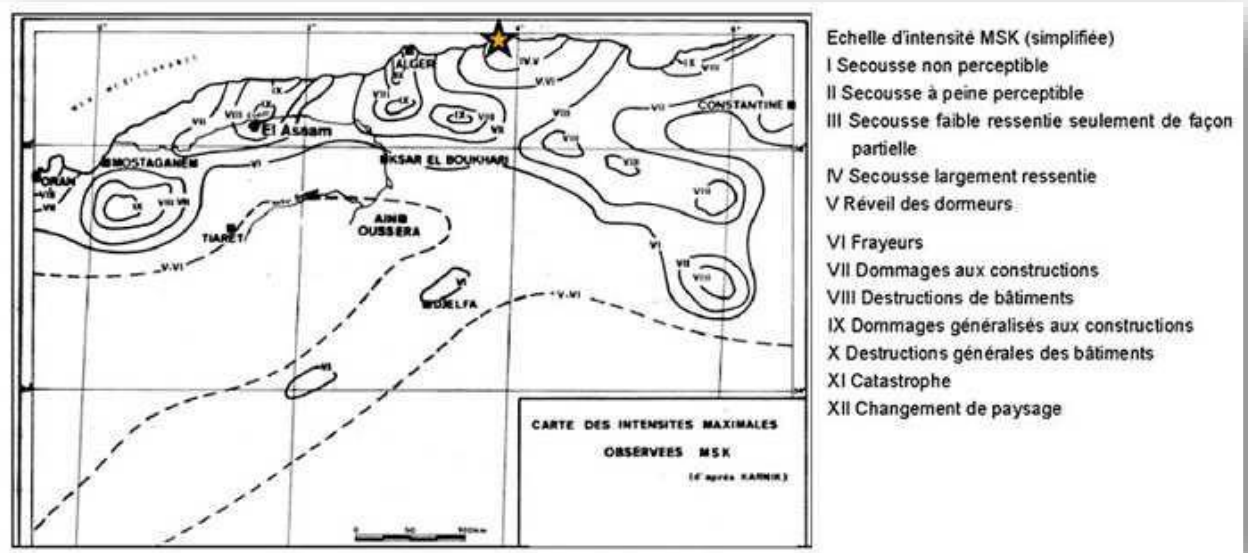


Figure II-9 : Carte des intensités maximales observées

I.14 Explication du mécanisme de rupture :

Le plan de faille entre deux blocs est une zone « rugueuse » sur laquelle le glissement ne s'effectue pas facilement et la rupture va s'amorcer au niveau des roches les plus faibles de la faille. La rupture s'étend alors très rapidement (environ 3 km/s) au plan de faille et le front de rupture se propage de proche en proche, séparant une zone qui glisse et bientôt se fige, d'une zone qui n'a pas encore glissé. Quand la rupture atteint des zones plus résistantes ou moins soumises aux contraintes, elle s'arrête.

Mais la rupture est irrégulière le long du plan de faille : le front de rupture peut se propager à des vitesses différentes et le glissement n'atteint pas la même valeur partout. Par exemple, voilà les glissements dans le plan de faille du séisme de Landers (Californie) en 1992 :

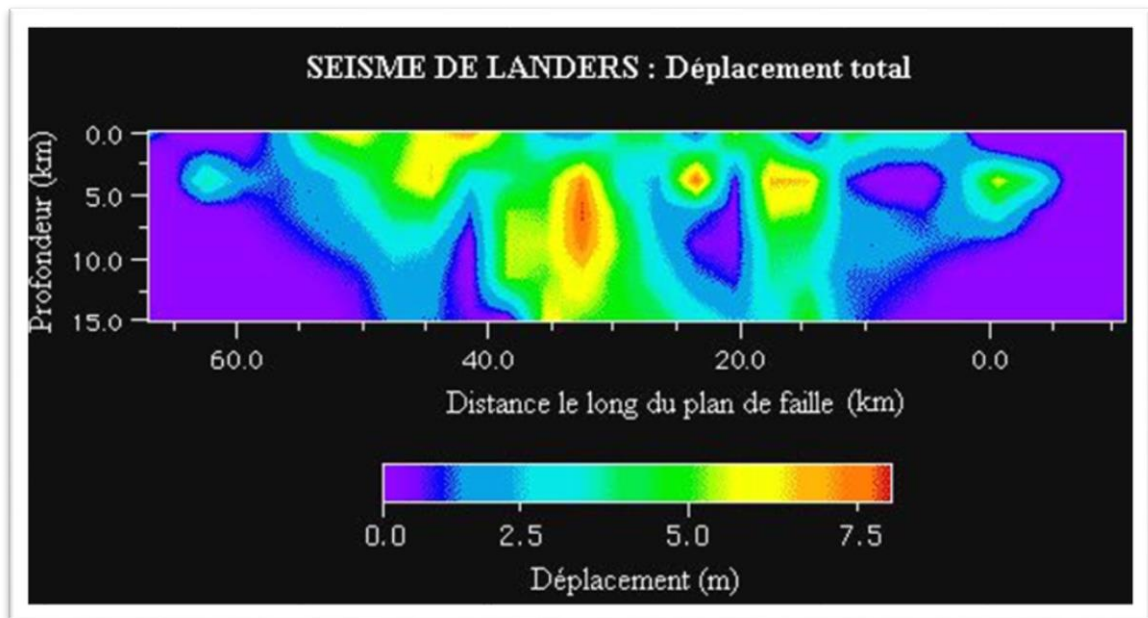


Figure II-10 : plan du segment de faille rompu

Le schéma ci-dessus représente le plan du segment de faille qui a rompu lors du séisme de Landers. On voit bien que la rupture n'est pas uniforme : certaines zones, en vert ou jaune, ont subi un déplacement relatif de plusieurs mètres, alors que ce glissement a été presque nul pour les zones situées aux extrémités du segment de faille (en violet). Ce diagramme permet aussi d'avoir une idée de la profondeur de la rupture : ici, on voit que la faille s'est rompue en surface et jusqu'à 15 km de profondeur.

Dans le cas où les forces de frottement sur le plan de faille sont assez faibles, les blocs peuvent glisser régulièrement sans générer de rupture ni de séisme : on parle du glissement asismique. Ceci est notamment le cas lorsqu'une faille est lubrifiée par la présence d'eau [6].

I.15 L'action sismique :

Lorsqu'un tremblement de terre se produit, le bâti subit un choc qui est provoqué par trois actions différentes : horizontale, verticale et de rotation. La libération d'énergie au foyer du séisme qui entraîne la propagation d'ondes de compression et de cisaillement, est la cause de ces déplacements en surface.

Le mouvement sismique (ou action sismique) peut se décomposer en la somme d'une composante horizontale (suivant deux directions principales U_x et U_y) et d'une composante verticale U_z et des rotations ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$), (figure II-11).

Il est utile de savoir que la composante verticale est, à l'aplomb de l'épicentre égale à la composante horizontale.

Plus nous nous éloignons de cet épicentre, plus la composante verticale est moins importante par rapport à la composante horizontale, elle perd environ 50 à 70% de son influence. L'importance du mouvement vertical est souvent négligeable, car moins dommageable, que le mouvement horizontal.

D'autant plus, du fait, que les structures soient réalisées pour supporter leur poids propre, cette composante verticale est moins importante alors que la composante horizontale, elle, sera préférée pour dimensionner les structures à la résistance aux efforts horizontaux. [7]

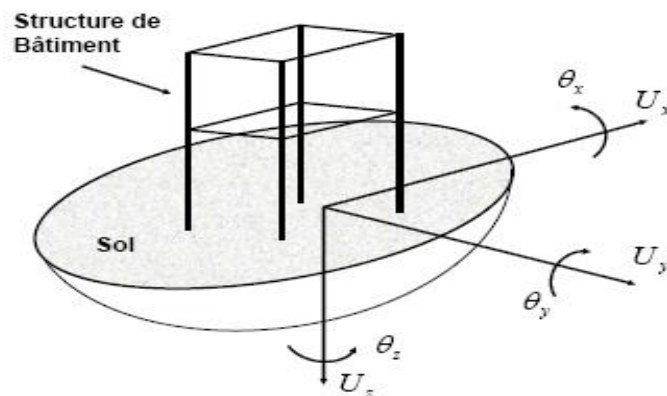


Figure II-11 : Composantes du mouvement sismique

I.16 Comportement de bâtiment lors d'un séisme :

Les séismes se manifestent à la surface du sol par un va et vient rapide dans toutes les directions du plan horizontal, ainsi que dans le sens vertical, mais dans une mesure généralement moindre. Les constructions sont liées au sol au moins par leurs fondations. Le mouvement d'une structure de génie civil, et en particulier un bâtiment, peut se décomposer en 4 (voir figureI-8).

- a- Le déplacement relatif de la fondation ;
- b- Le basculement de la fondation (mouvement vertical) et torsion à la base (mouvement horizontal) ;
- c- La torsion à la base ;
- d- La torsion de la structure [7].

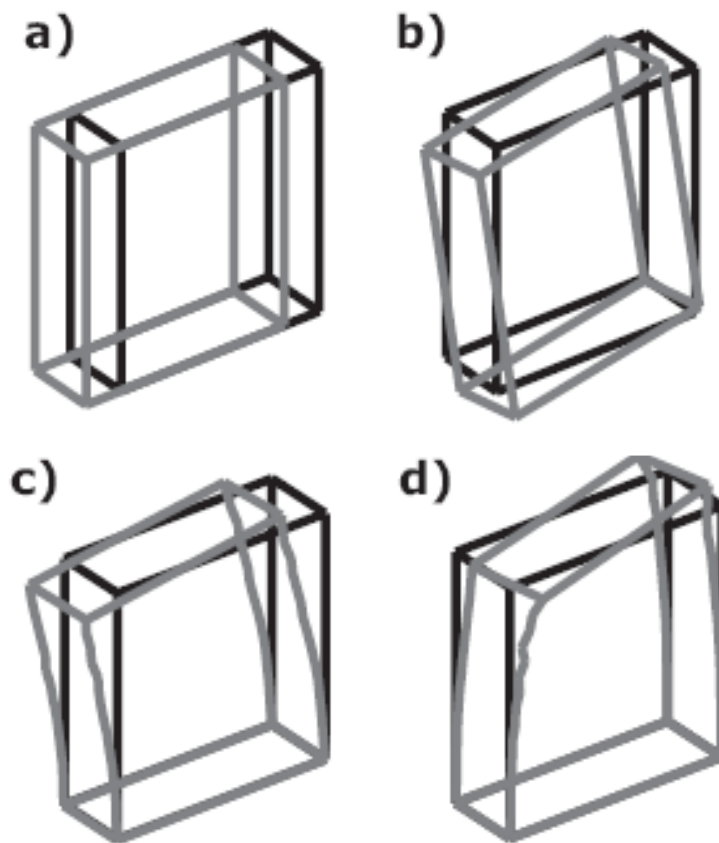


Figure II-12 : Types du mouvement d'une structure de génie civil en cas du séisme

I.17 Types de sol (site) :

Classification des sites ; Catégories et Critères de classification

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

Catégorie S1 (site rocheux) :

Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de Cisaillement (VS) $\geq$ à 800m/s.

Catégorie S2 (site ferme) :

Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m D'épaisseur avec VS $\geq$ 400 m/s à partir de 10 m de profondeur.

Catégorie S3 (site meuble) :

Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec VS $\geq$ 200 m/s à partir de 10 m de profondeur.

Catégorie S4 (site très meuble)

- Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec VS < 200 m/s dans les 20 premiers mètres.
- Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec VS < 200 m/s dans les 20 premiers mètres [4].

I.18 Spectre de réponse :

En sismologie, la caractérisation des tremblements de terre s'effectue de diverses manières, la Magnitude (échelle de Richter) et l'intensité dont nous avons parlé précédemment. Pour les ingénieurs, les paramètres les plus utiles sont soit les lois de déplacements du sol $dg(t)$ et des accélérations $ag(t)$, soit des données plus globales, appelées spectres de réponse, établies à partir de ces accélérogrammes [7].

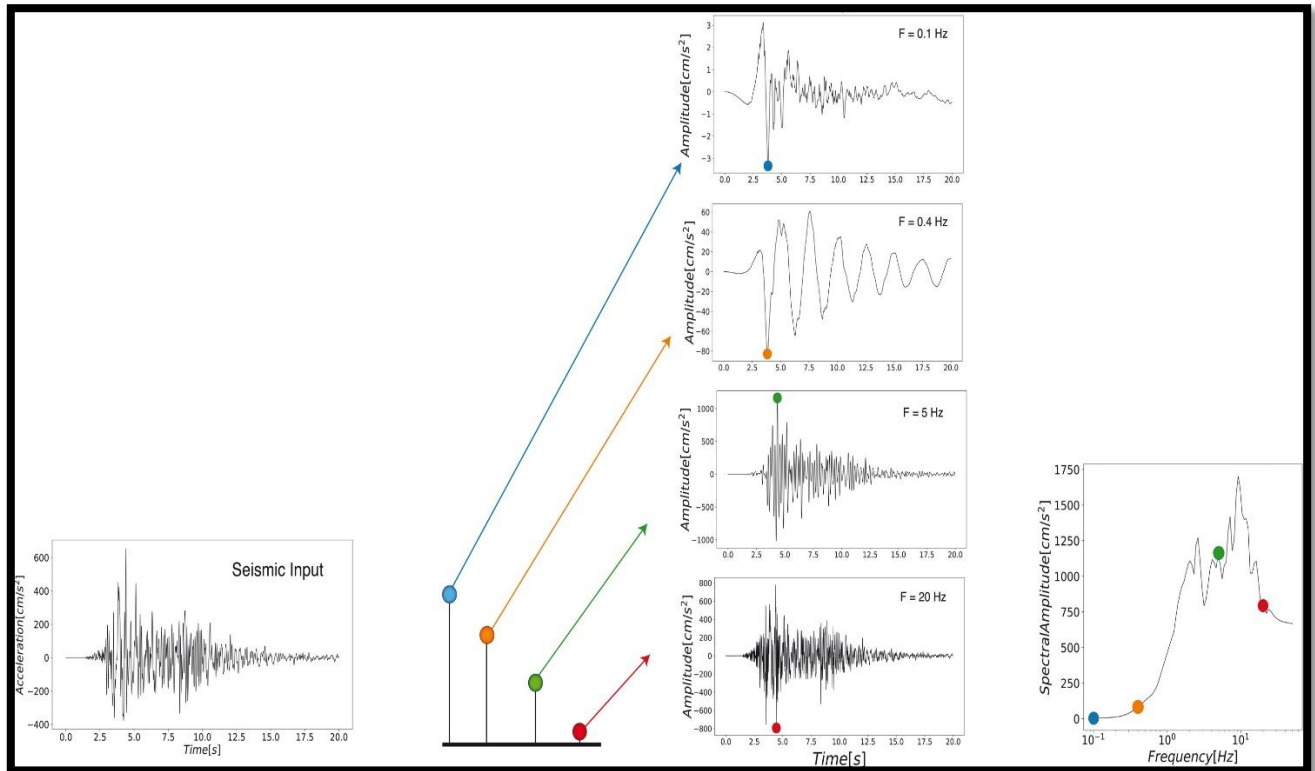


Figure II-13 : enregistrement par accélérographes

Le concept de spectre de réponse est introduit en génie sismique par (Benioff 1934 et Housner 1941). Ce mode de présentation du mouvement sismique étant plus parlant pour l'ingénieur qu'un signal temporel direct, il a été depuis, largement utilisé dans les études sismiques.

Le spectre de réponse permet de caractériser une excitation. Il consiste en la détermination de la réponse maximale (déplacement, vitesse ou accélération) d'une série d'oscillateurs de différentes fréquences propres, soumis à cette même excitation. Le spectre de réponse résultant permet alors l'évaluation de la réponse de n'importe quel système linéaire, à partir de sa fréquence propre. L'utilisation principale est donc l'évaluation de la réponse maximale des bâtiments lors de tremblements de terre, en supposant que la réponse est dominée par un mode unique, ce qui est vrai dans la majorité des cas où le mode fondamental de la structure est prédominant.

Sous l'action sismique, la structure effectue une série d'oscillations forcées suivant des lois complexes puis des oscillations libres qui s'amortissent plus ou moins rapidement. L'étude d'une structure peut se ramener à celle de l'oscillateur simple parce que le calcul sur une structure à "n" degrés de liberté se ramène à l'étude de "n" oscillateurs simples

chacun caractérisés par une période propre et un coefficient d'amortissement [6].

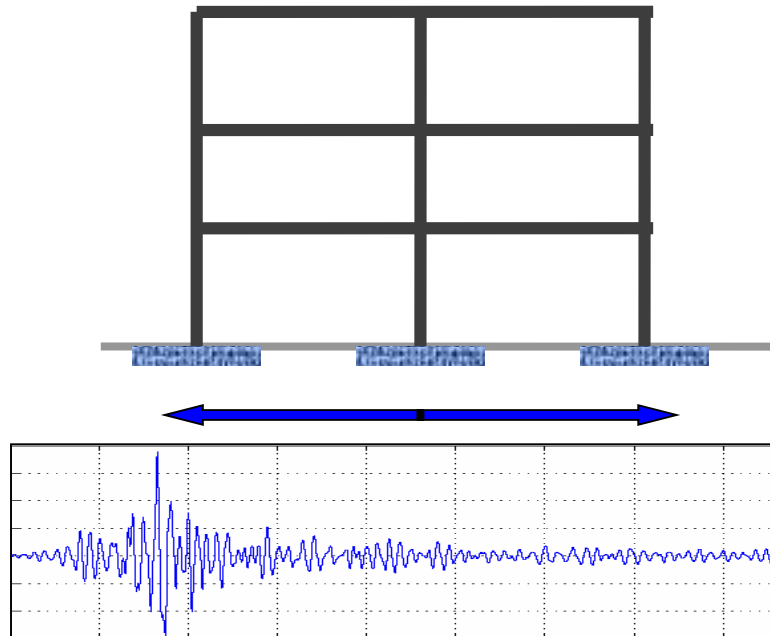


Figure II-14 : Excitation sismique de l'oscillateur

I.19 Conclusion :

Ce chapitre représente une recherche bibliographique et une culture générale sur le séisme et leurs dommages.

Grace a cette recherche nous a obtenue beaucoup d'information sur le séisme et leur dommage et leurs propriétés.

CHAPITRE II

METHODES DE CALCUL DE L'ACTION SISMIQUE

II.1 Introduction :

Le choix des méthodes de calcul et la modélisation de la structure doivent avoir pour objectif de reproduire au mieux le comportement réel de l'ouvrage.

Dans le cas des ouvrages qui relèvent du règlement parasismique RPA99version 2003, il est admis que les structures soumises à une action sismique puissent subir des déformations dans le domaine post-élastique. Il est fait alors recours à des méthodes de calcul linéaire équivalent, utilisant un modèle élastique de la structure où l'action sismique est introduite sous forme de spectre de réponse.

D'autres méthodes de calcul plus élaborées peuvent éventuellement être utilisées, sous réserve de justification scientifique appropriée.

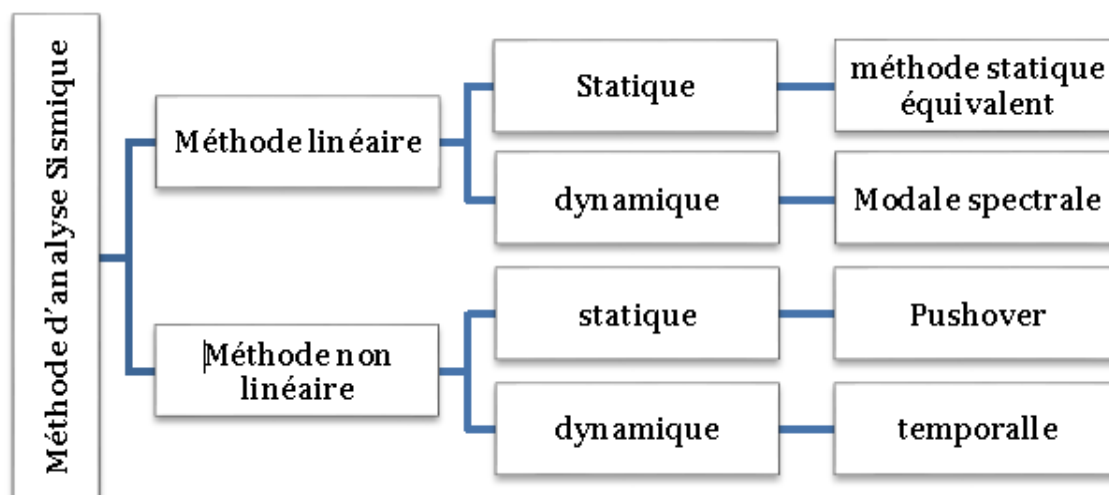


Figure II-1 : Organisation des méthodes d'analyse

II.2 Les différents méthodes de calcul sismique :

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :

- par la méthode statique équivalente
- par la méthode d'analyse modale spectrale
- par la méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes [4].

II.3 Conditions d'application des méthodes :

II.3.1 Méthode statique équivalente :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

a) Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrite au chapitre III, paragraphe 3.5 avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et II et à 30m en zones III.

b) Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant,

autres les conditions de hauteur énoncées en a) les conditions complémentaires suivantes:

Zone I : • tous groupes

Zone II : • groupe d'usage 3

- groupe d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 7 niveaux ou 23m.

- groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17m.

- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.

Zone III : • groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17m.

- groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.

- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08m [4].

II.3.2 Méthodes dynamiques :

II.3.2.1 La méthode d'analyse modale méthode spectrale :

Peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

II.3.2.2 La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes :

Peut être utilisée au cas par cas par un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interprétation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire.

II.4 Méthode Statique Equivalente :

II.4.1 Principe :

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal.

Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projeteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

Il faut souligner toutefois que les forces et les déformations obtenues pour l'élément à partir des méthodes d'analyse statiques pour les charges de conception recommandées sont inférieures aux forces et aux déformations qui seraient observées sur la structure sous les effets d'un séisme majeur pour lequel les charges ont été spécifiées. Ce dépassement des forces est équilibré par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément.

C'est pourquoi l'utilisation de cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- Une ductilité suffisante
- La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des Secousses sismiques majeures [4].

II.4.2 Modélisation :

a) Le modèle du bâtiment à utiliser dans chacune des deux directions de calcul est plan avec les masses concentrées au centre de gravité des planchers et un seul degré de liberté en translation horizontale par niveau sous réserve que les systèmes de contreventement dans les deux (2) directions puissent être découplés.

b) La rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculée à partir de sections non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.

c) Seul le mode fondamental de vibration de la structure est à considérer dans le calcul de la force sismique totale [4].

II.4.3 Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{A D Q}{R} \cdot W$$

- A : coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau 4.1 suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment

Groupe	I	II	III
1A	0.12	0.25	0.35
1B	0.10	0.20	0.30
2	0.08	0.15	0.25
3	0.05	0.10	0.15

Tableau II-1 : Coefficient d'accélération de zone A.

- D : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$\begin{cases} D = 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{2/3} (3.0/T)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

• T_2 période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le tableau II-7

Le facteur D est par ailleurs donné sous forme graphique à la figure 4.1 pour un amortissement

$$\xi = 5\%$$

• η : facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7(2 + \xi)} \geq 0.7$$

Où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau

Constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Quand $\xi = 5\%$, on a $\eta = 1$

Remplissage	Portique		Voiles ou murs
	Béton	Acier	Béton arme ou maçonnerie
Leger	6	4	10
Dance	7	5	

Tableau II-2 : Valeurs de ξ (%)

R : coefficient de comportement global de la structure

Sa valeur unique est donnée en fonction du système de contreventement

En cas d'utilisation de systèmes de contreventement différents dans les deux directions considérées il y a lieu d'adopter pour le coefficient R la valeur la plus petite.

Cat	Description du système de contreventement	Valeur de R
A	Béton armé	5
1a	Portiques autostables sans remplissages en maçonnerie rigide	3,5
1b	Portiques autostables avec remplissages en maçonnerie rigide	3,5
2	Voiles porteurs	3,5
3	Noyau	5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	4
4b	Portiques contreventés par des voiles	2
5	Console verticale à masses réparties	2
6	Pendule inverse	

B	<u>Acier</u>	6
7	Portiques autostables ductiles	4
8	Portiques autostables ordinaires	4
9a	Ossature contreventée par palées triangulées en X	3
9b	Ossature contreventée par palées triangulées en V	5
10a	Mixte portiques/palées triangulées en X	4
10b	Mixte portiques/palées triangulées en V	2
11	Portiques en console verticale	
C	<u>Maçonnerie</u>	
12	Maçonnerie porteuse chaînée	2.5

D	Autres systèmes	
13	Ossature métallique contreventée par diaphragme	2
14	Ossature métallique contreventée par noyau en béton armé	3
15	Ossature métallique contreventée par voiles en béton armé	3,5
16	Ossature métallique avec contreventement mixte comportant un	4
17	noyau en béton armé et palées ou portiques métalliques en façades	2
	Systèmes comportant des transparences (étages souples)	

Tableau II-3 : valeurs du coefficient de comportement R

- Q : facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation

- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum_1^5 P_q$

P_q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Les critères de qualité "q" à vérifier sont :

II.4.3.1 Conditions minimales sur les files de contreventement :

- système de portiques : chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au moins trois (03) travées dont le rapport des portées n'excède pas 1,5.

Les travées de portique peuvent être constituées de voiles de contreventement.
système de voiles : chaque file de voiles doit comporter à tous les niveaux, au moins Un (01) trumeau ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" inférieur ou égal à 0,67 ou bien deux (02) trumeaux ayant un rapport "hauteur d'étage sur largeur" Inférieur ou égal à 1,0. Ces trumeaux doivent s'élever sur toute la hauteur de l'étage et ne doivent avoir aucune ouverture ou perforation qui puisse réduire de manière significative leur résistance ou leur rigidité [4].

II.4.3.2 Redondance en plan :

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5.

II.4.3.3 Régularité en plan :

La structure est classée régulière en plan.

II.4.3.4 Régularité en élévation :

La structure est classée régulière en élévation.

II.4.3.5 Contrôle de la qualité des matériaux : Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par L'entreprise.

II.4.3.6 Contrôle de la qualité de l'exécution :

Il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier. Cette

mission doit comprendre notamment une supervision des essais effectués sur les matériaux.

Critère q	Pq	
	Observe	Non observée
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0.05
2. Redondance en plan	0	0.05
3. Régularité en plan	0	0.05
4. Régularité en élévation	0	0.05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0.05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0.10

Tableau II-4 : Valeurs des pénalités Pq

W : poids total de la structure,

W est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec } W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

- W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- W_{Qi} : charges d'exploitation
- β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation.

Cas	Type d'ouvrage	B
1	Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0,20
2	Bâtiments recevant du public temporairement :	
	- Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout.	0,30
	- salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	0,40
		0,50

3	Entrepôts, hangars	
4	Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés	1,00
	Autres locaux non visés ci-dessus	0,60
5		

Tableau II-5 : Valeurs des pénalités P_q

II.4.3.7 Estimation de la période fondamentale de la structure :

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

2. La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

- h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).
- C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage

Cas n :	Système de contreventement	C_T
1	Portiques autostables en béton armé sans remplissage en	0,075
2	maçonnerie	0,085
3	Portiques autostables en acier sans remplissage en maçonnerie	
4	Portiques autostables en béton armé ou en acier avec remplissage	0,050
5	en maçonnerie	0,050
	Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en Béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie	

Tableau II-6 : Valeurs du coefficient C_T

Dans les cas n° 3 et 4, on peut également utiliser aussi la formule :

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{D}$$

Où D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Dans ce cas de figure il y a lieu de retenir dans chaque direction considérée la plus petite des deux valeurs données respectivement par (4.6) et (4.7)

3. La valeur de T peut être calculée avec la formule de Rayleigh ou une version simplifiée de cette formule :

$$T = 2\pi \sqrt{(\sum_i^n W_i \delta_i) / g (\sum_i^n f_i \delta_i)}$$

f_i : système de forces horizontales, distribuées selon les formules de répartition de V suivant la verticale.

δ_i : flèches horizontales dues aux forces f_i calculées à partir d'un modèle élastique linéaire de la structure qui prend en compte tous les éléments participant à sa rigidité

II.4.3.8 Version simplifiée de la formule de Rayleigh :

$$T = 2\sqrt{\delta N}$$

• δN : flèche horizontale au sommet du bâtiment, mesurée en mètres, due aux forces gravitaires appliquées horizontalement.

4. Les valeurs de T, calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

II.4.3.9 Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule : $F_t = 0,07 TV$ Où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas 0,25 V et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à 0,7 secondes.

La partie restante de V soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule :

$$F_i = \frac{(V - F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

- Distribution horizontale des forces sismiques

L'effort tranchant au niveau de l'étage k : $V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

II.4.3.10 Effet de la torsion d'axe vertical :

L'augmentation de l'effort tranchant provoqué par la torsion d'axe vertical due à l'excentricité entre le centre de gravité et le centre de rigidité doit être prise en compte. Les efforts tranchants négatifs dus à la torsion devront être négligés.

Pour toutes les structures comportant des planchers ou diaphragmes horizontaux rigides dans leur plan, on supposera qu'à chaque niveau et dans chaque direction, la résultante des forces horizontales a une excentricité par rapport au centre de torsion égale à la plus grande des deux valeurs :

- 5% de la plus grande dimension du bâtiment à ce niveau (cette excentricité doit être prise en considération de part et d'autre du centre de torsion)
- excentricité théorique résultant des plans.

Avantages de la méthode statique équivalent :

- Utilisation simple et des résultats faciles à contrôler
- La période empirique de la méthode statique équivalente représente une limite inférieure (et par conséquent l'effort tranchant à la base calculée avec cette méthode représente une limite supérieure) de toutes les valeurs des périodes mesurées dans le domaine élastique.
- Les codes américains (sources des RPA) considèrent la force sismique de la méthode statique équivalente comme référence et la force sismique de la méthode modale spectrale pour qu'elle soit comparable à celle de la méthode statique équivalente.

Inconvénients de la méthode statique équivalent

- Limitées aux bâtiments réguliers (critères d'acceptation définis dans les normes de calcul)
- Seul le mode fondamental est pris en compte et l'influence des modes supérieurs

Limitation de la hauteur totale dans chaque zone sismique

- Choix de la projection de la force horizontal elle n'est pas la projection réelle de la force sismique [8].

II.5 Méthode Dynamique Modale Spectrale :

II.5.1 Principe :

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

II.5.2 Modélisation :

a) Pour les structures régulières en plan comportant des planchers rigides, l'analyse est faite séparément dans chacune des deux directions principales du bâtiment. Celui-ci est alors représenté dans chacune des deux directions de calcul par un modèle plan, encastré à la base et où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec un seul DDL en translation horizontale.

b) Pour les structures irrégulières en plan, sujettes à la torsion et comportant des planchers rigides, elles sont représentées par un modèle tridimensionnel, encastré à la base et où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois (03) DDL (2 translations horizontales et une rotation d'axe vertical).

c) Pour les structures régulières ou non comportant des planchers flexibles, elles sont représentées par des modèles tridimensionnels encastrés à la base et à plusieurs DDL par plancher.

d) La déformabilité du sol de fondation doit être prise en compte dans le modèle toutes les fois où la réponse de la structure en dépend de façon significative.

e) Le modèle de bâtiment à utiliser doit représenter au mieux les distributions des rigidités et des masses de façon à prendre en compte tous les modes de déformation significatifs dans le calcul des forces d'inertie sismiques (ex : contribution des zones nodales et des éléments non structuraux à la rigidité du bâtiment).

f) Dans le cas des bâtiments en béton armé ou en maçonnerie la rigidité des éléments porteurs doit être calculée en considérant les sections non fissurées. Si les

déplacements sont critiques particulièrement dans le cas de structures associées à des valeurs élevées du coefficient de comportement, une estimation plus précise de la rigidité devient nécessaire par la prise en compte de sections fissurées [4].

II.5.3 Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A(1 + \frac{T}{T_1}(2.5\eta\frac{Q}{R}-1)) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A)(\frac{Q}{R}) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A)(\frac{Q}{R})(\frac{T_2}{T})^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A)(\frac{T_2}{3})^{2/3}(\frac{T_2}{T})^{5/3}(\frac{Q}{R}) & T > 3.0s \end{cases}$$

A : coefficient d'accélération de zone.

η : facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%).

ξ : pourcentage d'amortissement critique.

R : coefficient de comportement de la structure.

T₁, T₂ : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

Q : facteur de qualité.

Site	S1	S2	S3	S4
T1(sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T2(sec)	0.30.	0.40	0.50	0.70

Tableau II-7 : Valeurs de T₁ et T₂

Dans la détermination de la valeur de Q, il y a lieu de tenir compte que les irrégularités en plan et en élévation ont déjà été prises en charge par le modèle. Par ailleurs, en cas d'analyse tridimensionnelle il y a lieu de prendre comme valeur de Q la plus pénalisante, des valeurs calculées suivant les deux directions orthogonales de référence.

L'action sismique doit être appliquée dans toutes les directions jugées déterminantes pour le calcul des forces sismiques ainsi que les directions qui leur sont perpendiculaires, compte tenu de la configuration en plan de la structure. Pour les structures ayant leurs éléments de contreventement distribués le long de deux directions orthogonales, ces deux directions sont à retenir comme directions d'excitation.

b) Dans le cas où toutes les réponses modales retenues sont indépendantes les unes des autres, la réponse totale est donnée par

$$E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^K E_i^2}$$

E : effet de l'action sismique considéré

E_i : valeur modale de E selon le mode « i »

K : nombre de modes retenus

c) Dans le cas où deux réponses modales ne sont pas indépendantes ; E1 et E2 par exemple, la réponse totale est donnée par :

$$\sqrt{(E_1 + E_2) + \sum_{i=3}^K E_i^2}$$

II.5.4 Résultante des forces sismiques de calcul :

La résultante des forces sismiques à la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

Si $V_t < 0.80 V$, il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,) dans le rapport $0.8 V/V_t$.

Effets de la torsion accidentelle :

Quand il est procédé à une analyse par modèles plans dans les deux directions orthogonales Les effets de la torsion accidentelle d'axe vertical sont à prendre en compte.

Dans le cas où il est procédé à une analyse tridimensionnelle, en plus de l'excentricité théorique calculée, une excentricité accidentelle (additionnelle) égale à $\pm 0.05 L$, (L étant la dimension du plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique) doit être appliquée au niveau du plancher considéré et suivant chaque direction.

II.5.5 Calcul des déplacements :

Le déplacement horizontal à chaque niveau " k " de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \delta_{ek}$$

δ_{ek} : déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement

Le déplacement relatif au niveau " k " par rapport au niveau " $k-1$ " est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

Modes :

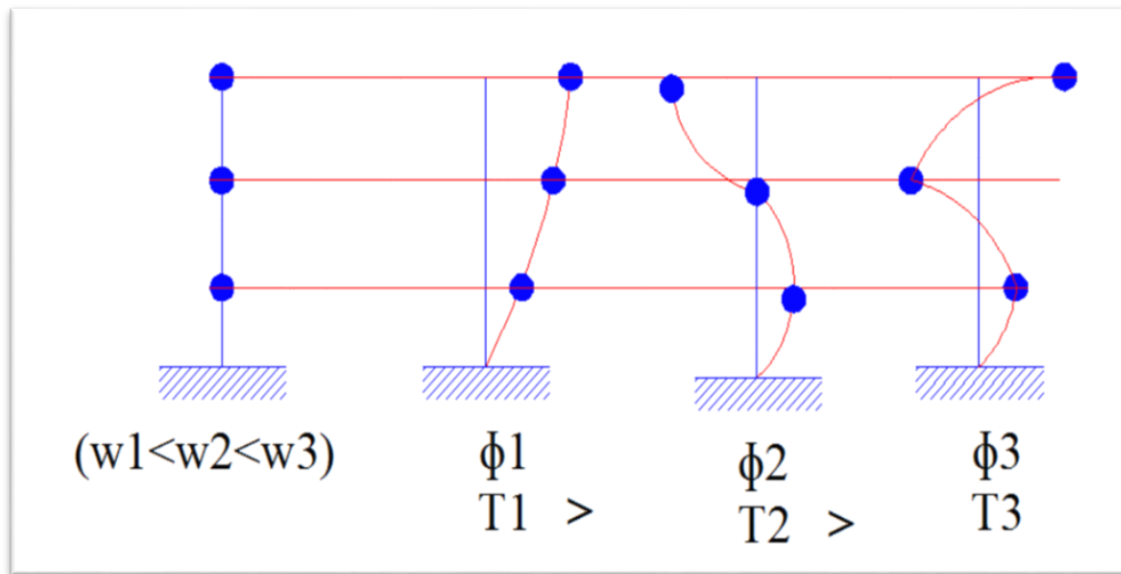


Figure II-2 : Modes propres de vibration

II.6 Méthode D'analyse Dynamique Par Accélérogrammes :

La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes peut être utilisée au cas par cas par un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interprétation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire. [2]

Cette méthode repose sur la résolution de l'équation du mouvement :

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{X}} + \mathbf{K} \mathbf{X} = -\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{X}}_s$$

En divisant par M et en remarquant que : $K/M = \omega^2$ et $C/M = 2 \cdot \xi \cdot \omega$, on obtient :

$$\ddot{\mathbf{X}} + 2 \cdot \omega \cdot \xi \cdot \dot{\mathbf{X}} + \omega^2 \cdot \mathbf{X} = -\ddot{\mathbf{X}}_s(t)$$

Où $\ddot{\mathbf{X}}_s$: représente l'accélérogramme [4].

II.7 Conclusion :

Ce chapitre représente une recherche bibliographique et une culture générale sur les différentes méthodes de calcul sismique.

Grace a cette recherche nous a obtenue beaucoup d'information sur les différentes méthodes de calcul sismique et dans le chapitre suivant on a étudier avec simplicité l'une des ces méthode qui la méthode statique équivalente.

CHAPITRE III

MODELISATION SISMIQUE D'UN BATIMENT EN B.A PAR LA METHODE STATIQUE EQUIVALENTE

III.1 Introduction :

L'étude sismique consiste à évaluer les efforts de l'action sismique sur notre structure. Pour cela, plusieurs méthodes approchées ont été proposées à fin d'évaluer les efforts internes engendrés à l'intérieur de la structure sollicitée ; le calcul de ces efforts sismiques peut être mène par trois manières :

- Méthode statique équivalente.
- La méthode de l'analyse modale spectrale.
- La méthode de l'analyse dynamique par accélérogramme.

La méthode de calcul utilisé dans notre étude c'est la méthode statique équivalente.

III.2 Principe de la méthode statique équivalente :

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales X et Y. L'utilisation de cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- Une ductilité suffisante
- La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures.

III.3 Condition d'application :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

a) Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation Prescrites au chapitre III, paragraphe 3.5 du RPA avec une hauteur au plus égale à 65m en Zones I et II et à 30m en zones III.

b) Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, autres les conditions de hauteur énoncées en a), des conditions complémentaires (voir RPA-page 33).

III.3.1 Régularité en plan :

Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses.....OK

A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée [4].

■ Centre de gravité des masses :

Pour simplifier le calcul on propose que le CDG est coïncide au CDG du plancher :

$$XG = LX/2 = 11.2 \text{ m}$$

$$YG = LY/2 = 3.87 \text{ m}$$

Centre de rigidités :

Le centre de rigidité est calculé comme suit :

$$XC = \sum Xi. Rit / \sum Rit = \sum Xi. Iit / \sum Iit$$

$$YC = \sum Yi. Ril / \sum. Ril = \sum Yi. Iil / \sum Iil$$

Avec :

I_i : moment d'inertie du file 'i'

R_i : rigidité du file 'i'

$R_i = 12EI/h^3$; E : module de Young du béton

h : hauteur du poteau ou voile

$$I_{\text{poteau}} = b.h^3/12 = 0.4 \times 0.4^3 / 12 = 0.00213 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{voile1}} = e.l^3/12 = 0.2 \times 1.5^3 / 12 = 0.05625 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{voile2}} = e.l^3/12 = 0.2 \times 0.9^3 / 12 = 0.01215 \text{ m}^4$$

Inertie de files longitudinales :

$Y = 0$ ou 7.54 m $I_{il} = 0.0646 \text{ m}^4$ (File de rive)

$Y = 4.16$ m $I_{il} = 0.0312 \text{ m}^4$ (File intermédiaire)

Inertie de files transversales :

$X = 0$ ou 22.2 m $I_{it} = 0.049 \text{ m}^4$ (File de rive)

$X = 4.75; 9.55; 12.85; 17.65$; m $I_{it} = 0.0156 \text{ m}^4$ (File intermédiaire)

Après le calcul on trouve :

$X_c = 10.85$ m

$Y_c = 3.80$ m

Donc on peut calculer l'excentricité :

$e_x = |X_G - X_c| = 0 \text{ m} < 15\%L_X$ (Symétrie)

$e_y = |Y_G - Y_c| = 0.03 \text{ m} < 15\%L_Y$

Donc la condition de l'excentricité du RPA est vérifiée (régularité Structurelle)OK

La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4

$L_X/L_Y = 22.4/7.74 = 2.89 \leq 4$OK

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction (pas de décrochement)OK

Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des Contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan. Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15%

de celle de ce dernier. Dans ce cas pas des ouvertures sur plancher.....OK

III.3.2 Régularité en élévation :

Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.

.....OK

Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants où diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment. OK

Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension. Dans ce cas pas de décrochement en élévation.....OK

Donc cette structure est régulière en plan et en élévation

avec $H_{totale}=15.5 \leq 30m$; pour cela on peut utiliser

la méthode statique équivalente

III.4 Présentation de l'ouvrage :

Notre projet consiste en l'étude sismique d'un bâtiment en béton armé à usage d'habitation (R+4) par la méthode statique équivalent. Le bâtiment sera implanté à la périphérie de la wilaya de Bourdj boureridj. Selon le RPA 99/2003, la wilaya de bourdj est une zone de sismicité élevée (zone IIa).

Selon le rapport de sol, La construction sera fondée sur un sol ferme d'une contrainte admissible de 2 bars.

L'architecture retenue du bâtiment présente une irrégularité en plan et en élévation, l'ossature est faite en voiles portiques (système de contreventement mixte).

Les planchers sont constitués par des dalles en corps creux en assurant une rigidité du diaphragme horizontal et une sécurité contre les incendies.

Les dimensions en plan du bâtiment sont répertoriées comme suit :

- ❖ Longueur totale du bâtiment en plan $L = 22.40 \text{ m}$
- ❖ Largeur totale du bâtiment en plan $l = 7.74 \text{ m}$
- ❖ La hauteur totale est $H_t = 15.5 \text{ m}$
- ❖ La hauteur d'étage $h_e = 3.1 \text{ m}$
- ❖ La hauteur de RDC $= 3.1 \text{ m}$

Le Choix du système de contreventement rentre dans le cadre de l'application du RPA 99 (version 2003), vu qu'il dépasse deux niveaux (8m), Pour ce genre de contreventement il y a lieu également de vérifier un certain nombre de conditions :

Les voiles de contreventement reprennent au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales et la totalité des sollicitations dues aux charges horizontales.

Les portiques ne reprennent que les charges verticales, mais dans notre cas, zone sismique d'ordre IIa il y a lieu de vérifier les portiques sous un effort horizontal représentant 20% de l'effort horizontal global.

En ce qui concerne le type de plancher, Les planchers sont constitués par des dalles en corps creux (corps creux, poutrelles et dalle de compression) en assurant une rigidité du diaphragme horizontal et une sécurité contre les incendies, ce type de planchers a été choisi en raison aussi des portées qui ne sont pas importantes.

Ce type de planchers présente :

- Une facilité de réalisation.
- Une réduction du poids du plancher et par conséquent l'effet sismique.
- Une économie du coût de coffrage (coffrage perdu constitué par les poutrelles et les corps creux).

Néanmoins pour certaines zones, j'ai opté pour des dalles pleines à cause de leurs formes irrégulières (des triangles ou des trapèzes) et ceci dans le but de minimiser le temps et le coût nécessaire pour la réalisation des poutrelles spéciales à ces zones.

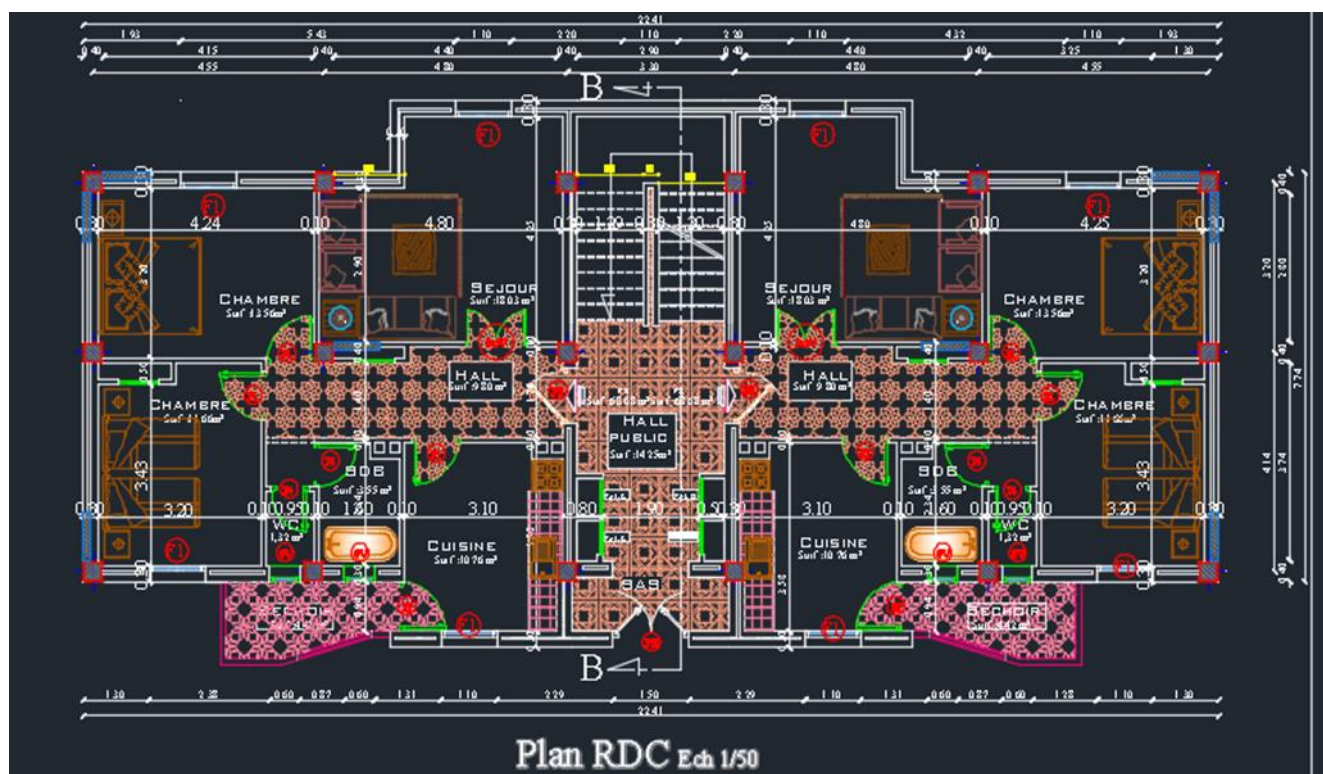


Figure III-1 : vue en plan RDC

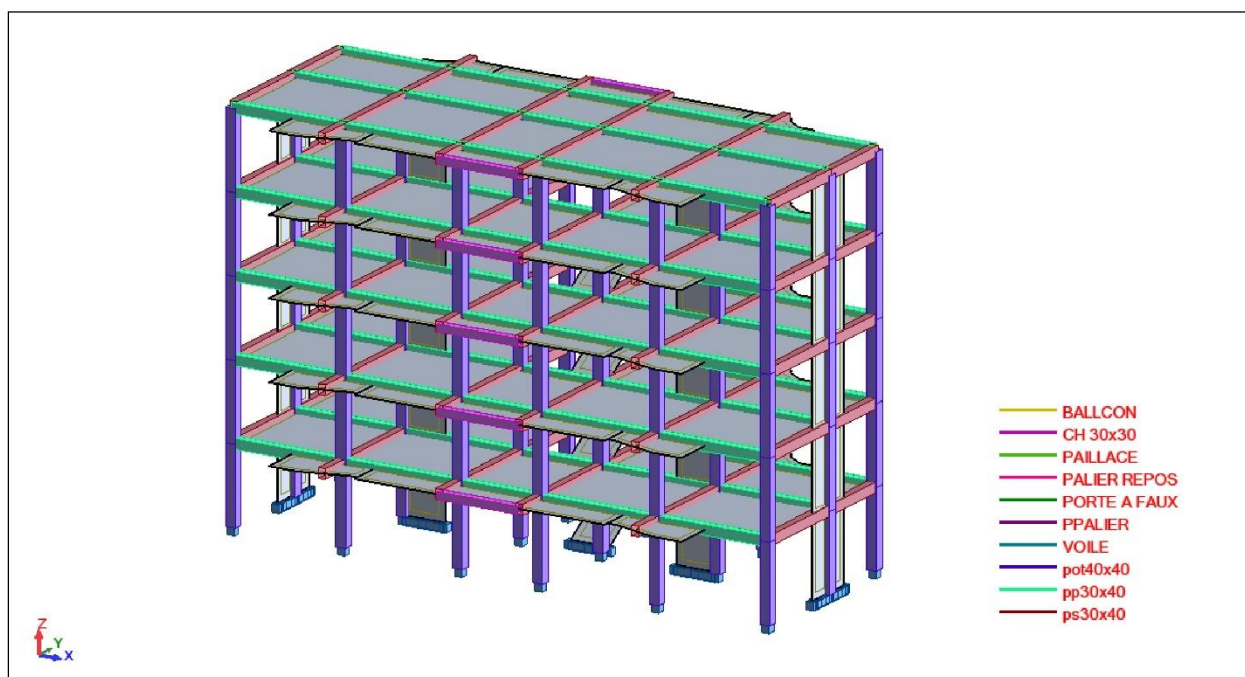


Figure III-2 : vue en 3D

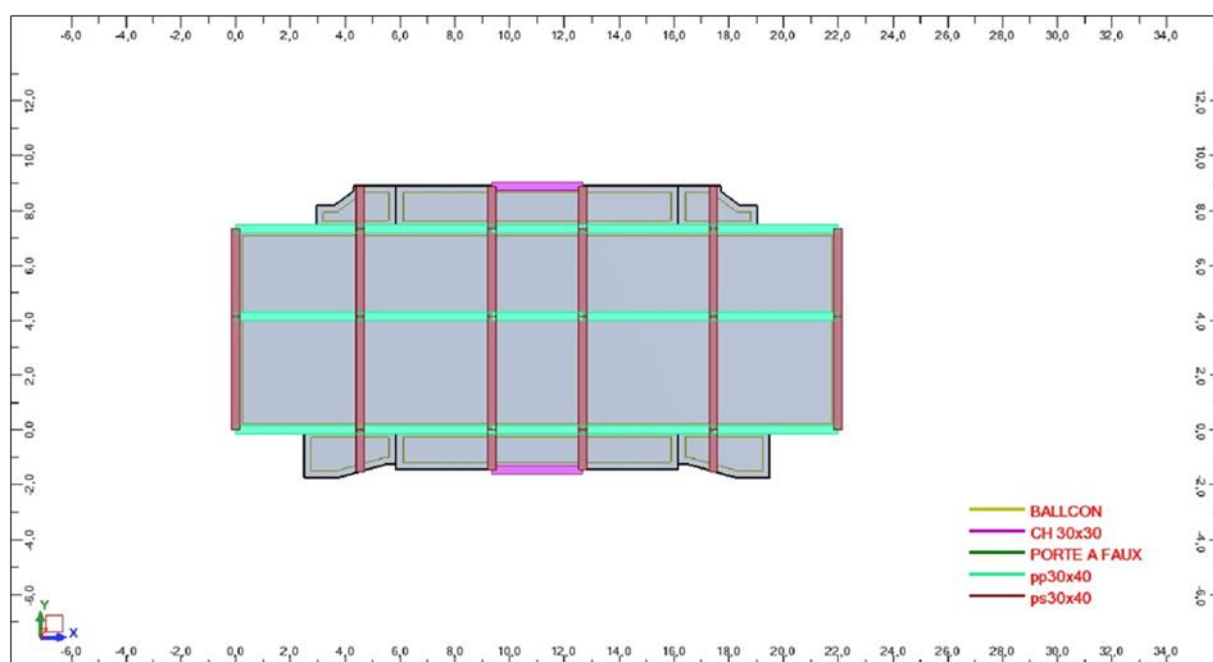


Figure III-3 : vue en 2D etage terrasse

III.5 Modélisation :

a) Le modèle du bâtiment à utiliser dans chacune des deux directions de calcul est plan avec les masses concentrées au centre de gravité des planchers et un seul degré de liberté en translation horizontale par niveau sous réserve que les systèmes de contreventement dans les deux (2) directions puissent être découplés.

b) La rigidité latérale des éléments porteurs du système de contreventement est calculée à partir de sections non fissurées pour les structures en béton armé ou en maçonnerie.

c) Seul le mode fondamental de vibration de la structure est à considérer dans le calcul de la force sismique totale.

III.6. Calcul de la force sismique totale :

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = (A \cdot D \cdot Q / R) \cdot W$$

A : coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau 4.1 du RPA suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment :

$A=0.15$ (zone IIa , et groupe d'usage 2).

D : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (ξ) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{2/3} (3.0/T)^{5/3} & T \geq 3.0 \end{cases} \quad (2.1)$$

T_2 : période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le tableau 4.7 du RPA : $T_2=0.50s$ (Site S3)

η : facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{7(2 + \xi)} \geq 0.7$$

Où ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

$\xi=10\%$ (voiles ou murs)

donc $\eta = 0.764$.

III.7 Estimation de la période fondamentale de la structure :

1. La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

2. La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante : $T = C_T h_N^{3/4}$
 h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

$h_N = 15.5$ m

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau 4.6 du RPA ;

$C_T = 0.05$ (contreventement mixte voiles + portiques)

$T = 0.05 * 15.5^{3/4} = 0.4$ sec

On peut également utiliser aussi la formule :

$T = 0.09 h_N / \sqrt{D}$ Où D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Dans ce cas de figure il y a lieu de retenir dans chaque direction considérée la plus petite des deux valeurs données respectivement par les deux formules.

$$T_x = 0.09 * 15.5 / \sqrt{25.7} = 0.275 \text{ sec}$$

$$T_y = 0.09 * 15.5 / \sqrt{7.74} = 0.50 \text{ sec}$$

Donc : $T_x = \min(0.275 ; 0.4) = 0.275$ sec

$T_y = \min(0.4 ; 0.50) = 0.50$ sec

$$(T_x; T_y) \leq T_2 \dots\dots\dots D = 2.5\eta = 1.91$$

R : coefficient de comportement global de la structure sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3 en fonction du système de contreventement tel que défini en 3.4 (voir RPA)

Portiques contreventés par des voiles donc : $R=4$

Q : facteur de qualité :

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^5 Pq$$

Pq est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau 4.4 du RPA

D'après (RPA) $Q = 1$

W : poids total de la structure :

W est égal à la somme des poids W_i , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec } W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

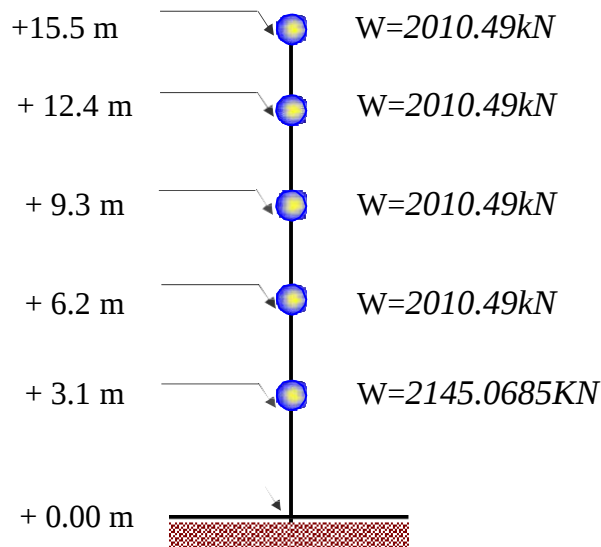
W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W_{Qi} : charges d'exploitation

β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 du RPA.

Bâtiments d'habitation..... $\beta=0.2$

W= 10187 KN (calculé manuelle ou par ROBOT)



La force sismique totale V, appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = (A.D.Q/R) W = (0.25 \cdot 2.2 \cdot 1.1/5) \cdot 14839,6$$

Donc : **V_x=V_y=834 KN** (D_x=D_y)

III.8. Distribution verticale de la force sismique selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum F_i$$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration.

La valeur de F_t sera prise égale à 0 quand T est plus petit ou égale à 0,7 secondes.....

$$F_t = 0 \quad (T_x \text{ et } T_y \leq 0.7s).$$

La partie restante de V soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure

suivant la formule :
$$F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Les résultats représentés dans ce tableau :

Niveau	$(V - F_t)$ kN	h_i (m)	W_i (kN)	$W_i \cdot h_i$	F_i (kN)
RDC	834	3.1	2010.49	6232.519	54
1	834	6.2	2010.49	12465.038	108.8
2	834	9.3	2010.49	18697.557	163.2
3	834	12.4	2010.49	24930.076	217.5
4	834	15.5	2145.0685	33248.562	290.1
Σ				95573.752	834

Tableau III-1 : Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur

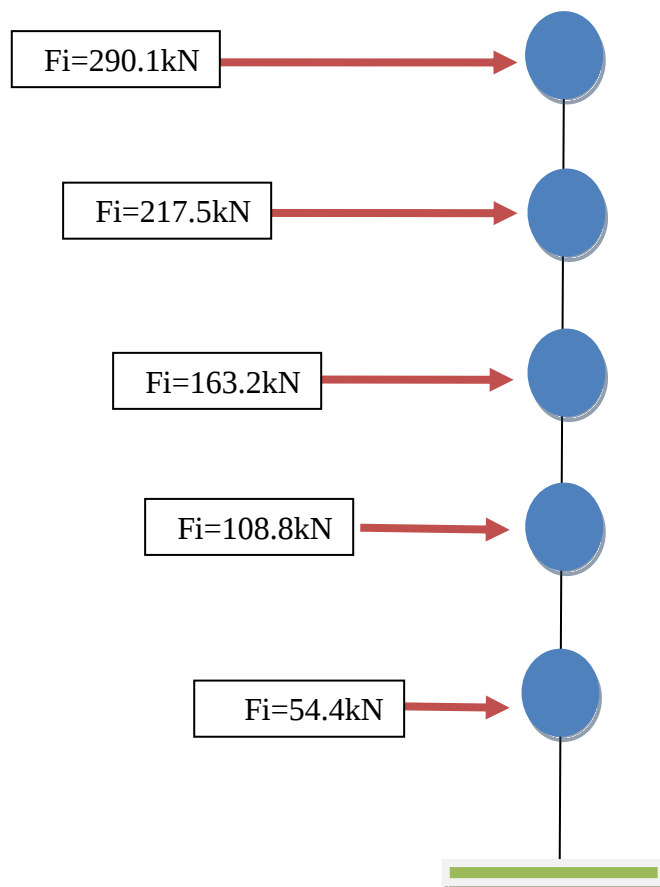


Figure III-4 Distribution verticale de la force sismique

III.9 Distribution de l'effort tranchant selon la hauteur :

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

Niveau	F_i (kN)	V_i (kN)
Niveau RDC	54.4	834
Niveau 01	108.8	779.6
Niveau 02	163.2	670.8
Niveau 03	217.5	507.6
Niveau 04	290.1	290.1
Σ	834	

Tableau III-2 : Effort tranchant au niveau d'étage

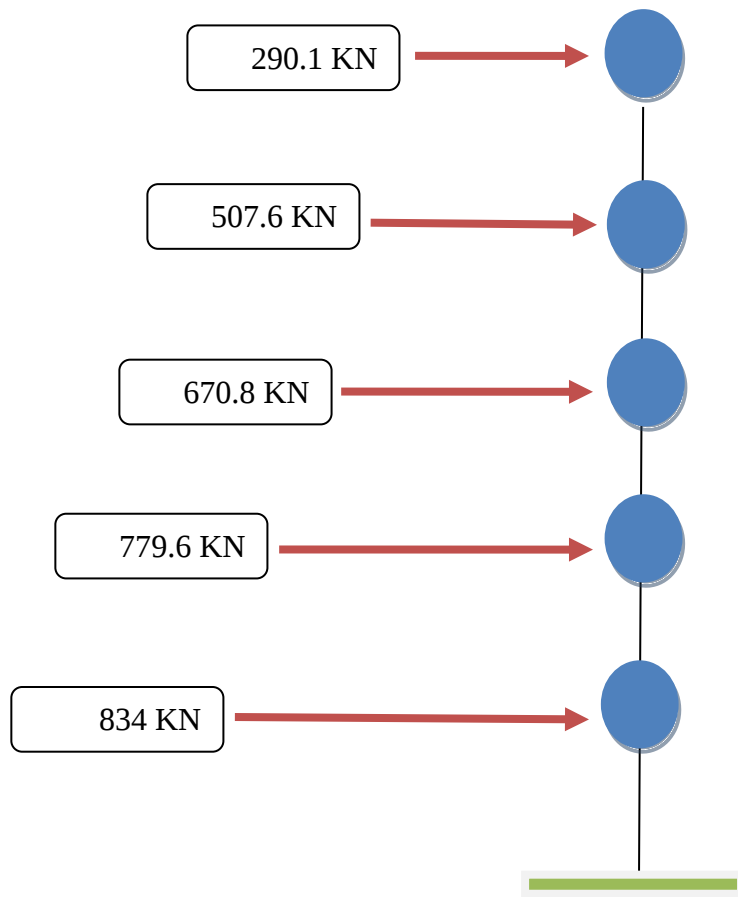


Figure III-5 Effort tranchant au niveau d'étage

III.10 Calcul des moments fléchissant selon la hauteur :

Le moment fléchissant au niveau de l'étage k est calculé comme suit :

$$M_k = M_{k+1} + V_{k+1} \cdot h_e$$

M_k, M_{k+1} : moments fléchissant au niveau de l'étage k et k+1

V_{k+1} : effort tranchant au niveau de l'étage k+1

h_e : hauteur d'étage k+1 ; $h_e = h_{k+1} - h_k$

Niveaux k	V_{k+1} (kN)	$V_{k+1} \cdot h_e$ (kN.m)	M_k (kN.m)
Niveaux 00.0	54.4	168.64	2585.4
Niveaux RDC	108.8	337.28	2416.76
Niveaux 1	163.2	505.92	2079.48
Niveaux 2	217.5	674.25	1573.56
Niveaux 3	290.1	899.31	899.31
Niveaux 4	0.00	0.00	0.00

Tableau III-3 : Moments fléchissant au niveau d'étage

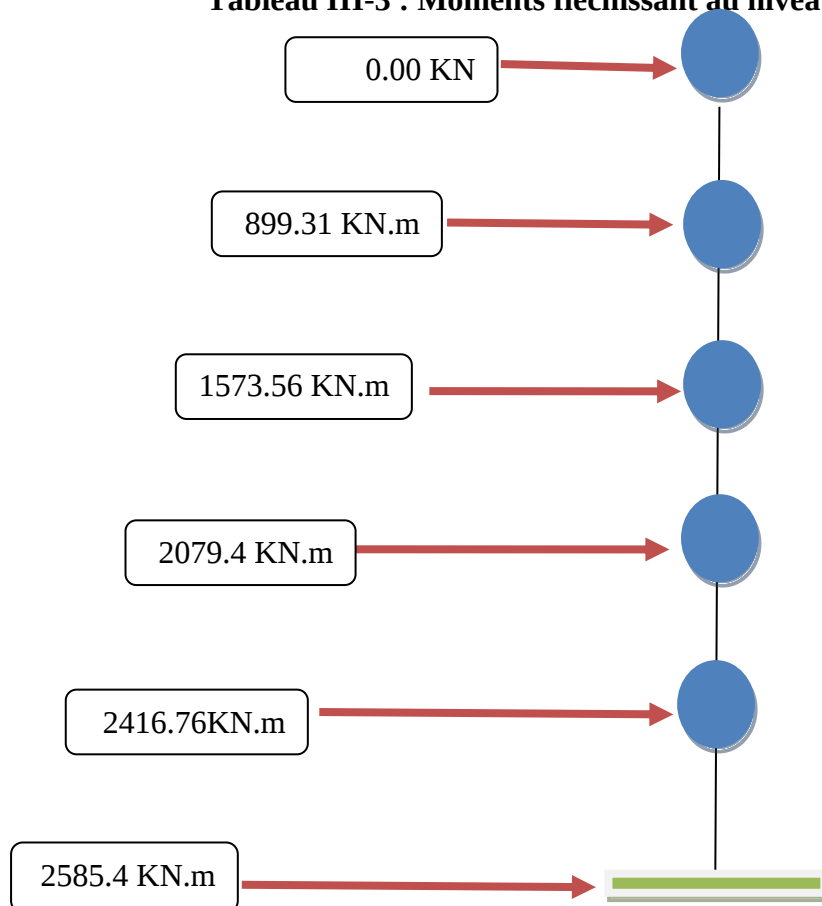


Figure III-6 Moments fléchissant au niveau d'étage

III.11 Distribution horizontale des forces sismiques selon XX :

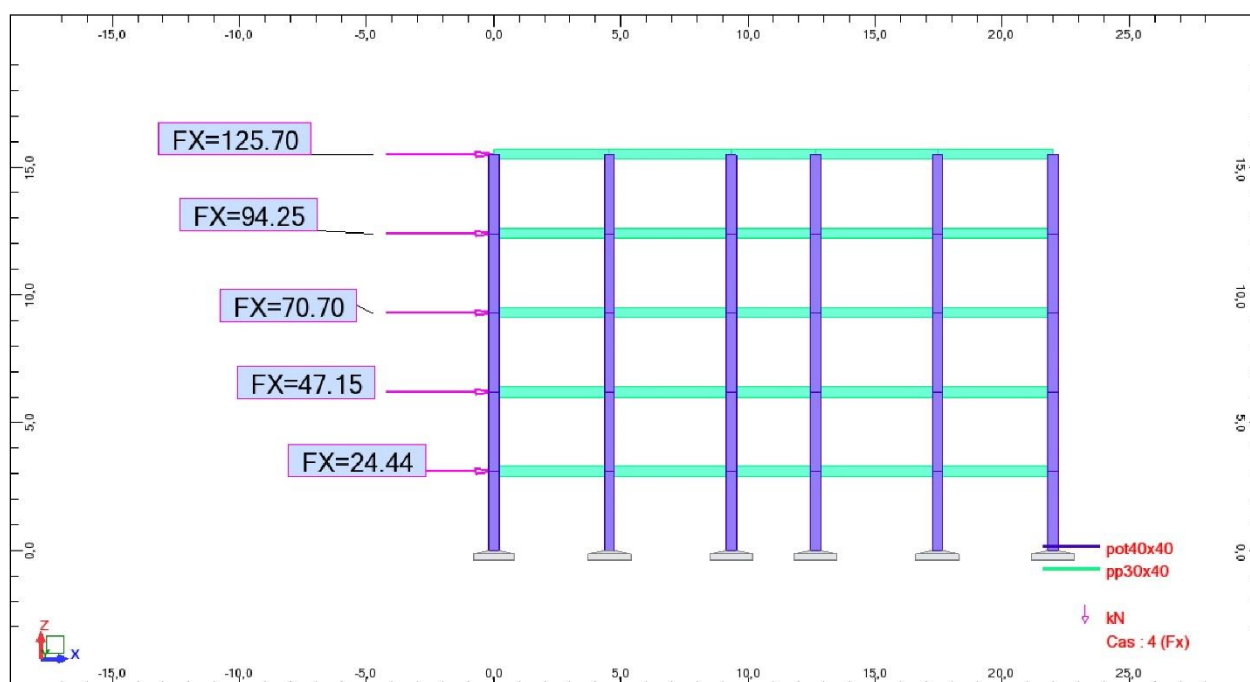


Figure III-7 : Distribution horizontale des forces sismiques selon XX

III.12 Distribution horizontale des forces sismiques selon YY :

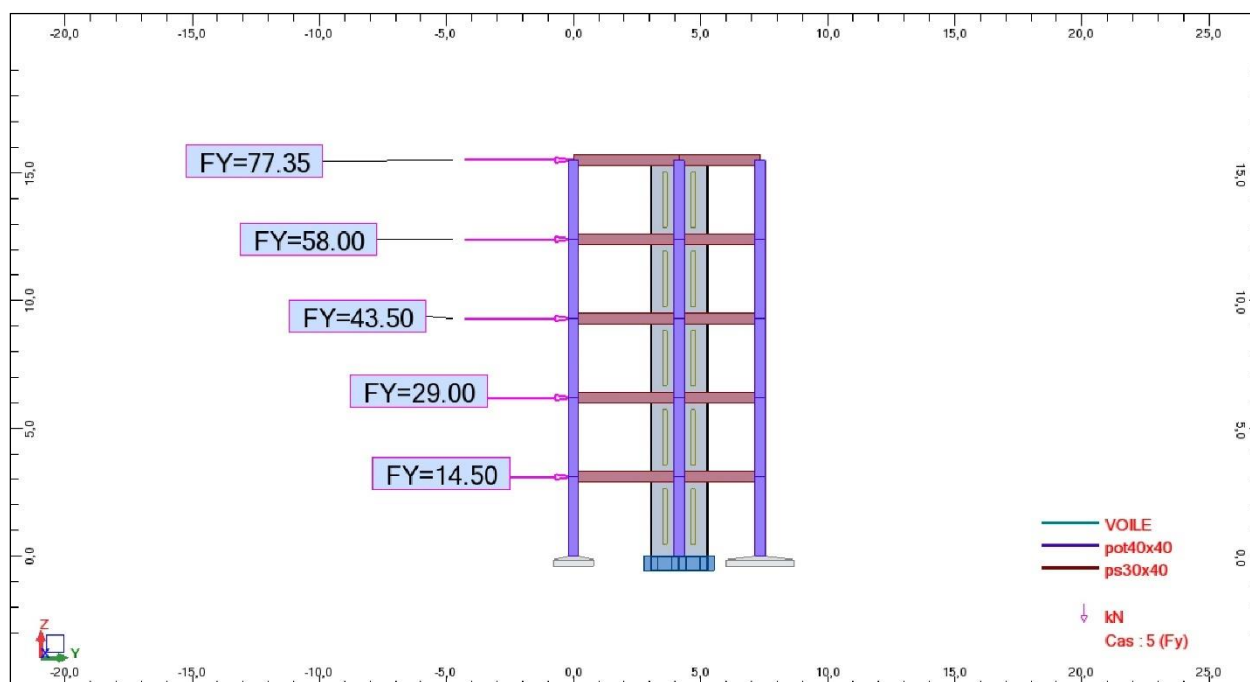


Figure III-8 : Distribution horizontale des forces sismiques selon YY

III.13 Le Diagramme NMT Du Poutre La Plus Sollicites :

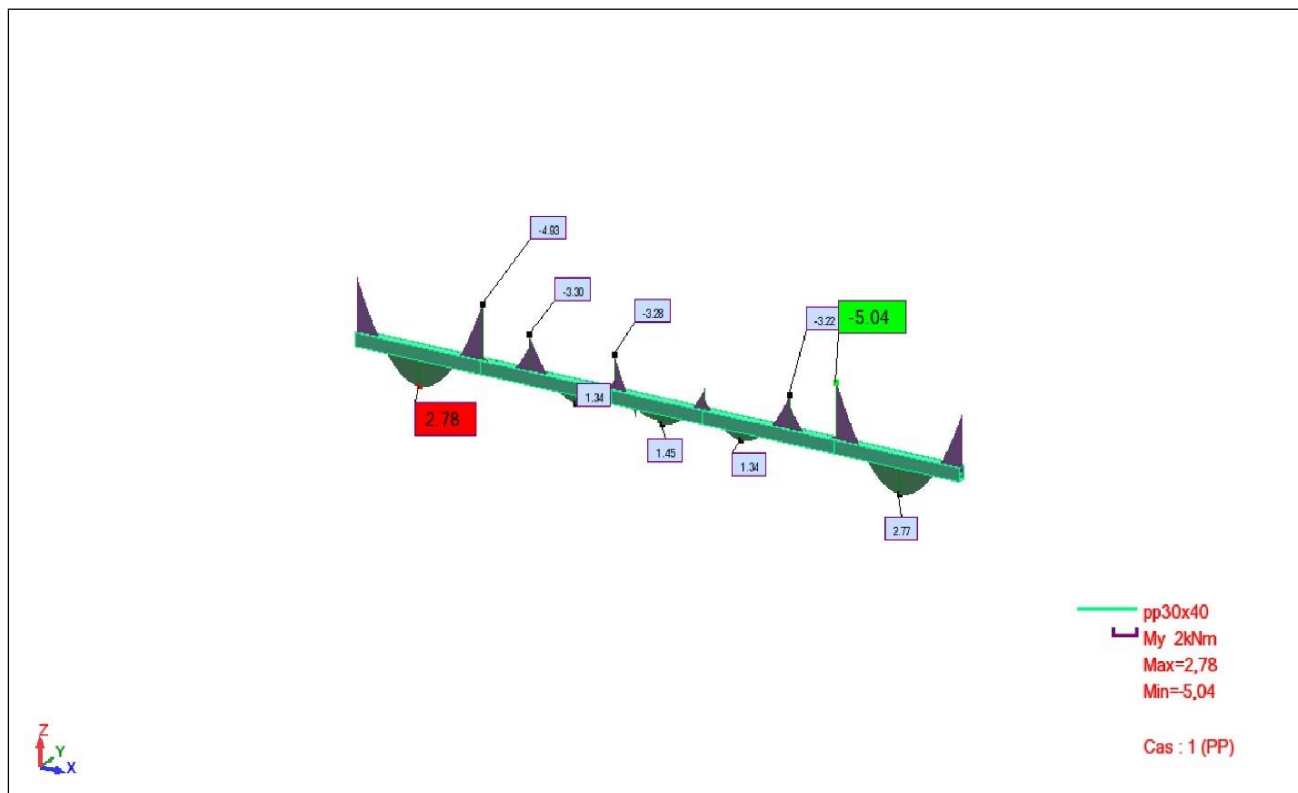


Figure III-9 : Le Diagramme NMT Du Poutre

III.14 Le Diagramme NMT Du Poteaux La Plus Sollicites :

- NMT Dû à F_x :

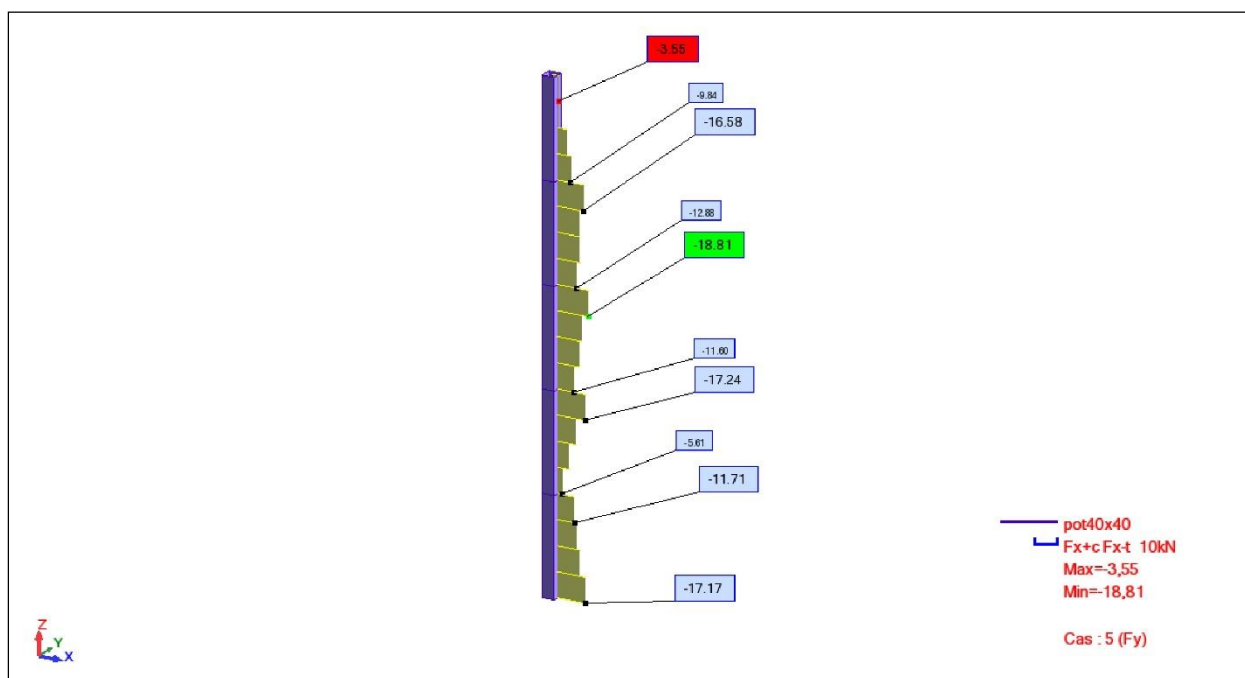
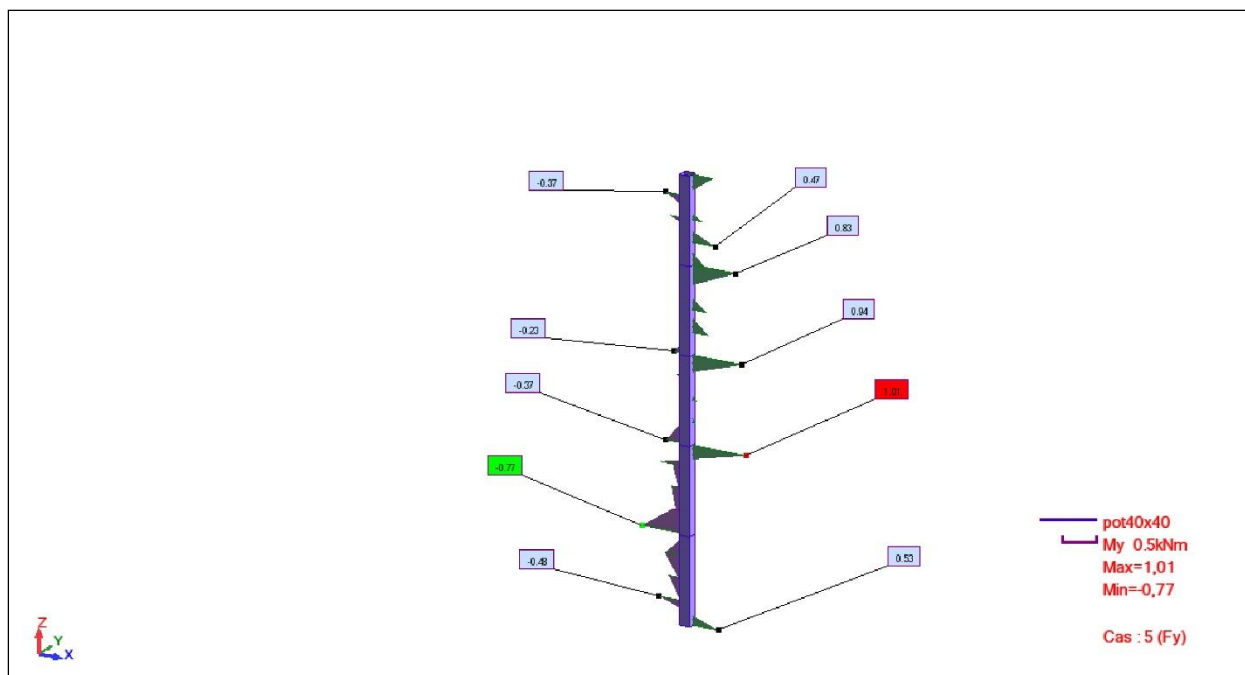
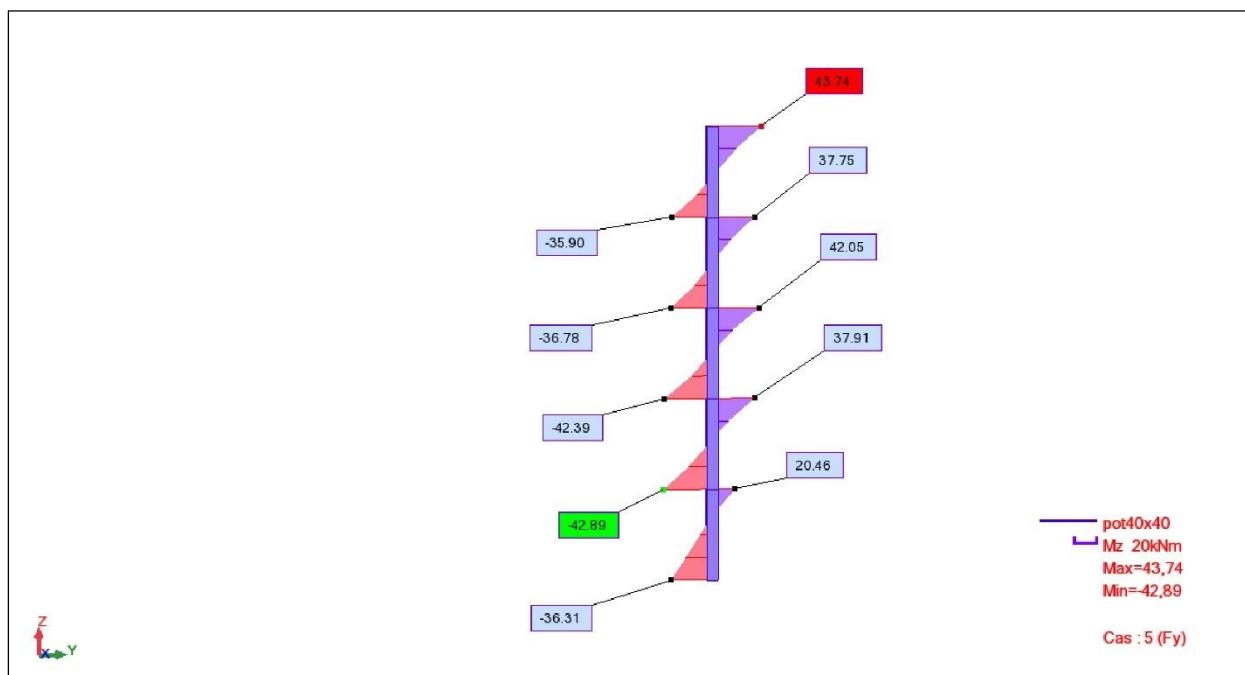


Figure III-10 : Le Diagramme NMT Du poteau sous F_x

- NMT Dû à M_y :

Figure III-11 : Le Diagramme NMT Du poteau sous M_y

- NMT Dû à M_z :

Figure III-12 : Le Diagramme NMT Du poteau sous M_z

III.15 Ferrailage :

Calcul de Section en Flexion Déviée Composée

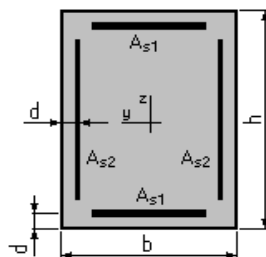
1. Hypothèses:

Béton: $f_{c28} = 25,0$ (MPa)

Acier: $f_e = 400,0$ (MPa)

- Fissuration non préjudiciable
- Pas de prise en compte des dispositions sismiques
- Calcul suivant BAEL 91

2. Section:



$b = 40,0$ (cm)

$h = 40,0$ (cm)

$d = 1,5$ (cm)

3. Efforts appliqués:

Cas N°	Type	N (kN)	M_y (kN*m)	M_z (kN*m)
1.	ELU	715,97	38,14	25,88
2.	ELS	514,50	27,82	18,60
3.	ELA	944,99	65,26	71,39

4. Résultats:

Sections d'Acier:

Section théorique $A_{s1} = 2,0$ (cm²)

Section minimum $A_{s\ min} = 6,4$ (cm²)

théorique $\rho = 0,40$ (%)

minimum $\rho_{min} = 0,20$ (%)

Section théorique $A_{s2} = 1,2$ (cm²)

Section maximum $A_{s\ max} = 80,0$ (cm²)

maximum $\rho_{max} = 5,00$ (%)

Analyse par Cas:

Cas N° 1: Type ELU N = 715,97 (kN) $M_y = 38,14$ (kN*m) $M_z = 25,88$ (kN*m)

Coefficient de sécurité: 2,25 Pivot: B

Position de l'axe neutre: $y = 43,2$ (cm)

Bras de levier: $Z = 31,6$ (cm)

Déformation du béton: $\epsilon_b = 3,50$ (‰)

Déformation de l'acier: $\epsilon_s = 0,85$ (‰)

Contrainte de l'acier:

tendue: $\sigma_s = 170,3$ (MPa)

Calcul de Section en Flexion Simple

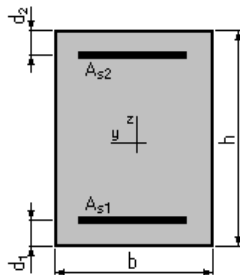
1. Hypothèses:

Béton: $f_{c28} = 25,0$ (MPa)

Acier: $f_e = 400,0$ (MPa)

- Fissuration non préjudiciable
- Prise en compte des armatures comprimées
- Pas de prise en compte des dispositions sismiques
- Calcul suivant BAEL 91

2. Section:



$b = 30,0$ (cm)

$h = 40,0$ (cm)

$d_1 = 2,5$ (cm)

$d_2 = 2,5$ (cm)

3. Moments appliqués:

	$M_{\max}$ (kN*m)	$M_{\min}$ (kN*m)
Etat Limite Ultime (fondamental)	38,22	-64,32
Etat Limite de Service	27,89	-46,96
Etat Limite Ultime (Accidentel)	26,45	-77,10

4. Résultats:

Sections d'Acier:

Section théorique	$A_{s1} = 3,0$ (cm ²)	Section théorique	$A_{s2} = 5,4$ (cm ²)
Section minimum	$A_{s\min} = 1,2$ (cm ²)		
théorique	$\rho = N/A$		
minimum	$\rho_{\min} = 0,11$ (%)		

Analyse par Cas:

Cas ELU	$M_{\max} = 38,22$	(kN*m)	$M_{\min} = -64,32$	(kN*m)
Coefficient de sécurité:	1,00		Pivot: A	
Position de l'axe neutre:	$y = 4,5$	(cm)		
Bras de levier:	$Z = 35,7$	(cm)		
Déformation du béton:	$\epsilon_b = 1,36$	(‰)		
Déformation de l'acier:	$\epsilon_s = 10,00$	(‰)		
Contrainte de l'acier:				
tendue:	$\sigma_s = 347,8$	(MPa)		

Ferrailage de la poutre :

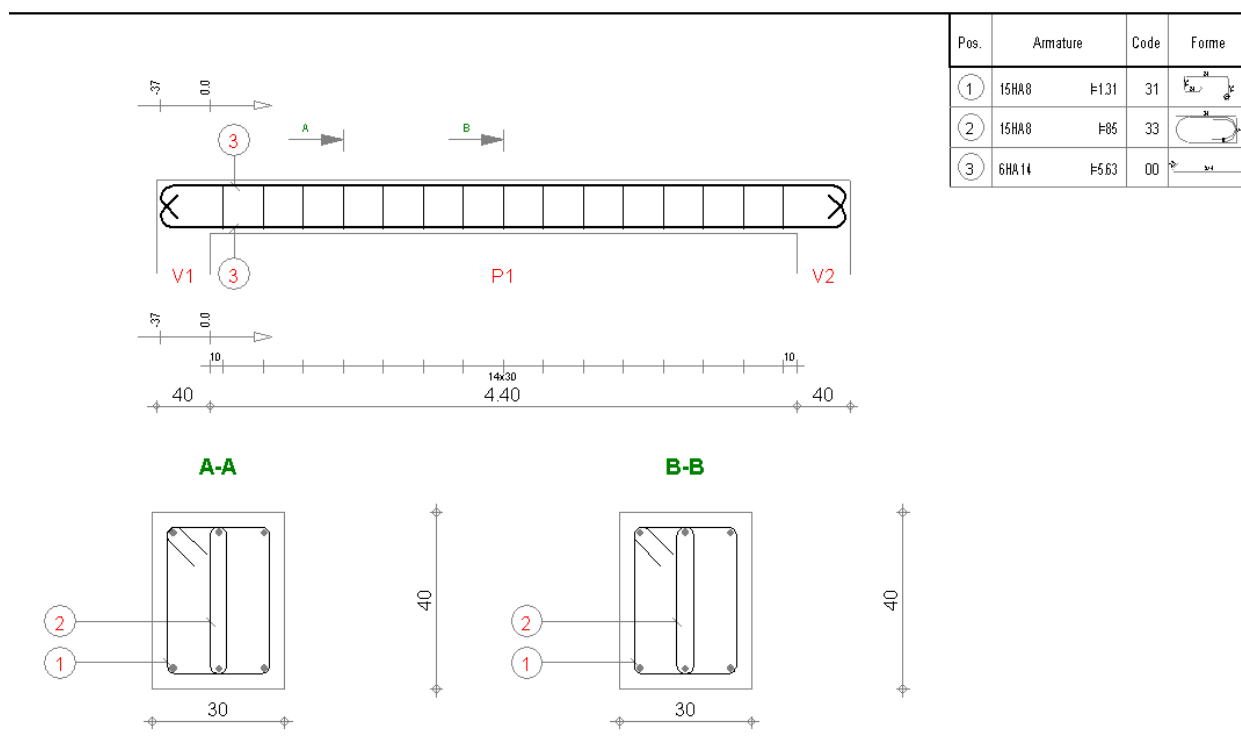


Figure III-13 : shema ferrailage de la poutre

Ferrailage du poteau :

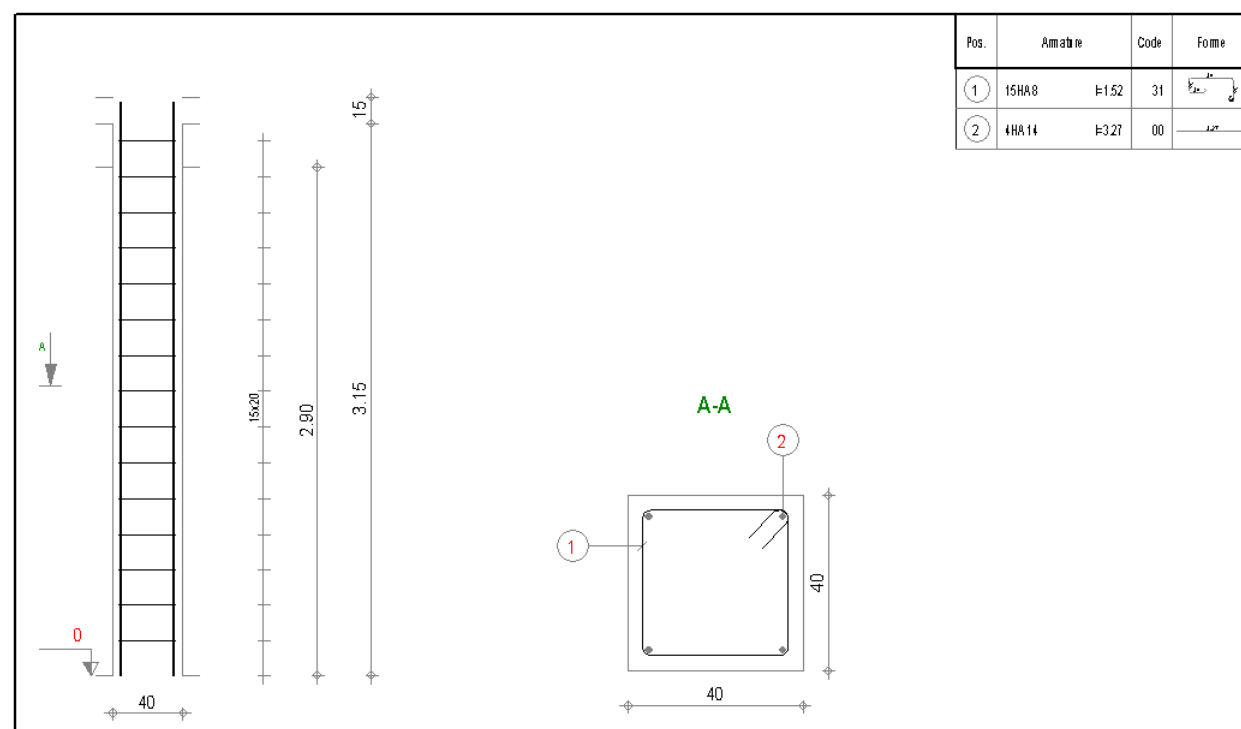


Figure III-14 : schéma ferrailage du poteau

III.16 Conclusion :

Dans ce chapitre on a fait la modélisation numérique d'un bâtiment d'habitations en béton armé (R+4) en utilisant la méthode statique équivalente. Dans cette étude nous avons déterminé les actions sismiques, les sollicitations et par conséquent de déterminer les déformations et le ferrailage des éléments structuraux cette modélisation a été faite par le logiciel robot.

CONCLUSION GENERALE :

Dans Ce projet de fin d'étude, la première partie a été consacré pour une recherche bibliographique sur les séismes et leur danger d'une part et d'une autre part les différentes méthodes de calcul sismique avec laquelle nous avons obtenue beaucoup des connaissances et une culture générale sur le danger du séisme et toutes ses propriétés et dans la dernière partie qui est la modélisation d'un bâtiment R+4 par le logiciel robot on a étudié avec simplicité cette bâtiment avec la méthode statique équivalente cette partie a encore aidé à mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation d'ingénieur ce qui nous permis de faire des autres recherches avec des autres méthode de calcul sismique.

D'autre part, cette présente étude nous a permis de mettre en application les connaissances dont nous avons besoins à notre avenir comme des ingénieurs et de les enrichir par l'utilisation des logiciels de calcul des structures.

En fin, nous espérons que se modeste travail pourra être utile aux prochaines promotions.