

UNIVERSITÉ LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

INFLUENCE DE LA PERFORMANCE DES JOINTS PARASISMIQUES SUR LES STRUCTURES DES FORMES IRREGULIERES EN L DANS LA VILLE DE GOMA : APPLICATION A UNE STRUCTURE R+3 SERVANT DE BÂTIMENT D'ÉTABLISSEMENT SCOLAIRE

Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur Civil ;

Option : Structures et Ouvrages d'Arts.

Par **LOKOJO UKUNYA Martin**

Directeur : Prof. Dr. Ing. AKWIR Alain NKIEDIEL

Encadreur : Ass. Ir. KUBUYA Patient BINWA

ANNEE ACADEMIQUE 2021-2022

DEDICACE

A toute la famille KUROWA TINKENDO et la grande famille UTHE
UWONDHA

LOKOJO UKUNYA Martin

REMERCIEMENTS

De prime abord, nous rendons grâce à l'Éternel, notre Dieu Tout puissant, maître des temps et des circonstances, de qui nous avons la vie, l'intelligence et l'espérance.

Notre gratitude s'exprime particulièrement à l'égard de Prof. Dr. Ing. AKWIR Alain NKIEDIEL, directeur de ce travail et Ass. Ir. KUBUYA Patient BINWA, l'encadreur de ce travail, pour leurs intérêts et leurs temps accordés à cette étude. Leurs conseils, orientations, remarques et observations nous ont permis d'atteindre les objectifs de cette recherche.

Nous remercions les autorités académiques de l'Université Libre des Pays des Grand Lacs, ULPGL en sigle, pour multiples organisations au sein de cette instruction inspirée. Nos sincères remerciements s'adressent aux enseignants de la faculté de la technologie, pour leurs sens de bravoure.

Nous tenons à remercier les membres de notre famille pour leurs soutiens tant financiers, matériels, moraux que spirituels. Ainsi, nous pensons sincèrement à notre cher père KUROWA TEPOLO Michel, à notre chère mère TIN KENDO PACUDAGA Antoinette, à notre chère tante PIFUA-URYEM Georgette, à nos frères et sœurs biologiques : UYIKONYINGA, BIWANGA, VWAWEKA DHUGIRE Octave, UAYKANI Evariste, MUNGURYEK ATIMNEDI Justine, GANGA UGENRWOTH François, KAYENY NG'OMWEGI Mireille. A nos amis, connaissances et combattant de lutte, Steve BOMERA, Joël MAGENE SEMU, Jonathan MUHAMBU FAIDHA, Ir. NTWARI NGABO Théophile.

A tous ceux dont les noms ne sont pas repris, qu'ils ne se sentent pas ignorés. Nous leurs présentons nos sincères remerciements pour leurs contributions diverses.

LOKOJO UKUNYA Martin

RÉSUMÉ

Dans une structure en forme irrégulière, les raideurs des ailes, à chaque direction principale, sont très différentes. Les ailes auront tendance à osciller très différemment mais se gêneront aussi l'une l'autre. Cela entraîne des contraintes supplémentaires importantes, notamment aux angles des dalles de plancher et à l'extrémité de chaque aile, et peut nécessiter des mesures structurelles lourdes. Le travail traite sur l'influence de la performance des joints parasismiques sur les structures des formes irrégulières en L dans la ville de Goma : application a une structure R+3 servants de bâtiment d'établissement scolaire. L'objectif est d'analyser la contrainte de torsion dans une structure en forme irrégulière sans joint parasismique et d'analyser la même structure séparée en bloc par les joints parasismiques. Afin de déterminer cette contrainte de torsion, des études purement structurales notamment l'analyse statique et l'analyse dynamique (étude modale) ont été effectuées dans le but de dimensionner la structure et aussi de dégager une solution par rapport à la contrainte de torsion sur les structures irrégulière dans des zones sismique. Cette analyse fait s'avoir qu'en séparant les structures en forme irrégulière en bloc par des joints parasismique, on réduit d'une manière conséquente la contrainte de torsion dans la structure.

Mots clés : joints, parasismiques, forme, irrégulière

ABSTRACT

In an irregularly shaped structure, the stiffnesses of the shafts, at each main direction, are very different. The fins will tend to oscillate very differently but will also interfere with each other. This leads to significant additional stresses, especially at the corners of the floor slabs and at the end of each wing, and may require heavy structural measures. The work deals with the influence of the performance of seismic joints on the structures of irregular L-shapes in the city of Goma: application to an R+3 structure used for a school building. The objective is to analyze the torsional stress in an irregular shaped structure without seismic joints and to analyze the same structure separated in block by seismic joints. In order to determine this torsional stress, purely structural studies including static analysis and dynamic analysis (modal study) were performed in order to dimension the structure and also to identify a solution in relation to the torsional stress on irregular structures in seismic zones. This analysis shows that by separating irregularly shaped structures into blocks by means of seismic joints, the torsional stress in the structure can be reduced in a significant way.

Key words: joints, seismic, shape, irregular.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT	iv
SOMMAIRE	v
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIER CHAPITRE : GENERALITES	4
I.1 INTRODUCTION.....	4
I.2 STRUCTURES REGULIERES ET IRREGULIERES.....	4
I. 1.1 CRITERE DE REGULARITE	4
I.2 JOINTS PARASISMIQUES	6
I.2.1 QU'EST-CE QU'UN JOINT SISMIQUE ?.....	6
I.2.2 ROLE DES JOINTS PARASISMIQUES	8
I.2.3 DIFFERENCE ENTRE JOINTS PARASISMIQUES ET JOINTS DE DILATATION	9
I.2.4 SPECIFICITES DES JOINTS PARASISMIQUES	10
I.2.5 DISPOSITIONS MINIMALES DES JOINTS PARASISMIQUES	10
I.2.6 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES JOINTS PARASISMIQUES	11
I.2.7 DEDOUBLEMENT DES POTEAUX AU DROIT DES JOINTS SISMIQUES	11
I.2.8 DIMENSION MINIMALE D'UN JOINT SISMIQUE	12
I.3 SEISMES	14
I.3.1 DEFINITION.....	14
I.3.2 RISQUE SISMIQUE	14
I.3.3 PROPAGATION DES ONDES SISMIQUES ET NATURE DE SOL	16
I.4 Mesure des séismes	16
I.4.1 APPAREILS DE MESURE	16
I.4.2 MAGNITUDE	16
I.5 SYSTEME DE RIFT EST AFRICAIN (SREA).....	18
I.6 CONTEXTE SISMIQUE DE LA REGION DES GRANDS LACS	18
I.6.1 BASSIN DU CONGO	19

I.6.2 SEISME EN RD CONGO	19
I.6.3 SISMICITE A GOMA.....	20
I.7. CONCLUSION PARTIELLE.....	21
CHAPITRE DEUXIEME : METHODOLOGIE	22
II.1. INTRODUCTION	22
II.2. CONCEPTION DE LA STRUCTURE	22
II.3. PRE DIMENSIONNEMENT	22
II.3.1 PRE DIMENSIONNEMENT D’UN PLANCHER EN CORPS CREUX COULE SUR PLACE	23
II.3.2 PRE DIMENSIONNEMENT DES POUTRES	24
II.3.3 PRE DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX	25
II.3.4 PRE DIMENSIONNEMENT DE JOINT SISMIQUE	27
II.4. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE	27
II.4.1. CALCULS DES ACTIONS ET SOLLICITATIONS	27
II.4.2. DESCENTE DES CHARGES	30
II.5. CALCUL DYNAMIQUE	32
II.5.1. CALCUL SISMIQUE	32
II.5.2. CALCUL MODAL	33
II.5.3 ANALYSE MODALE : NOMBRE DE MODES A CONSIDERER.....	33
II.6 PRESENTATION DU LOGICIEL ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONNEL	35
II.6.1 PRINCIPES GENERAUX DE MODELISATION	35
II.6.2 DONNEES D’ENTREE.....	35
II.6.3 METHODE DES ELEMENTS FINIS	36
II.7. CONCLUSION PARTIELLE	37
CHAPITRE TROISIEME : ANALYSE STRUCTURALE ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....	38
III.1 PRÉSENTATION DES STRUCTURES	38
III.1.1 BATIMENT SANS JOINTS PARASISMIQUES.....	38
III.1.2 BATIMENT SEPARÉ EN BLOC AVEC LE JOINT PARASISMIQUE.....	40
III. 2. PRÉ DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE.....	41
III.2.1. PLANCHERS	41
III. 2. 2. POUTRES.....	42
III.2.3. POTEAU.....	42
III.2.4 PRE DIMENSIONNEMENT DE JOINT PARASISMIQUE	43

III.3. DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS STRUCTURAUX	43
III. 3.1 DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE	43
III. 3.2 DIMENSIONNEMENT DU POTEAU	44
III.4. ANALYSE DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE	45
III.4.1 RÉSULTATS DES ANALYSES MODALES ET SISMIQUES DE LA STRUCTURE SUR LE LOGICIEL RSAP	45
III.4.2. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS	52
III.5. CONCLUSION PARTIELLE	53
CONCLUSION GENERALE	54
BIBLIOGRAPHIE	55
ANNEXES	57
ANNEXE 1 : ANALYSE STATIQUE	A
ANNEXE 2 : ANALYSE MODALE SPECTRALE	E

SIGLES ET ABREVIATIONS

Ass	: Assistant
B.A	: Béton armé
BAEL	: Béton armé aux états limites
B_r	: Section réduite
CNBC	: Code national du bâtiment –Canada 2010
DDL	: Degré de liberté
DPM	: Document particulier du marché
ELS	: Etat limite de service
ELU	: Etat limite ultime
f_{bc}	: Contrainte de calcul du béton à la compression
f_{c28}	: Résistance caractéristique du béton à 28 jours
f_{cj}	: Résistance à la compression à j jours
f_{tj}	: Résistance à la traction à j jours
G	: Actions permanente
HA	: Haute adhérence
Ing	: Ingénieur
MPa	: Méga pascal
Ms	: Méga seconde
N	: Effort normal
N_u	: Effort normal ultime
PGA	: Peak Ground Accélération
Q	: Actions variante
R.D. CONGO	: République Démocratique du Congo
R.P. A	: Règles parasismiques algérienne
R+3	: Rez-de-chaussée plus trois niveaux
SREA	: Système de Rift Est Africain
ULPGL	: Université Libre des Pays des Grands Lacs
γ_a	: Coefficient de sécurité de l'acier
γ_b	: Coefficient de sécurité du béton

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Mesure de l'activité sismique sur l'échelle de Richter [2].	18
Tableau 2. Valeurs de la PGA de la région des Grands Lacs [2].	19
Tableau 3. Valeurs de charges permanentes [15].	28
Tableau 4. Charges d'exploitation des bâtiments Scolaires et Universitaires [16].	29
Tableau 5. Combinaisons d'actions [17].	30
Tableau 6. Valeurs caractéristiques d'amortissement (en pourcentages).	34
Tableau 7. Catégories d'importance et coefficients d'importance pour les bâtiments	35
Tableau 8. Ferrailage poutre.	43
Tableau 9. Quantitatif poutre.	44
Tableau 10. Caractéristiques des matériaux	44
Tableau 11. Géométrie de poteau	44
Tableau 12. Ferrailage de poteau	44
Tableau 13. Quantitatif de poteau	45
Tableau 14. Résultats des analyses modales de la structure en forme irrégulière sans joint parasismique.	46
Tableau 15. Valeurs globales des contraintes de la structure sans joint parasismique	47
Tableau 16. Les déplacements suivant l'axe x	48
Tableau 17. Résultats des analyses modales de la structure séparée en bloc par les joints parasismique.	49
Tableau 18. Valeurs globales des contraintes de la structure séparée en bloc par les joints sismique.	50
Tableau 19. Déplacements suivant l'axe x	51
Tableau 20. Contraintes de torsions pour la structure en forme irrégulière sans joints parasismiques	52
Tableau 21. Contrainte de torsions pour la structure en forme irrégulière séparée en bloc par les joints parasismiques	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Forme en plan d'une structure qui respecte les conditions des dimensions [3].	5
Figure 2. Comportement sismique différent pour les deux branches d'un plan en L [4].	7
Figure 3. D'une configuration en plan complexe (irrégulière) vers deux configurations simples (régulières) par l'adjonction d'un joint sismique [4].	7
Figure 4. Le joint parasismique vertical large entre deux constructions susceptibles de présenter des déformations importantes en partie supérieure [6].	8
Figure 5. Joint parasismique vertical étroit entre deux parties d'un même bâtiment [6].	9
Figure 6. Insuffisance de la largeur du joint entre les blocs de bâtiments [6].	9
Figure 7. Entrechoquement de bâtiments [6].	11
Figure 8. Bâtiments ou unités dans la même propriété [4].	13
Figure 9. Bâtiments dans des propriétés différentes [4].	14
Figure 10. Représentation d'un plancher en corps creux composé de poutrelles sur lesquelles repose le corps creux.	23
Figure 11. Section droite d'une poutre rectangulaire en BA.	24
Figure 12. Deux blocs séparés par un joint parasismique.	27
Figure 13. Régression des charges pour le cas de notre structure R+3.	31
Figure 14. Plan architectural sans joints parasismiques.	39
Figure 15. Modélisation de la vue en élévation de la structure sans joint sismique.	39
Figure 16. Plan architectural séparé en bloc avec les joints parasismiques.	40
Figure 17. Modélisation de la vue en 3D de la structure séparée en bloc par les joints parasismique.	41
Figure 18. La figure représentant les valeurs de la déformation en torsion de la structure en forme irrégulière sans joints parasismique.	48
Figure 19. La figure représentant les valeurs de la déformation en torsion de la structure séparée en bloc par les joints parasismiques.	51

INTRODUCTION GENERALE

Lors de la conception d'un bâtiment, il est important de visualiser le comportement dynamique de la structure de la manière la plus réaliste possible. Dans une structure en forme irrégulière, les raideurs des ailes, respectivement à chaque direction principale, sont très différentes. Les ailes auront tendance à osciller très différemment mais se gêneront aussi l'une l'autre. Cela entraîne des contraintes supplémentaires importantes, notamment aux angles des dalles de plancher et à l'extrémité de chaque aile, et peut nécessiter des mesures structurelles lourdes.

Le problème peut être évité en séparant les ailes par un joint respectant les règles de conception sismiques pertinentes. En effet, les bâtiments de forme irrégulière dans une zone sismique sont généralement vulnérables à la torsion qui se produit à intervalles irréguliers. Ainsi, il est proposé de scinder le bâtiment irrégulier en deux ou plusieurs blocs plus ou moins réguliers en créant des joints parasismiques. Dans ce cas, la réponse dynamique de chaque bloc régulier est indépendante des autres et cela permet aux ailes du bâtiment d'osciller indépendamment [1] Cela pourra résoudre sensiblement le problème de torsion dû à l'irrégularité de l'ouvrage, tout en jouant les mêmes fonctions.

Vu l'importance des joints dans la conception parasismique, plusieurs auteurs se sont intéressés à ce phénomène, entre autres :

- Baraka C. (2021) qui a fait une étude comparative structurale des dispositions constructives parasismiques par joint sismique et par voile en béton armé avec application à un immeuble R+6 d'usage commercial dans la ville de Goma. Il est parvenu à prouver que les joints parasismiques sont plus souhaitables que les contreventements parce que les joints réduisent les déplacements et les masses sismiques [2].

Contrairement aux travaux précédents, le présent travail table sur l'influence de la performance des joints parasismiques sur les structures des formes irrégulières en L dans la ville de Goma avec application à une structure R+3 servant de bâtiment d'établissement scolaire. Afin d'assurer un comportement dissipatif et ductile d'ensemble, les ruptures fragiles ou la formation prématurée de mécanismes instables doivent être évitées [1].

Vu le problème lié à l'irrégularité des constructions, nous présumons une vulnérabilité de telles structures lors du passage de tremblement de terre et pensons donc à évaluer l'avantage de la séparation des structures complexes en sous-structures de forme régulières à l'aide des joints.

Le fait que cette technique, qui pourtant simple, n'est pas utilisée dans la ville de Goma, nous a poussé à nous poser les questions suivantes :

- Quel serait l'impact des irrégularités des formes des structures dans une zone sismique particulièrement dans la ville de Goma ?
- Quel serait l'influence de la séparation des structures des formes irrégulières en bloc des formes régulières par l'utilisation des joints parasismique ?

Le présent travail se base sur les hypothèses suivantes :

- L'impact des irrégularités des formes des structures dans une zone sismique serait une augmentation des effets de torsion dans les constructions et qui serait à la base des vulnérabilités de structures.
- L'influence de la séparation des structures des formes irrégulières en bloc des formes régulières par l'utilisation des joints parasismique se ferait par subdivision des structures en forme régulières qui réduirait la contrainte de torsion.

Le choix que nous portons sur ce sujet n'est pas un fait du hasard, mais plutôt pour avoir vécu dans cette ville de Goma qui est sujette à de tremblement de terre de manière fréquente. Notre souci a été de mesurer l'effet des joints parasismiques sur la limitation des probabilités de l'endommagement des structures irrégulières, ce qui pourra augmenter la sécurité des ouvrages en général. Cela permettra de diminuer les dégâts dus au passage des effets sismiques, diminuant ainsi les pertes en vies humaines et matériels pendant et après tremblement de terre.

De ce qui précède, l'objectif principal de la présente étude est d'évaluer l'efficacité des joints parasismiques dans un bâtiment en forme irrégulière dans la ville de Goma. Afin d'atteindre cet objectif, nous sommes passés par les objectifs spécifiques ci-après :

- Etude de l'impact des joints parasismiques sur la construction des structures en forme irrégulière ;
- Evaluer l'impact des irrégularités des formes dans les structures soumises par le séisme.

Ceci étant, il a été nécessaire de recourir à la technique documentaire, ainsi qu'aux différentes normes, tel que Eurocode 8 pour la conception et dimensionnement des structures aux séismes ;

BAEL 91 Et modification 99 pour le pré dimensionnement des éléments de la structure ; Règlement de construction parasismique pour la condition de régularité de configuration en plan et en élévation des structures, mais aussi à l'utilisation de logiciel tel que Robot Structural Analysis Professional 2019 et Archicad 2020 dans le but de concevoir, de dimensionner et d'analyser la structure.

Outre l'introduction et la conclusion générale, le présent travail est constitué des trois chapitres.

- Le premier chapitre présente les généralités sur les séismes ; les joints parasismiques ; les bâtiments en forme irrégulière ; avec un accent particulier sur la différence entre les joints parasismiques et les joints de dilatation ;
- Le deuxième chapitre aborde de la méthodologie adaptée ;
- Quant au troisième chapitre, il a été consacré à la présentation des résultats obtenus ainsi qu'à leurs interprétations.

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

I.1 INTRODUCTION

Ce premier chapitre parlera des notions sur les structures régulières et structures irrégulières, les joints parasismiques et les séismes, avec une suite sur la propagation des ondes sismiques et la nature du sol, la mesure des séismes, Système de Rift Est Africain (SREA). Une aperçue sur le contexte sismique de la région des Grands Lacs, la classification des séismes, l'aléa sismique et les risques sismiques.

I.2 STRUCTURES REGULIERES ET IRREGULIERES

Généralement, les structures sont classées suivant deux catégories : les structures régulières et les structures irrégulières.

I. 1.1 CRITERE DE REGULARITE

Une structure est considérée régulière si les conditions suivantes, relatives à sa configuration en plan et en élévation sont satisfaites [3].

I.1.1.1 FORME EN PLAN

Selon le règlement de construction parasismique, la structure doit respecter des formes en plan suivantes [3] :

- a) La structure doit présenter une forme en plan simple, tel que le rectangle, et une distribution de masse et de rigidité sensiblement symétrique vis-à-vis de deux directions orthogonales au moins, le long desquelles sont orientés les éléments structuraux.
- b) En présence de parties saillantes ou rentrantes leurs dimensions ne doivent pas dépasser 0,25 fois la dimension du côté correspondant :

$$a+b \leq 0.25 B \text{ tel qu'illustré dans la figure 1}$$

- c) A chaque niveau, la distance entre le centre de masse et le centre de rigidité, mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique, ne doit pas dépasser 0,20 fois la racine carrée du rapport de la raideur de torsion sur la raideur de translation.
- d) L'élancement (grand côté L/petit côté B) ne doit pas dépasser la valeur 3.5 [3]

$$L/B \leq 3.5$$

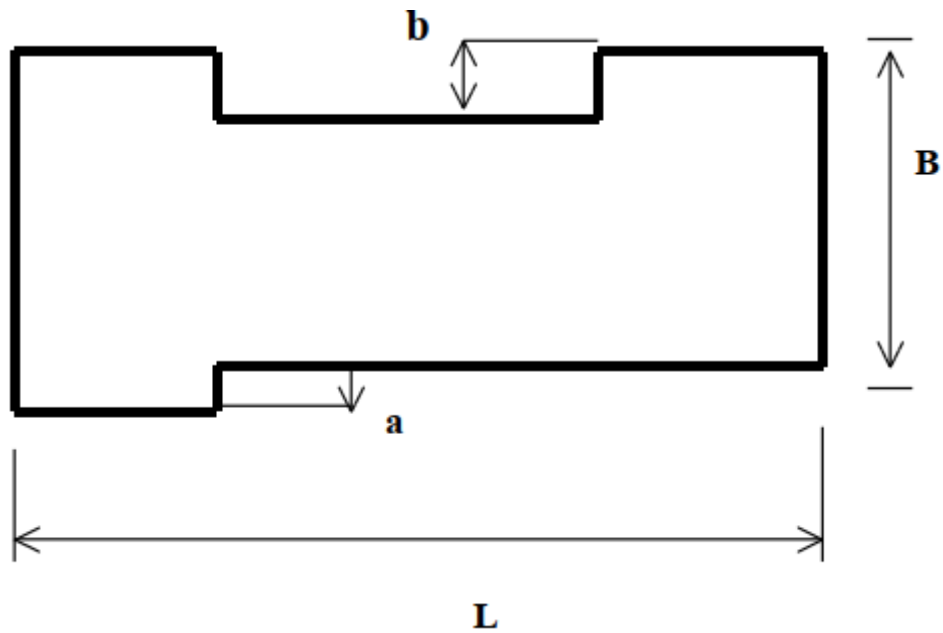


Figure 1. Forme en plan d'une structure qui respecte les conditions des dimensions [3].

I.1.1.2 FORME EN ELEVATION

Selon le règlement de construction parasismique, la structure doit respecter des formes en élévation suivantes [3].

- a) La distribution de la rigidité et de la masse doit être sensiblement régulière le long de la hauteur. Les variations de la rigidité et de la masse entre deux étages successifs ne doivent pas dépasser respectivement 30% et 15%.
- b) Dans le cas d'un rétrécissement graduel en élévation, le retrait à chaque niveau ne doit pas dépasser 0.15 fois la dimension en plan du niveau précédent sans que le retrait global ne dépasse 25% de la dimension en plan au niveau du sol.
- c) Dans le cas d'un élargissement graduel sur la hauteur, la saillie ne doit pas dépasser 10% de la dimension en plan du niveau précédent sans que le débordement global ne dépasse 25% de la dimension en plan au niveau du sol.
- d) Pour les bâtiments dont la hauteur totale ne dépasse pas 12m ; les pourcentages relatifs à la configuration peuvent être ramenés à 40%

I.2 JOINTS PARASISMIQUES

Le joint parasismique est un élément clé en construction parasismique. Son implantation répond aux réglementations de l'Eurocode 8 et il peut permettre d'éviter d'importants dégâts lors de séismes, dans le cas où un bâtiment s'entrechoque avec les bâtiments voisins sous l'effet des secousses.

I.2.1 QU'EST-CE QU'UN JOINT SISMIQUE ?

Un joint sismique est l'espace laissé libre entre deux bâtiments ou deux parties d'un même bâtiment afin de dissocier complètement le comportement sismique des structures [4].

La présence des joints sismiques permet de concevoir, de calculer et de dimensionner de manière indépendante les deux structures pour la situation sismique.

Les joints sismiques utilisés principalement dans les cas suivants :

- Pour deux bâtiments au voisinage l'un de l'autre ;
- Lorsque la configuration en plan d'un bâtiment est complexe, le comportement sismique peut être aggravé par les phénomènes de torsion, le comportement modal distinct des différentes parties d'un niveau et les concentrations locales de charges qui en découlent (Figure 2).

Dans ce cas, il peut être intéressant de transformer la configuration en plan par deux (ou plus) configurations plus simples, souvent rectangulaires, séparés par des joints sismiques (figure 3). Le bâtiment est alors constitué par deux (ou plus) structures dynamiquement indépendantes.

La réalisation d'un joint sismique séparant un bâtiment en deux unités distinctes d'un point de vue dynamique améliore le comportement sismique d'ensemble. Elle peut par contre s'avérer assez délicate à combiner avec les exigences de circulation, d'étanchéité et d'isolation thermique [4].

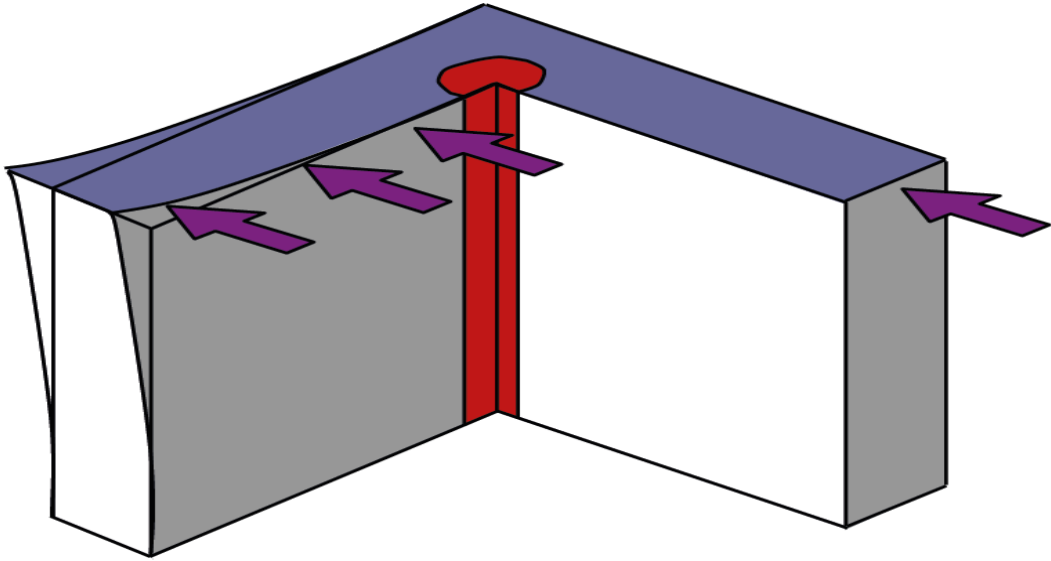


Figure 2. Comportement sismique différent pour les deux branches d'un plan en L [4].

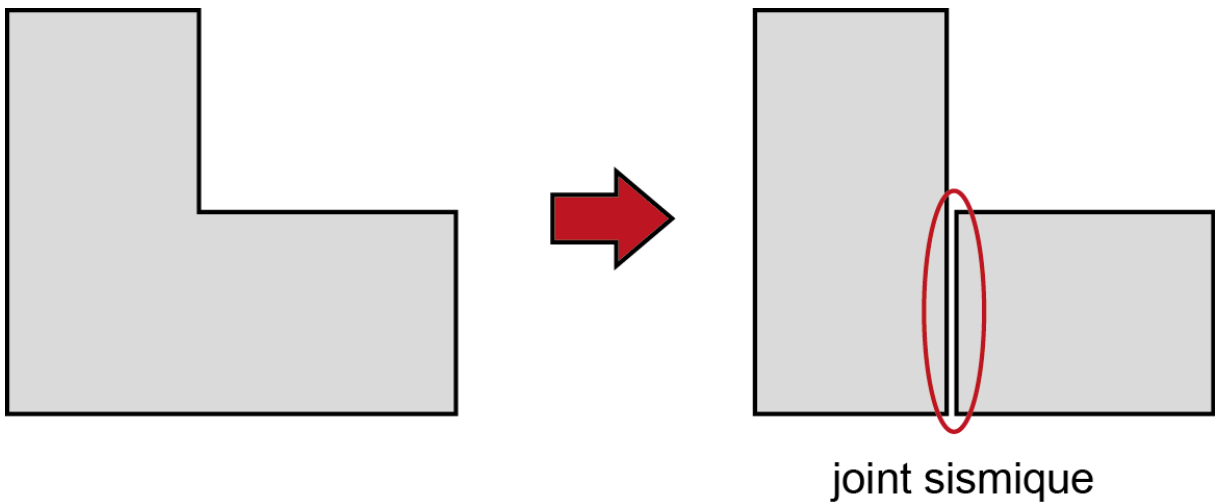


Figure 3. D'une configuration en plan complexe (irrégulière) vers deux configurations simples (régulières) par l'adjonction d'un joint sismique [4].

I.2.2 ROLE DES JOINTS PARASISMIQUES

En cas de séisme, les édifices subissent des forces oscillatoires de plus ou moins de forte amplitude et courent le risque de s'entrechoquer. Si aucun joint parasismique n'est prévu, c'est généralement ce qui se passe, avec d'importants dégâts matériels. Le bâtiment peut même s'effondrer.

L'insertion d'un joint parasismique, particulièrement en milieu urbain qui présente une forte densité de construction, offre un espace de liberté dans lequel s'expriment les oscillations, cisaillements, torsions et autres déformations engendrées par les secousses sismiques [5].

La figure 4 illustre le joint parasismique vertical large entre deux constructions susceptibles de présenter des déformations importantes en partie supérieure.



Figure 4. Le joint parasismique vertical large entre deux constructions susceptibles de présenter des déformations importantes en partie supérieure [6].

La figure 5 illustre le joint parasismique vertical étroit entre deux parties d'un même bâtiment. Le joint PS est couvert d'un couvre joint souple



Figure 5. Joint parasismique vertical étroit entre deux parties d'un même bâtiment [6].

I.2.3 DIFFERENCE ENTRE JOINTS PARASISMIQUES ET JOINTS DE DILATATION

Le joint parasismique a pour but d'éviter tout entrechoquement entre les bâtiments. Ce n'est pas le cas du joint de dilatation qui est trop faiblement dimensionné et n'est pas vide. De ce fait, en zone sismique, tout joint de dilatation doit être remplacé par un joint parasismique en raison de ces impératifs de non entrechoquement [6].

La Figure 6 illustre le séisme de Boumerdès, 2003 [2] ; entrechoquement de bâtiments voisins séparés par un joint de dilatation, insuffisance de la largeur du joint entre les blocs de bâtiments (joint de dilatation traditionnel de 2 cm). Un joint de dilatation est insuffisamment dimensionné pour que les déformations de chaque structure puissent se faire sans interaction.



Figure 6. Insuffisance de la largeur du joint entre les blocs de bâtiments [6].

Les couvre-joints doivent être souples ou fixés sur un seul bloc de bâtiment, de façon à ne pas générer d'interaction entre les blocs. Les joints doivent être plans, sans décrochement et débarrassés de tout matériau ou corps étranger.

I.2.4 SPECIFICITES DES JOINTS PARASISMIQUES

Le joint parasismique vise à empêcher ou du moins à compenser les oscillations asynchrones provoquées par les tremblements de terre, qui peuvent causer d'importants dommages. Si ce type de joint offre la possibilité de scinder plusieurs éléments d'un même bâtiment, on l'emploie surtout dans des cas particuliers.

Ainsi, le joint parasismique convient tout particulièrement dans le cas des constructions parasismiques nécessitant la mise en place des joints de dilation ou joints de structure [5].

I.2.5 DISPOSITIONS MINIMALES DES JOINTS PARASISMIQUES

Un joint sismique doit être dimensionné pour que l'espacement entre les deux structures limite le risque de ruine par entrechoquement. Il doit être libre de tout matériau et une distance minimale de 4 cm est recommandée par l'Annexe Nationale de l'EN 1998-1.

Il n'est pas nécessaire de prolonger le joint sismique dans les fondations. Pour deux structures indépendantes séparées par un joint sismique et supportées par les mêmes fondations, le calcul de celles-ci doit tenir compte de la descente de charges simultanée des deux ouvrages le cas échéant.

Ils sont disposés de façon :

- A limiter des longueurs de bâtiments trop importantes ;
- A séparer les blocs de bâtiments ou ouvrages accolés de géométrie et /ou de rigidités et de masses inégales et ;
- A simplifier les formes en plan de bâtiments présentant des configurations complexes (forme en T, U, L, H, ...).

La figure 7 illustre l'entrechoquement de bâtiments pour cause de joint trop étroit au regard des déplacements réels.



Figure 7. Entreoquement de bâtiments [6].

I.2.6 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES JOINTS PARASISMIQUES

Les joints parasismiques ont des avantages et des inconvénients suivants [2].

a) Avantage :

- Possibilité d'absorber des déplacements horizontaux et verticaux importants ;
- Emploi de liaisons et d'assemblages classiques entre éléments de la structure ;
- Possibilité de séparer les deux parties du bâtiment vis-à-vis de l'état limite de résistance au feu de la structure. Un mur pare-feu ou coupe-feu peut être facilement construit au droit du joint de dilatation ;
- Solutions recommandées dans les régions sismiques (dans ce cas, le joint doit satisfaire aux règles sismiques de conception et de calcul relatives à l'espacement entre blocs)

b) Inconvénients :

- Modification de la trame du bâtiment ;
- Doublement des travaux de fondation ;
- Nécessité d'un portique supplémentaire.

I.2.7 DEDOUBLEMENT DES POTEAUX AU DROIT DES JOINTS SISMIQUES

L'Eurocode8 n'impose pas explicitement le dédoublement des poteaux au droit des joints sismique. Pour les charpentes métalliques, il est possible sous certaines conditions d'adopter une solution avec poteaux communs [4].

I.2.8 DIMENSION MINIMALE D'UN JOINT SISMIQUE

Les règles de calcul d'un joint sismique sont définies par le chapitre 4.4.2.7 de l'EN 1998-1. Lorsque les deux bâtiments (ou parties de bâtiments) séparées par le joint font partie de la même propriété, le comportement des deux structures est a priori connu et la largeur du joint doit être supérieure à la somme quadratique des déplacements horizontaux de ces structures, calculés au point le plus défavorable ou pourrait se produire l'impact (Figure 8) [4].

En règle générale, le point d'impact conduisant à la largeur de joint la plus élevée correspond à la hauteur maximale du plus petit des deux bâtiments voisins [4].

Lorsque les deux bâtiments ne font pas partie de la même propriété, seules les déformations du bâtiment étudié sont connues. Les dimensions du joint se base sur la distance du bâtiment à la ligne de séparation des propriétés, qui doit être supérieure au déplacement horizontal maximal calculé au niveau le plus défavorable ou pourrait se produire l'impact (Figure 9). Cette distance minimale suppose bien entendu que les deux bâtiments, de part et d'autre de la limite de propriété, respectent la même condition.

Les deux conditions exposées auparavant reprennent la terminologie de l'EN 1998-1, qui distingue les deux cas traités en fonction de l'appartenance à une même propriété. Ce critère est supposé représenter la connaissance simultanée du comportement sismique des bâtiments adjacents, et plus particulièrement celle de leur déplacement latéral.

Il ne permet pas cependant de traiter des cas pratiques courants, comme lorsqu'un bâtiment neuf est érigé au voisinage d'un existant, sur une même propriété [4].

Il est alors probable que les déplacements latéraux de ce dernier ne seront pas connus au moment de l'étude. Pour dimensionner la largeur du joint sismique, il est dans ce cas recommandé de supposer que le déplacement latéral du bâtiment existant au niveau maximal d'impact sera à peu près égal à celui du bâtiment neuf voisins, qui est connu.

A titre conservatif, et pour couvrir l'incertitude relative au comportement sismique de la structure existante, on cumulera algébriquement ces déplacements, ce qui revient finalement à calculer la largeur du joint sismique comme étant égale au double du déplacement latéral de la structure neuve au droit du point d'impact [4].

On rappelle que les déplacements à prendre en compte sont issus de l'analyse modale spectrale ou de l'analyse par force latérale suivant l'EN 1998-1, et qu'ils doivent toujours être multipliés par le coefficient de comportement q , y compris en classe de ductilité.

Dans le cas où les niveaux de planchers sont les mêmes pour les deux bâtiments séparés par un joint sismique, les distances minimales des équations (1) et (2) peuvent être réduites par un coefficient de 0,7. Cette condition plus favorable traduit le fait que choc dalle sur dalle est moins susceptible de provoquer des dégâts importants que le choc d'une dalle de bâtiment sur le poteau du voisin.

Cette disposition peut être appliquée au cas de deux bâtiments R+0 en charpente métallique si les conditions suivantes sont respectées (afin de garantir que les chocs potentiels auront toujours lieu entre deux points durs) :

- Les deux bâtiments ont la même hauteur (mesurée au niveau des rives adjacentes) ;
- Aucun poteau d'un bâtiment n'est susceptible s'impacter une panne sablière du bâtiment voisin, c'est-à-dire que chaque poteau sur une façade est situé en vis-à-vis d'un poteau en façade de l'autre bâtiment.

La figure 8 nous présente les deux bâtiments qui font partie de la même propriété

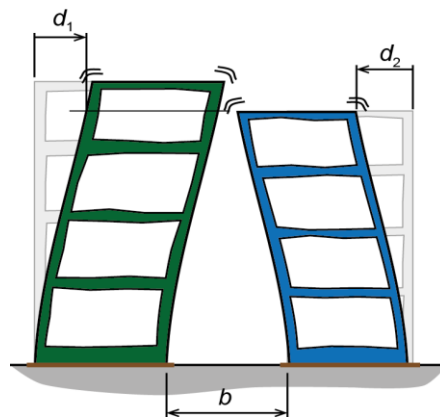


Figure 8. Bâtiments ou unités dans la même propriété [4].

La figure 9 nous présente les deux bâtiments qui ne font pas partie de la même propriété

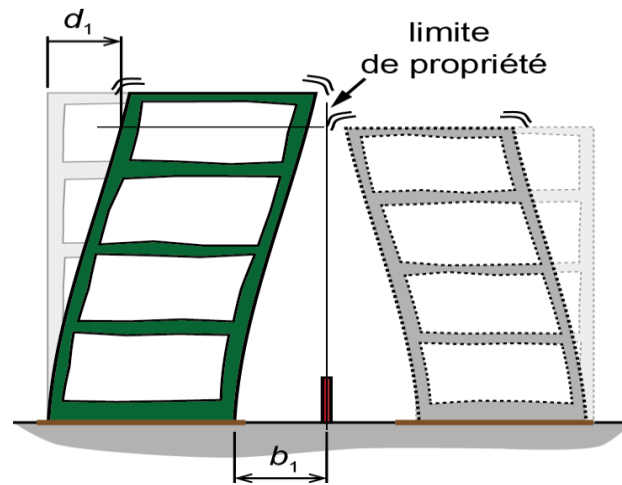


Figure 9. Bâtiments dans des propriétés différentes [4].

I.3 SEISMES

I.3.1 DEFINITION

Un séisme ou tremblement de terre se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur ; celle-ci est due à l'accumulation d'une grande énergie qui se libère, créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint.

Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations. Ainsi nous avons les séismes d'origine tectonique, les plus dévastateurs (secousses, raz-de-marée...), d'origine volcanique et d'origine humaine (remplissage de retenues de barrages, exploitation des sous-sols, explosions dans les carrières...) [7].

I.3.2 RISQUE SISMIQUE

La prédiction des séismes est enjeu majeur pour la préservation du patrimoine immobilier et la sécurité de ses occupants. Cependant, il est impossible de prédire avec certitude le déclenchement d'un tremblement de terre puisque les mécanismes mis en jeu sont difficilement observables et interprétables.

De même, il est important de prendre en compte que suivant la configuration géographique, les répercussions d'un séisme ne sont pas les mêmes. En effet, il est possible qu'un séisme de faible ampleur fasse plus de dégâts dans une zone densément peuplée qu'un séisme de grande ampleur

dans une région de faible densité. Pour évaluer les conséquences d'un séisme sur un territoire ou une population, il est donc nécessaire de combiner deux variables : l'occurrence d'un séisme d'une puissance donnée et les effets probables de celui-ci sur les infrastructures et la population.

Le risque sismique, évalué en termes de dommages, est une donnée qui permet de faire le lien entre ces deux variables. Il englobe l'aléa sismique qui représente la probabilité d'occurrence d'un tremblement de terre donné, et la vulnérabilité qui représente la gravité de ces répercussions sur les bâtiments (Filiatrault, 1996). Il est aussi possible d'évaluer le risque sismique en termes de coûts financiers ou humains. Le risque sismique en termes de dommages peut être mathématiquement défini à l'aide de l'expression 1

$$\text{Risque sismique} = \text{Aléa sismique} \times \text{Vulnérabilité.} \quad (1)$$

L'aléa sismique représente la probabilité qu'un séisme d'une certaine magnitude puisse survenir dans un intervalle de temps donné, la période de retour. Il doit être déterminé de manière locale et son obtention nécessite la combinaison de plusieurs facteurs. Il faut tout d'abord commencer par effectuer un relevé méthodique des événements sismiques passés. Le relevé inclut les intensités, les puissances et les dates d'occurrences des événements en question.

De même, il est nécessaire de prendre en compte les mécanismes géologiques qui peuvent régir la sismicité locale. Le code National du Bâtiment du Canada (CNBC 2010) compile toutes ces données locales dans des cartes d'aléa sismique où sont représentées les zones d'aléa uniforme. Suivant les régions, certains types de bâtiments seront donc plus sensibles que d'autres.

La vulnérabilité représente le niveau (ou degré) de dommages atteint par la structure pour une mesure d'intensité sismique. On peut remarquer que le risque sismique dépend largement du type de structure. En effet, la vulnérabilité sismique peut être définie à plusieurs échelles : pour un bâtiment unique, un ensemble d'un même type de bâtiments ou même à l'échelle d'une ville.

Le choix de ces échelles dépend du type d'étude réalisée et il est évident que les moyens utilisés pour les mener seront différents. Pour l'étude d'un seul bâtiment, il sera possible d'effectuer une analyse de structure complète avec des logiciels de modélisation complexes.

Pour un ensemble de bâtiments, on privilégiera plutôt un modèle statique avec l'étude d'une structure ayant les caractéristiques physiques et géométriques moyennes de l'échantillon. La prise en compte des écarts et incertitudes sera ensuite intégrée dans les calculs par une approche statique [8].

I.3.3 PROPAGATION DES ONDES SISMIQUES ET NATURE DE SOL

Les seimes se déclenchent dans le sous-sol au niveau d'un point nommé foyer. L'épicentre d'un séisme correspond à la projection du foyer au niveau de la surface du sol. La profondeur du foyer ainsi que la distance à l'épicentre sont des données importantes à considérées car elles influent sur les effets du séisme. La nature du sol est aussi un paramètre déterminant puisqu'il peut modifier considérablement la propagation des ondes sismiques en les atténuants ou en les amplifiants.

Le CNBC définit plusieurs catégories sismiques des sites (de A à E) suivant la composition du sol et les propriétés géotechniques comme la vitesse moyenne de cisaillement du sol sur une profondeur de 30 m. Ces catégories sismiques des sites permettent ensuite de définir des facteurs d'amplification qui seront appliqués à l'accélération spectrale de calcul pour le dimensionnement parasismique des structures ou aux accélérogrammes pour l'analyse dynamique des structures.

A noter que les valeurs d'accélération spectrales définies par le CNBC 2010, pour une période de retour de 2500 ans, correspondent à un site de référence de catégorie C pour laquelle les facteurs d'amplification sont égaux à l'unité [8].

I.4 MESURE DES SEISMES

I.4.1 APPAREILS DE MESURE

Il existe plusieurs grandeurs mesurables permettant de caractériser au mieux les mécanismes physiques des tremblements de terre. Dans pratique, les grandeurs les plus utilisés sont le déplacement, la vitesse et l'accélération du sol.

L'appareil mesurant les déplacements se nomme le sismomètre (ou sismographe). Ceux mesurant la vitesse et l'accélération sont nommés respectivement le vélocimètre et l'accéléromètre [8].

I.4.2 MAGNITUDE

La magnitude est la mesure de l'énergie dégagée pendant un séisme. Il existe plusieurs définitions de la magnitude qui dépendent du type et de l'origine de l'énergie dégagée. Le choix de l'une ou l'autre dépend essentiellement du type de de sismicité.

La magnitude la plus couramment utilisée est l'échelle de Richter qui fut développée en 1935 par le scientifique du même nom. Elle consiste à quantifier l'énergie dégagée par une différence

logarithmique entre le déplacement engendré par le séisme et celui engendré par un séisme de référence.

L'échelle étant logarithmique, il faut avoir à l'esprit l'augmentation d'un point de magnitude augmente considérablement l'énergie dégagée. Par exemple, un séisme de magnitude M6.0 est près de 100 fois plus importantes qu'un séisme de magnitude M5.0. Il est aussi important de noter que la magnitude d'un séisme est la même en tout point.

Cependant, la magnitude de Richter n'est pas adaptée à tous les types de sismicité. Dans l'est du pays, où le Bouclier canadien atténue les ondes sismiques de façon particulière, Ressources Naturelle Canada a longtemps utilisé la magnitude de Nuttli (mn) afin de quantifier au mieux l'énergie dégagée. Sonley et Atkinson (2005) ont développé des relations permettant de relier ces deux types de magnitude.

La magnitude de moment et aussi couramment utilisée par les institutions canadiennes. Théoriquement, il n'existe pas de limite pour la valeur de la magnitude, mais la recherche a démontré qu'une magnitude de M10.0 constituait un plancher physiquement indépassable.

Le séisme le plus important a été enregistré au Chili en 1960 et avait une magnitude d'environ M9.5 sur l'échelle de Richter [8]. Le tableau 1 présente la mesure de l'activité sismique sur l'échelle de Richter.

Tableau 1. Mesure de l'activité sismique sur l'échelle de Richter [2].

Magnitude de moment	Dégâts associés	Fréquence moyenne mondiale
Moins de 1,9	Micro tremblement de terre, non ressenti.	8 000 par jour
2,0 à 2,9	Généralement non ressenti mais détecté/enregistré.	1 000 par jour (365 000 par an)
3,0 à 3,9	Souvent ressenti sans causer de dommages.	50 000 par an
4,0 à 4,9	Secousses notables d'objets à l'intérieur des maisons, bruits d'entrechoquement. Les dommages restent très légers.	6 000 par an
5,0 à 5,9	Peut causer des dommages significatifs à des édifices mal conçus dans des zones restreintes. Pas de dommages aux édifices bien construits.	800 par an
6,0 à 6,9	Peut provoquer des dommages sérieux sur plusieurs dizaines de kilomètres. Seuls les édifices adaptés résistent près du centre.	120 par an
7,0 à 7,9	Peut provoquer des dommages sévères dans de vastes zones ; tous les édifices sont touchés près du centre.	18 par an
8,0 à 8,9	Peut causer des dommages très sévères dans des zones à des centaines de kilomètres à la ronde. Dommages majeurs sur tous les édifices, y compris à des dizaines de kilomètres du centre.	1 par an
9,0 et plus	Dévaste des zones sur des centaines de kilomètres à la ronde. Dommages sur plus de 1 000 kilomètres à la ronde.	1 à 5 par siècle

I.5 SYSTEME DE RIFT EST AFRICAIN (SREA)

Le système des fossés tectoniques de l'Afrique s'étend en Afrique de l'Est d'où il constitue le système de rifts. L'Afrique de l'Est a un niveau considérable des risques sismiques dus à la présence du système des rifts Est-Africains. Ainsi, on y trouve un nombre incalculable des séismes dont certains causent des pertes en vies humaines. Cette sismicité dans la vallée des rifts est caractérisée par les activités bornées ou étendue à une profondeur superficielle [2].

I.6 CONTEXTE SISMIQUE DE LA REGION DES GRANDS LACS

Dans cette partie, nous traiterons sur un résumé sur le contexte sismique de la région de Grands Lacs.

I.6.1 BASSIN DU CONGO

L'origine des mouvements tectoniques est inconnue dans le bassin du Congo. Aucune surface de rupture n'est documentée jusque-là pourtant bien de chocs de tremblement y sont enregistrés. Dans l'historique sismique de la région, les séismes remarquables enregistrés sont entre autres de magnitude $MS = 5,4$ à $5,6$, enregistrés pendant la période allant de 1976 à 1998 [2].

I.6.2 SEISME EN RD CONGO

L'approche probabiliste qui a été utilisée pour cartographier la possibilité des activités sismiques en RD Congo et les zones environnantes, estime le niveau du risque sismique pour 14 sites sismiques dans la région, le tableau 2 définit les valeurs du PGA de la région des Grands Lacs selon l'approche probabiliste [2].

Tableau 2. Valeurs de la PGA de la région des Grands Lacs [2].

PEAK GROUND ACCELERATION									
Ville	Latitude	Longitude	Zone	Approche probabiliste					
				PGA(g)		PGA(g)		PGA(g)	
				T1= 2475 ans		T2= 975 ans		T3= 475 ans	
Bujimayi	-3.3780	29.363	A	0.3155	0.319	0.1947	0.1989	0.1311	0.0135
Bukavu	-2.53	28.28	B	0.274	0.3185	0.1777	0.198	0.1239	0.1337
Bunia	1.5228	30.255	B	0.2728	0.3189	0.1708	0.1989	0.1349	0.1349
Butembo	0.138	29.288	B	0.2714	0.3187	0.1699	0.1983	0.1157	0.1342
Goma	1.683	29.231	B	0.2709	0.319	0.782	0.1988	0.1226	0.1347
Kalemie	-5.93	29.176	A	0.3196	0.3287	0.199	0.1984	0.1346	2.416
Kananga	-4.93	21.7	D	0.0756	0.0904	0.0455	0.0522	0.0299	0.0334
Kigali	-1.953	30.059	B	0.2705	0.3191	0.1744	0.1991	0.1215	0.1352
Kigoma	-4.796	30.402	-	0.3197	0.319	0.1994	0.199	0.1353	0.1351
Kindu	-2.921	25.402	C	0.0771	0.0923	0.0481	5.0557	0.0332	0.0379
Kisangani	0.425	24.029	-	0.0757	0.0905	0.0456	0.0552	0.0302	0.0342
Lubumbashi	-11.669	27.485	C	0.1259	0.0777	0.0777	0.0777	0.0522	0.0229
Mbujimayi	6.19	22.885	C	0.1186	1.1204	0.0712	0.0724	0.0467	0.0468
Uvira	-3.407	29.134	-	0.316	0.3189	0.1949	0.1311	0.1346	2.416

Signalons à ce niveau que le PGA est l'accélération maximale du mouvement du sol, il est un paramètre caractérisant le mouvement des sols soumis à des ondes sismiques. Il est lié à la vitesse du sol se déplaçant lors d'un séisme et il dépend de la nature géologique du sol. Le PGA s'exprime en pourcentage de g (%g), où g correspond à l'accélération de pesanteur. Le haut niveau de risques est localisé sur le cratère du lac Tanganyika où les pics des accélérations sur la surface du sol excèdent 0.32g, 0.22g et 0.16g et sont suspectés d'arriver à 10%, 5% et 2% dans 50 ans respectivement. Cependant, dans l'ouest du Rift Valley à une distance de 450 km, la chance de dépasser 0.05g qui est le seuil de la valeur intéressant l'ingénieur est moins de 10% dans 10 ans. A partir des paramètres probabilistes des secousses sismiques en RD Congo et des zones environnantes, quatre zones de sismicité ont été établies [2]:

- **Zone A** (avec la plus grande probabilité de mouvement) : elle comprend le lac Tanganyika et la zone de crête de Moero.
- **Zone B** (la plus probable) : le bassin du lac Kivu, le Rwenzori et la région du lac Edouard.
- **Zone C** (probabilité modérée) : elle comprend le sud-est de la RD Congo, le nord-ouest Zambien et une partie du bassin du Congo refermée sur la crête ouest.
- **Zone D** (probabilité moindre) : elle comprend le reste du bassin du Congo.

1.6.3 SISMICITE A GOMA

Le site se trouve dans le système Rift Est-African. La ville de Goma étant dans une région de l'Est Afrique, sa structure du sol est rocheuse suite aux éruptions volcaniques de ses volcans se trouvant au Nord de la ville. Ses volcans sont toujours en activité dont le Nyiragongo et Nyamulagira, qui offre à la ville une couche de lave (couche altérée) [2].

La région de Virunga est sensible à la tectonique du Rift et est sismiquement. La sismicité de cette région témoigne généralement l'activité magmatique et la fracturation sous les volcans. Les volcans Nyamulagira et Nyiragongo présentent très souvent une sismicité intense avant les éruptions ou associée à d'autres phénomènes volcaniques tels l'activité fumerolienne par exemple.

La ville de Goma située au pied du volcan Nyiragongo, les éruptions volcaniques de ce dernier la victimisent. La plus récente étant du 22 Mai, 2021 ; la ville s'est trouvée sous choc, victime des coulées des laves et des tremblements de terre qui ont occasionné des mouvements des terrains avec des fissurations du sol voire des destructions des maisons et décès d'hommes. La

magnitude supérieure enregistrée dans cette période fut de $M_s=5,2$ en date du 25 Mai à 11h 3min heure locale, son épicentre situé dans la partie sud de la ville à 1,71S (Latitude) ; 29,23E (Longitude) ; 8Km de profondeur (source : données reçues de l'Observatoire Volcanologique de Goma) [2].

I.7. CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre a été consacré aux généralités sur les structures régulières et les structures irrégulières ; quelques notions de la sismologie et quelques dispositions constructives parasismiques ont également été développées.

Du point de vue des structures régulières et irrégulières, nous avons parlé de quelques conditions relatives à leurs configurations en plan et en élévation.

Du point de vue sismologie, nous avons placé un mot de définition sur le séisme, la localisation, risque sismiques, aléa sismique ...

Et quant à aux dispositions constructives parasismique, nous avons parlé de joints parasismique.

CHAPITRE DEUXIEME : METHODOLOGIE

II.1. INTRODUCTION

Après une mise en relief des connaissances sur les structures régulières et irrégulières, les joints parasismiques et les séismes ; dans ce présent chapitre, nous allons présenter la conception, la méthode d'analyse statique et la méthode d'analyse dynamique ainsi le logiciel Robot structural *analysis*.

II.2. CONCEPTION DE LA STRUCTURE

La conception de l'ouvrage est un processus complexe faisant intervenir simultanément des paramètres architecturaux et constructif. En effet, l'implication d'un Etablissement scolaire doit répondre aux spécificités géographiques, démographiques, économiques ainsi qu'aux dispositions de la planification scolaire élaborées par l'Etat [9].

La disposition « carré » s'adapte facilement à une variation d'activité mieux que la disposition rectangulaire qui reste pourtant la plus répandue.

Les Dimensions des salles de classe sont naturellement commandées par le nombre présumé d'élèves. Elles varient suivant l'importance du milieu et de l'organisation scolaire. Il est prudent d'avoir certaines classes plus spacieuses en surface que les autres, en vue de l'éventualité de la surpopulation temporaire d'une ou de plusieurs salles. Il est à noter que l'âge de l'utilisateur de la salle influe aussi au dimensionnement des locaux, car jouant sur sa psychologie.

- 50 élèves : une superficie de $56 \text{ m}^2 = 8 \text{ m} \times 7 \text{ m}$ (standards).
- 40 élèves : une superficie de $54 \text{ m}^2 = 9 \text{ m} \times 6 \text{ m}$
- 35 élèves : une superficie de $48 \text{ m}^2 = 8 \text{ m} \times 6 \text{ m}$
- 30 élèves : une superficie de $42 \text{ m}^2 = 7 \text{ m} \times 6 \text{ m}$

La hauteur sous plafond doit être comprise entre **3 m** et **4 m** c'est – à – dire $3\text{m} \leq h \leq 4 \text{ m}$.

II.3. PRE DIMENSIONNEMENT

Pour pré dimensionner les différents éléments de la structure (planchers, poteaux, poutres), nous allons utiliser les règlements exigés tels que : **BAEL 91 mod. 99, RPA99 V 2003**.

II.3.1 PRE DIMENSIONNEMENT D'UN PLANCHER EN CORPS CREUX COULE SUR PLACE

Le plancher en corps creux est composé de poutrelles sur lesquelles repose le corps creux, et d'une dalle de compression [10].

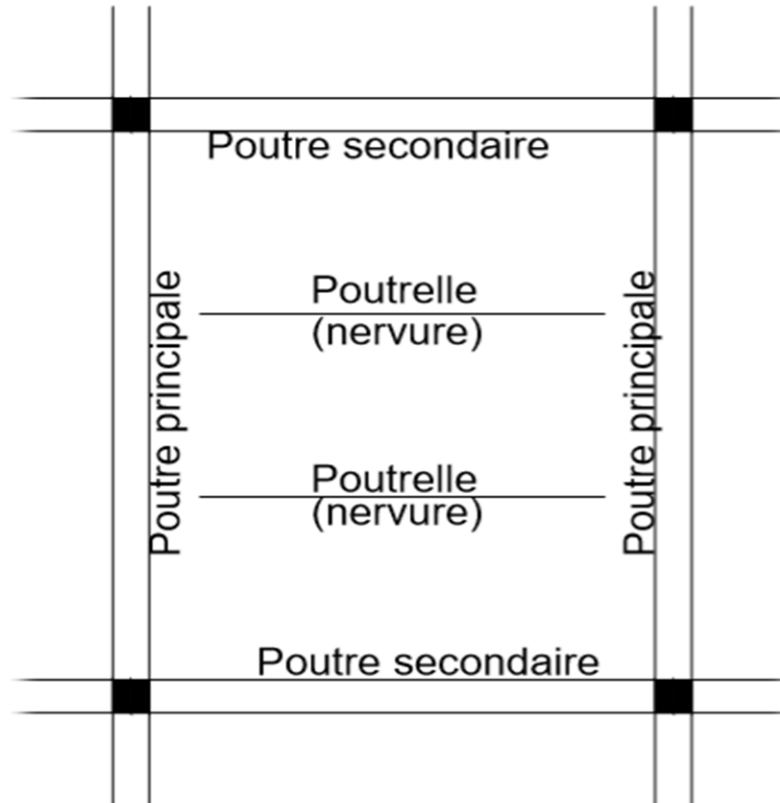


Figure 10. Représentation d'un plancher en corps creux composé de poutrelles sur lesquelles repose le corps creux

Pour le pré dimensionnement de notre plancher en corps creux, nous avons tenu compte des conditions suivantes :

- Condition d'isolation phonique : $h \geq 16 \text{ cm}$
- Condition de sécurité incendie :
 - $h \geq 7 \text{ cm}$ pour une heure de coupe-feu
 - $h \geq 11 \text{ cm}$ pour deux heures de coupe-feu
- Condition de résistance à la flexion :

$$h \geq \frac{l}{22,5} \quad (2)$$

Avec :

h : Épaisseur du plancher

l : La portée du plancher

II.3.2 PRE DIMENSIONNEMENT DES POUTRES

Une poutre peut se définir comme une structure porteuse horizontale dont la section peut avoir différentes formes (rectangulaires, en I ou en Té, ...). Elle reçoit en général des charges verticales qu'elle transmet sur ses appuis. Les poutres sont dimensionnées par rapport aux conditions de la flèche admissible et sont vérifiées par rapport aux prescriptions normatives [2].

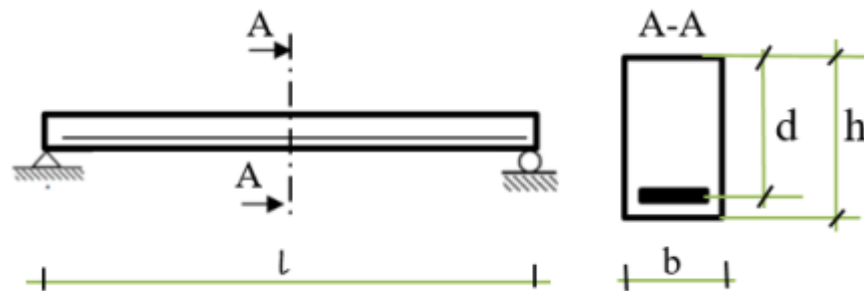


Figure 11. Section droite d'une poutre rectangulaire en BA

Selon les règles BAEL 91 [11]:

La section de la poutre est déterminée par les formules :

La hauteur h de la poutre doit être :

$$\frac{l}{15} \leq h \leq \frac{l}{10} \quad (3)$$

Et la largeur b de la poutre doit respecter la condition 4 :

$$\frac{h}{5} \leq b \leq \frac{h}{2} \quad (4)$$

Avec :

l : longueur libre entre nus d'appuis

h : hauteur totale de la poutre

b : largeur de la poutre

Pour des raisons de bétonnage correct, la largeur de la poutre ne peut être inférieure à 15 cm [11].

- Selon RPA 99 [12]:

$$\begin{pmatrix} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 30 \text{ cm} \\ \frac{h}{b} \leq 4 \end{pmatrix} \quad (5)$$

II.3.3 PRE DIMENSIONNEMENT DES POTEAUX

Un poteau est un organe de structure d'un ouvrage sur lequel se concentrent de façon ponctuelle les charges de la superstructure (par exemple via un réseau de poutres chargées par les dalles d'un niveau supérieur) et pour lequel ces charges se répartissent vers les infrastructures de cet ouvrage (par exemple les fondations) [13].

II.3.3.1 LE PRE DIMENSIONNEMENT THEORIQUE DU POTEAU

Pour effectuer le pré dimensionnement de poteaux il est susceptible de commencer par calculer la section réduite qui est donnée par la relation (6) suivante [2]:

$$B_r = \frac{\beta \cdot N_u}{\left(\frac{f_{bu}}{0,9} + \frac{0,85 f_{ed}}{100}\right)} \quad (6)$$

Avec :

B_r : section réduite du poteau

β : Coefficient de correction dépendant de l'élançement mécanique

N_u : Effort normal de compression à l'état limite ultime

f_{bu} : Contrainte du béton à la compression

f_{ed} : Résistance de l'acier (armature)

a. LONGUEUR DE FLAMBEMENT

La longueur de flambement est évaluée en fonction de la longueur libre l_0 du poteau et de ses liaisons effectives [14].

L'expression de la longueur de flambement est la suivante :

$$l_f = 0,7 l_0.$$

Avec :

l_f : longueur de flambement du poteau

l_0 : hauteur d'étage

b. Rayon de giration

Le rayon de giration, noté i , le rayon de giration est donné par l'expression (7) :

$$i^2 = \frac{I}{B} \quad (7)$$

Avec :

I : moment quadratique de la section transversale du poteau ;

B : aire de la section transversale du poteau

c. Elancement

L'élancement, noté λ , l'élancement est donné par l'expression (8)

$$\lambda = \frac{l_f}{i} \quad (8)$$

Avec :

l_f : Longueur de flambement du poteau ;

i : rayon de giration de la section transversale du poteau est donné par la formule (9)

$$i = \sqrt{\frac{I}{B}} \quad (9)$$

Selon RPA 99/Version 2003 [12]

Les dimensions des poteaux doivent satisfaire les conditions (10)

$$\left(\begin{array}{l} \text{Min}(b_1; h_1) \geq 25 \\ \text{Min}(b_1; h_1) \geq \frac{h_e}{20} \\ \frac{1}{4} < \left(\frac{h_1}{b_1}\right) < 4 \end{array} \right) \quad (10)$$

Avec :

b_1 : largeur de la section ;

h_1 : hauteur de la section :

h_e : hauteur d'étage.

II.3.4 PRE DIMENSIONNEMENT DE JOINT SISMIQUE

Un joint sismique est l'espace laissé libre entre deux bâtiments ou deux parties d'un même bâtiment afin de dissocier complètement le comportement sismique des structures ainsi séparées. La présence du joint sismique permet de concevoir, de calculer et de dimensionner de manière indépendante les deux structures pour la situation sismique. La figure II.7 montre deux blocs séparés par un joint parasismique [2].

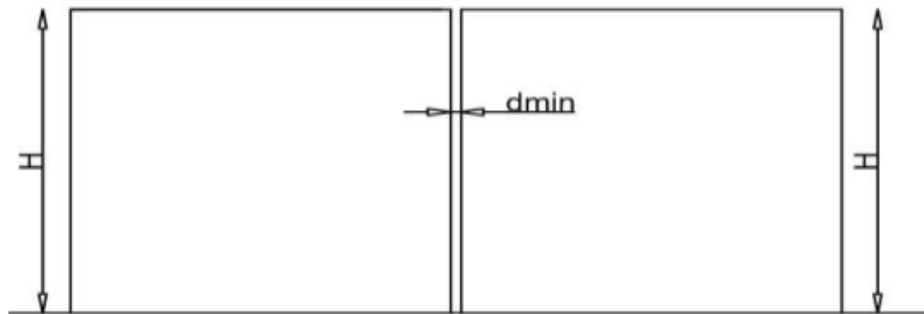


Figure 12. Deux blocs séparés par un joint parasismique

Le pré dimensionnement du joint parasismique est donné par l'expression (11)

$$d_{\min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2) \text{ mm} \geq 60 \text{ mm} \quad (11)$$

Où δ_1 et δ_2 : déplacements maximaux des deux blocs

II.4. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE

II.4.1. CALCULS DES ACTIONS ET SOLLICITATIONS

Les actions sont des forces ou des couples charges appliquées directement à la construction, ainsi que celle résultant des déformations dues au retrait, à la dilation, au tassement d'appui [11].

Ainsi, nous avons :

a. Les actions permanentes (notée G) : sont des actions dont l'intensité ne varie pas dans le temps ou très peu variables dans le temps. Elles comprennent [11] :

- Le poids propre de la structure ;
- Poids des autres éléments de la construction : cloisons et revêtement de plancher ;
- Poussées des terres, pression des liquides ;
- Action dues aux déformations différées : raccourcissement par retrait du béton dans le plancher.

Le tableau 3 nous donne les différentes valeurs des actions permanentes pour le calcul de notre structure.

Tableau 3. Valeurs de charges permanentes [15].

Matériaux	Poids vol. (KN/m ³)	Matériaux	Poids vol. (KN/m ³)
Béton armé	25	Briques pleines	18
Béton non armé	24	Briques creuses	14
Enduit de ciment	18	Parpaings pleins	20 à 22
Chape	22	Parpaings creux porteurs	12 à 15
Plate	14	Isolant thermique	0,5 à 1
Carrelage	22	Sables et argile secs	14 à 16
Acier	78,5	Sables et argile humides	17 à 18
Contreplaqué	5,5	Gravillons d'étanchéité	15
Pierre tendre	15 à 19	Verre	23 à 25
Pierre dure	22 à 25	Asphalte	22
Cloison de distribution	0,75kN/m ²	Mortier de ciment	20
Étanchéité multicouche	0,1kN/m ²	Plancher en corps creux	2,8 kN/m ²
Bitume	9 à 12	Charge des murs	0,1 kN/m ²

b. **Les actions variables (notées Q)** : sont actions dont l'intensité varie fréquemment et de façon très importante dans le temps. Nous pouvons citer [11]:

- Charges d'exploitation ;
- Charge climatique ;
- Action de la température climatique due aux variations d'ambiance au cours de la journée ;
- Actions appliquées en cours de construction qui proviennent des équipements de chantier.

Le tableau 4 nous donne les différentes valeurs des charges d'exploitation des bâtiments scolaires et Universitaires.

Tableau 4. Charges d'exploitation des bâtiments Scolaires et Universitaires [16]

Dépôt de cuisines collectives	600 daN/m²
Salle avec assistance debout : circulations, escaliers, surfaces de regroupement, d'abri, de détente, polyvalente	400 daN/m²
Cuisines collectives	500 daN/m²
Salle de réunions, salles polyvalentes avec sièges, bibliothèques, dépôts, lingerie	400 daN/m²
Amphithéâtres, salles de classes remodelables et locaux équivalentes, cantines, réfectoires	350 daN/m²
Salles de classes, salles à manger de petites dimensions, laboratoires, ateliers, dortoirs, sanitaires, locaux médicaux	250 daN/m²
Hébergement individuel	150daN/m²

c. **Les actions accidentelles**, proviennent des phénomènes rares et ne sont à considérer que si les documents d'ordre public ou le document particulier du marché (DPM) les prévoient [2]. Elles comprennent notamment :

- Les chocs de véhicule ou de bateaux sur les appuis de ponts ;
- Les séismes ;
- Les explosions, les chutes de rochers.

Sollicitations

Les sollicitations sont les éléments de réduction des forces extérieures et des couples appliqués aux éléments de structure [11]. Nous avons :

N : effort normal

V : effort tranchant

M : moment fléchissant

Ces sollicitations sont calculées après combinaisons des actions.

Le tableau 5 nous représente les différentes combinaisons d'actions, notamment : ELU ; ELS caractéristique ; ELS fréquente ; ELS quasi-permanente.

Tableau 5. Combinaisons d'actions [17]

	Actions permanentes		Actions variables favorables	Actions variables défavorables	
	Favorables	Défavorables		Dominante	D'accompagnent
ELU	1,00	1,35	0	1,5	1,5 ψ_0
ELS caractéristique	1	1	0	1	ψ_0
ELS fréquente	1	1	0	ψ_1	ψ_2
ELS quasi-permanente	1	1	0	ψ_2	ψ_0

Pour les charges permanentes, il convient d'appliquer à toute la structure la valeur qui conduit à l'effet le plus défavorable.

II.4.2. DESCENTE DES CHARGES

Pour le calcul des descentes de charges, il est possible d'effectuer des dégressions des charges d'exploitation pour les bâtiments à usage d'habitation et à grand nombre de niveaux. En effet statistiquement il est fort improbable que tous les étages soient chargés simultanément au maximum.

A partir du deuxième étage en partant du haut de bâtiment on retire 10% de charge d'exploitation par étage jusqu'à 50%. En suite pour les autres étages on plafonne les charges d'exploitation à 50% de leurs valeurs [10]. La figure 13, représente la régression des charges du niveau le plus haut vers le niveau le plus bas de notre bâtiment.

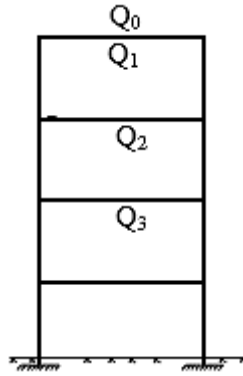


Figure 13. Régression des charges pour le cas de notre structure R+3

- **Cas des charges identiques**

Lorsqu'on parle de charge identique pour les étages, ça veut dire que : $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q$

Les formules (12), nous représente la dégression des charges d'exploitation pour les bâtiments à usage d'habitation et à grand nombre de niveaux

$$\begin{pmatrix} \Sigma_0 = Q_0 \\ \Sigma_1 = Q_0 + Q \\ \Sigma_2 = Q_0 + 1,9 Q \\ \Sigma_3 = Q_0 + 2,7 Q \end{pmatrix} \quad (12)$$

Pour un bâtiment de plus de 5 étages, il est présenté dans l'expression (13) comment procéder.

$$\Sigma_n = Q_0 + \left[\left(\frac{3+n}{2} \right) Q \right] \quad (13)$$

- **Cas des charges différentes**

L'expression (14) est utilisée lorsque les charges sont différentes :

$$\Sigma_n = Q_0 + \left[\left(\frac{3+n}{2n} \right) \sum_1^n Q_i \right] \text{ pour } n \geq 5 \quad (14)$$

Avec :

Q : la charge totale du bâtiment ;

Q_0 : la charge du niveau le plus haut du bâtiment ;

Q_i : la charge à chaque niveau du bâtiment ;

n : nombre de niveaux du bâtiment

II.5. CALCUL DYNAMIQUE

II.5.1. CALCUL SISMIQUE

La dynamique structurale étudie la réponse des structures lorsque des charges leur sont appliquées. Très souvent, on utilise, sous une forme ou une autre, les caractéristiques modales de la structure pour déterminer la réponse du système. Il existe deux méthodes différentes pour réaliser une analyse sismique [18].

L'action sismique est une force qui est à la base d'un déplacement horizontal des appuis qui impose un tremblement de terre. On explique l'action sismique à l'aide d'un modèle à un degré de liberté. L'équilibre des forces d'un système à un degré de liberté s'exprime à l'aide des forces d'inertie, de l'amortissement, de la raideur et de forces externes exprimé dans l'expression (15) suivante :

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t) \quad (15)$$

Où m est la masse, c l'amortissement, k la raideur, \ddot{x} , \dot{x} , x sont respectivement l'accélération, la vitesse, le déplacement, f la force extérieure et t est la variable temps. Le mouvement dû au séisme en un point est caractérisé par son accélération \ddot{x} .

Il est plus facile de résoudre les équations en les transposant dans le domaine fréquentiel. La solution est un ensemble unique de valeurs propres et de vecteurs propres complexes. La partie réelle de la valeur propre est l'amortissement, tandis que la partie imaginaire est la fréquence de résonance comme vous pouvez le voir dans l'expression (16). Le vecteur propre représente, quant à lui, la déformée. En vibration libre non amortie l'équation de mouvement selon les différents modes de vibration est :

$$u_i(t) = \phi_i q(t) = \phi_i [A_i \cos(\omega_i t) + B_i \sin(\omega_i t)] \quad (16)$$

Les inconnues sont le mode propre ϕ_i et la pulsation propre ω . En recherchant la vitesse et l'accélération dans l'équation précédente ensuite les éléments trouvés sont remplacés dans l'équation du mouvement on obtient un problème de vecteurs propres et des valeurs propres qui s'écrit comme suit :

$$\{\ddot{d}e\} - \omega^2 [M] + [K] = 0 \quad (17)$$

Les ω_i^2 sont les solutions réelles et positives car les matrices K et M sont symétriques et définies positives. La plus faible pulsation est notée ω_1 , on l'appelle souvent pulsation fondamentale.

$$\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots < \omega_N \quad (18)$$

L'analyse en vibration libre est importante car elle permet de comprendre le comportement vibratoire de la structure.

II.5.2. CALCUL MODAL

Pour les structures irrégulières en plan, sujettes à la torsion et comportant des planchers rigides, elles sont représentées par un modèle tridimensionnel, encasté 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) [2].

II.5.3 ANALYSE MODALE : NOMBRE DE MODES A CONSIDERER

a) Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

- la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.
- ou que tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de la structure soient retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure.

Le minimum de modes à retenir est de trois (3) dans chaque direction considérée. La formule (19) présente la détermination du nombre de modes.

$$\sum_{i=1} m_i^* \geq 90\% M_T \quad (19)$$

Avec :

m_i^* : *masse modale*, qui a pour expression :

$$m_i^* = \frac{L_i^2}{M_i} = \frac{(\phi_i^T \Delta M)^2}{\phi_i^T M \phi_i} \quad (20)$$

M_T =: *La masse totale*, qui a pour expression :

$$M_T = \Delta^T M \Delta \quad (21)$$

b) Dans le cas où les conditions décrites ci-dessus ne peuvent pas être satisfaites à cause de l'influence importante des modes de torsion, le nombre minimal de modes (K) à retenir doit être tel que nous présente l'expression (20).

$$K > 3\sqrt{N} \quad \text{et} \quad T_K < 0,20 \text{ sec} \quad (22)$$

Où N est le nombre de niveaux à considérer et T_K est la période du mode K

- **VALEURS CARACTÉRISTIQUES D'AMORTISSEMENT**

Hormis des cas exceptionnels comme celui de la bibliothèque Millikan, on ne dispose pas de mesures de l'amortissement sur l'ouvrage à l'étudier. L'analyste doit s'en remettre à son propre jugement ou à des valeurs conventionnelles publiée par voie réglementaire. Ces valeurs sont généralement rattachées à un type de matériaux (béton, acier, bois...). Le tableau 6 présente un tel ensemble de valeurs dans lequel une distinction a été introduite en fonction du niveau de sollicitation atteint dans l'ouvrage [19].

Tableau 6. Valeurs caractéristiques d'amortissement (en pourcentages)

Déformation		
Matériau	< 0.5 limite élastique	Voisinage limite élastique
Béton armé	3-5	7-10
Béton précontraint	2-3	7-10
Acier soudé	2-3	5-7
Acier boulonné	5-7	10-15
Bois cloué	5-7	15-20

- ❖ **Catégories d'importance et coefficients d'importance**

Les bâtiments sont classés, en général, en quatre catégories d'importance qui dépendent de la dimension du bâtiment. De sa valeur et de son importance pour la sécurité publique, et de la possibilité de pertes de vies humaines en cas d'effondrement.

Les catégories d'importance sont caractérisées par différents coefficients d'importance γ_1 décrits dans l'article 2.1 de la partie 1-1 tel que nous montre le tableau 7 [20].

Tableau 7. Catégories d'importance et coefficients d'importance pour les bâtiments

Catégorie d'importance	Bâtiments	Coefficient d'importance γ_1
I	Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile, par exemple, hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques, etc.	1,4
II	Bâtiments dont la résistance au séisme est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : école, salle de réunion, institutions culturelles, etc.	1,2
III	Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories	1,0
IV	Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, comme par exemple : les bâtiments agricoles, etc.	0,8

II.6 PRESENTATION DU LOGICIEL ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONNEL

Le système Robot Structural Analysis est un logiciel destiné à modéliser, Analyser et dimensionner les différents types de structures. Robot Structural Analysis permet de modéliser les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par Robot est création de la documentation par la structure calculée et dimensionnée [21].

II.6.1 PRINCIPES GENERAUX DE MODELISATION

Il est de plus en plus courant d'avoir recours à une modélisation numérique pour la conception, le calcul et la vérification des ouvrages de génie civil.

Le choix de l'outil et la manière dont la démarche de modélisation est menée jouent un rôle essentiel dans la qualité, la pertinence et l'efficacité des études. Ainsi la validité des résultats obtenus dépend de la pertinence des choix réalisés lors de la modélisation [22].

II.6.2 DONNEES D'ENTREE

La qualité des données d'entrée est un élément majeur impactant fortement la qualité des résultants. Il convient de préciser nature, origine et niveau de précision des données d'entrée.

a. Les données d'entrée pour l'analyse statique

- Environnement du projet et interfaces avec d'autres intervenants ;
- Géométrie ;
- Matériaux ;
- Types et modes d'application des charges.

b. Les données d'entrée pour l'analyse dynamique

Le choix de la réglementation à utiliser est nécessaire, nous avons choisi Euro code8 qui relate toutes les conditions d'utilisation.

II.6.3 METHODE DES ELEMENTS FINIS

La méthode des éléments finis est une méthode numérique de résolution approchée des équations différentielles décrivant les phénomènes physiques de l'ingénierie [2].

▪ **Procédures de base de la méthode des éléments finis**

Les différentes étapes pour l'application de la méthode des éléments finis sont basées sur :

- a. Choix du type d'élément et discrétisation** : on choisit le type d'élément le plus adapté au problème donné, ensuite on discrétise le milieu continu en un certain nombre d'éléments.
- b. Type de l'élément** : la sélection de l'élément sera fonction du type de problème à résoudre, généralement, ils sont groupés en quatre classes : les contraintes planes, la flexion des plaques, les coques et l'analyse tridimensionnelle.
- c. Taille des éléments** : par rapport à la taille, plus le maillage est fin plus les résultats obtenus sont meilleurs, mais en même temps un grand effort de programmation est requis. Le nombre d'éléments utilisés sera la fonction du type de la structure à analyser, mais généralement plus d'éléments sont requis dans les régions où les contraintes varient rapidement que dans les régions où elles varient graduellement.

II.7. CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce deuxième chapitre, il a été présenté différentes méthodes de calcul pour aboutir aux résultats de notre travail. De ce fait, deux méthodes étaient principales dont la méthode d'analyse statique dans laquelle il est présenté les bases de dimensionnement (pré dimensionnement) des éléments structuraux (plancher à corps creux, poutre et poteau) suivant les normes BAEL, mais aussi, la méthode d'analyse dynamique dans laquelle il est démontré des procédures de calculs de spectre des réponses suivant Eurocode 8

Enfin, nous avons présenté le logiciel Robot structural *analysis*, comme étant un outil informatique de modélisation.

CHAPITRE TROISIEME : ANALYSE STRUCTURALE ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Ce chapitre fait l'état d'une étude pratique sur l'influence de la performance des joints parasismiques sur les bâtiments des formes irrégulières en L dans la ville de Goma. Nous avons fait cela en utilisant la méthode présentée au deuxième chapitre.

Pour ce faire, nous avons d'abord procédé à une analyse statistique qui a consisté au pré – dimensionnement et dimensionnement des éléments porteurs. Ensuite nous avons effectué une étude dynamique de la structure du modèle sans joints parasismiques et une autre étude de la même structure séparée en blocs avec les joints parasismiques, et en fin, nous avons dressé une comparaison entre les deux études.

Tous les modèles seront ensuite analysés au moyen du logiciel Robot Structural Analysis Professional.

III.1 PRÉSENTATION DES STRUCTURES

III.1.1 BATIMENT SANS JOINTS PARASISMIQUES

Le bâtiment est conçu sous forme rectangulaire en L, constitué des salles de classe R+3 avec comme mesures totales les valeurs reprises dans les sections suivantes :

a. Dimensions en élévation

- Hauteur totale de bâtiment : **H = 12m**
- Hauteur de RDC : **h = 3m**
- Hauteur d'étage courant : **h = 3**

b. Dimensions en plan

- Longueur totale : L (long) = **88m**
- Largeur totale : L (larg.) = **9m**

La figure 14 présente la vue en plan de la structure conçu par le logiciel Archicad 2020 et la figure 15 présente la vue en élévation sans joint sismique modélisée au moyen du logiciel Robot Structural Analysis Professional.

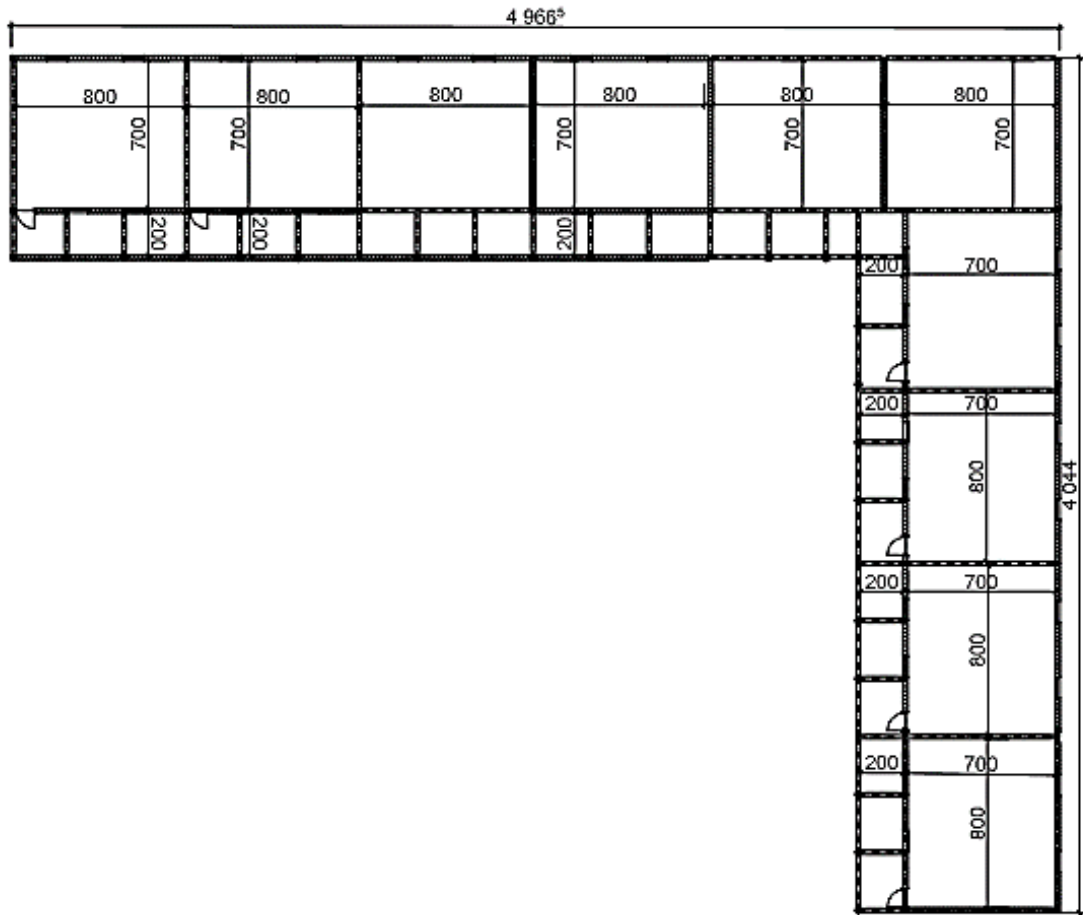


Figure 14. Plan architectural sans joints parasismiques

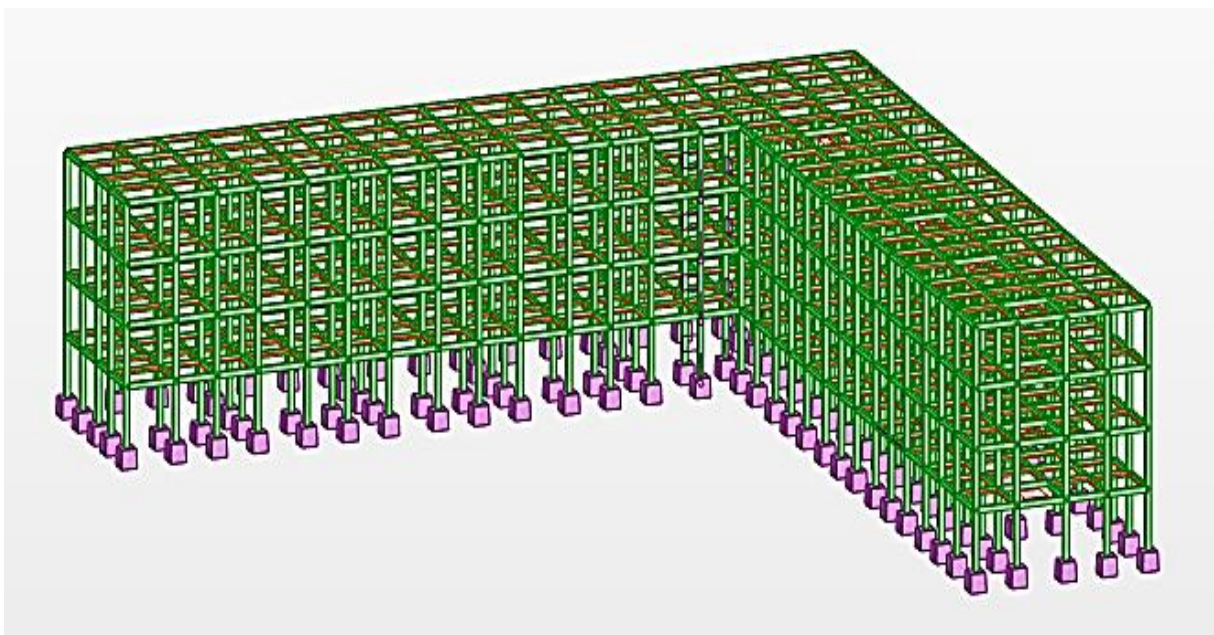


Figure 15. Modélisation de la vue en élévation de la structure sans joint sismique

III.1.2 BATIMENT SEPRE EN BLOC AVEC LE JOINT PARASISMIQUE

Nous avons considéré le joint sismique après chaque 16 mètres, c'est-à-dire après chaque deux salle de de classe par rapport à la longueur. Par conséquent, tous les blocs sont identiques dont la mesure totale du bâtiment est de :

a. Dimensions en élévation

- Hauteur totale de bâtiment : **H = 12m**
- Hauteur de RDC : **h = 3m**
- Hauteur d'étage courant : **h = 3**

b. Dimensions en plan

- Longueur totale : L (long) = **16m**
- Largeur totale : L (larg.) = **9m**

Les résultats dynamiques de chaque bâtiment seront indépendants aux autres bâtiments.

La figure 16 présente la vue en plan et La figure 17 présente la vue en élévation d'une des structures séparées en bloc avec le joint sismique.

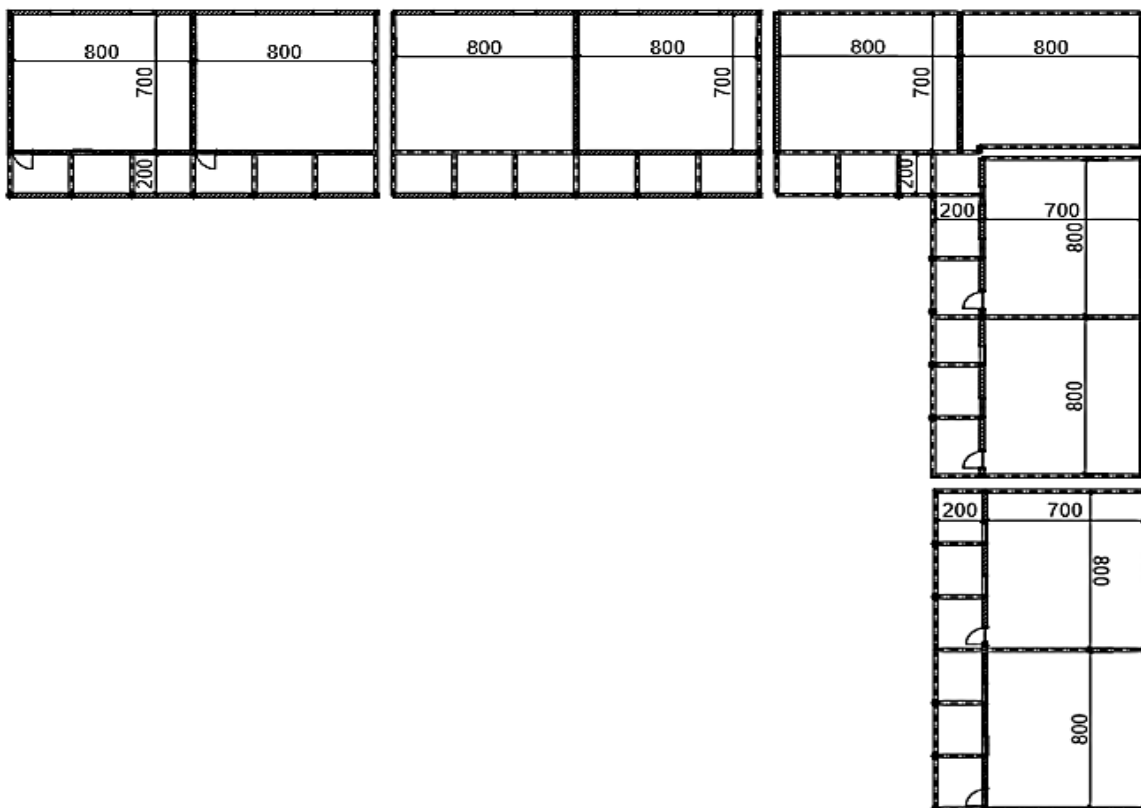


Figure 16. Plan architectural séparé en bloc avec les joints parasismiques

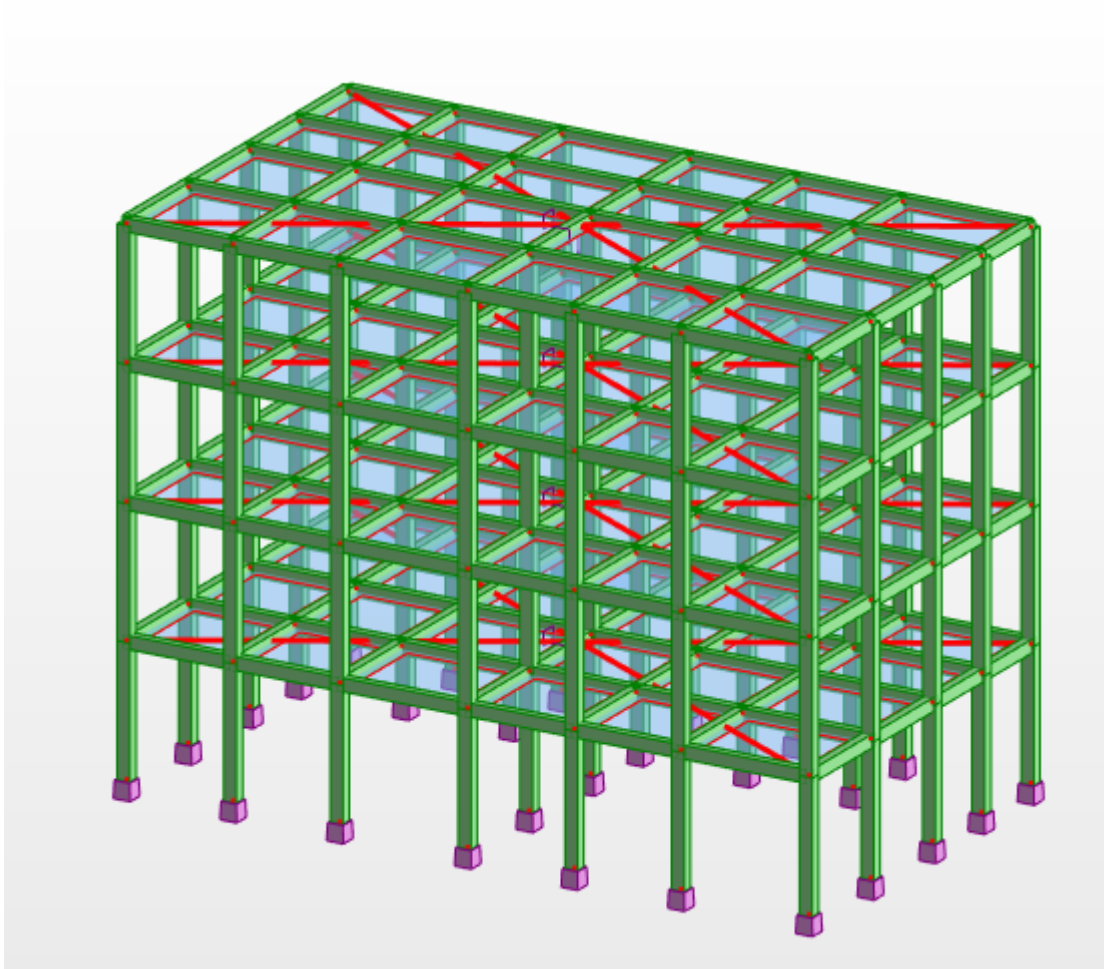


Figure 17. Modélisation de la vue en 3D de la structure séparée en bloc par les joints parasismique.

III. 2. PRÉ DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE

Pour obtenir les dimensions des éléments structuraux tels que le plancher, la poutre, le poteau et les joints sismiques, nous avons utilisé les relations définies au chapitre précédent.

III.2.1. PLANCHERS

Nous avons modélisé notre plancher comme diaphragmes rigides, alors que le plancher en diaphragme rigide est considéré comme planchers en corps creux.

Nous avons fait le pré dimensionnement en respectant les conditions citées dans le chapitre précédent.

Ainsi nous optons pour une épaisseur de **h = 18 cm**

✓ La condition de résistance à la flexion vérifiée par la formule 1

$$\text{Ce qui sera : } h \geq \frac{241}{22,5} = 10,7 \text{ cm} \geq 10,7 \text{ cm}$$

La condition de résistance à la flexion est vérifiée [23].

III. 2. 2. POUTRES

La portée la plus chargée pour notre structure est de longueur **L = 274 cm**

Selon la formule 3, la hauteur de la poutre donne **18,27 ≤ h ≤ 27,4**

D'où nous optons pour **h = 25 cm**

D'où selon la formule 4 nous avons trouvé : **5 ≤ b ≤ 12,5** ; on prend **b = 15 cm** car c'est la valeur minimale que doit avoir la base d'une poutre [11].

Après une vérification RPA 99 version 2003, donnée par la formule 5, les poutres doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- **b ≥ 20 → 15 cm < 20 cm..... (condition non vérifiée)**
- **h ≥ 30 → 25 cm < 30 cm (Condition non vérifiée)**
- **$\frac{h}{b} \leq 4 \rightarrow 1,66 \leq 4..... (Condition vérifiée)$**

Ces conditions ne sont pas vérifiées, donc on opte pour les dimensions suivantes :

- **h = 30 cm**
- **b = 20 cm**

III.2.3. POTEAU

Les dimensions de la section transversale des poteaux selon le RPA99, doivent satisfaire aux conditions 4 dans le deuxième chapitre.

Nous avons défini les sections de notre poteau compatible avec la descente de charge dans le cas le plus défavorable et nous avons obtenu les sections suivantes :

- **b = 25 cm**
- **h = 30 cm**

Ces dimensions ont été simulées à tous les niveaux de la structure.

III.2.4 PRE DIMENSIONNEMENT DE JOINT PARASISMIQUE

Le pré dimensionnement du joint sismique est donné par la formule 11 d'où

$$\delta_{\min} = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

Les joints sismiques qui vont séparer notre bâtiment en bloc seront d'épaisseur minimale de 60 mm (6 cm).

III.3. DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS STRUCTURAUX

Comme annoncé dans le chapitre précédent, le dimensionnement de la structure a été effectué à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis. Il faut signaler que le logiciel effectue automatiquement la descente de charge en fonction des dimensions et des matériaux définis dans le tableau 15 mais également en fonction des charges définis dans le tableau 16.

III. 3.1 DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE

Hypothèse de dimensionnement :

- Fissuration : peu préjudiciable
- Milieu : non agressif
- Béton : $f_{c28} = 25,00$ (MPa) Poids volumique = 2501,36 (kg/m³)
- Armature longitudinale : type Fe E400
- Armature transversale: type Fe E400
- Calculs suivants : BAEL 91 mod. 99

Le tableau 8 et 9, nous donne les différents ferrailages de la poutre et les quantités des matériaux.

Tableau 8. Ferrailage poutre

Armature longitudinale		Chapeaux	Armature transversale
Aciers inférieurs	4HA16	4HA12	12HA6
Aciers supérieurs	2HA12		

Tableau 9. Quantitatif poutre

Volume de Béton	Surface de Coffrage	Acier Fe E400	
		0,16 m ³	2,20 m ²
		Densité	178,64 kg/m ³
		Diamètre moyen	11,7 mm

III. 3.2 DIMENSIONNEMENT DU POTEAU

Hypothèse de dimensionnement :

- Fissuration : peu préjudiciable
- Milieu : non agressif

- Béton : $f_{c28} = 25,00$ (MPa) Poids volumique = 2501,36 (kg/m³)
- Armature longitudinale : type Fe E400
- Armature transversale: type Fe E400
- Calculs suivants : BAEL 91 mod. 99

Les caractéristiques des matériaux ; la géométrie du poteau ; ferrailage du poteau et les quantités des matériaux sont respectivement dans le tableau : 10 ; 11 ; 12 et 13.

Tableau 10. Caractéristiques des matériaux

Béton	Armature longitudinal	Armature transversale	Armature additionnelle
$f_{c28} = 25,00$ MPa	Fe E400	Fe E400	Fe E400

Tableau 11. Géométrie de poteau

Rectangle	Sous dalle	Sous poutre	Enrobage
25 cm x 30 cm	3,15 m	2,85 m	3,0 cm

Tableau 12. Ferrailage de poteau

Armatures principales	Armatures transversale
4HA12	18HA6

Tableau 13. Quantitatif de poteau

Volume de Béton	Surface de Coffrage	Acier Fe E400	
		0,21 m ³	3,14 m ²
Densité	70,14 kg/m ³		
Diamètre moyen	8,5 mm		

III.4. ANALYSE DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE

Dans cette partie d'analyse dynamique, nous avons procédé à une analyse sismique de la structure de deux bâtiments dont : un bâtiment sans joints parasismiques et un autre bâtiment séparé en bloc avec les joints parasismiques. Nous avons placé les joints parasismiques après chaque deux salle des classes.

Les données qui nous intéresseront pour chaque bâtiment seront les contraintes à la torsion, les différentes périodes de vibration, les contraintes globales et la figure qui représente la valeur de la déformation en torsion.

Comme annoncé précédemment, nous avons utilisé la méthode modale spectrale grâce au logiciel Robot Structural *Analysis Professional*.

III.4.1 RÉSULTATS DES ANALYSES MODALES ET SISMIQUES DE LA STRUCTURE SUR LE LOGICIEL RSAP

III.4.1.1. PARAMÉTRAGE DE L'ANALYSE SISMIQUE

Pour obtenir les résultats probants dans l'analyse sismique, il faut bien modéliser et paramétrer suivant les données de la structure en étude.

HYPOTHÈSES DE CALCUL :

- Le règlement à utiliser, nous avons choisi Euro code8 ;
- Le site, la ville de Goma est située dans une zone à sismicité modérée, ce qui correspond à la zone B. la ville de Goma étant dans une région de l'Est Afrique, sa structure du sol est rocheuse suite aux éruption volcanique de ses volcans se trouvant au Nord de la ville. L'éruption récente étant du 22 Mai 2021, la magnitude supérieure enregistrée dans cette période fut de $M_s = 5,2$ en date du 25 Mai à 11h3 minutes heure locale [2] ;
- Le type d'analyse adopté, nous avons opté pour l'analyse modale spectrale ;
- Le coefficient de comportement du bâtiment : 1,2 ;
- *Peak grounds acceleration*: 0,13 m/s²;
- Amortissement de 10% [24]

III.4.1.2. RÉSULTATS DES ANALYSES POUR CHAQUE BÂTIMENT

A. BATIMENT SANS JOINTS PARASISMIQUES

❖ RESULTATS DES ANALYSES MODALES

Au terme de l'analyse modale, les résultats suivants ont été enregistrés :

Tableau 14. Résultats des analyses modales de la structure en forme irrégulière sans joint parasismique

CAS/MODE	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
5/1	0,91	1,1	0,07	84,48	0,07	84,48
5/2	0,97	1,03	23,55	85,63	23,48	1,15
5/3	1,02	0,98	84,84	85,76	61,3	0,13
5/4	2,79	0,36	84,85	95,64	0	9,88
5/5	3,04	0,33	86,74	95,81	1,89	0,17
5/6	3,16	0,32	95,32	95,83	8,58	0,01
5/7	4,72	0,21	95,32	99,04	0	3,22
5/8	5,29	0,19	95,46	99,12	0,14	0,07
5/9	5,49	0,18	98,96	99,12	3,5	0
5/10	6,33	0,16	98,96	99,98	0	0,86

Les 10 modes sont ceux à considérer car ayant plus de 90 % de masse cumulée comme est démontré par la formule II.13 selon UX et selon UY, n'ayant pas de fréquences de rupture et celle du dernier mode est ≥ 5 Hz avec une période de 0,16 sec qui est ≤ 0.20 séc.

❖ RESULTATS D'ANALYSES SISMIQUES

Grâce aux données des 10 premiers modes, nous avons effectué l'analyse sismique de la structure. Les résultats qui nous ont intéressés sont : les différentes périodes de vibration de la structure, les efforts de torsion, les contraintes globales de la structure et la figure qui présente la valeur de la déformation de la structure en torsion.

○ CONTRAINTES GLOBALES DE LA STRUCTURE

Le tableau 15 donne les différentes valeurs des contraintes selon la direction de x du séisme car c'est suivant valeurs en termes de contraintes.

Tableau 15. Valeurs globales des contraintes de la structure sans joint parasis

	S max [kPa]	S min [kPa]	S max (My) [kPa]	S max(Mz) [kPa]	S min(My) [kPa]	S min(Mz) [kPa]	Fx/Ax [kPa]	TY [
MAX	4228,66	-0,18	3479,41	1871,53	-0,17	0	341,73	
Barre	18	1423	180	52	1423	174	120	
Nœud	38	663	5	106	663	113	242	
Cas	6	6	6	6	6	6	6	
Mode	3	3	3	3	3	3	3	
MIN	0,18	-4305,65	0,17	0	-3479,41	-1871,53	-230,03	
Barre	1423	18	1423	174	180	52	22	
Nœud	663	38	663	113	5	106	46	
Cas	6	6	6	6	6	6	6	
Mode	3	3	3	3	3	3	3	

A l'issu de ce tableau, nous avons trouvé la valeur de la contrainte de torsion est max dans la direction de l'axe x sur la barre 449 qui est une poutre se trouvant au premier niveau avec comme longueur 2.5 m et précisément la torsion est engendrée par une sollicitation due au séisme agissant suivant la direction de x (cas 6) et par la 3^{ème}

❖ DEFORMATION EN TORSION

La figure 18 nous représente la valeur de la déformation maximale de la structure engendrée par les contraintes de torsions suivant la direction de x car c'est suivant elle que nous avons la plus grande valeur de contrainte de torsion.

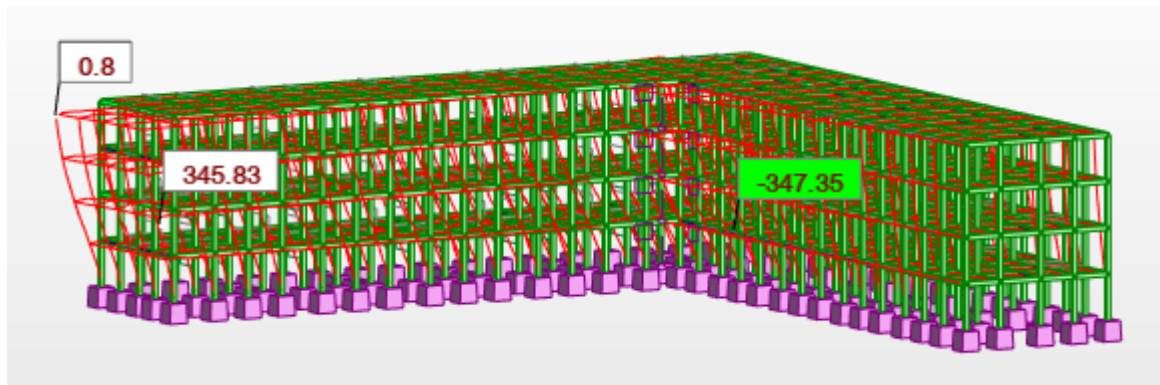


Figure 18. La figure représentant les valeurs de la déformation en torsion de la structure en forme irrégulière sans joints parasismique

❖ RESULTATS DE DEPLACEMENT DANS LA STRUCTURE

Le tableau 16 donne les différentes valeurs des déplacements selon la direction de x du séisme car c'est suivant elle que nous avons les plus grandes valeurs en termes de déplacement

Tableau 16. Les déplacements suivant l'axe x

	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
MAX	0,7	0,5	0,0	0,000	0,000	0,000
Noeud	758	758	758	758	758	758
Cas	6	6	6	6	6	6
Mode	3	3	5	2	CQC	3
MIN	-0,0	-0,5	-0,0	-0,000	-0,000	-0,000
Noeud	758	758	758	758	758	758
Cas	6	6	6	6	6	6
Mode	2	2	CQC	3	6	2

On remarque que le déplacement max est 0,7 cm suivant la direction x et ce déplacement est remarquable au nœud 758 qui se trouve au 4^{ème} niveau

B. BATIMENT SEPRE EN BLOC PAR LES JOINTS PARASISMIQUES

❖ *RESULTATS DES ANALYSES MODALES*

Après l'analyse modale, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau 17. Résultats des analyses modales de la structure séparée en bloc par les joints parasismique

CAS/MODE	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
5/1	1,02	0,98	0,02	85,34	0,02	85,34
5/2	1,11	0,9	78,89	85,38	78,87	0,04
5/3	1,31	0,76	84,81	85,42	5,92	0,04
5/4	3,12	0,32	84,81	95,8	0	10,38
5/5	3,46	0,29	94,39	95,8	9,58	0
5/6	4,02	0,25	95,26	95,81	0,87	0,01
5/7	5,32	0,19	95,26	99,11	0	3,3
5/8	6,04	0,17	98,49	99,11	3,23	0
5/9	6,79	0,15	98,93	99,11	0,44	0
5/10	7,15	0,14	98,93	100	0	0,89

Les 10 modes sont ceux à considérer car ayant plus de 90 % de masse cumulé comme est démontré par la formule II.13 selon UX et selon UY, n'ayant pas de fréquences de rupture et celle du dernier mode est ≥ 5 Hz avec une période de 0,17 sec qui est ≤ 0.20 séc.

❖ *Résultant d'analyse sismique*

Comme l'analyse sismique précédente, nous nous sommes intéressés aux : différentes périodes de vibration de la structure, efforts de torsions, les contraintes globales de la structure et la figure représentant la valeur max de la déformation de la structure en torsion.

❖ **CONSTRAINTES GLOBALES DE LA STRUCTURE**

Le tableau 18, donne les différentes valeurs des contraintes selon la direction de x du séisme comme précédemment car c'est suivant elle que nous avons les plus grandes valeurs en termes de contraintes.

Tableau 18. Valeurs globales des contraintes de la structure séparée en bloc par la

	S max [kPa]	S min [kPa]	S max(My) [kPa]	S max(Mz) [kPa]	S min(My) [kPa]	S min(Mz) [kPa]	Fx/Ax [kPa]	TY [kPa]
MAX	1178,65	-0,05	882,18	728,26	-0,05	0	64,33	
Barre	17	402	46	18	402	57	16	
Nœud	33	187	34	35	187	61	31	
Cas	6	6	6	6	6	6	6	
Mode	3	3	3	3	3	3	3	
MIN	0,05	-1160,06	0,05	0	-882,18	-728,26	-47,68	
Barre	402	11	402	57	46	18	18	
Nœud	187	21	187	61	34	35	35	
Cas	6	6	6	6	6	6	6	
Mode	3	3	3	3	3	3	3	

A l'issus de ce tableau, nous avons trouvé la contrainte de torsion max selon la direction de x sur la barre 130 qui est une colonne se trouvant au 2^{ème} niveau avec comme hauteur de 3 m et précisément la torsion engendrée par une sollicitation due au séisme agissant suivant la direction de x (cas 6) et par la 3^{ème} mode de

❖ DEFORMATION MAXIMALE EN TORSION

La figure 19, représente la valeur de la déformation maximale de la structure engendrée par les contraintes de torsions suivant la direction de x car c'est suivant elle que nous avons la plus grande valeur de contrainte de torsion.

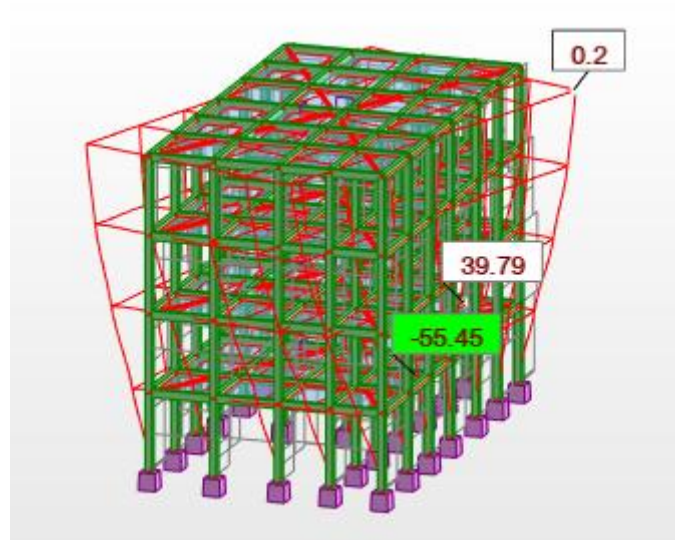


Figure 19. La figure représentant les valeurs de la déformation en torsion de la structure séparée en bloc par les joints parasismiques

❖ RESULTATS DE DEPLACEMENT DANS LA STRUCTURE

Le tableau 19 donne les différentes valeurs des déplacements selon la direction de x du séisme car c'est suivant elle que nous avons les plus grandes valeurs en termes de déplacement

Tableau 19. Déplacements suivant l'axe x

	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
MAX	0,6	0,2	0,0	0,000	0,001	0,000
Noeud	166	169	64	2	16	190
Cas	6	6	6	6	6	6
Mode	2	2	2	2	CQC	2
MIN	-0,1	-0,2	-0,0	-0,000	-0,000	-0,000
Noeud	163	177	60	14	69	194
Cas	6	6	6	6	6	6
Mode	3	2	2	2	2	3

On remarque que le déplacement max est 0,6 cm suivant la direction x et ce déplacement est remarquable au nœud 166 qui se trouve au 4^{ème} niveau.

III.4.2. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

Avec les résultats obtenus précédemment, nous pouvons dégager l'influence des joints parasismique sur la structure en forme irrégulière sans joints parasismique et la structure en forme irrégulière séparé en bloc par les joints parasismique.

III.4.2.1. STRUCTURE EN FORME IRREGULIERE SANS JOINTS PARASISMIQUE

Le tableau 20, nous récapitule le résultat maximal de la structure en forme irrégulière sans joints parasismique en termes de la contrainte de torsion, la barre et le cas de chargement.

Tableau 20. Contraintes de torsions pour la structure en forme irrégulière sans joints parasismiques

	T [kPa]	Déformée [cm]
MAX	345,83	0,8
Barre	449	1642
Cas de charge	6	6
MIN	-347,35	0,0
Barre	345	1642
Cas de charge	6	6

Comme nous pouvons le remarquer dans le tableau 20, la valeur max de la torsion de la structure en forme irrégulière sans joints parasismiques dans la direction de x est de 345,83 kPa.

III.4.2.2 STRUCTURE EN FORME IRREGULIERE SEPARÉE EN BLOC PAR LES JOINTS PARASISMIQUE

Comme le précédent tableau, le tableau 21 nous aide à récapituler des résultats obtenus pour la contrainte maximale de torsion dans la structure en forme irrégulière séparé en bloc par les joints parasismique.

Tableau 21. Contrainte de torsions pour la structure en forme irrégulière séparée en bloc par les joints parasismiques

	T [kPa]	Déformée [cm]
MAX	39,79	0,2
Barre	130	344
Cas de charge	6	6
MIN	-55,45	0,0
Barre	56	344
Cas de charge	6	6

Dans le tableau 21 nous pouvons également voir la valeur max de la torsion de la structure en forme irrégulière séparée en bloc par les joints parasismiques dans la direction de x qui est de 39,79 kPa.

Nous constatons qu'après avoir séparé la structure en forme irrégulière en blocs, il y a une réduction importante des contraintes de torsion dans la structure, soit de 88,48 %. Comme nous pouvons observer les résultats de la contrainte de torsion dans la structure sans joints parasismiques dont la valeur est égale à 345,38 kPa tandis que pour la structure séparée en bloc on a 39,78 kPa, d'où la présence des joints parasismiques s'avère importante dans la structure à forme irrégulière dans des zones sismiques.

Pour le cas du déplacement nous remarquons que la structure à forme irrégulière sans est plus grande soit 0.7 cm par rapport à celle qui a un joint soit de 0.6 cm

III.5. CONCLUSION PARTIELLE

A l'issue de ce chapitre qui a porté sur l'analyse structurale et la présentation des résultats, nous avons procédé à l'analyse statistique et dynamique de la structure grâce au logiciel Robot Structural *Analysis* Professional. L'analyse statistique de la structure nous a conduits à trouver les dimensions des éléments de la structure. Ensuite, en procédant à l'analyse sismique de la structure en forme irrégulière sans joints parasismiques et la structure séparée en blocs par les joints parasismiques, on n'obtient pas les mêmes résultats.

Ainsi dans une zone sismique, le joint parasismique dans la structure en forme irrégulière s'avère très importante en vue d'une réduction de contraintes importantes dans la structure.

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail a traité sur l'influence de la performance des joints parasismiques sur les structures des formes irrégulières en L dans la ville de Goma : application a une structure R+3 servant de bâtiment d'établissement scolaire.

L'objectif général du présent travail est l'analyse de l'influence des joints parasismiques dans les structures en forme irrégulière dans la ville de Goma. Il a été observé qu'après avoir séparé notre structure en forme irrégulière en blocs par les joints parasismiques, il y a une réduction importante de la contrainte de torsion dans la structure, soit de 88,48%. Cela prouve que les irrégularités des formes des structures dans une zone sismique est une augmentation des effets de torsion dans les constructions et qu'il est à la base des vulnérabilités de structures.

Afin d'atteindre cet objectif, on a modélisé deux structures de R+3 dont une structure sans joint parasismique et l'autre avec joint parasismique au moyen du logiciel robot structural analysis. Pour aboutir aux résultats escomptés, nous avons fait recours à la méthode d'analyse statique qui nous a permis de dimensionner notre structure et à la méthode d'analyse dynamique modale spectrale nous a permis d'avoir un spectre de réponses, puis une réponse sismique de la structure.

A l'issus de cette recherche nous avons obtenu que la contrainte de torsion dans la structure sans joint parasismique dont la valeur est de 345,38 kPa tandis que la structure séparée en bloc a une valeur de 39,78 kPa, d'où la présence des joints parasismique s'avère important dans la structure des formes irrégulière dans des zones sismiques car il y a eu une réduction de cette contrainte de 88,48 %. Et la structure sans joint s'est déplacé de 0.7 cm quant à celle avec joint parasismique est de 0.6 cm. Nos résultats ci-dessus viennent affirmer nos hypothèses.

La science étant vaste, raison pour laquelle, le présent travail a traité seulement la partie qui concerne la contrainte de torsion. Nous laissons aux futurs chercheurs qui voudront apporter leur contribution dans le domaine de génie civil d'approfondir les notions des contraintes dans la structure dans des zones sismique.

BIBLIOGRAPHIE

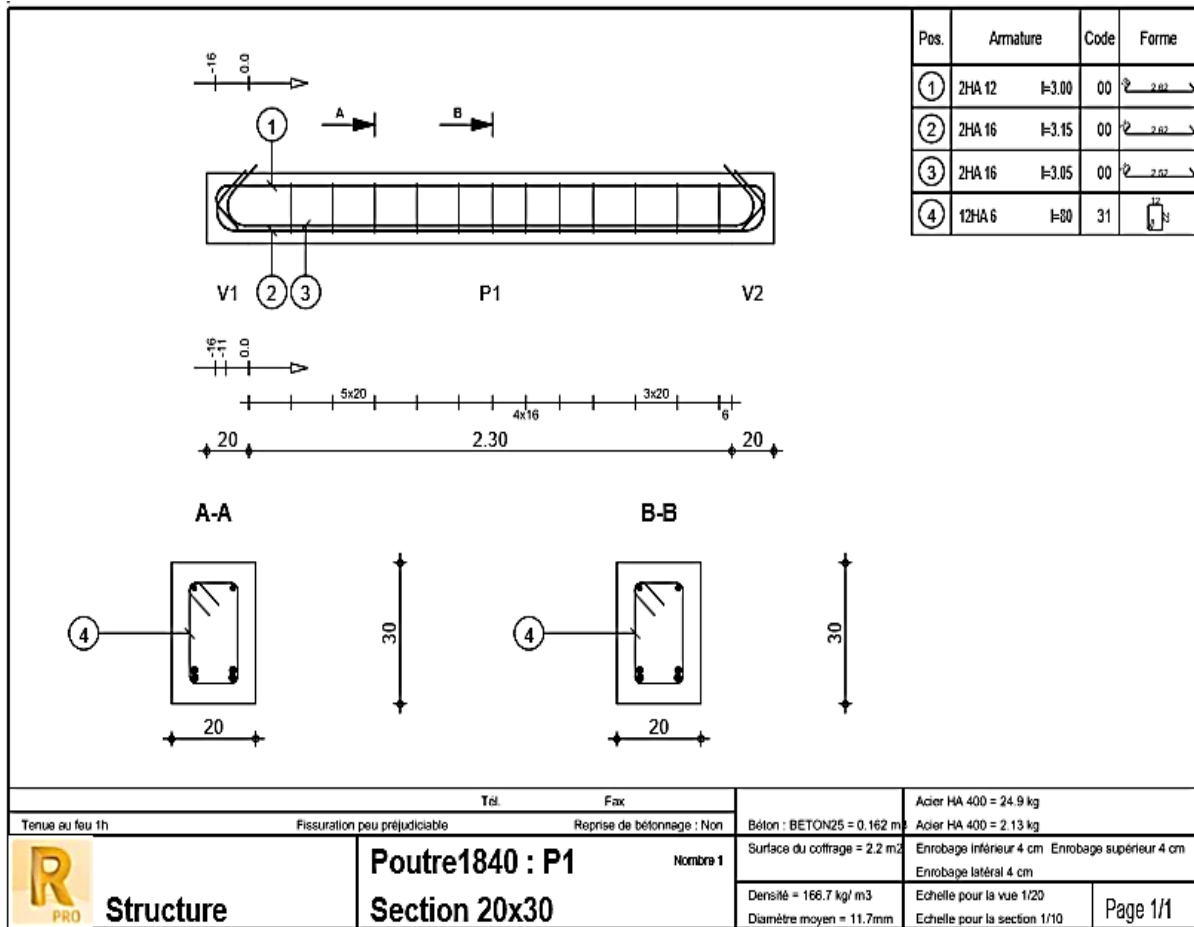
- [1] A. s. p. l. d. e. l. c. Office fédéral des eaux et de la géologie, Éd., vol. 82, 2002, p. 53.
- [2] B. N. Christian, Étude comparative structurale des dispositions constructives parasismiques par joint sismique et par voile en béton armé : application à un immeuble R+6 d'usage commercial dans la ville de Goma, Goma: ULPGL, 2020-2021.
- [3] R. d. M. / S. D. l'Habitat, règlement de construction parasismiques, R.P.S 2002.
- [4] P.-O. Martin, Dimensionnement d'un joint sismique, CTICM, Avril 2020.
- [5] A. Groupe, les joints parasismiques, 75012, paris; 19 Rue de prague.
- [6] <https://BTP-cours.com>, vol. 13, p. 2.
- [7] <https://m.actu-environnement.com>.
- [8] Rapport-gratuit.com, p. 264.
- [9] R. D. D. CONGO, Circulaire N°MINEPSP/CABMIN/0668/2007 du 13/11/07, 2007.
- [10] M. Rafik, Cours ouvrages en béton, Université 8 Mai 1945 - GUELMA, 2014.
- [11] P. LEGRAND, BAEL 91 Et modification 99, 1995.
- [12] M. D. L. E. L'URBANISME, Règle parasismiques Algériennes RPA 99/version 2003, vol. 101, 2003.
- [13] <https://www.techno.science.net>.
- [14] R. Dieudonné, Projet de construction d'une maison résidentiel à 2 niveaux, 2018.
- [15] K. K. Alfred, Analyse structurale d'un bâtiment pénitencier (R+5) contrevete par voile porteur en béton armé : Cas d'une Prison Centrale de Goma., Goma: ULPGL/GOMA, 2019-2020, p. 120.
- [16] NORME FRANÇAISE.
- [17] BOERAEVE, Manuel de Calcul de Béton Armé, INSTITUT GRAMME-UNITE CONSTRUCTION , 2009.
- [18] N. N. Théophile, Analyse sismique d'une tour circulaire r+10 en béton armé d'usage commercial : cas du marché alanine à Goma, Goma: inédit mémoire ULPGL, 2020-2021.
- [19] A. PECKER, dynamique des structures et des ouvrages, 2006 éd., p. 107.
- [20] conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes et document d'application nationale., Eurocode 8 partie 1.2, p. 25.

- [21] support de cours Robot Structural Analysis Professionnal.
- [22] T. STABLON, INITIATION à ROBOT Structural Analysis, Université Paul Sabatier.
- [23] M. W. M. Abdias, cours de béton armé II, Goma: ULPGL/GOMA, 2020-2021.
- [24] A. PECKER, dynamique des structures et des ouvrages, 2006 éd., p. 107.
- [25] A. Capra, Eurocode 8, 2005.

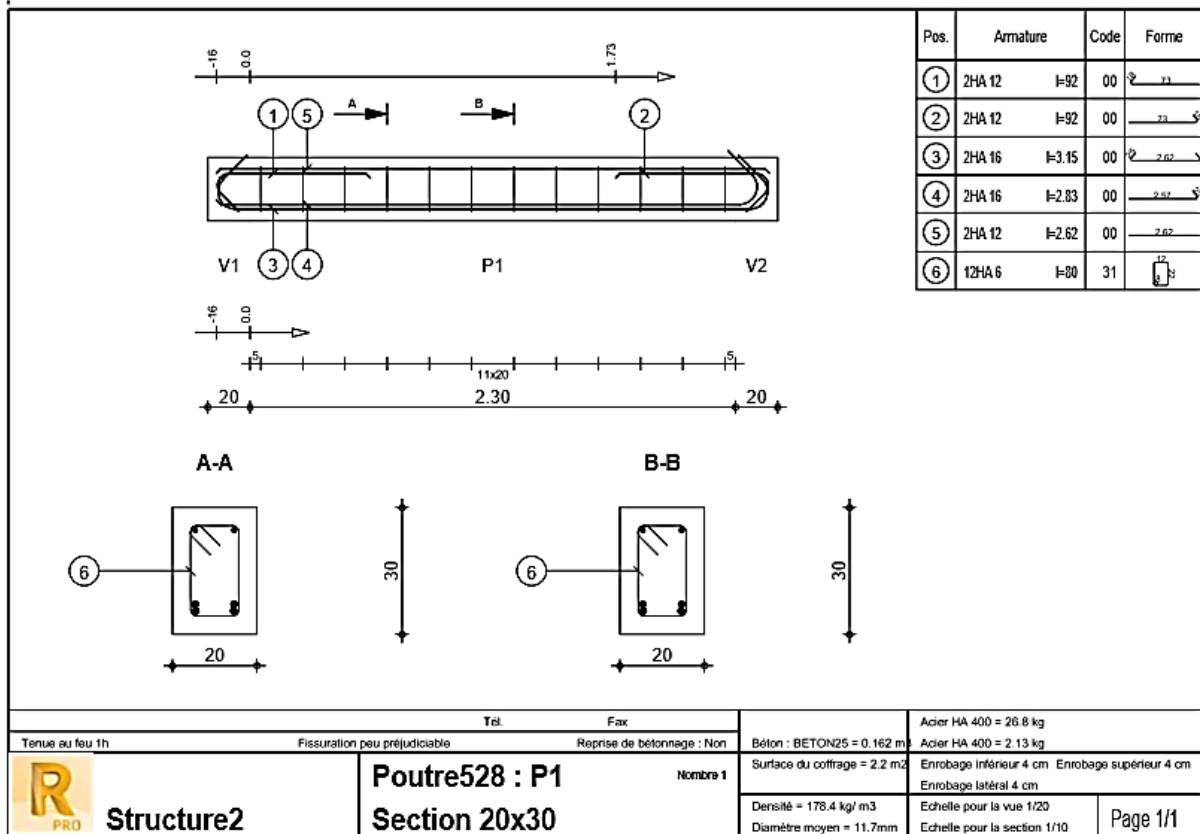
ANNEXES

ANNEXE 1 : ANALYSE STATIQUE

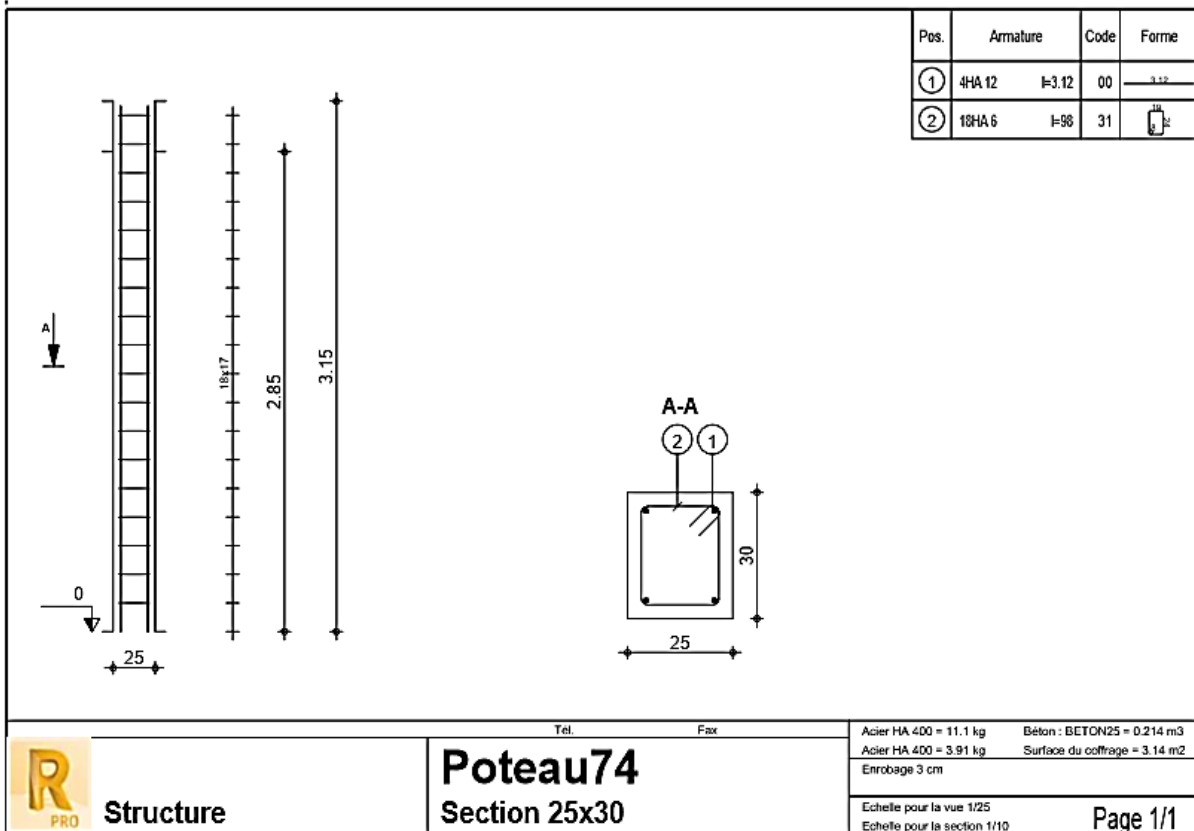
1.1 Schéma de ferrailage de poutres de la structure en forme irrégulière sans joints parasismique



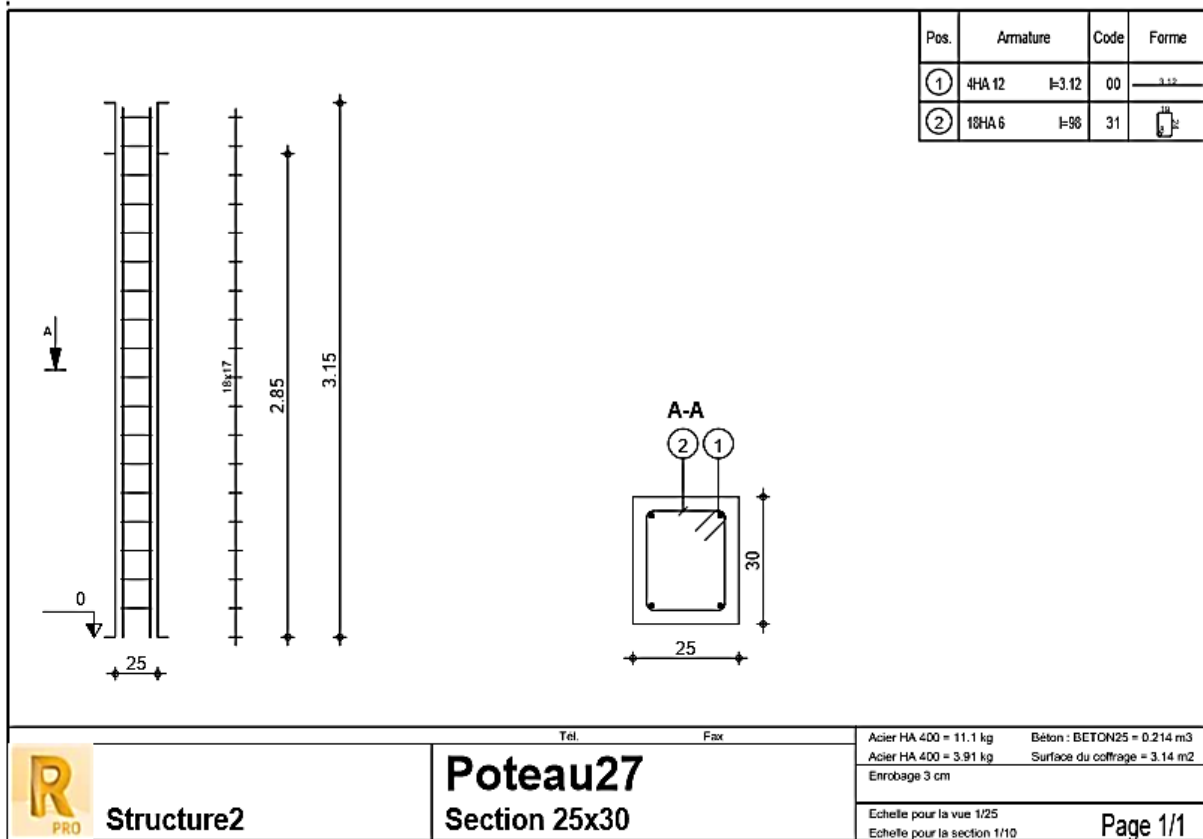
1.2 Schéma de ferrailage de poutres de la structure séparé en bloc par le joint parasismique



1.3 Schéma de ferrailage de poteaux de la structure en forme irrégulière sans joints parasismique

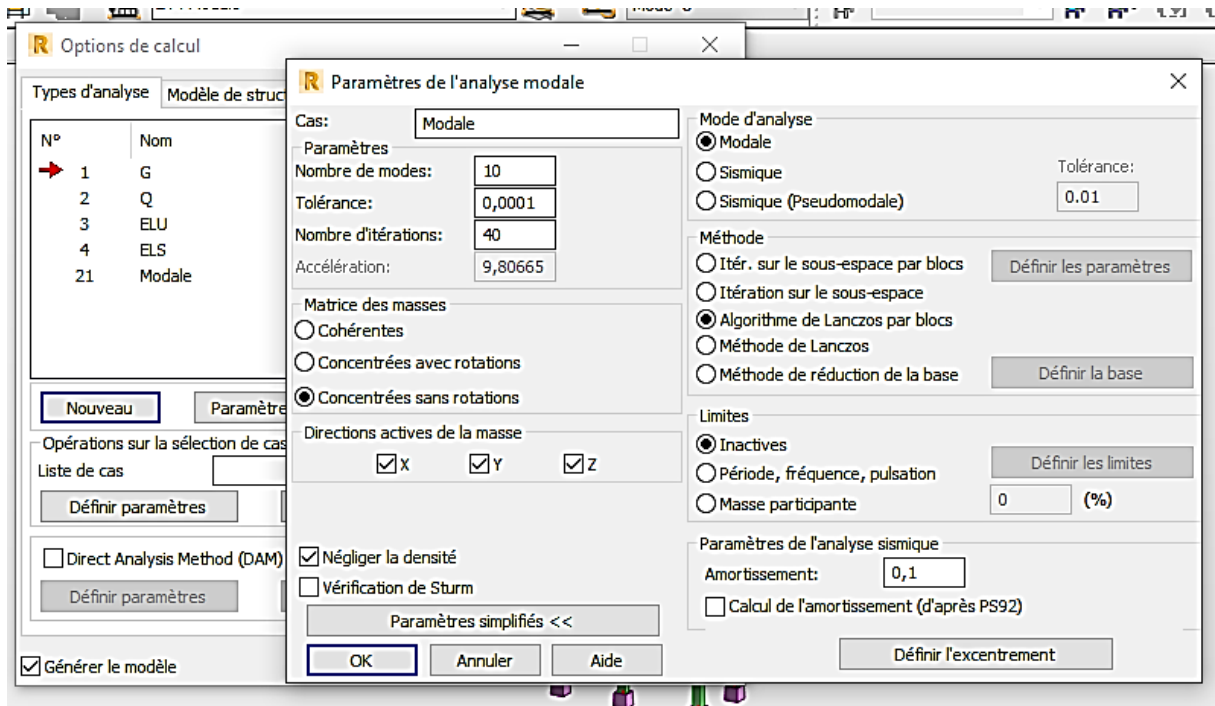


1.4 Schéma de ferrailage de poteaux de la structure séparé en bloc par le joint parasismique

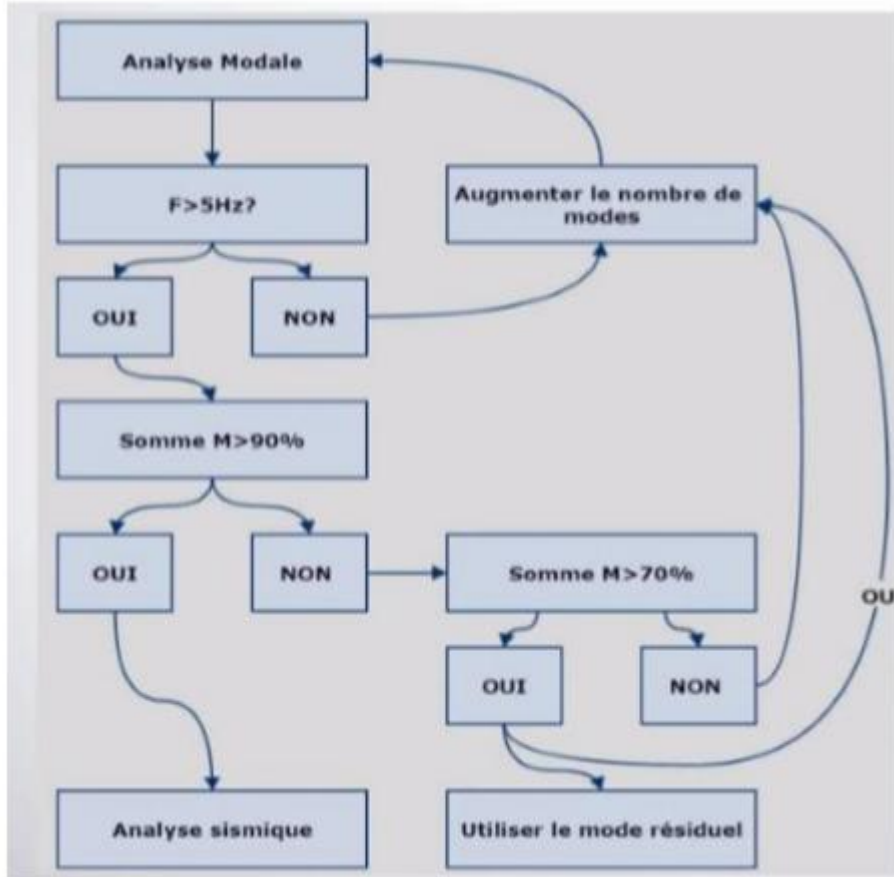


ANNEXE 2 : ANALYSE MODALE SPECTRALE

2.1 Analyse modale



2.2 Vérification de l'analyse modale spectrale et exploitation des résultants



2.3 Analyse sismique

