

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Badji Mokhtar
Faculté Sciences de la Terre
Département d'Architecture



Polycopié de cours destiné aux étudiants en Master I
(Option : construction et architecture)

Construction parasismique



Elaboré par : Dr. MEKKI FERIEL

2020 /2021

Avant-propos

Ce cours intitulé « construction parasismique» a été conçu à l'intention des étudiants de Master I ; spécialité : «Architecture ». Les informations y afférent sont présentées d'une manière simple, concise et illustrée. Elles sont choisies et organisées de la meilleure façon possible afin d'être exhaustives tout en étant également assimilables par l'ensemble des étudiants.

Ce document vise à l'acquisition des connaissances nécessaires pour limiter l'impact des manifestations sismiques sur les constructions ; il décrit les critères de conception et les dispositions techniques à adopter pour permettre aux constructions édifiées en zone sismique de résister aux tremblements de terre. Il est une synthèse tirée de différents ouvrages classiques et des documents électroniques en relation avec le thème.

Je remercie à l'avance les lecteurs qui voudront bien faire part de leurs remarques et de leurs réserves à la lecture de cette approche et je souhaite que cela constituera un appui utile pour nos étudiants.

Illustration de couverture : constructions endommagé par le séisme du 21 Mai 2003 à Boumerdes, Alger.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Avant- propos..... | 1 |
| Sommaire..... | 2 |
| Liste des figures..... | 6 |
| Liste des tableaux..... | 9 |
| Notations et abréviations..... | 10 |
| Introduction | 11 |
| Chapitre 1 : Notions générale de sismologie | |
| 1.1 Introduction..... | 14 |
| 1.2 Définition du séisme | 14 |
| 1.2.1 Les caractéristiques d'un séisme | 15 |
| 1.2.2 Type des séismes selon leurs origines..... | 15 |
| 1.2.2.1 Les séismes d'origine tectonique | 15 |
| 1.2.2.2 Les séismes d'origine volcanique | 15 |
| 1.2.2.2 Les séismes d'origine polaire..... | 15 |
| 1.2.2.4 Les séismes d'origine artificielle..... | 15 |
| 1.2.3 Classification des séismes selon la profondeur | 15 |
| 1.3 Les failles sismiques..... | 16 |
| 1.3.1 Classification des failles selon le mode d'interaction | 16 |
| 1.3.1.1 Les failles normales..... | 16 |
| 1.3.1.2 Les failles inverses..... | 16 |
| 1.3.1.3 Les failles décrochantes..... | 16 |
| 1.4 Les ondes sismiques..... | 17 |
| 1.4.1 Les ondes de volume..... | 17 |
| 1.4.2 Les ondes de surface..... | 18 |
| 1.5 Mesure de l'importance d'un séisme..... | 19 |
| 1.5.1 Echelle d'intensité..... | 19 |
| 1.5.1.1 Echelle universelle de Rossi-Forel..... | 19 |
| 1.5.1.2 L'échelle de Mercalli..... | 19 |
| 1.5.1.3 L'échelle macroscopique internationale d'intensité (EMI)..... | 21 |
| 1.5.1.4 L'échelle de Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)..... | 22 |
| 1.5.1.5 L'échelle macroscopique européenne (EMS98)..... | 22 |
| 1.5.2 Echelle de magnitude..... | 24 |
| 1.5.2.1 Echelle de Richter..... | 24 |
| 1.6 Enregistrement des séismes..... | 24 |
| 1.7 Effet des séismes sur les constructions..... | 25 |
| 1.7.1 Effet des forces horizontales..... | 25 |
| 1.7.2 Effet des forces verticales..... | 25 |
| 1.7.3 Effet de torsion..... | 26 |
| 1.8 Réponse sismiques des constructions..... | 26 |
| 1.9 Conclusion..... | 27 |

| | |
|---|--|
| Chapitre 2 : Choix du site | |
| 2.1 | Introduction..... 29 |
| 2.2 | Choix du site d'implantation 29 |
| 2.2.1 | Présence de faille en surface..... 29 |
| 2.2.2 | Présence de sols meubles d'épaisseur variable..... 29 |
| 2.2.3 | Topographie superficielle accidentée..... 30 |
| 2.2.4 | Bord de falaise..... 30 |
| 2.2.5 | Terrain en pentes..... 31 |
| 2.2.6 | Zone de cavité susceptible d'effondrement..... 31 |
| 2.2.7 | Présence de zone susceptible de liquéfaction..... 32 |
| 2.3 | Reconnaissance géotechniques des sols en zones sismiques..... 33 |
| 2.3.1 | Les moyens de reconnaissance 33 |
| 2.3.1.1 | Essais in situ..... 33 |
| 2.3.1.2 | Essais au laboratoire..... 33 |
| 2.4 | Conclusion..... 34 |
| Chapitre 3 : Le choix architectural | |
| 3.1 | Introduction..... 36 |
| 3.2 | Forme en plan..... 36 |
| 3.2.1 | Symétrie en plan selon les deux axes..... 36 |
| 3.2.1.1 | Solutions permettant de corriger les conséquences de l'asymétrie de la forme des constructions..... 37 |
| 3.2.2 | Simplicité en plan..... 39 |
| 3.2.3 | Compacité en plan..... 39 |
| 3.3 | Forme en élévation..... 39 |
| 3.3.1 | Symétrie et simplicité en élévation..... 39 |
| 3.3.1.1 | Solutions permettant de corriger les effets préjudiciables du retrait..... 40 |
| 3.3.2 | Niveaux en porte à faux..... 41 |
| 3.3.3 | Niveaux souples..... 42 |
| 3.3.3.1 | Solutions permettant d'éviter l'effet de niveaux souples..... 42 |
| 3.3.4 | Configuration de type pendule inversé..... 43 |
| 3.3.5 | Hauteur et élancement des constructions..... 44 |
| 3.3.6 | Couplage des bâtiments..... 44 |
| 3.3.7 | Présence de niveaux décalés..... 45 |
| 3.4 | Conclusion..... 45 |
| Chapitre 4 : Conception parasismique des constructions en ossature en béton armé | |
| 4.1 | Introduction..... 47 |
| 4.2 | Conception des poteaux en zones sismiques..... 47 |
| 4.2.1 | Pré-dimensionnement des poteaux..... 47 |
| 4.2.2 | Disposition concernant la variation des longueurs des poteaux..... 48 |
| 4.2.3 | Poteaux courts et poteaux bridées..... 49 |
| 4.2.3.1 | Poteaux portants des allèges rigides..... 49 |
| 4.2.3.2 | Poteaux de longueurs différentes..... 50 |
| 4.2.3.3 | Poteaux de soubassement..... 51 |

| | | |
|--|---|----|
| 4.2.3.4 | Poteaux supportant des paliers d'escaliers ou rampes d'accès..... | 51 |
| 4.2.3.5 | Poteaux supportant des mezzanines..... | 52 |
| 4.3 | Conception des poutres en zones sismiques..... | 52 |
| 4.3.1 | Pré-dimensionnement des poutres..... | 52 |
| 4.3.2 | Proportion relatives des poteaux et des poutres..... | 53 |
| 4.3.3 | Spécification des nœuds poteaux-poutres..... | 54 |
| 4.4 | Conception des voiles en zones sismiques..... | 55 |
| 4.5 | Le contreventement..... | 56 |
| 4.5.1 | Le contreventement horizontal (diaphragme)..... | 57 |
| 4.5.2 | Le contreventement vertical..... | 57 |
| 4.6 | Conclusion..... | 59 |
| Chapitre 5 : Conception parasismique des constructions en maçonnerie porteuse chaînée | | |
| 5.1 | Introduction..... | 61 |
| 5.2 | Fonctionnement de la maçonnerie porteuse chaînée en zone sismique..... | 61 |
| 5.3 | Exigences réglementaires pour la mise en œuvre des structures en maçonnerie porteuse chaînée..... | 61 |
| 5.3.1 | Dimensions en plan, hauteur de construction et nombre de niveaux..... | 61 |
| 5.3.2 | Répartition et densité des murs..... | 62 |
| 5.3.3 | Les ouvertures..... | 62 |
| 5.3.4 | Encadrement des baies et des ouvertures..... | 63 |
| 5.3.5 | Les chaînages..... | 64 |
| 5.3.5.1 | Les chaînages horizontaux..... | 65 |
| 5.3.5.2 | Les chaînages verticaux..... | 65 |
| 5.3.5.3 | Les chaînages inclinés..... | 66 |
| 5.3.5.4 | Nœuds des chaînages | 66 |
| 5.4 | Spécifications concernant les matériaux utilisés pour la maçonnerie porteuse chaînée..... | 66 |
| 5.4.1 | Spécifications concernant les blocs à maçonner..... | 66 |
| 5.4.2 | Spécifications concernant les mortiers..... | 67 |
| 5.4.3 | Spécifications concernant les armatures..... | 67 |
| 5.4.4 | Spécifications concernant le béton..... | 67 |
| 5.5 | Conclusion..... | 67 |
| Chapitre 6: Conception parasismique des constructions à ossature métallique | | |
| 6.1 | Introduction..... | 69 |
| 6.2 | Fonctionnement des constructions à ossature métallique en zones sismiques..... | 69 |
| 6.3 | Classification des structures métalliques selon le règlement parasismique algérien (le RPA 99 / version 2003) et les exigences réglementaires pour leur mise en œuvre en zone sismique..... | 70 |
| 6.3.1 | Structures à cadre..... | 70 |
| 6.3.1.1 | Portiques autostables ductiles..... | 70 |
| 6.3.1.2 | Cadres autostables ordinaires..... | 73 |
| 6.3.2 | Les structures contreventées..... | 73 |
| 6.3.2.1 | Les palées triangulées en X..... | 73 |

| | | |
|--|---|-----|
| 6.3.2.2 | Les palées triangulées en V..... | 74 |
| 6.4 | Exigences pour les diaphragmes..... | 74 |
| 6.5 | Exigences pour l'ancrage des poteaux métalliques dans l'infrastructure..... | 75 |
| 6.6 | Exigences pour les éléments non structuraux..... | 75 |
| 6.6.1 | Les remplissages maçonnés..... | 75 |
| 6.6.2 | Fixation des bardages..... | 76 |
| 6.6.3 | Fixation des murs -rideaux..... | 76 |
| 6.7 | Conclusion..... | 77 |
| Chapitre 7 : Conception des fondations en zones sismiques | | |
| 7.1 | Introduction..... | 79 |
| 7.2 | Les fondations superficielles..... | 79 |
| 7.2.1 | Les semelles isolées..... | 79 |
| 7.2.2 | Les semelles filantes..... | 80 |
| 7.2.3 | Les radiers..... | 80 |
| 7.3 | Les fondations profondes..... | 81 |
| 7.4 | Dispositions spécifiques de conception des fondations en zones sismiques..... | 82 |
| 7.4.1 | Homogénéisation du système de fondation..... | 82 |
| 7.4.2 | Solidarisation des points d'appuis..... | 83 |
| 7.4.3 | Fondations sur un terrain en pente..... | 83 |
| 7.4.4 | Vérification de la stabilité au renversement..... | 84 |
| 7.5 | Les joints..... | 85 |
| 7.5.1 | Joint de rupture..... | 85 |
| 7.5.2 | Joint waterstop..... | 85 |
| 7.6 | Isolation parasismique..... | 86 |
| 7.6.1 | Les différents types d'appuis parasismiques..... | 86 |
| 7.6.1.1 | Appuis à déformation..... | 87 |
| 7.6.1.2 | Appuis à glissement..... | 87 |
| 7.6.1.3 | Appuis à déformation et à glissement..... | 87 |
| 7.6.1.4 | Appuis à roulement..... | 88 |
| 7.6.2 | Système d'amortissement parasismique..... | 88 |
| 7.6.2.1 | Amortisseur hystérique..... | 88 |
| 7.6.2.2 | Amortisseur visqueux..... | 89 |
| 7.6.2.3 | Amortisseurs à frottement..... | 89 |
| 7.7 | Conclusion..... | 90 |
| Références bibliographiques..... | | 91 |
| Annexes | | |
| Annexe A | Réglementation parasismique Algérienne..... | 96 |
| Annexe B | Classification des zones sismiques en Algérie..... | 97 |
| Annexe C | Classification des sites | 98 |
| Annexe D | Classification des ouvrages selon leurs importances..... | 99 |
| Annexe E | Textes législatifs et réglementaires..... | 101 |

Liste des figures

| | | |
|--------------------|--|----|
| Chapitre 1 | | |
| Figure 1.1 | Mouvement des plaques tectonique et océanique [1]..... | 14 |
| Figure 1.2 | Naissance de séisme, formation des ondes [2]..... | 14 |
| Figure 1.3 | Faille normale [5]..... | 16 |
| Figure 1.4 | Faille inverse [5]..... | 16 |
| Figure 1.5 | Faille décrochante [5]..... | 17 |
| Figure 1.6 | Onde primaire [6]..... | 17 |
| Figure 1.7 | Onde secondaire [6]..... | 18 |
| Figure 1.8 | Onde de Love [6]..... | 18 |
| Figure 1.9 | Onde de Rayleigh [6]..... | 18 |
| Figure 1.10 | Schéma simplifié d'un sismographe [13]..... | 22 |
| Figure 1.11 | Effet du séisme sur les constructions [14]..... | 24 |
| Figure 1.12 | Effet des forces horizontales sur les constructions [1]..... | 25 |
| Figure 1.13 | Effet des forces verticales sur les constructions [1]..... | 25 |
| Figure 1.14 | Effet de la torsion sur les constructions [1]..... | 26 |
| Figure 1.15 | Modélisation d'une construction..... | 26 |
| Figure 1.16 | Amplification des oscillations par un ressort | 27 |
| Chapitre 2 | | |
| Figure 2.1 | Présence de failles en surface [15]..... | 29 |
| Figure 2.2 | Destruction d'une construction implantée sur un sol meuble qui est un amplificateur de secousses [15]..... | 30 |
| Figure 2.3 | Amplification des secousses par le relief accidenté [15]..... | 30 |
| Figure 2.4 | Effondrement et écoulement des falaises causé par le séisme [15]..... | 31 |
| Figure 2.5 | Déplacement de la construction par un glissement de terrain causé par le séisme [15]..... | 31 |
| Figure 2.6 | Effondrement brutal des constructions implantées sur des sols comportant des cavités causées par le séisme [15]..... | 32 |
| Figure 2.7 | Liquéfaction du sol saturé d'eau causé par le séisme [15]..... | 32 |
| Chapitre 3 | | |
| Figure 3.1 | Phénomène de torsion [15]..... | 36 |
| Figure 3.2 | Phénomène de concentration de contraintes [15]..... | 36 |
| Figure 3.3 | Limites de décrochement en plan [16]..... | 37 |
| Figure 3.4 | Largeur minimale du joint sismique [16]..... | 37 |
| Figure 3.5 | Compensation d'une mauvaise distribution de la rigidité par des voiles en béton armé | 38 |
| Figure 3.6 | Variation progressive de la rigidité [17]..... | 38 |
| Figure 3.7 | Renforcement des angles entrants..... | 38 |
| Figure 3.8 | Isolation parasismique [18]..... | 39 |
| Figure 3.9 | Fractionnement des constructions de grandes dimensions horizontales par des joints sismiques..... | 39 |
| Figure 3.10 | Concentration des contraintes au niveau des retraits [17]..... | 40 |
| Figure 3.11 | Limites de décrochement en élévation [16]..... | 40 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figure 3.12 | Fractionnement des constructions avec retrait par des joints sismiques [17].. | 40 |
| Figure 3.13 | Retrait progressif de la structure [17]..... | 41 |
| Figure 3.14 | Oscillation verticales des porte-à-faux | 41 |
| Figure 3.15 | Comportement des niveaux souples sous charges sismiques [15]..... | 42 |
| Figure 3.16 | Contreventement des niveaux transparents par des palées de stabilité ou murs de contreventement [17]..... | 42 |
| Figure 3.17 | Variation progressive de la rigidité horizontale des niveaux souples..... | 42 |
| Figure 3.18 | Egalisation de la rigidité de tous les niveaux [17]..... | 43 |
| Figure 3.19 | L'isolation des niveaux transparents par des appuis sismiques [17]..... | 43 |
| Figure 3.20 | Construction en forme de pendule inversée | 43 |
| Figure 3.21 | Influence de l'élancement sur la période d'oscillation de la construction [17]..... | 44 |
| Figure 3.22 | Elargissement des constructions vers le bas qui permet de réduire la période fondamentale d'oscillation et de baisser le centre de gravité [17]..... | 44 |
| Figure 3.23 | Destruction de passerelles due d'une part à des oscillations différentielles et, d'autre part aux dommages subis par le bâtiment de droite (séisme de Kobé, Japon, 17.1.1995) [17]..... | 45 |
| Figure 3.24 | Solutions à envisager dans le cas des constructions comportant des niveaux décalés [15]..... | 45 |
| Chapitre 4 | | |
| Figure 4.1 | Dimensions des poteaux..... | 48 |
| Figure 4.2 | Poteaux à section non constantes [17]..... | 48 |
| Figure 4.3 | Cisaillement du poteau court et poteau bridé [15]..... | 49 |
| Figure 4.4 | Poteaux bridés par des allèges [15]..... | 49 |
| Figure 4.5 | Solutions visant à remédier l'effet du poteau court [15]..... | 50 |
| Figure 4.6 | Poteaux de hauteur variable [17]..... | 50 |
| Figure 4.7 | Poteaux en soubassement [15]..... | 51 |
| Figure 4.8 | Poteaux supportant des paliers d'escalier..... | 51 |
| Figure 4.9 | Poteaux supportant des mezzanines..... | 52 |
| Figure 4.10 | Condition à respecter lorsque les dimensions de la poutre et du poteau sont différentes [16]..... | 53 |
| Figure 4.11 | Localisation des rotules plastiques | 54 |
| Figure 4.12 | Configuration des nœuds [15]..... | 54 |
| Figure 4.13 | Dimensionnement d'un nœud poteau- poutre [16]..... | 55 |
| Figure 4.14 | Coupe de voile en élévation [16]..... | 55 |
| Figure 4.15 | Condition pour le dimensionnement de l'épaisseur d'un voile [16]..... | 56 |
| Figure 4.16 | Prise en compte des murs en retours [16]..... | 56 |
| Figure 4.17 | Présentation schématique de la transmission des charges sismiques par les diaphragmes sur les murs de contreventement [15]..... | 57 |
| Figure 4.18 | Stabilisation d'une file de poteaux par des éléments verticaux de contreventement..... | 58 |
| Figure 4.19 | Largeur des éléments verticaux de contreventement | 58 |
| Figure 4.20 | Distances entre les éléments de contreventement..... | 58 |
| Figure 4.21 | Disposition des éléments de contreventement par rapport au centre de gravité | 58 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figure 4.22 | Contreventement formant un noyau central..... | 59 |
| Figure 4.23 | Dispositions verticales des éléments de contreventement..... | 59 |
| Chapitre 5 | | |
| Figure 5.1 | Emplacement et taille des ouvertures [16]..... | 63 |
| Figure 5.2 | Encadrement en béton armé [16]..... | 64 |
| Figure 5.3 | Disposition des chaînages verticaux, horizontaux et inclinés Encadrement en béton armé [19]..... | 64 |
| Figure 5.4 | Exemple de chaînage horizontal [19]..... | 65 |
| Figure 5.5 | Exemple de chaînage vertical [20]..... | 65 |
| Figure 5.6 | Exemple de liaisons entre chaînages horizontaux et chaînages verticaux [20] | 66 |
| Chapitre 6 | | |
| Figure 6.1 | Construction métallique [22]..... | 69 |
| Figure 6.2 | Assemblage poteau –poutre [23]..... | 72 |
| Figure 6.3 | Assemblage poutre –poutre [23]..... | 72 |
| Figure 6.4 | Assemblage poteau –fondation [23]..... | 72 |
| Figure 6.5 | Palées triangulées centrique en X [16]..... | 74 |
| Figure 6.6 | Palées triangulées centrique en V [16]..... | 74 |
| Figure 6.7 | Pied de poteau encastré avec platine d’extrémité [24]..... | 75 |
| Figure 6.8 | Armature de maçonnerie de remplissage [24]..... | 75 |
| Figure 6.9 | Chute de bardage mal fixé [24]..... | 76 |
| Figure 6.10 | Déformation du mur-rideau [24]..... | 76 |
| Chapitre 7 | | |
| Figure 7.1 | Semelle isolée [25]..... | 80 |
| Figure 7.2 | Semelle filante [25]..... | 80 |
| Figure 7.3 | Radier en béton armé [26]..... | 81 |
| Figure 7.4 | La mise en œuvre des pieux battus [27]..... | 82 |
| Figure 7.5 | La mise en œuvre des pieux forés [27]..... | 82 |
| Figure 7.6 | Pente limite pour les fondations sur un sol en pente | 84 |
| Figure 7.7 | Liaison par longrines | 84 |
| Figure 7.8 | Liaison par voile d’une épaisseur minimale de 15 cm | 84 |
| Figure 7.9 | Joint de rupture [28]..... | 85 |
| Figure 7.10 | Joint waterstop [29]..... | 85 |
| Figure 7.11 | Oscillation des structures avec et sans appuis parasismiques | 86 |
| Figure 7.12 | Isolateur sur les massifs de fondations [24]..... | 86 |
| Figure 7.13 | Appui à déformation [30]..... | 87 |
| Figure 7.14 | Appui à glissement [31]..... | 87 |
| Figure 7.15 | Appui à déformation et à glissement [18]..... | 87 |
| Figure 7.16 | Appui à roulement [18]..... | 88 |
| Figure 7.17 | Association des isolateurs avec un système d’amortissement [24]..... | 88 |
| Figure 7.18 | Amortisseur hystérique [17]..... | 89 |
| Figure 7.19 | Amortisseur visqueux [32]..... | 89 |
| Figure 7.20 | Amortisseur à frottement [17]..... | 89 |
| Annexes | | |
| Figure A.1 | Carte de zonage sismique en Algérie [16]..... | 97 |

Liste des tableaux

| | | |
|--------------------|---|----|
| Chapitre 1 | | |
| Tableau 1.1 | L'échelle de Mercalli [9]..... | 20 |
| Tableau 1.2 | L'échelle EMI [10]..... | 21 |
| Tableau 1.3 | L'échelle MSK 64 [11]..... | 22 |
| Tableau 1.4 | L'échelle EMS 98 [12]..... | 23 |
| Chapitre 4 | | |
| Tableau 4.1 | Dimensions minimales des poteaux rectangulaires [16]..... | 47 |
| Tableau 4.2 | Dimensions minimales des poteaux circulaires [16]..... | 48 |
| Chapitre 5 | | |
| Tableau 5.1 | La hauteur du bâtiment et le nombre de niveau en fonction des zones sismiques [16]..... | 61 |
| Tableau 5.2 | La distance maximale entre les murs porteurs en fonction des zones sismiques [16]..... | 62 |
| Chapitre 6 | | |
| Tableau 6.1 | Valeurs maximales du rapport b/t [16]..... | 71 |
| Chapitre 7 | | |
| Tableau 7.1 | Valeurs des coefficients de sécurité partiels (γ) [16]..... | 81 |
| Tableau 7.2 | Dimensions des longrines en fonction de la catégorie du site [16]..... | 83 |
| Tableau 7.3 | Valeurs du coefficient (α) [16]..... | 83 |
| Annexes | | |
| Tableau C.1 | Classification des sites [16]..... | 98 |

Notations principales et abréviations

Lettres grecques

| | | |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| ρ | : Densité du milieu..... | [N.s ² /m ⁴] |
| ν | : Coefficient de poisson..... | [-] |
| λ | : Constante de Lamé..... | [-] |
| α | : Coefficient qui dépend de la zone sismique et de la catégorie du site | [-] |
| γ | : Coefficient de sécurité partielle..... | [-] |
| δ_1 | : Déplacement maximal du bloc N°1..... | [m] |
| δ_2 | : Déplacement maximal du bloc N°2..... | [m] |
| ε_y | : Déformation élastique correspondant à la limite d'élasticité f_y | [-] |
| ε_u | : Déformation élastique correspondant à la limite d'élasticité f_u | [-] |

Lettres latines

| | | |
|------------|--|---------------------|
| A_0 | : Aire de la section de l'éprouvette..... | [m ²] |
| A_r | : allongement à la rupture d'une éprouvette normalisée, mesuré sur une longueur de $(5,65.\sqrt{A_0})$ | [m] |
| d_{\min} | : Largeur minimale du joint sismique..... | [m] |
| E | : Module d'élasticité dynamique..... | [N/m ²] |
| E | : Action des charges accidentelles..... | [KN] |
| F | : Effort de traction..... | [KN] |
| f_u | : Résistance à la traction minimale spécifiée..... | [MPa] |
| f_y | : Résistance limite d'élasticité minimale spécifiée..... | [MPa] |
| G | : Module de cisaillement dynamique..... | [N/m ²] |
| G | : Action des charges permanentes..... | [KN] |
| k | : Raideur..... | [N/m] |
| N | : Effort normal..... | [KN] |
| Q | : Action des charges d'exploitation..... | [KN] |
| Q_{pl} | : Charge limite de pointe..... | [KN] |
| Q_{sl} | : Charge limite de frottement..... | [KN] |
| q_u | : Résistance ultime..... | [KN] |
| V_s | : Vitesse de propagation des ondes secondaires..... | [m/s] |
| V_p | : Vitesse de propagation des ondes primaires..... | [m/s] |
| x | : Le déplacement..... | [m] |

Abréviations

| | |
|-------|--|
| CBR | : California bearing ratio |
| DTR | : Document technique réglementaire |
| EMI | : L'échelle macroscopique internationale d'intensité |
| EMS98 | : L'échelle macrosismique européenne |
| MSK | : L'échelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik |
| RPA | : Règlement parasismique algérien |
| SPT | : Standard penetration test |

Introduction

Le séisme est l'un des phénomènes naturels le plus meurtrier et le plus destructeur qui cause le plus de dégâts dans les zones urbanisées. L'homme doit faire face et apprendre à vivre avec, dans son environnement. Si les mécanismes des tremblements de terre sont aujourd'hui mieux connus, tant du point de vue de leurs origines que de leurs propagations, ils restent encore des phénomènes imprévisibles. Il est important de souligner que ce ne sont pas les secousses telluriques qui tuent, mais l'effondrement des constructions sur leurs occupants.

Il est donc essentiel de prévenir les dommages sismiques graves en construisant des ouvrages résistant aux séismes pour éviter les pertes de vie humaines et limiter les dommages matériels.

Ce cours a pour objectif de donner à des étudiants de spécialité « Architecture » des notions scientifiques et techniques dans le domaine de la construction parasismique depuis les phases de définition du projet jusqu'aux phases de réalisation pour une bonne mise en œuvre afin d'éviter tout désastre lors d'un séisme conformément aux exigences de la réglementation parasismique en vigueur. Cet ouvrage pédagogique est constitué de sept chapitres qui s'enchaînent et se complètent dont les contenus sont brièvement décrits ci-dessous :

Le premier énoncé est consacré à la présentation des notions générales de sismologie ; notamment la théorie de la tectonique des plaques qui explique l'origine des séismes, les ondes sismiques ainsi que leur vitesse de propagation et les différentes échelles de mesure des tremblements de terre de même que leurs impacts sur les constructions.

Le deuxième chapitre aborde l'incidence du site et la nature du sol sur les constructions pendant les séismes et expose les différents essais utilisés pour l'identification des sols.

Le troisième point expose les principes de base à suivre pour une bonne conception architecturale en plan et en élévation afin d'éviter l'effondrement des constructions pendant les secousses telluriques.

Le quatrième chapitre décrit les prescriptions nécessaires au dimensionnement des éléments de structure en béton armé coulé en place (poteaux, poutres et voiles).

Le cinquième chapitre traite des règles de mise en œuvre de la maçonnerie porteuse chaînée en zone sismique.

Le sixième chapitre indique les dispositions constructives des ossatures métalliques en zone sismique.

Enfin, le septième et le dernier chapitre concerne la conception des fondations en zones sismiques et décrit la technique d'isolation parasismique.

Tous ces points retenus se terminent par un résumé synthétique. Des informations complémentaires sur l'historique de la réglementation parasismique algérienne, sur la classification des zones sismiques, sur la classification des sites ainsi que la classification des ouvrages selon leurs importances et sur les textes législatifs et réglementaires sont fournies en annexes.



Chapitre I
Notions générales de sismologie

Chapitre 1 : Notions générales de sismologie

1.1 Introduction:

Les plaques continentales et océaniques qui constituent la croûte terrestre se déplacent à la surface de la planète sous l'effet des courants thermiques (Fig.1.1). Dans la croûte terrestre existent différentes plaques qui se différencient par la manière dont elles agissent : certaines se séparent, d'autres s'opposent, quelques unes se déplacent simplement l'une sur l'autre. Ces plaques se déplacent de façon lente et à une vitesse moyenne de 1 cm à 15 cm par an. Ces mouvements produisent des déformations qui génèrent des forces qui dépassent la résistance des matériaux et finissent par libérer les énergies accumulées, c'est ce qui produit les séismes [1].

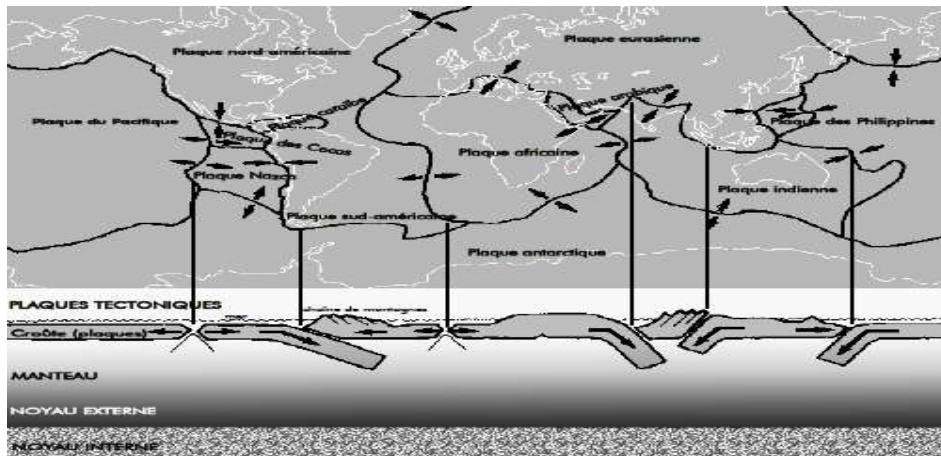


Figure 1.1 Mouvement des plaques tectonique et océanique [1]

1.2 Définition du séisme:

Un séisme, ou tremblement de terre, c'est un phénomène naturel brusque et soudain ; Il correspond à une fracturation des roches en profondeur le long d'une faille généralement préexistante. Cette rupture s'accompagne d'une libération d'énergie qui se traduit en surface par des vibrations du sol (Fig.1.2).

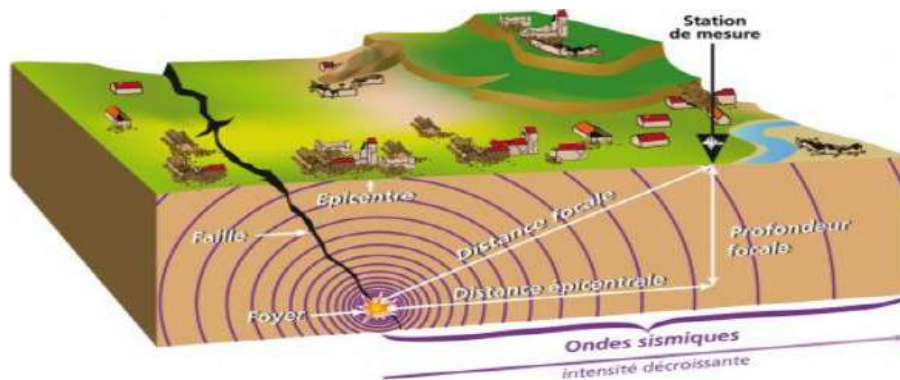


Figure 1.2 Naissance de séisme, formation des ondes [2]

1.2.1 Les caractéristiques d'un séisme:

Un séisme est caractérisé par :

- Le foyer (ou hypocentre) : c'est l'endroit de la faille où commence la rupture et d'où partent les premières ondes sismiques (Fig.1.2).
- L'épicentre: point situé à la surface terrestre à la verticale du foyer (Fig.1.2).
- La magnitude : intrinsèque à un séisme, elle traduit l'énergie libérée par le séisme. Elle s'obtient par la mesure de l'amplitude des ondes enregistrées par un sismomètre ; la plus connue est celle de Richter.
- L'intensité : elle mesure les effets et dommages du séisme en un lieu donné. Ce n'est pas une mesure objective par des instruments, mais une appréciation de la manière dont le séisme se traduit en surface et dont il est perçu.

1.2.2 Types des séismes selon leurs origines:

Les séismes sont classés selon leur mode de génération ; on distingue quatre types :

1.2.2.1 Les séismes d'origine tectonique:

Ils sont les plus fréquents et les plus dévastateurs .Ils occasionnent le plus de dégâts à la surface de la terre.

1.2.2.2 Les séismes d'origine volcanique:

Ils sont dus aux mouvements des magmas dans les chambres magmatiques des volcans [3].

1.2.2.3 Les séismes d'origine polaire:

Ils sont dus aux cassures des glaciers qui se produisent lorsque l'avancée des coulées de glace est irrégulière. Le nombre de séismes de ce type est en hausse depuis plusieurs années, à cause du réchauffement climatique [4].

1.2.2.4 Les séismes d'origine artificielle:

Ils sont appelés aussi séismes induits ; ils sont dûs à certaines activités humaines telles que les extractions minières, les explosions souterraines ou nucléaires.

1.2.3 Classification des séismes selon la profondeur:

Les séismes sont classés selon la profondeur des foyers en trois classes :

- Les séismes superficiels : la profondeur du foyer est inférieure à 70 km. Ils représentent près de 90% de l'ensemble des séismes.
- Les séismes intermédiaires : le foyer est situé entre 70 km et 300 km de profondeur. Ils se concentrent uniquement au voisinage de la limite convergente.
- Les séismes profonds : la profondeur du foyer est situé entre 300 km et 700 km ; ceux sont les plus rares.

1.3 Les failles sismiques :

1.3.1 Classification des failles selon le mode d'interaction:

Une faille est une fracture le long de laquelle deux compartiments de la croûte se sont déplacés de chaque côté l'un relativement à l'autre. Selon le mode d'interaction ; il existe trois types de failles :

1.3.1.1 Les failles normales:

Elles sont appelées ainsi parce que la déformation entraîne un étirement des deux compartiments (Fig.1.3).

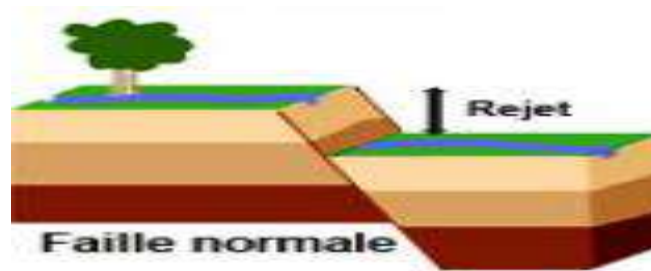


Figure 1.3 Faille normale [5]

1.3.1.2 Les failles inverses:

Ces failles qu'on appelle également chevauchantes. A l'inverse du cas précédent, les deux blocs sont poussés l'un vers l'autre par des forces de compression (Fig.1.4).

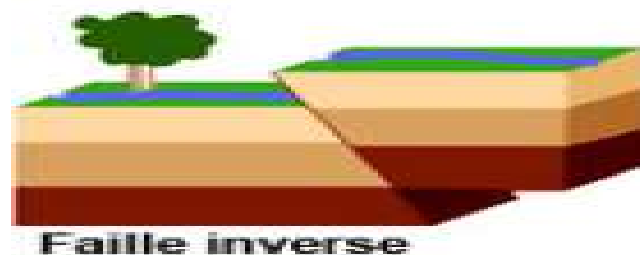


Figure 1.4 Faille inverse [5]

1.3.1.3 Les failles décrochantes:

Les failles en décrochement provoquent un déplacement des blocs uniquement dans le sens horizontal (Fig.1.5).

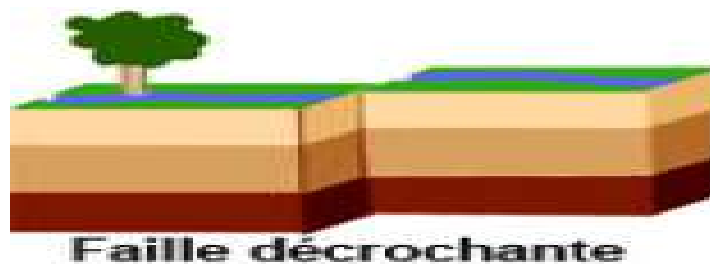


Figure 1.5 Faille décrochante [5]

1.4 Les ondes sismiques:

Les ondes sismiques libérées par la rupture sur la faille, se propagent dans toutes les directions. La connaissance des caractéristiques des différents types d'ondes et de leurs modes de propagation permet de comprendre leur action sur une structure donnée en fonction de la nature du site et de sa distance au foyer.

1.4.1 Les ondes de volume:

Elles se propagent à l'intérieur de la terre. Leur vitesse de propagation dépend du sol traversé et d'une manière générale elles augmentent avec la profondeur. On distingue :

- Les ondes primaires (ondes P) :

Appelées aussi ondes de compression ou ondes longitudinales (Fig.1.6). Elles se propagent dans la croûte terrestre avec une vitesse de 6 à 8 km/s .Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de leur propagation.

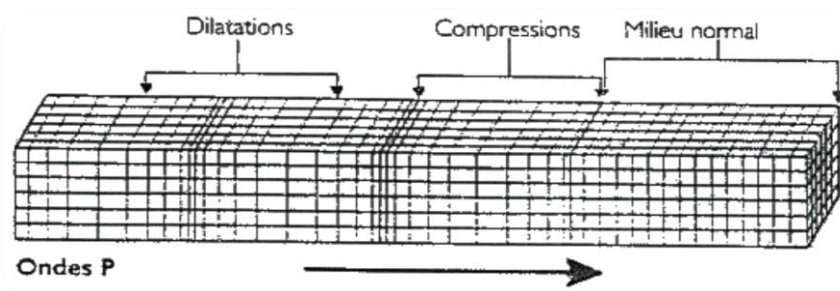


Figure 1.6 Onde primaire [6]

La vitesse de propagation des ondes primaire est donnée par la formule suivante :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)}} \quad (1.1)$$

- Les ondes secondaires (ondes S) :

Appelées aussi ondes de cisaillement. Elles se propagent dans la croûte terrestre avec une vitesse de 3 à 5 km/s et s'accompagne d'une distorsion dans le plan perpendiculaire à la

direction de propagation (Fig.1.7), provoquant un cisaillement sans changement de volume [7]. La vitesse de propagation des ondes secondaires est exprimée par l'expression suivante :

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (1.2)$$

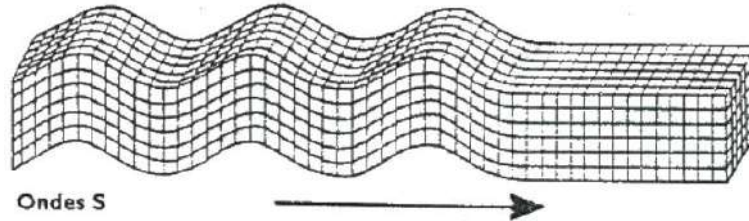


Figure 1.7 Onde secondaire [6]

1.4.2 Les ondes de surface:

Elles sont générées par l'arrivée des ondes de volume à la surface de la terre. On distingue principalement :

- Les ondes de Love :

Le déplacement est essentiellement le même que celui des ondes secondaires (Fig.1.8). Les ondes de Love provoquent de nombreux dégâts aux fondations des édifices.

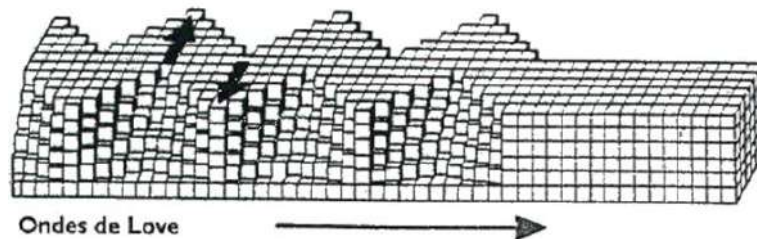


Figure1.8 Onde de Love [6]

- Les ondes de Rayleigh :

Le déplacement est complexe, c'est un mouvement à la fois horizontal et vertical, elliptique (Fig.1.9).

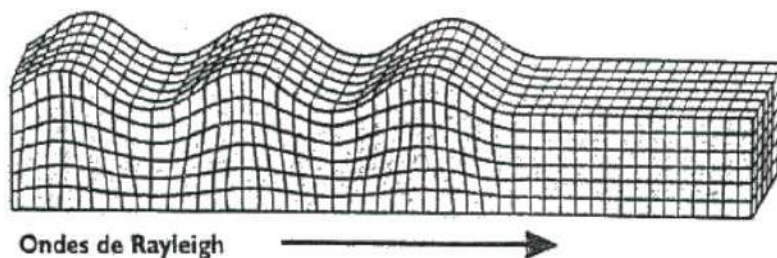


Figure1.9 Onde de Rayleigh [6]

1.5 Mesure de l'importance d'un séisme:

Avant l'invention des instruments de mesure modernes, les séismes ont été qualitativement mesurés par leur intensité et magnitude qui varient d'un point à un autre.

1.5.1 Echelles d'intensité:

Elles sont basées sur l'observation des dommages structurels constatés lors des séismes.

1.5.1.1 L'échelle universelle de Rossi-Forel :

Elle c'est l'une des premières échelles de classification de l'intensité des séismes. Elle est fondée sur les dégâts causés et elle a été établie à la fin du XIX^e siècle par François Alphonse Forel et Michele Stefano de Rossi. Elle a été remplacée en 1902 par l'échelle de Mercalli [8].

L'échelle universelle de Rossi-Forel distingue dix degrés d'intensité sismique [8].

- **Intensité I** : secousse microscopique, enregistrée par un seul sismographe ou par des sismographes de même modèle, mais non par plusieurs sismographes de différents types ; la secousse a été ressentie par un observateur averti [8] ;
- **Intensité II** : secousse extrêmement faible. Enregistrée par plusieurs sismographes de différents types, elle a été ressentie par un petit nombre de personnes au repos [8] ;
- **Intensité III** : secousse très faible. Ressentie par plusieurs personnes en repos, assez forte pour que la direction et la durée puissent être appréciées [8] ;
- **Intensité IV** : secousse faible. Ressentie par des personnes en mouvement : ébranlement d'objets mobiles, portes, fenêtres, craquement de plafond [8] ;
- **Intensité V** : secousse d'intensité modérée. Ressentie généralement par tous : déplacement de meubles, lits, etc., tintement de quelques cloches [8] ;
- **Intensité VI** : secousse assez forte. Réveil général de ceux qui se sont endormis ; sonnerie générale des cloches, oscillation des lustres, arrêt des pendules, agitation visible des arbres et des arbustes, quelques personnes effrayées quittent leur demeure [8] ;
- **Intensité VII** : secousse forte : renversement des objets mobiliers, chute de plâtre, sonnerie des cloches d'églises, panique générale, sans dégâts pour les édifices [8] ;
- **Intensité VIII** : secousse très forte : chute de cheminées, lézardes dans les murs des édifices [8] ;
- **Intensité IX** : secousse extrêmement forte : destruction partielle ou totale de quelques édifices [8] ;
- **Intensité X** : secousse d'une extrême intensité : grand désastre, ruines, glissements de terrains, crevasses dans la terre, dans les montagnes, avalanche de rochers [8] ;

1.5.1.2 L'échelle de Mercalli:

L'échelle de Mercalli porte le nom de Giuseppe Mercalli, sismologue et volcanologue italien ; elle est basée sur l'observation des effets et des conséquences constatés lors d'un séisme en un lieu donné. Elle est graduée de I à XII comme le montre le tableau 1.1.

| Degrés | Étendue des dégâts observés |
|--------|---|
| I | Aucun mouvement n'est perçu. Le séisme n'est détecté que par des instruments sensibles et quelques personnes dans des conditions particulières. |
| II | Quelques personnes peuvent sentir un mouvement si elles sont au repos et/ou dans les étages élevés de grands immeubles. |
| III | À l'intérieur de bâtisses, beaucoup de gens sentent un léger mouvement. Les objets suspendus bougent. En revanche, à l'extérieur, rien n'est ressenti. |
| IV | À l'intérieur, la plupart des gens ressentent un mouvement. Les objets suspendus bougent, mais aussi les fenêtres, plats, assiettes, loquets de porte. |
| V | La plupart des gens ressentent le mouvement. Les personnes sommeillant sont réveillées. Les portes claquent, la vaisselle se casse, les tableaux bougent, les petits objets se déplacent, les arbres oscillent, les liquides peuvent déborder de récipients ouverts. |
| VI | Tout le monde sent le tremblement de terre. Les gens ont la marche troublée, les objets et les tableaux tombent, le plâtre des murs peut se fendre, les arbres et les buissons sont secoués. Des dommages légers peuvent se produire dans des bâtiments mal construits, mais aucun dommage structural. |
| VII | Les gens ont du mal à tenir debout. Les conducteurs sentent leur voiture secouée. Quelques meubles peuvent se briser. Des briques peuvent tomber des immeubles. Les dommages sont modérés dans les bâtiments bien construits, mais peuvent être considérables dans les autres. |
| VIII | Les chauffeurs ont du mal à conduire. Les maisons avec de faibles fondations bougent. De grandes structures telles que des cheminées ou des immeubles, peuvent se tordre et se briser. Les bâtiments bien construits subissent de légers dommages, contrairement aux autres qui en subissent de sévères. Les branches des arbres se cassent. Les collines peuvent se fissurer si la terre est humide. Le niveau de l'eau dans les puits peut changer. |
| IX | Tous les immeubles subissent de gros dommages. Les maisons sans fondations se déplacent. Quelques conduits souterrains se brisent. La terre se fissure. |
| X | La plupart des bâtiments et leurs fondations sont détruites. Il en est de même pour quelques ponts. Des barrages sont sérieusement endommagés. Des éboulements se produisent. L'eau est détournée de son lit. De larges fissures apparaissent sur le sol. Les rails de chemin de fer se courbent. |
| XI | La plupart des constructions s'effondrent. Des ponts sont détruits. Les conduits souterrains sont détruits. |
| XII | Presque tout est détruit. Le sol bouge en ondulant. De grands pans de roches peuvent se déplacer. |

Tableau 1.1 L'échelle de Mercalli [9]

1.5.1.3 L'échelle macroscopique internationale d'intensité (EMI):

L'échelle de Mercalli était modifiée par la suite et adaptée internationalement sous le nom d'échelle macroscopique internationale d'intensité. Elle est graduée de I à XII comme c'est indiqué sur le tableau 1.2.

| Degrés | Étendue des dégâts observés |
|--------|--|
| I | Secousse imperceptible par l'homme, inscrite seulement sur les sismographes. |
| II | Secousses ressenties par un petit nombre d'observateurs et surtout ceux situés aux étages supérieures des maisons |
| III | Secousses ressenties par un certain nombre d'habitants, comme le serait l'ébranlement produit par une voiture lancée à grande vitesse, la direction et la durée de la secousse peuvent être appréciés. |
| IV | Ebranlement constatés par quelques personnes en plein air, par beaucoup à l'intérieur des maisons ; vibration des vaisselles, craquement des planchers et des plafonds. |
| V | Ebranlement constaté par toute population ; réveil des dormeurs ; ébranlement de meubles et de lits. |
| VI | Des personnes effrayées sortent des habitations, tintement général des sonnettes, arrêt des pendules, crépis fendillé, vaisselle brisée, chute de plâtre. |
| VII | Maisons légèrement endommagées, lézardes dans les murs, chute de cheminées isolées en mauvais état ; écroulement des minarets de mosquées |
| VIII | Sérieux dommages, fentes béantes dans les murs, chute de la plupart des cheminées, renversement ou rotations des statuts, des monuments funéraires, fissures dans les pentes raides ou dans les terrains humides, chutes des rochers en montagne. |
| IX | De solides maisons de construction sont sérieusement endommagées, un grand nombre rendues inhabitables ; d'autres s'écroulent plus ou moins complètement. |
| X | La plupart des bâtiments en pierre et en charpente sont détruits avec leurs fondations, des fentes se creusent dans les murs en briques, des rails de chemins de fer légèrement recourbés, des dommages aux ponts, des tuyaux de conduite brisés ou refoulés les uns dans les autres, des fentes et plis ondulés dans les rues, des éboulements, l'eau de rivière et de lacs est projetée sur le rivage. |
| XI | Destruction totale des bâtiments en pierre, des ponts, des digues, de larges déchirures et crevasses dans le sol, grand éboulement de terrain. |
| XII | Rien ne demeure des œuvres humaines, changement dans la topographie, formations de grands failles ; dislocations horizontales et cisaillement du sol, rivières détournées de leurs cours |

Tableau 1.2 L'échelle EMI [10]

1.5.1.4 L'échelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK):

En 1964, une nouvelle échelle était proposée sous la désignation MSK64. Elle est plus précise que l'échelle de Mercalli. Elle tient compte des dégâts des constructions et des modifications de l'aspect du terrain et également des effets psychologiques sur les personnes.

Sa définition a été revue en 1981 sous le sigle MSK81, puis elle a fini par être intégrée en 1998. Elle est reproduite sur le tableau 1.3.

| Degré | Dégâts observés |
|-------|---|
| I | Seuls les sismographes très sensibles enregistrent les vibrations. |
| II | Secousses à peine perceptibles; quelques personnes au repos ressentent le séisme. |
| III | Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un petit camion. |
| IV | Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un gros camion. |
| V | Séisme ressenti en plein air; les dormeurs se réveillent. |
| VI | Les meubles sont déplacés. |
| VII | Quelques lézardes apparaissent dans les édifices. |
| VIII | Les cheminées des maisons tombent. |
| IX | Les maisons s'écroulent. Les canalisations souterraines sont cassées. |
| X | Destruction des ponts et des digues. Les rails de chemin de fer sont tordus. |
| XI | Les constructions les plus solides sont détruites. Grands éboulements. |
| XII | Les villes sont rasées. Bouleversements importants de la topographie. Fissures visibles à la surface. |

Tableau 1.3 L'échelle MSK 64 [11]

1.5.1.5 L'échelle macrosismique européenne (EMS98):

L'échelle macrosismique européenne est une échelle de mesure de l'intensité d'un tremblement de terre et aussi de la gravité et de la nature et impacts d'un tremblement de terre, à partir de ses effets sur l'homme, sur les objets sur l'environnement et sur les bâtiments [12]. Elle comporte 12 degrés comme l'indique le tableau 1.4.

| Intensité EMS | Définition | Description des effets typiques observés |
|---------------|---------------------------------|--|
| XII | Catastrophe généralisée | Pratiquement tous les bâtiments sont détruits. |
| XI | Catastrophe | La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent, même ceux ayant une bonne conception parasismique sont détruits. |
| X | Destructions importantes | De nombreux bâtiments bien construits s'effondrent. |
| IX | Destructions | Panique générale. De nombreuses constructions peu solides s'écroulent. Même des bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants: défaillances sérieuses des murs et effondrement structural partiel. |
| VIII | Dégâts importants | De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout. Beaucoup de maisons ont de larges fissures dans les murs. Quelques bâtiments ordinaires bien construits présentent des défaillances sérieuses des murs, tandis que des structures anciennes peu solides peuvent s'écrouler. |
| VII | Dégâts | La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Les meubles se déplacent et beaucoup d'objets tombent des étagères. De nombreuses maisons ordinaires bien construites subissent des dégâts modérés: petites fissures dans les murs, chutes de plâtres, chutes de parties de cheminées; bâtiments plus anciens pouvant présenter de larges fissures dans les murs et de la défaillance des cloisons de remplissage. |
| VI | Dégâts légers | De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Chute d'objets. De nombreuses maisons subissent des dégâts non structuraux comme de très fines fissures et des chutes de petits morceaux de plâtre. |
| V | Fort | Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart, à l'extérieur par quelques personnes. De nombreux dormeurs se réveillent. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans leur ensemble. Les objets suspendus se balancent fortement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment. |
| IV | Largement observé | Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur ressenti par très peu de personnes. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent. |
| III | Faible | Ressenti à l'intérieur des habitations par quelques personnes. Les personnes au repos ressentent une vibration ou un léger tremblement. |
| II | Rarement ressenti | Ressenti uniquement par quelques personnes au repos dans les maisons. |
| I | Non ressenti | Non ressenti. |

Tableau 1.4 L'échelle EMS 98 [12]

1.5.2 Echelle de magnitude:

1.5.2.1 Echelle de Richter:

La notion de magnitude a été introduite pour la première fois en 1935 par le sismologue américain Charles Francis Richter. Elle caractérise l'énergie libérée par la rupture de la faille ; plusieurs catégories de magnitude peuvent être utilisées pour caractériser les séismes :

- **Magnitude locale M_l** : définie pour les séismes locaux (de courte distance, profondeur inférieure à 30 KM. Elle dépend d'une relation entre la distance d'enregistrement et l'amplitude maximale observée [3];
- **Magnitude des ondes de surfaces M_s** : valable pour toute les distances. Elle est calculée à partir des ondes de surfaces de Rayleigh et caractérise les séismes importants de faibles profondeur [3];
- **Magnitude des ondes de volumes M_v** : elle est calculée à partir des ondes de compressions (P) et elle est généralement utilisée pour les séismes profonds qui ne génèrent pas d'ondes de surface [3];
- **Magnitude de durée M_d** : calculée pour les petits séismes [3];
- **Magnitude de moment M_m** : directement reliée au moment séismique du séisme. Elle est utilisée pour les séismes importants [3];

1.6 Enregistrement des séismes:

Au cours d'un séisme, les vibrations provoquées par la rupture de la croûte terrestre se transmettent à partir du point de rupture. L'appareil qui enregistre et mesure les tremblements de terre s'appelle un sismographe (Fig.1.10). La courbe dessinée par le sismographe s'appelle : sismogramme.

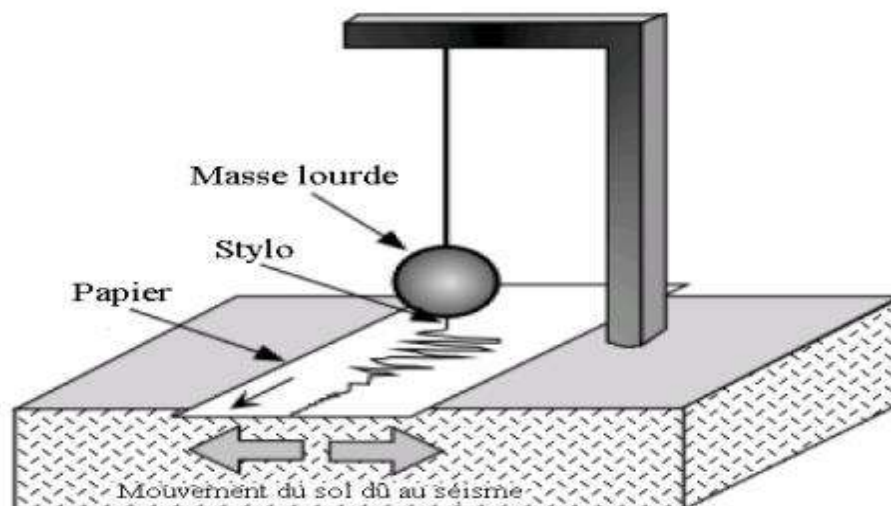


Figure 1.10 Schéma simplifié d'un sismographe [13]

1.7 Effet des séismes sur les constructions:

Quand un séisme se produit, les constructions sont secouées (Fig.1.11) simultanément par des mouvements verticaux, des forces horizontales et de torsion et elles réagissent au séisme en fonction de leurs caractéristiques : forme ; rigidité de la structure et types des matériaux.

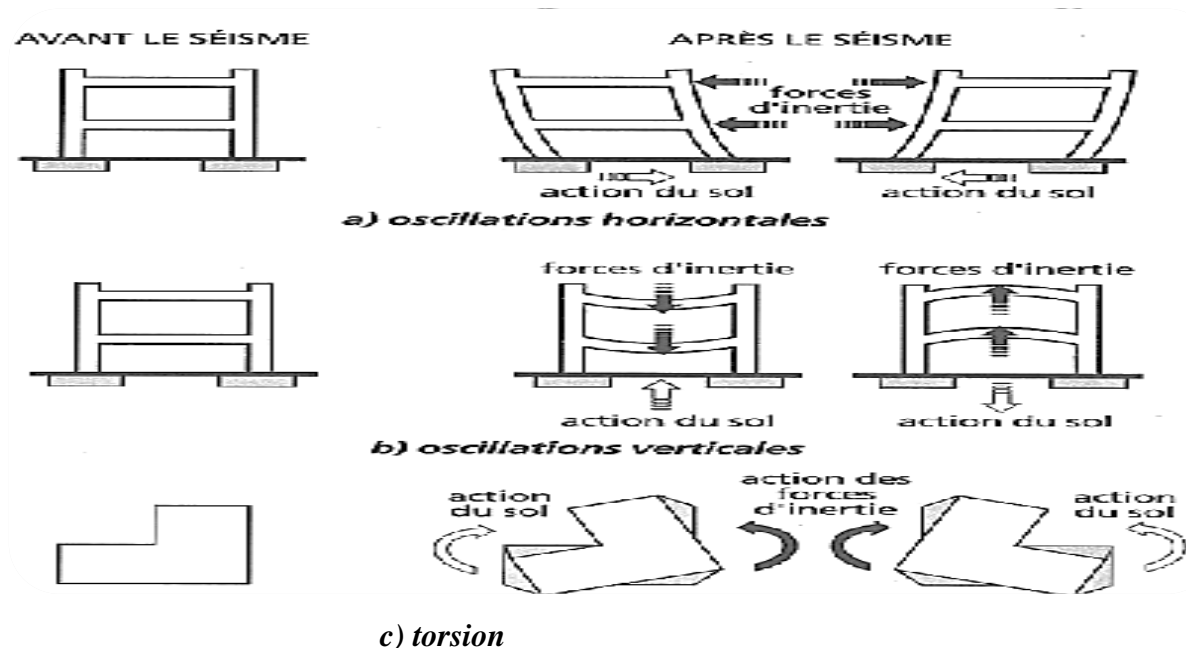


Figure 1. 11 Effet du séisme sur les constructions [14]

1.7.1 Effet des forces horizontales:

Le passage des ondes sismiques provoque des vibrations du sol générant dans les constructions des forces horizontales (Fig.1.12) qui engendrent la flexion et le cisaillement des murs.

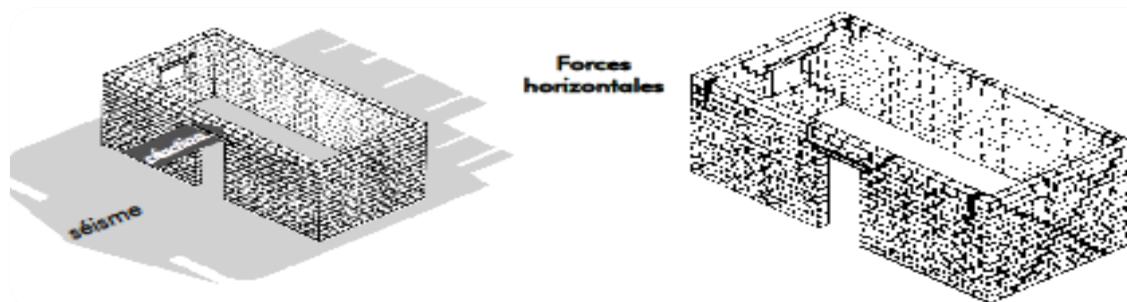


Figure 1.12 Effet des forces horizontales sur les constructions [1]

1.7.2 Effet des forces verticales:

Les effets des forces verticales qui se produisent durant le tremblement de terre (Fig.1.13), sont minimes, seuls seront affectées les structures de toiture, ainsi que les éléments suspendus tels balcons, auvents, ..., etc.

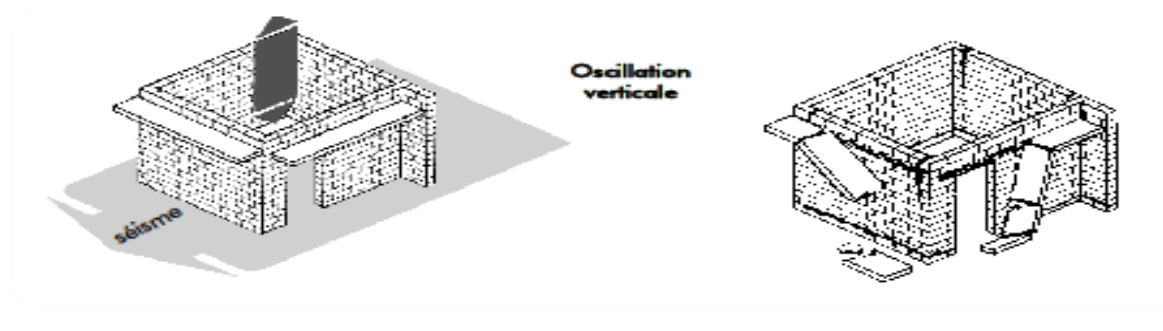


Figure 1.13 Effet des forces verticales sur les constructions [1]

1.7.3 Effet de la torsion :

La torsion est produite par le déplacement horizontal du sol, combiné avec des forces de rotations (Fig.1.14). Les effets de la torsion sont importants par rapport aux deux autres types d'oscillations (forces horizontales et verticales).

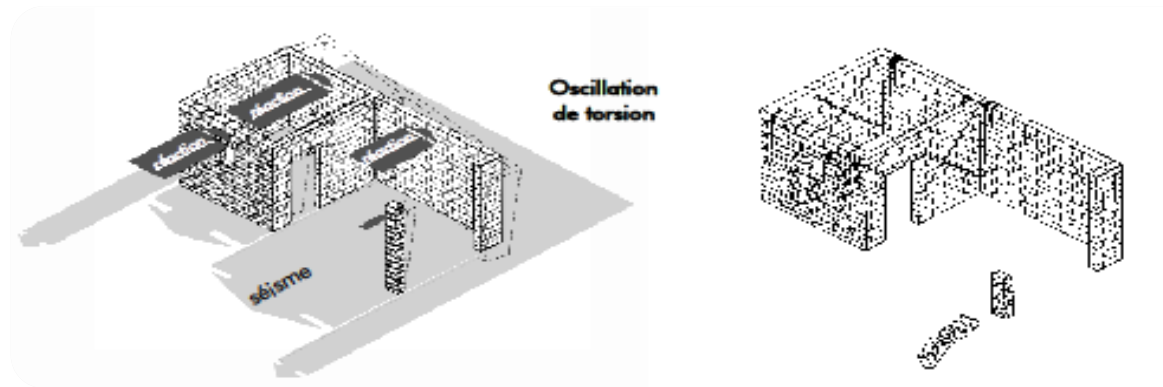


Figure 1.14 Effet de la torsion sur les constructions [1]

1.8 Réponse sismique des constructions:

La réponse sismique d'une construction (c'est-à-dire ses modes de déformation, l'ampleur des déplacements, les vitesses et les accélérations qui caractérisent ces déformations) dépend de la répartition des masses qui la constitue ainsi de la rigidité des différents éléments porteurs et de leur localisation. On peut modéliser une construction par un ressort encastré à sa base (Fig.1.15).

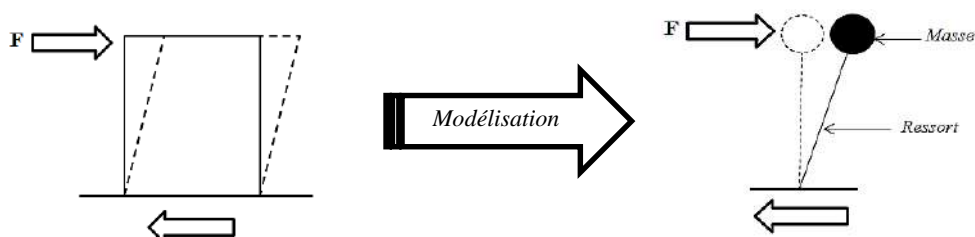


Figure 1.15 Modélisation d'une construction

La force horizontale exercée sur la structure est proportionnelle à la masse de la structure et à l'accélération subie.

$$F = m.a \quad (1.3)$$

La charge sismique agissant sur la masse est égale au produit de la rigidité du ressort par le déplacement de la masse.

$$F = k.x \quad (1.4)$$

Les amplitudes des déplacements des niveaux supérieurs sont en général plus importantes que celles du sol d'assise (Fig.1.16) parce que les amplifications de secousses se produisent par effet de ressort.

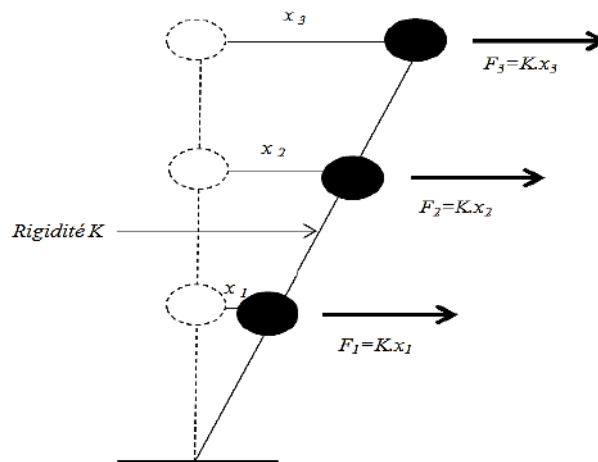


Figure 1. 16 Amplification des oscillations par un ressort

1.9 Conclusion:

Quelques notions sur les séismes sont présentées dans ce chapitre. La compréhension des phénomènes physiques générés par les secousses sismiques facilite la compréhension des bons choix architecturaux et les dispositions constructives appropriées pour limiter l'impact des manifestations sismiques.



Chapitre 2
Choix du site

Chapitre 2 : Choix du site

2.1 Introduction:

Les secousses d'un même séisme peuvent être très différentes d'un site à l'autre : plus ou moins fortes, plus ou moins longues. Chaque construction doit être appropriée aux caractéristiques des secousses sismiques et aux déformations des sols sur son site d'implantation. Les mouvements du sol déclenchés par les secousses sismiques peuvent avoir deux types d'effets :

- Directs: l'effondrement des constructions.
- Indirects (induits): glissements, éboulements, chute de pierre, liquéfaction, ..., etc.

2.2 Choix du site d'implantation:

Pour le choix du site d'implantation en zones sismiques pour les ouvrages d'importance moyenne ou plus, il est recommandé d'éviter les cas suivants :

2.2.1 Présence de failles en surface:

Lors de l'implantation des ouvrages importants et ceux d'importance vitale, il faudra éviter la proximité immédiate d'une faille reconnue active parce que leurs fondations seront cisailées et le déplacement pouvant atteindre plusieurs décimètres pendant le séisme (Fig.2.1) ; pour cela les ouvrages doivent être implantés en dehors d'une bande de 50 m à 100 m de large de part et d'autre de la faille.

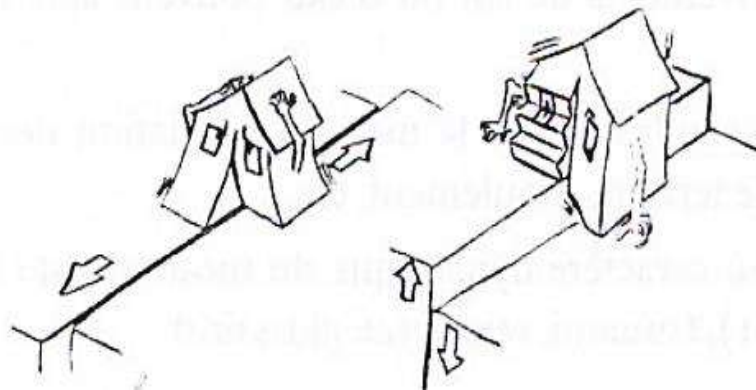


Figure 2.1 Présence de failles en surface [15]

2.2.2 Présence de sols meubles d'épaisseur variable:

Les constructions fondées sur les sols meubles subissent en générale des dommages sismiques plus importants que celles implantées sur sol rocheux (Fig.2.2) parce que les sols meubles donnent lieu à des mouvements sismiques de grande amplitude. Pour éviter les dommages des constructions, il faut opter pour des fondations profondes atteignant le substratum rocheux.

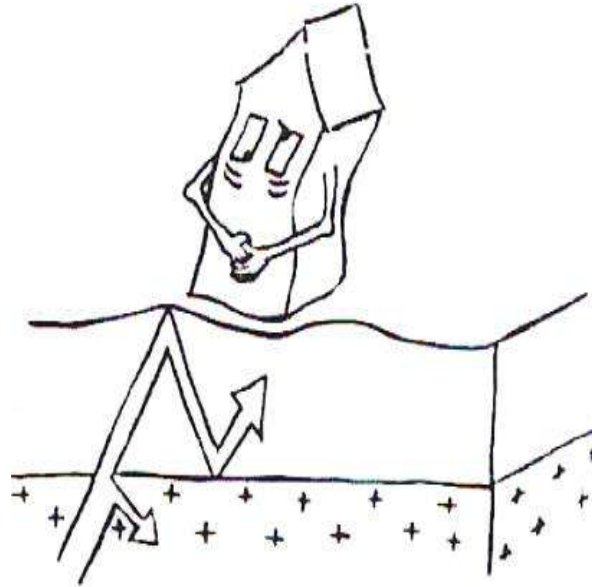


Figure 2.2 Destruction d'une construction implantée sur un sol meuble qui est un amplificateur de secousses [15]

2.2.3 Topographie superficielle accidentée:

Il y a lieu d'éviter l'implantation des ouvrages importants et ceux d'importance vitale sur des terrains accidentés (Fig.2.3) parce que ces derniers augmentent le risque d'éboulement lors des secousses sismiques.

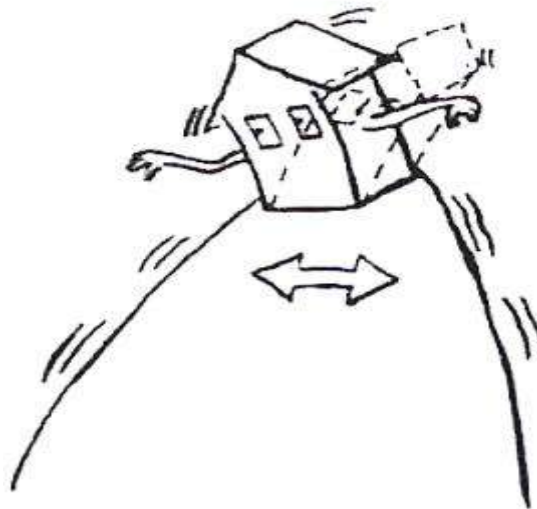


Figure 2.3 Amplification des secousses par le relief accidenté [15]

2.2.4 Bord de falaise :

Le bord de falaise est le siège d'éboulement qui pourrait entraîner les constructions lors d'un séisme (Fig.2.4). Pour cela, il faut laisser une distance minimale de 15 m à 20 m entre les ouvrages et le bord de falaise.

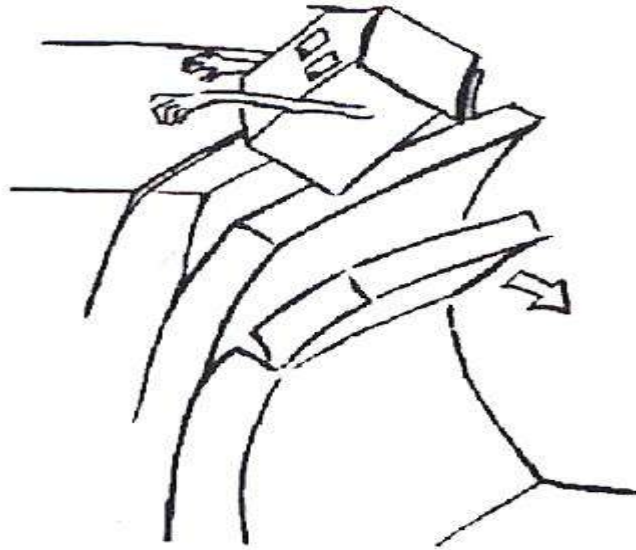


Figure 2.4 Effondrement et écoulement des falaises causé par le séisme [15]

2.2.5 Terrains en pentes:

Les constructions implantées sur des terrains en pentes subissent des dommages importants pendant le séisme (Fig.2.5) parce que ce dernier peut induire le glissement de terrain qui peut emporter les constructions.

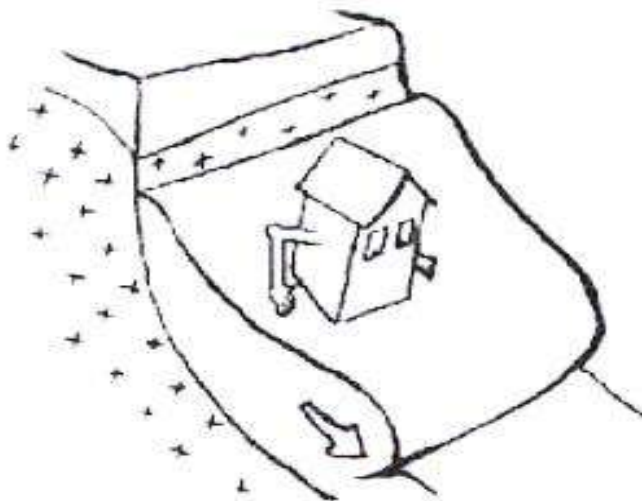


Figure 2.5 Déplacement de la construction par un glissement de terrain causé par le séisme [15]

2.2.6 Zone de cavités susceptible d'effondrement:

La présence de cavités à proximité de la surface peut entraîner l'effondrement brutal des constructions qui se trouvent au-dessus pendant le séisme (Fig.2.6). Il est nécessaire de procéder à des sondages avant toute décision d'implantation.

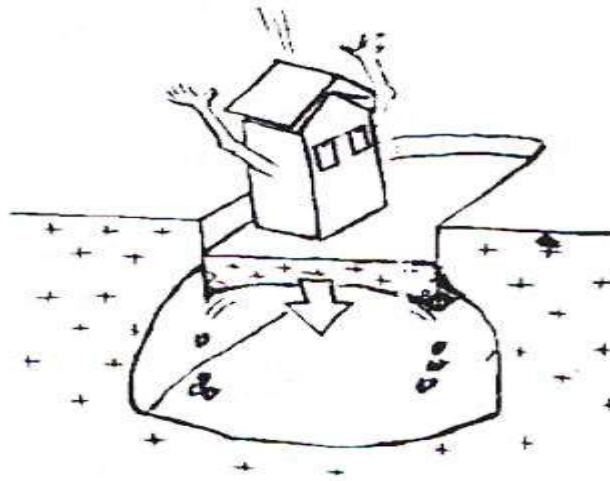


Figure 2.6 Effondrement brutal des constructions implantées sur des sols comportant des cavités causées par le séisme [15]

2.2.7 Présence de zones susceptible de liquéfaction:

En cas de séisme, les sables lâches de granulométrie fine saturés d'eau sont sujets au phénomène de liquéfaction ; la pression engendrée dans l'eau par les secousses sismiques sépare les grains de sable qui sont en contact. Ils perdent toute leur résistance ; ce qui provoque les tassements localisés des constructions (Fig.2.7).

Pour réduire ou éliminer le risque de liquéfaction, il y a lieu de mettre en œuvre une ou plusieurs mesures suivantes :

- Un rabattement permanent du niveau de la nappe phréatique ;
- Une densification des couches liquéfiables ;
- Une amélioration de la perméabilité des couches liquéfiable par la réalisation de colonnes ballastées ;
- Une substitution aux couches liquéfiables de matériaux appropriés convenablement compactés ;
- Transpercement des couches liquéfiables par des sous-sols ;
- L'utilisation des fondations profondes ;

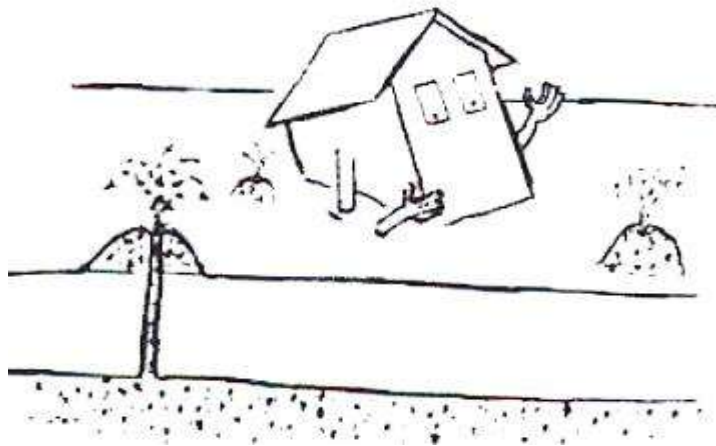


Figure 2.7 Liquéfaction du sol saturé d'eau causé par le séisme [15]

2.3 Reconnaissance géotechniques des sols en zones sismiques:

Dès la première étape de la conception, il est important d'obtenir toutes les informations sur le site d'implantation surtout pour les ouvrages d'importance moyenne ou implantés en zone de sismicité moyenne ou élevée. Les techniques de reconnaissance utilisées sont les mêmes que dans les zones non sismiques mais elles doivent être complétées et suffisamment détaillées pour permettre :

- Le classement du site ;
- La détection des zones liquéfiables sous l'action sismique ;
- La détection des zones faillées ;
- La détermination des caractéristiques dynamiques du sol ;

2.3.1 Les moyens de reconnaissance :

Les moyens de reconnaissance sont nombreux ; ils sont répartis en deux classes :

- Essais in situ ;
- Essais au laboratoire ;

2.3.1.1 Essais in situ:

Ce sont des essais réalisés au sein du massif de sol ; plusieurs types existent:

- Reconnaissance géologique ;
- Puits, tranchées ;
- Sondages ;
- Prospection géophysique ;
- Prospection électrique ;
- Prospection sismique ;
- Prospection gravimétrique ;
- Essai au pénétromètre statique ;
- Essai au pénétromètre dynamique ;
- Pressiomètre ;
- Standard penetration test (SPT);
- Scissomètre ;
- Essai à la plaque ;

2.3.1.2 Essais au laboratoire:

Ce sont des essais effectués au laboratoire après prélèvement d'échantillons intacts ou remaniés ; ils existent plusieurs types :

- L'analyse granulométrique ;
- L'essai d'équivalent de sable ;
- Limites d'Atterberg ;
- L'essai de cisaillement direct ;

- L'essai triaxial ;
- L'essai de compression simple ;
- L'essai oedométrique ;
- L'essai Proctor ;
- L'essai CBR ;

2.4 Conclusion:

Le choix définitif du site sera arrêté sur la base des résultats de la campagne de reconnaissance des sols dont l'importance sera en rapport avec celle de l'ouvrage projeté.



Chapitre 3
Le choix architectural

Chapitre 3 : Le choix architectural

3.1 Introduction:

La forme des constructions implantées en zone sismique et la répartition des différents éléments qui les constituent ont une incidence importante sur le comportement des charges sismiques. Le concepteur devrait chercher une bonne régularité dans les formes tant en plan qu'en élévation et dans la répartition des masses afin de minimiser les déformations.

3.2 Forme en plan:

3.2.1 Symétrie en plan selon les deux axes:

Les constructions ayant une forme régulière et symétrique présentent un bon comportement sous les charges sismiques. Pour cela, il convient de favoriser les symétries et d'éviter les angles rentrants parce que les constructions asymétriques (formes en T, L, U, H, X, Y) seront soumises à deux phénomènes destructeurs qui sont : la torsion d'ensemble et les concentrations de contraintes.

- La torsion d'ensemble se produit lorsque le centre de rigidité d'une construction n'est pas confondu avec son centre de gravité (Fig.3.1).

- Les concentrations de contraintes se produisent plus particulièrement dans les angles rentrants formés par des intersections des ailes d'une construction (Fig.3.2). Ces dernières peuvent être exposées à des sollicitations sévères étant donné que les ailes n'oscillent pas en phase. L'intensité des contraintes augmente avec la profondeur de l'angle. Pour cela, le règlement parasismique algérien (le RPA 99 / version 2003) limite cette profondeur (Fig.3.3).

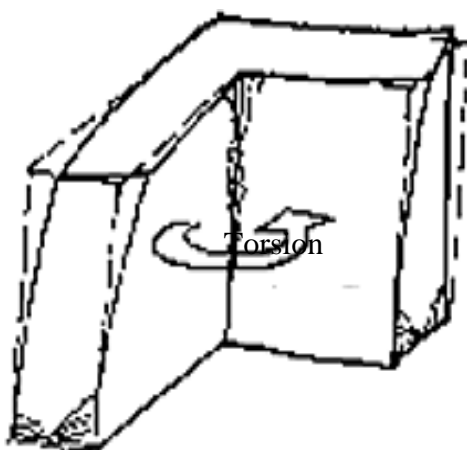


Figure 3.1 Phénomène de torsion [15]

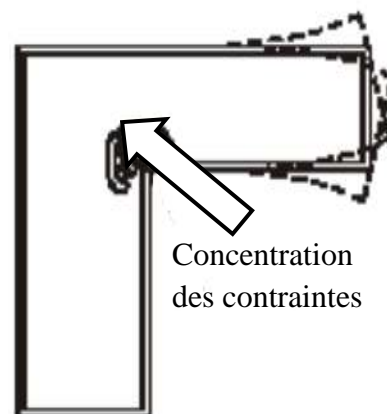


Figure 3.2 Phénomène de concentration des contraintes [15]

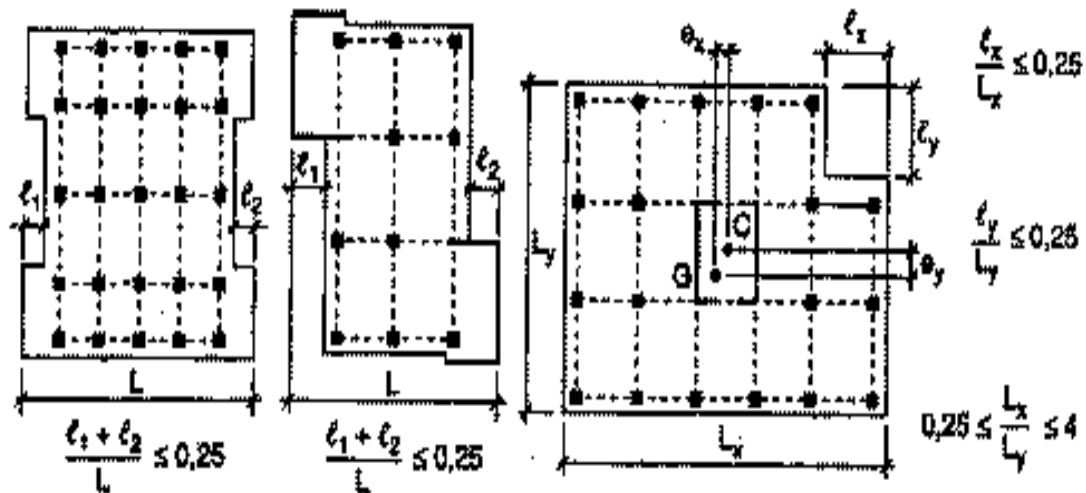


Figure 3.3 Limites de décrochement en plan [16]

3.2.1.1 Solutions permettant de corriger les conséquences de l'asymétrie de la forme des constructions:

- Joints sismiques:

Les constructions ayant des formes asymétriques peuvent, être fractionnées en formes simples par des joints sismiques (Fig.3.4). Selon le RPA 99 / version 2003; la largeur minimale (d_{\min}) des joints sismiques entre deux blocs voisins doit satisfaire à la condition suivante :

$$d_{\min} = 15_{\text{mm}} + (\delta_1 + \delta_2)_{\text{mm}} \geq 40_{\text{mm}} \quad (3.1)$$

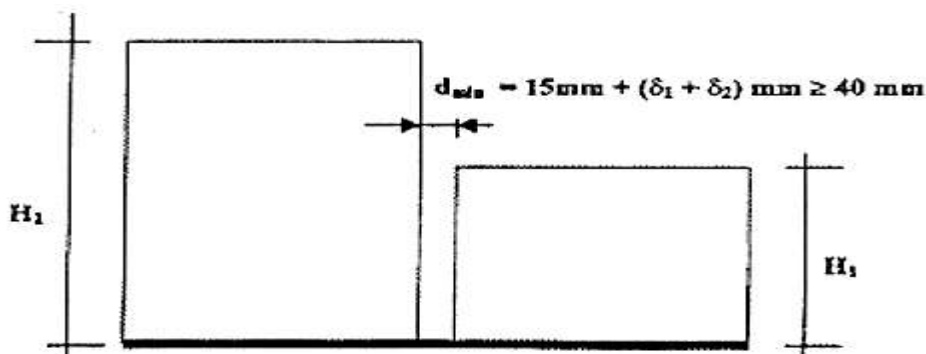


Figure 3.4 Largeur minimale du joint sismique [16]

- Compensation d'une mauvaise rigidité:

Pour faire coïncider le centre de gravité d'un niveau d'une construction avec son centre de rigidité ; il est possible d'ajouter des éléments résistants rigides à des endroits adéquats (murs de contreventement, palées triangulées, ..., etc.) pour minimiser les déformations (Fig.3.5).



Figure 3.5 Compensation d'une mauvaise distribution de la rigidité par des voiles en béton armé

- Variation progressive de la rigidité:

Cette démarche consiste à adoucir les angles rentrants par une forme plus fluide (Fig.3.6).

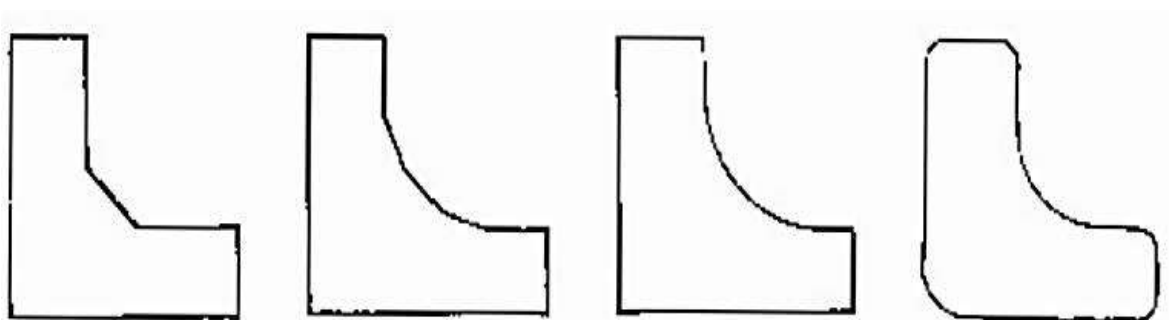


Figure 3.6 Variation progressive de la rigidité [17]

- Renforcement des angles rentrants:

Cette solution implique un dimensionnement généreux des porteurs verticaux situés dans les angles rentrants (Fig.3.7).

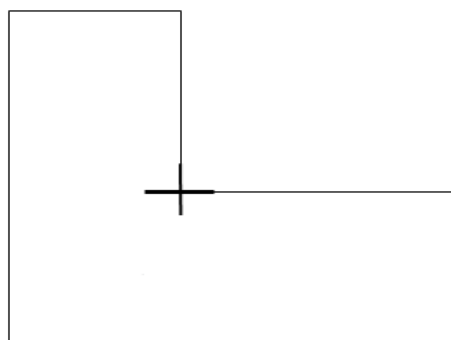


Figure 3.7 Renforcement des angles rentrants

- L'isolation parasismique:

Elle consiste à interposer entre la superstructure et les fondations des appareils d'appui, pour minimiser les déformations (Fig.3.8).

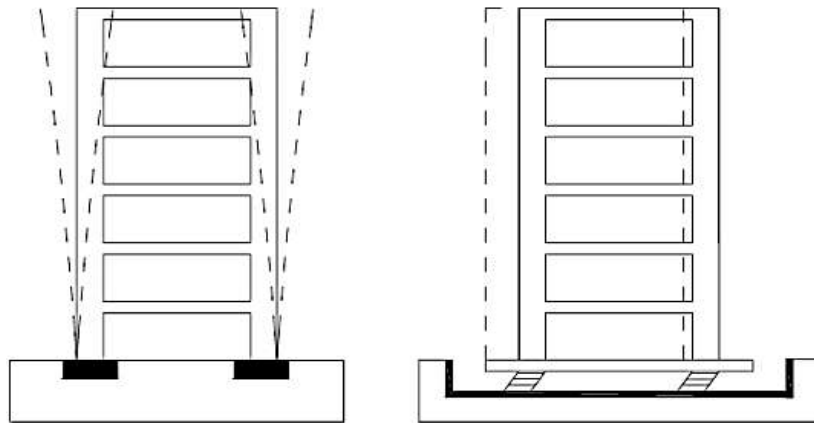


Figure 3.8 Isolation parasismique [18]

3.2.2 Simplicité en plan:

Les constructions symétriques selon deux axes peuvent également comporter des ailes, En outre, l'intersection de ces derniers engendre les concentrations des contraintes qui sont le siège des dommages. Afin de remédier à cette situation, trois démarches sont possible :

- L'utilisation des joints parasismiques ;
- La simplification des formes en plan ;
- L'adoucissement des angles rentrants par une forme plus fluide ;

3.2.3 Compacité du plan:

Les constructions ayant de grandes dimensions horizontales ne subissent pas les mêmes déplacements du sol et n'oscillent pas en phase et cela cause de graves dommages. Le RPA 99 / version 2003 préconise que le rapport longueur / largeur doit être inférieur ou égal à 4 ou bien, il est préférable de fractionner les constructions par des joints sismiques (Fig.3.9).

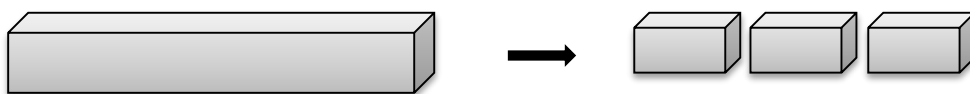


Figure 3.9 Fractionnement des constructions de grandes dimensions horizontales par des joints sismiques

3.3 Forme en élévation:

3.3.1 Symétrie et simplicité en élévation:

En élévation, la régularité et la symétrie des formes selon les deux axes, la répartition homogène des masses sont tout aussi importants qu'en plan.

Les constructions dont les dimensions horizontales varient avec la hauteur présentent des volumes en retrait (Fig.3.10). Le retrait peut être réalisé sur une ou plusieurs façades et concerne un ou plusieurs niveaux ; il induit des oscillations différentes entraînant les

concentrations des contraintes qui engendrent des dommages importants lors des séismes ; Pour cela, le règlement parasismique algérien limite la profondeur du retrait (Fig.3.11).

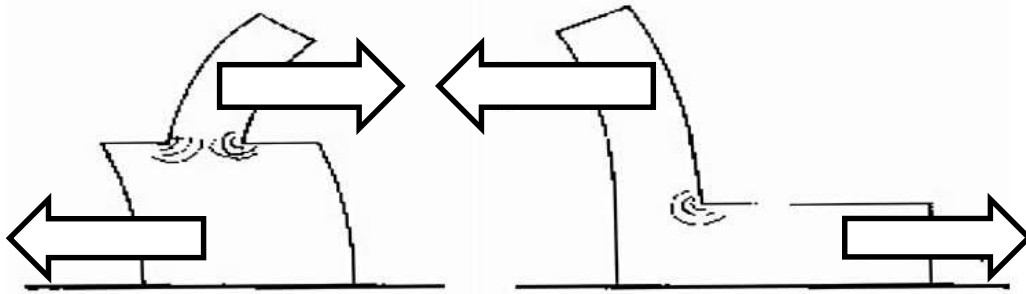


Figure 3.10 Concentration des contraintes au niveau des retraits [17]

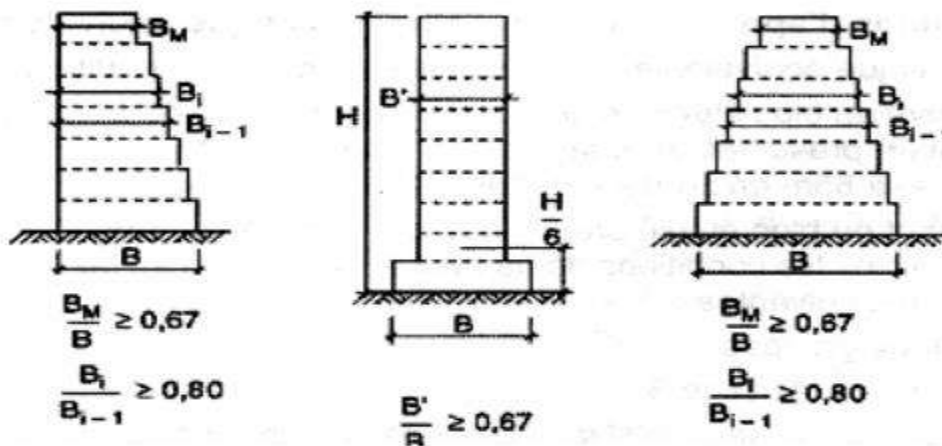


Figure 3.11 Limites de décrochement en élévation [16]

3.3.1.1 Solutions permettant de corriger les effets préjudiciables du retrait:

- Joints sismiques:

Il est souhaitable de fractionner les constructions par des joints parasismiques lorsqu'ils sont constitués par des blocs de rigidités très différentes (Fig.3.12).

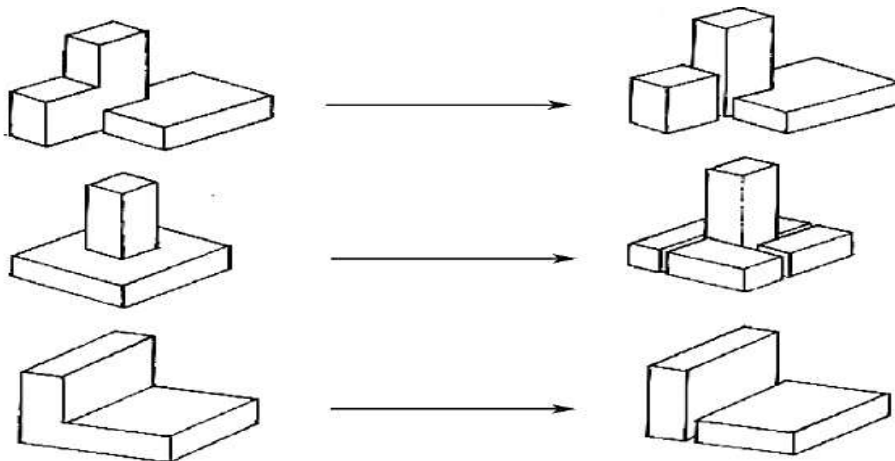


Figure 3.12 Fractionnement des constructions avec retrait par des joints sismiques [17]

- Retrait progressif de la structure:

Cette solution supprime les volumes en saillies qui sont les lieux de concentrations des contraintes (Fig.3.13).

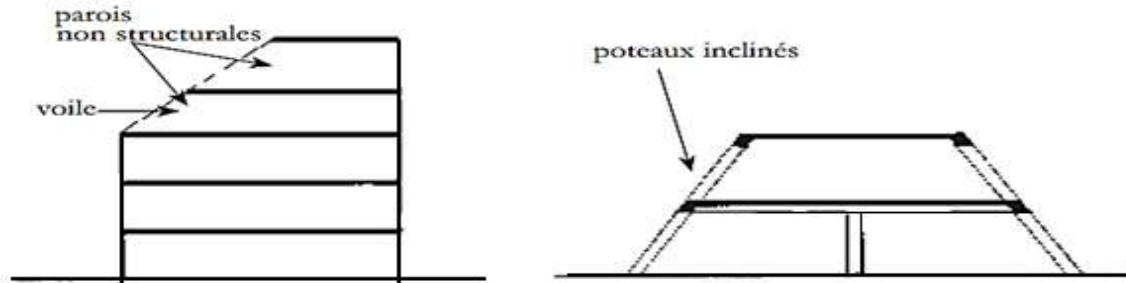


Figure 3.13 Retrait progressif de la structure [17]

- Renforcement des angles rentrants:

De même que dans un plan horizontal, les angles rentrants verticaux peuvent être renforcés (dimensionnement généreux + confinement du béton efficace). L'efficacité de cette solution vis-à-vis des séismes de forte magnitude demande à être validée [17].

- Isolation parasismique:

Cette démarche consiste à disposer entre les massifs de fondation et la superstructure des appuis, permettant la réduction des charges sismiques.

3.3.2 Niveaux en porte à faux:

Lorsque les constructions comportent des porte-à-faux (balcons-auvents-corniches), ces derniers engendrent des angles rentrants dans lesquels des concentrations des contraintes se produisent, ce qui provoque des dommages sismiques en cas de de séisme. Par conséquent, en zone sismique, il est préférable d'éviter les porte-à-faux ou limiter leur portée à (2 m) environ (Fig.3.14).

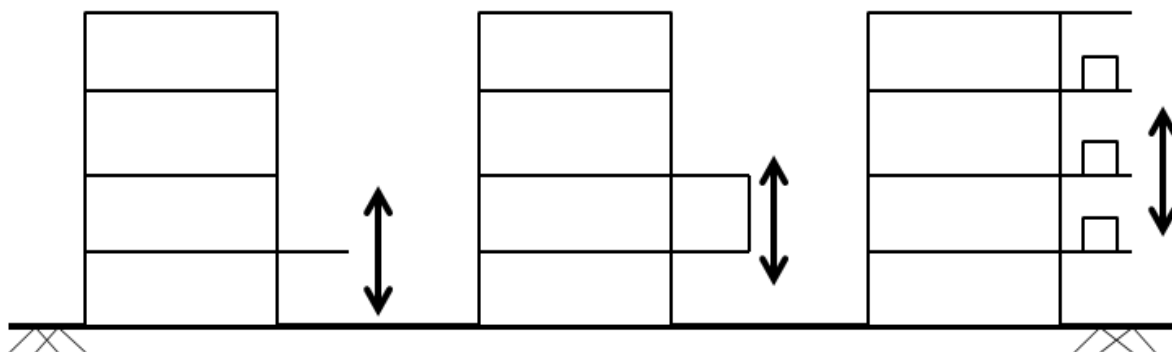


Figure 3.14 Oscillations verticales des porte-à-faux

3.3.3 Niveaux souples:

Plusieurs constructions comportent un ou plusieurs étages transparents (ouverts). Lors des séismes ces niveaux sont écrasés suite à la rupture des poteaux à leur extrémité et cela est dû à leurs faibles rigidités horizontales par rapport à d'autres étages (Fig.3.15). En conséquence, ce type d'ouvrage est déconseillé en zone sismique.

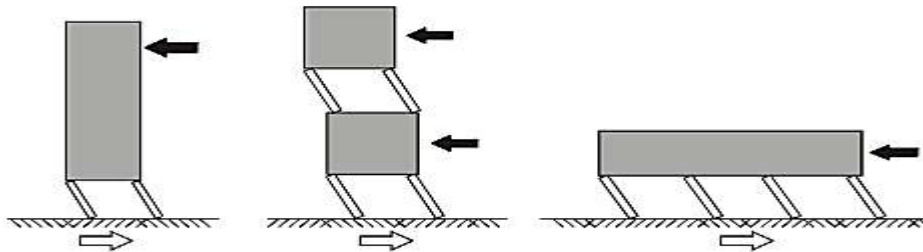


Figure 3.15 Comportement des niveaux souples sous charges sismiques [15]

3.3.3.1 Solutions permettant d'éviter l'effet de niveau souple:

- Contreventement par voiles ou par triangulation:

Cette solution consiste de placer en façade ou en retrait des façades, dans les deux directions principales d'une façon symétrique par rapport au centre de gravité des niveaux souples des travées rigides (palées de stabilité ou murs de contreventement) assurant la résistance aux charges horizontales à la place des poteaux (Fig.3.16).

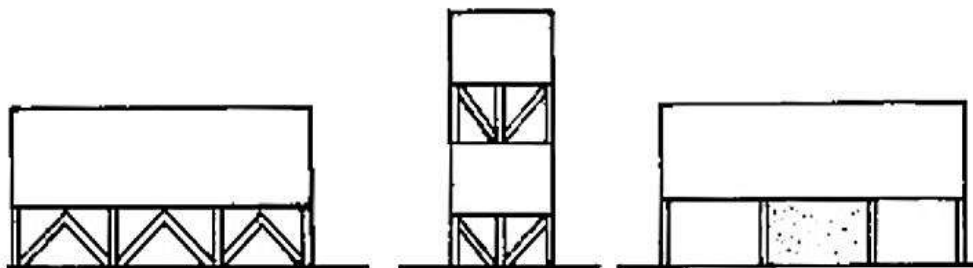


Figure 3.16 Contreventement des niveaux transparents par des palées de stabilité ou murs de contreventement [17]

- Variation progressive de la rigidité horizontale:

Cette démarche consiste à éviter un changement brutal de rigidité entre le niveau souple et les autres niveaux (Fig.3.17).



Figure 3.17 Variation progressive de la rigidité horizontale des niveaux souples

- Généralisation de la souplesse:

La rigidité des différents niveaux peut être uniformisée également en optant pour une structure " flexible " à tous les niveaux (Fig.3.18), ce qui implique également à recourir à des éléments non structuraux non rigides (cloisons, façades,...) [17].

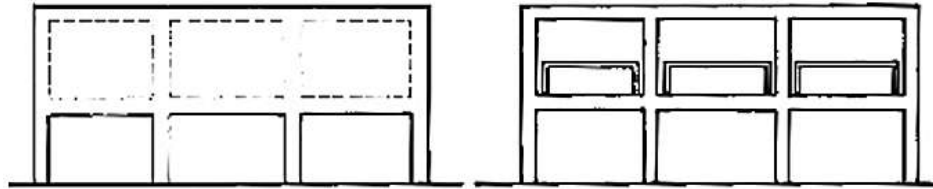


Figure 3.18 Egalisation de la rigidité de tous les niveaux [17]

- Isolation parasismique:

L'utilisation des appuis sismiques permet de réduire les déformations des poteaux des niveaux souples (Fig.3.19).

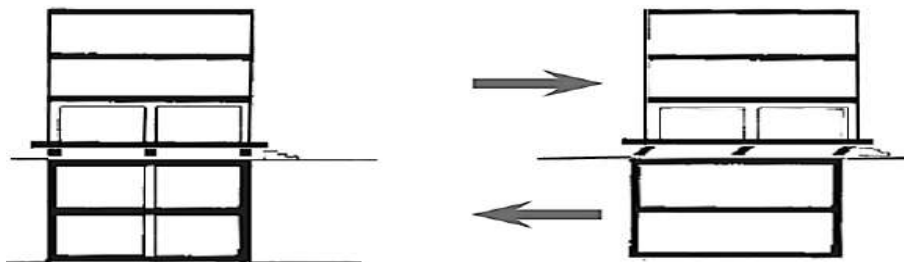


Figure 3.19 L'isolation des niveaux transparents par des appuis sismiques [17]

3.3.4 Configuration de type pendule inversé:

Les constructions en forme de pendule inversée (Fig.3.20) ne conviennent pas en zone sismique parce que la concentration des masses est dans les niveaux supérieurs d'où l'élévation du centre de gravité ce qui donne lieu à des contraintes importantes dans les éléments porteurs verticaux.

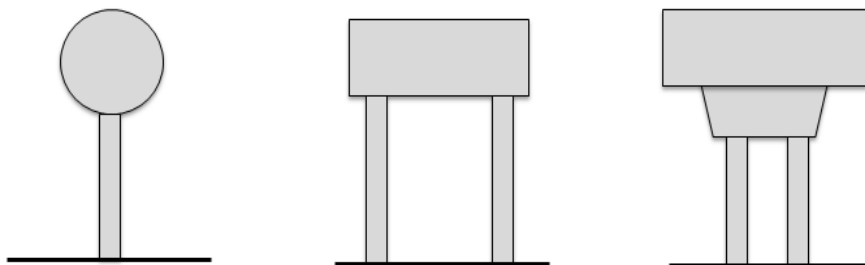


Figure 3.20 Construction en forme de pendule inversée

3.3.5 Hauteur et élancement des constructions:

On peut construire des ouvrages élancés en zones sismiques à condition d'éviter leur résonance avec le sol d'assise (le temps d'une oscillation libre de la construction est proche ou identique de la période dominante du sol) parce qu'ils subissent des déformations importantes pouvant conduire à l'effondrement.

On peut modifier la période propre fondamentale d'une construction d'une hauteur donnée dans une ou plusieurs directions de la manière suivante :

- Modifier son élancement géométrique, c'est-à-dire le rapport de la hauteur à la largeur : l'augmentation de l'élancement allonge la période et sa diminution la raccourcit (Fig. 3.21) ;
- Elargir le bâtiment progressivement vers le bas, ce qui augmente sa rigidité et réduit sa période (Fig. 3.22) ;

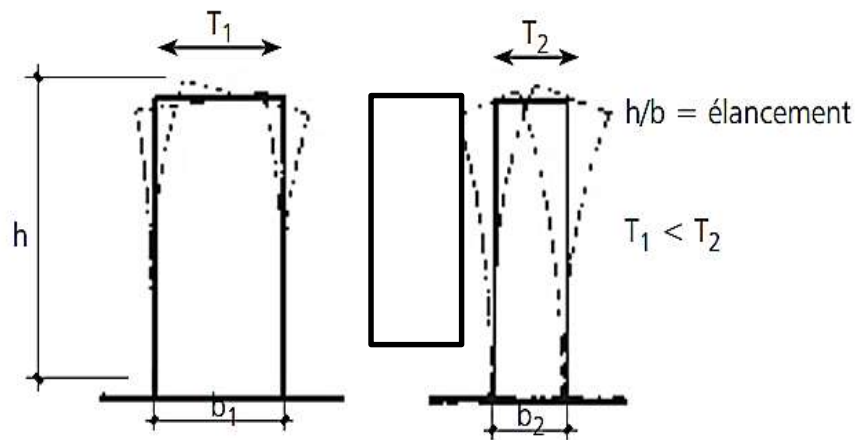


Figure 3.21 Influence de l'élancement sur la période d'oscillation de la construction [17]

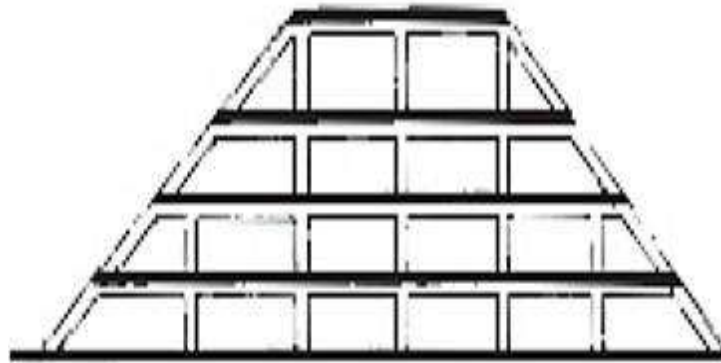


Figure 3.22 Elargissement des constructions vers le bas qui permet de réduire la période fondamentale d'oscillation et de baisser le centre de gravité. [17]

3.3.6 Couplage des bâtiments:

Deux constructions juxtaposées peuvent parfois être reliées par des passerelles ou escaliers pour faciliter l'accès ou l'évacuation (Fig.3.23). Pendant les séismes, elles n'oscillent pas toujours en phase ce qui engendre la destruction des ouvrages qui les relient. Pour les préserver, il est nécessaire de les désolidariser par des joints parasismiques.



Figure 3.23 Destruction de passerelles dûe d'une part à des oscillations différentielles et, d'autre part aux dommages subis par le bâtiment de droite (séisme de Kobé, Japon, 17.1.1995) [17]

3.3.7 Présence de niveaux décalés:

Les constructions qui comportent des niveaux décalés subissent des déformations importantes lors des séismes (Fig.3.24) et cela est dû à la diminution de la hauteur libre des poteaux de part et d'autre par des planchers situés à des niveaux différents ce qui donne lieu à l'effet de poteau court.

Pour remédier à cette situation, on peut intégrer ces poteaux dans un voile en béton, ou contreventer la structure par des voiles perpendiculaires à la pente, ou encore dissocier les deux structures par un joint parasismique.

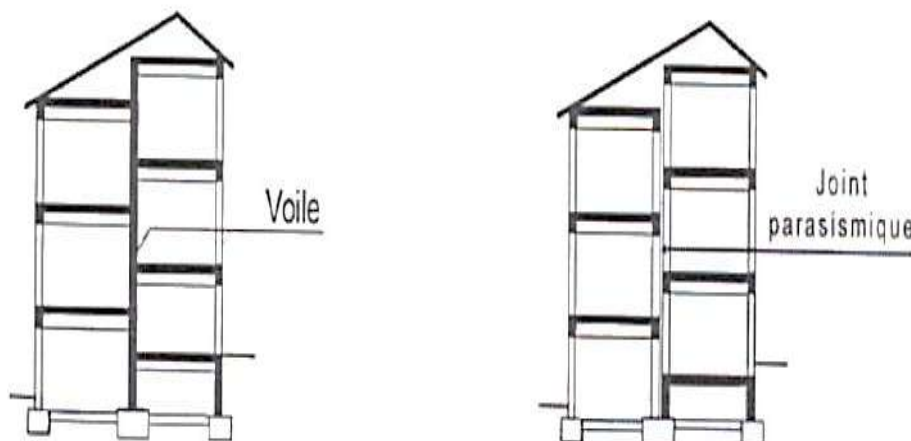
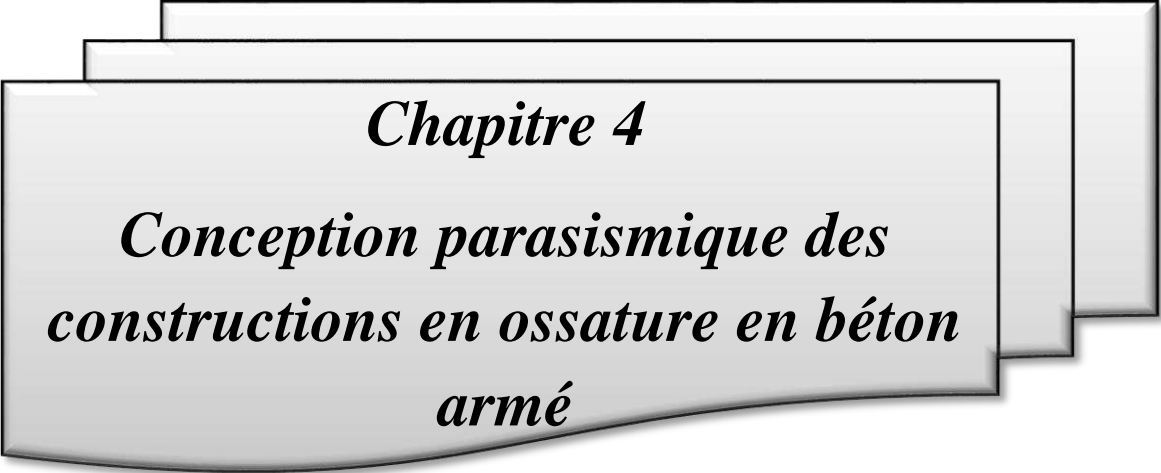


Figure 3.24 Solutions à envisager dans le cas des constructions comportant des niveaux décalés [15]

3.4 Conclusion:

A travers ce chapitre ; plusieurs solutions sont proposées qui permettent d'améliorer le comportement dynamique des constructions durant les séismes tout en gardant une configuration irrégulière tant en plan qu'en élévation.



Chapitre 4

***Conception parasismique des
constructions en ossature en béton
armé***

Chapitre 4 : Conception parasismique des constructions en ossature en béton armé

4.1 Introduction:

La structure c'est le squelette de la construction, elle permet de reprendre les charges et de les transmettre aux fondations. Les éléments constructifs en béton armé (poteaux, poutres, voiles) sont couramment employés mais ils sont susceptibles de s'endommager sous l'effet de l'action sismique.

Lors de la conception d'une structure en béton armé en zone sismique, il faut respecter certaines dispositions constructives qui visent à ce que la ruine d'un élément (poteaux, poutres par exemple) suite à un sinistre n'entraîne pas l'effondrement de la construction.

Dans les paragraphes suivants, nous allons exposer les principes de dimensionnement des poteaux, poutres et voiles selon le règlement parasismique algérien (le RPA 99 / version 2003).

4.2 Conception des poteaux en zone sismique:

4.2.1 Pré-dimensionnement des poteaux:

Les poteaux sont des éléments porteurs ponctuels. Ils contribuent avec l'association à des poutres de reprendre les charges et surcharges issues des différents niveaux pour les transmettre aux fondations. Suivant leur emplacement dans la construction, ils sont appelés :

- poteau d'angle ;
- poteau de rive ou de façade ;
- poteau intérieur ;

Les poteaux sont pré-dimensionnés à partir du critère de résistance et du risque au flambement. Le règlement parasismique algérien impose des dimensions minimales pour les poteaux de section rectangulaire et de section circulaire (Fig.4.1) à respecter.

Les dimensions de la section transversale des poteaux rectangulaires doivent satisfaire les conditions suivantes :

| | | |
|---|-------|----------------------|
| $\text{Min}(b, h) \geq 25 \text{ cm}$ | (3.1) | En zone I et IIa |
| $\text{Min}(b, h) \geq 30 \text{ cm}$ | (3.2) | En zone IIb et III |
| $\text{Min}(b, h) \geq (\text{Hauteur d'étage} / 20)$ | (3.3) | Quelque soit la zone |
| $\frac{1}{4} < \frac{b}{h} < 4$ | (3.4) | Quelque soit la zone |

Tableau 4.1 Dimensions minimales des poteaux rectangulaires [16]

Pour les poteaux circulaires, le diamètre « D » devra satisfaire les conditions ci-dessous :

| | | |
|-------------------------|-------|----------------------|
| $D \geq 25 \text{ cm}$ | (3.5) | En zone I |
| $D \geq 30 \text{ cm}$ | (3.6) | En zone II |
| $D \geq 35 \text{ cm}$ | (3.7) | En zone III |
| $D \geq \frac{h_e}{15}$ | (3.8) | Quelque soit la zone |

Tableau 4.2 Dimensions minimales des poteaux circulaires [16]

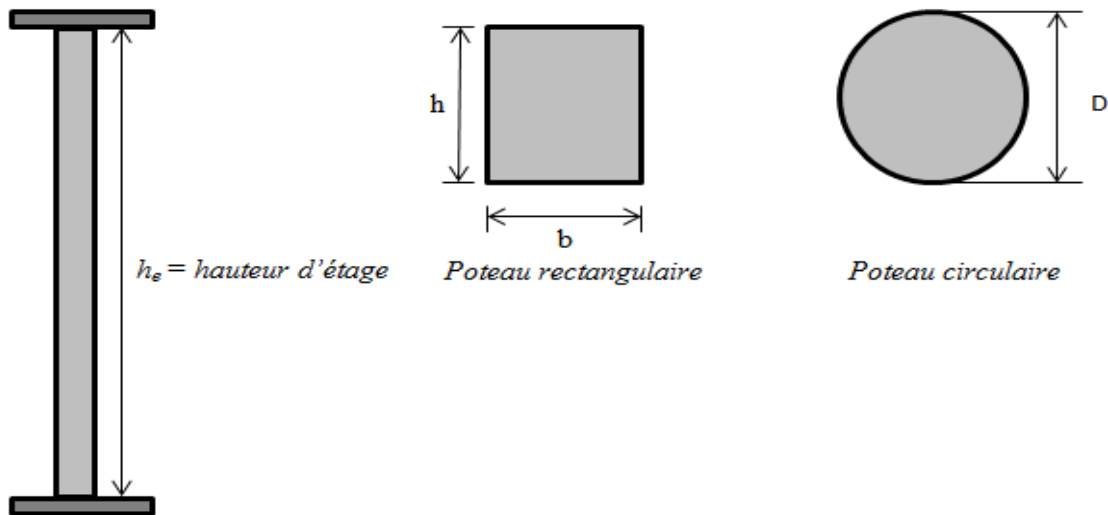


Figure 4.1 Dimensions des poteaux

4.2.2 Disposition concernant la variation de la forme des sections des poteaux:

Les changements brutaux des sections des poteaux assurant la résistance aux charges sismiques (Fig.4.2) entraînent des concentrations de contraintes au niveau des changements de section qui engendrent une rupture brutale ; pour cela, les variations devraient être progressives.

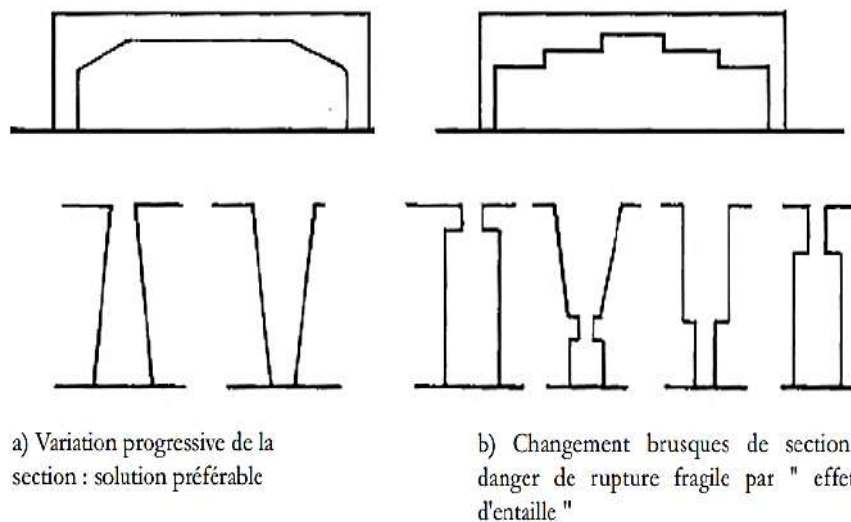


Figure 4.2 Poteaux à section non constante [17]

4.2.3 Poteaux courts et poteaux bridés:

On dit d'un poteau est court (Fig.4.3) dans une direction lorsque le rapport longueur sur la largeur est inférieur à 4 dans cette direction. Ce type de poteau est souvent endommagé lors des séismes parce il est rigide et ne tolère pas les déformations.

Il existe un autre type de poteau qui subit des déformations importantes durant les séismes. Il s'appelle le poteau bridé (Fig.4.3) .Par définition, un poteau bridé est un poteau ayant une hauteur d'étage dont la déformabilité est partiellement bridée par la présence d'élément rigide tels que : allèges, cloisons n'atteignant pas le plafond. Il existe plusieurs situations qui donnent lieu à l'effet du poteau court :

- Poteaux bordant des allèges rigides ;
- Variations des longueurs des poteaux ;
- Poteaux en soubassement ;
- Poteaux supportant des paliers d'escalier ou rampes d'accès des parkings à étages ;
- Poteaux supportant des mezzanines ;

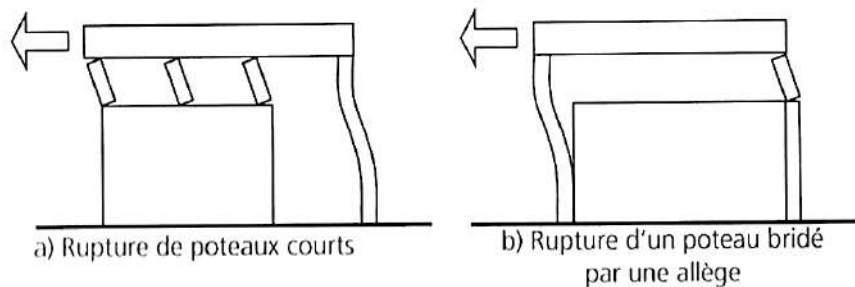


Figure 4.3 Cisaillement du poteau court et poteau bridé [15]

4.2.3.1 Poteaux bordant des allèges rigides:

Cette situation est fréquente. Elle engendre la fissuration des poteaux bridés (Fig.4.4) sur les deux cotés en croix de Saint-André alors que les poteaux bridés sur un seul côté ne font apparaître qu'une seule fissuration diagonale.

Pour éviter les dommages, plusieurs solutions (Fig.4.5) sont envisageables :

- Prévoir au moins un panneau de contreventement ;
- Créer un joint entre les poteaux et l'allège ;
- Mettre en œuvre des allèges en matériaux légers ;
- Renforcer les poteaux par des armatures transversales à espacement réduit ;

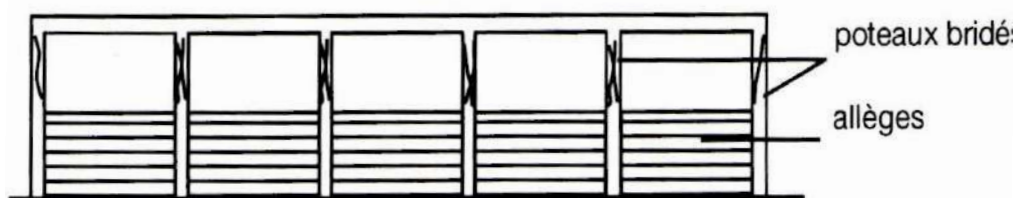


Figure 4.4 Poteaux bridés par des allèges [15]

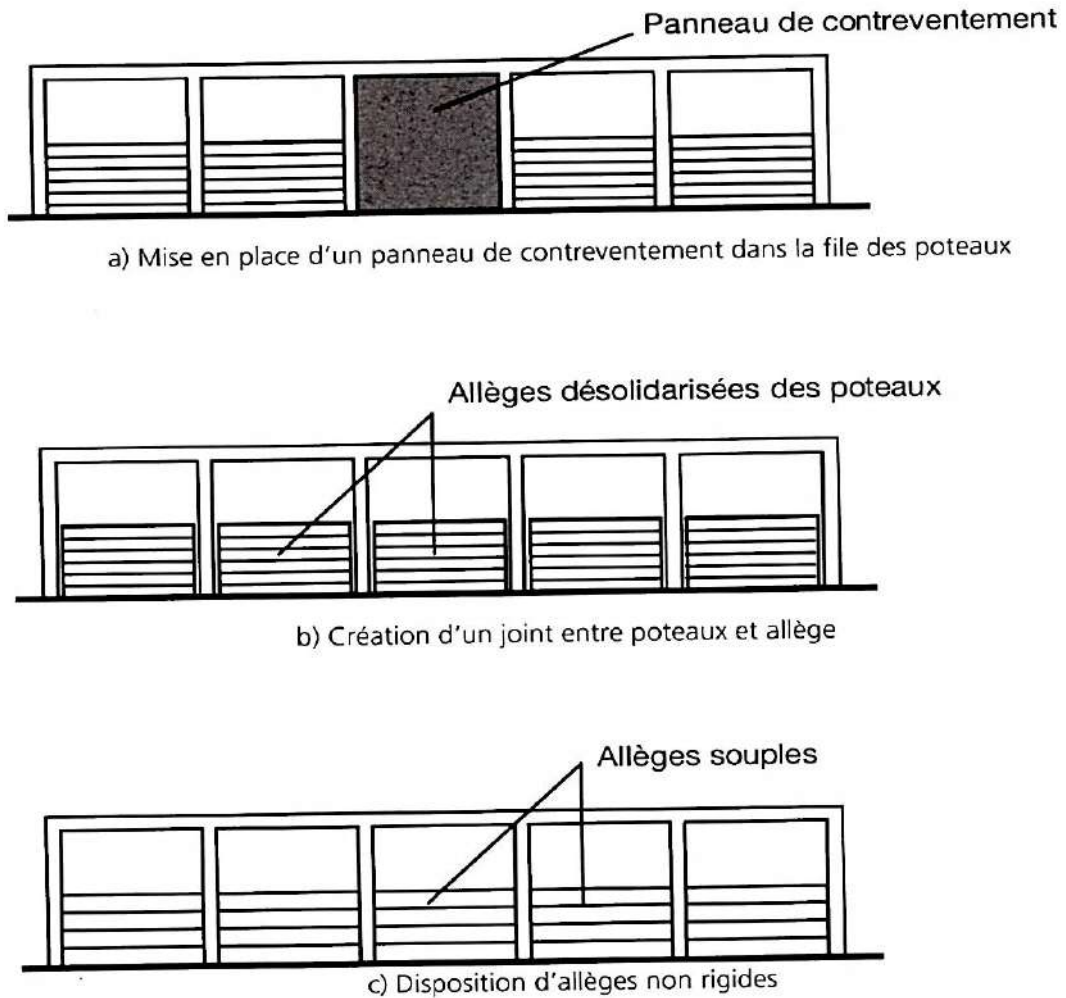


Figure 4.5 Solutions visant à remédier l'effet du poteau court [15]

4.2.3.2 Poteaux de longueurs différentes:

Lorsque les poteaux qui se trouvent sur une même façade ou sur un même niveau mais n'ayant pas la même hauteur (Fig.4.6); ils sont exposés aux phénomènes de concentration de contraintes et à l'effet de poteau court parce que ils n'ont pas la même rigidité. Par conséquent, il est préférable de conserver une même hauteur des poteaux et obtenir l'effet visuel souhaité par un bardage ou autre solution non structurale.

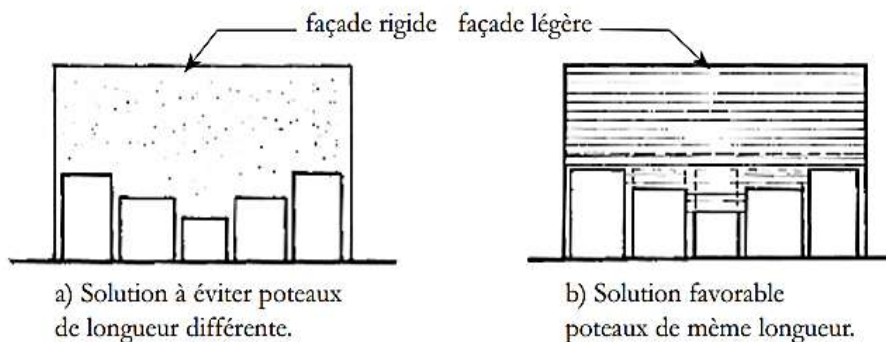


Figure 4.6 Poteaux de hauteur variable [17]

4.2.3.3 Poteaux de soubassement:

Les poteaux de soubassement qui permettent de créer un vide sanitaire sont des poteaux courts (Fig.4.7) donc, ils subissent des dommages importants pendant les séismes. Pour remédier à ce problème, il est préférable de les intégrer dans un mur périphérique.

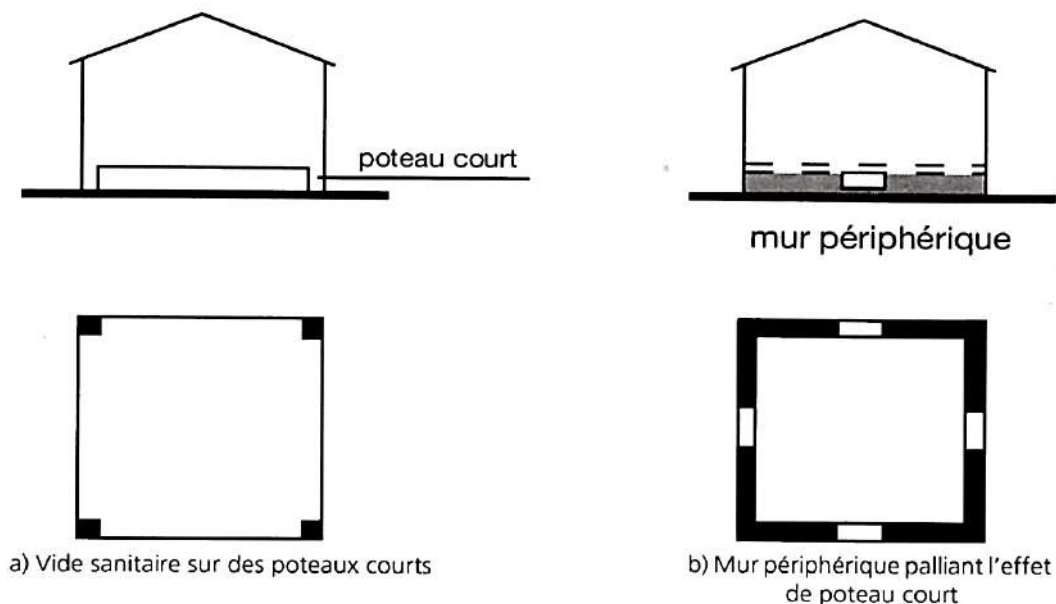


Figure 4.7 Poteaux en soubassement [15]

4.2.3.4 Poteaux supportant des paliers d'escalier ou rampes d'accès:

Les paliers d'escalier et les rampes peuvent engendrer l'effet du poteau court qui donne lieu à des déformations par cisaillement (Fig.4.8) durant les séismes. Pour éviter les dommages, il est préférable d'intégrer les poteaux dans un voile en béton armé.

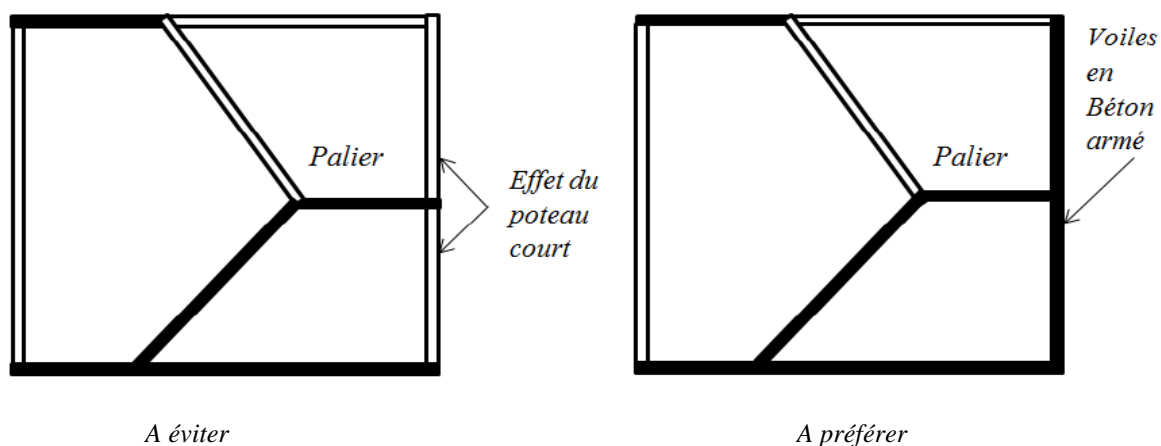
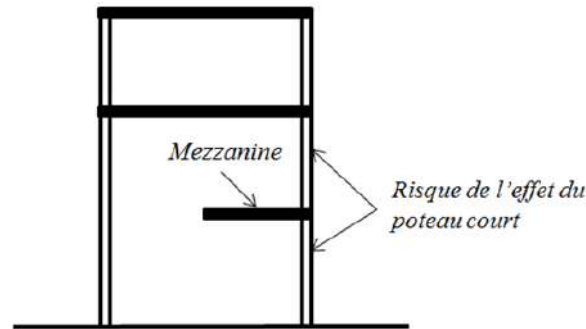


Figure 4.8 Poteaux supportant des paliers d'escalier

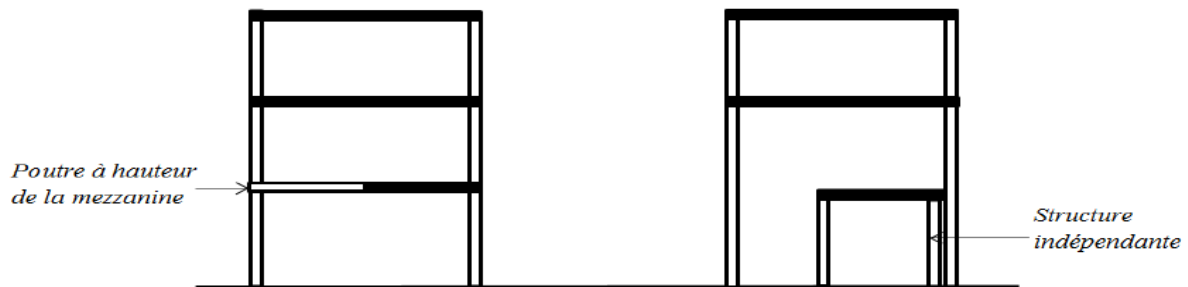
4.2.3.5 Poteaux supportant des mezzanines:

La création des mezzanines (Fig.4.9) peut être l'origine de l'effet du poteau court, pour éviter ce phénomène deux solutions sont envisageables :

- Relier les poteaux par une poutre situé à la hauteur du plancher de la mezzanine ;
- Porter la mezzanine par une structure indépendante de la structure principale ;



a) Les mezzanines peuvent créer un effet de poteau court



b) Solutions visant à éviter l'effet du poteau court

Figure 4.9 Poteaux supportant des mezzanines

4.3 Conception des poutres en zones sismiques:

4.3.1 Pré-dimensionnement des poutres:

Les poutres sont des éléments porteurs horizontaux chargés de reprendre les charges et surcharges se trouvant sur les planchers pour les retransmettre aux poteaux. Selon leur emplacement dans la construction, elles sont appelées:

- Poutre de rive ;
- Poutre de refends ;

Les poutres peuvent avoir des formes diverses : carré, rectangulaire, en forme de T, I, L, U, ..., etc. La hauteur des poutres doit répondre à la condition suivante :

$$h = \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{15} \right) \text{portée} \quad (3.9)$$

La largeur de la poutre doit répondre à la condition ci-dessous :

$$\frac{b}{h} \approx (0,4 \div 0,5) \quad (3.10)$$

(b) et (h) représentent respectivement la base et la hauteur de la poutre.

Selon le règlement parasismique algérien, les poutres doivent satisfaire les conditions suivantes :

$$b \geq 20 \text{ cm} \quad (3.11)$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \quad (3.12)$$

$$\frac{h}{b} \leq 4 \quad (3.13)$$

Dans le cas où les bases de la poutre et du poteau sont différentes (Fig. 4.10), il y a lieu de vérifier l'inégalité suivante :

$$b_{\max} \leq 1,5 h + b_1 \quad (3.14)$$

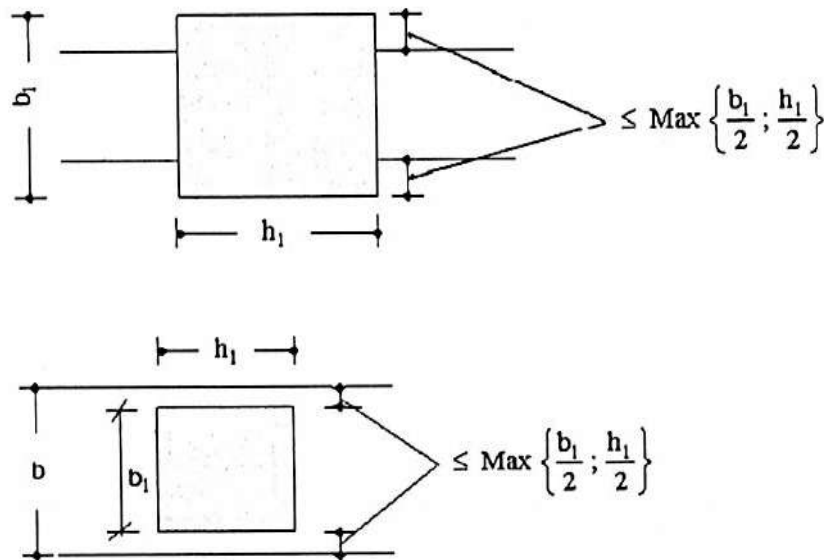


Figure 4.10 Condition à respecter lorsque les dimensions de la poutre et du poteau sont différentes [16]

4.3.2 Proportions relatives des poteaux et des poutres:

Dans le cas où la résistance des constructions aux charges horizontales est assurée par des portiques et non par des voiles ou des palées triangulés ; la défaillance des poteaux peut entraîner des dommages sismiques importants. Pour éviter ce phénomène, deux solutions sont envisageables :

- Adopter le principe « poteau fort-poutre faible » (Fig. 4.11) ; les rotules plastiques seront localisées au niveau des poutres et non pas dans les poteaux ;
- Assurer la stabilité horizontale par un contreventement (voiles, palées triangulées, ..., etc.) ;

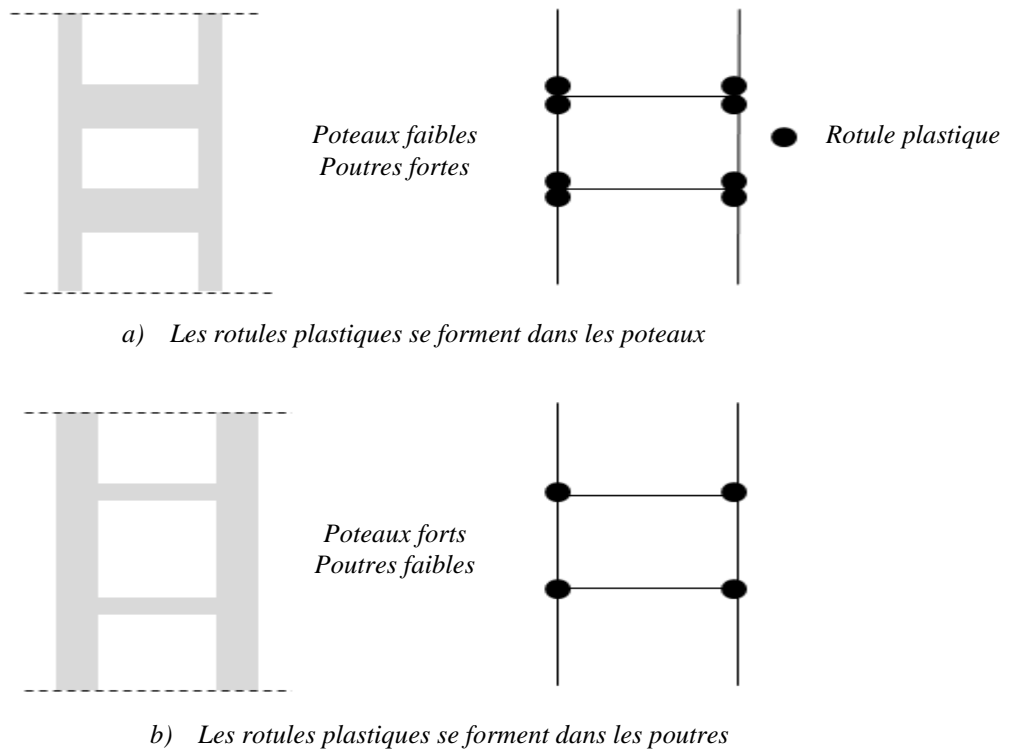


Figure 4.11 Localisation des rotules plastiques

4.3.3 Spécifications des nœuds poteaux - poutres:

Les nœuds d'ossature sont les liaisons entre les éléments structuraux (Fig.4.12). Ils subissent des dommages sismiques graves lorsque les poteaux et les poutres ne sont pas coplanaires, il est donc préférable que les axes de ces derniers soient situés dans un même plan. En cas de non-superposition, la distance entre les deux éléments devrait être réduite le plus possible.

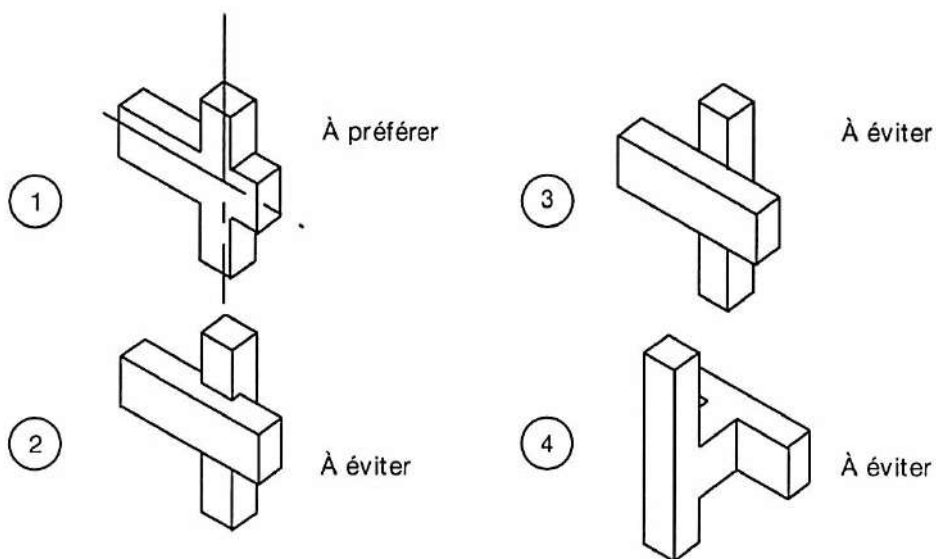


Figure 4.12 Configuration des nœuds [15]

Il convient de vérifier pour les portiques (Fig.4.13) participant au système de contreventement et pour chacune des orientations possibles de l'action sismique que la somme des moments résistants ultimes des extrémités de poteaux ou montants aboutissant au nœud est au moins égale en valeur absolue à la somme des valeurs absolues des moments résistants ultimes des extrémités des poutres ou traverses affectées d'un coefficient majorateur de 1,25[16].

$$|M_n| + |M_s| \geq 1.25 (|M_w| + |M_e|) \quad (3.15)$$

$$|M'_n| + |M'_s| \geq 1.25 (|M'_w| + |M'_e|) \quad (3.16)$$

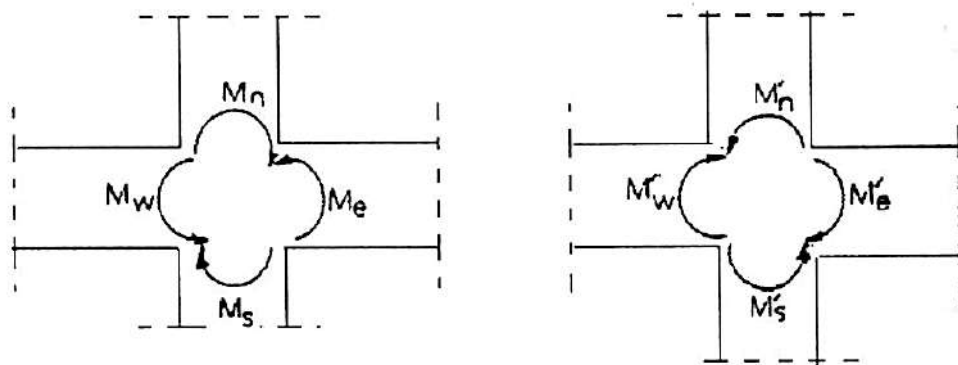


Figure 4.13 Dimensionnement d'un nœud poteau-poutre [16]

4.4 Conception des voiles en zones sismiques:

Un voile en béton armé est une structure spatiale dont l'épaisseur est très faible par rapport aux deux autres dimensions (Fig.4.14). Leur rôle est de :

- Reprendre les charges permanentes et d'exploitation apportées par les planchers ;
- Participer au contreventement ;
- S'opposer à la poussée de terre éventuellement d'eau ;

Le règlement parasismique algérien considère comme voiles que les éléments satisfaisant à la condition suivante : largeur ≥ 4 fois l'épaisseur.

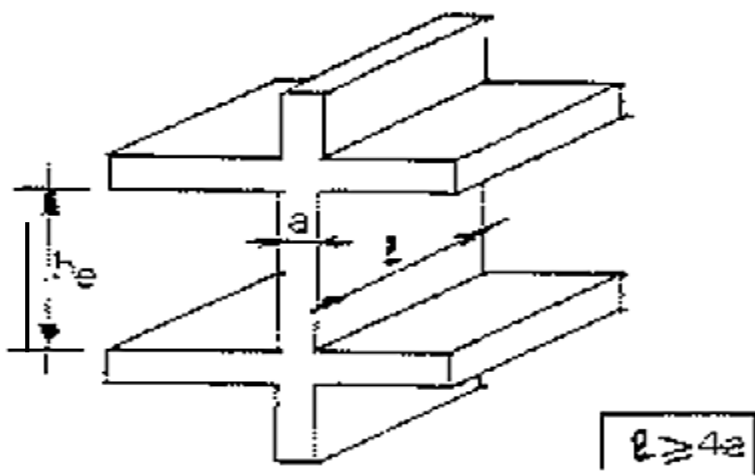


Figure 4.14 Coupe de voile en élévation [16]

Si cette condition n'est pas vérifiée, l'épaisseur des voiles est déterminée en fonction de la hauteur d'étage (h_e) et des conditions de rigidité aux extrémités comme indiqué sur la figure 4.15.

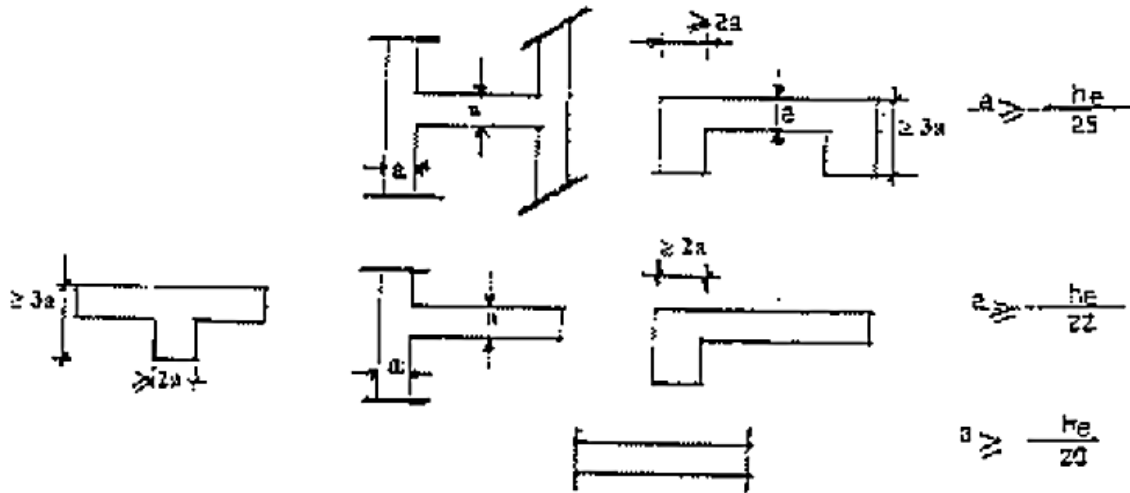


Figure 4.15 Condition pour le dimensionnement de l'épaisseur d'un voile [16]

Pour le calcul de l'inertie des voiles, il est admis de considérer l'influence des murs perpendiculaires (Fig.4.16). La longueur du mur prise en compte de chaque côté devrait être la plus petite.

$$C \leq \min (8a ; L_0/2 ; C_0) \quad (3.17)$$

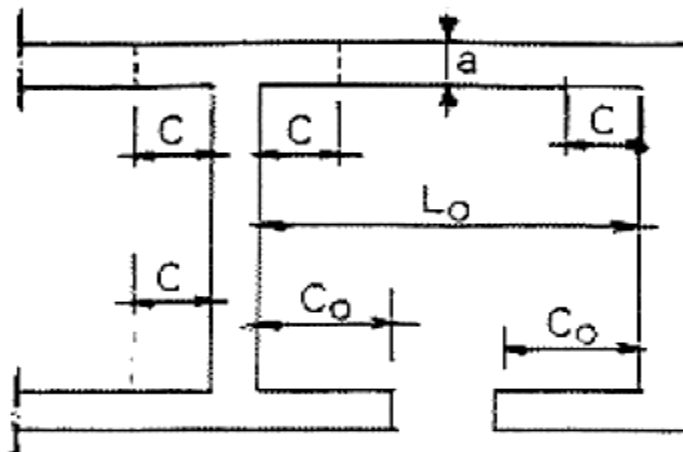


Figure 4.16 Prise en compte des murs en retour [16]

4.5 Le contreventement:

Le contreventement est un système statique destiné à assurer la stabilité globale d'un ouvrage vis-à-vis des effets horizontaux issus des éventuelles actions sur celui-ci (par exemple : vent, séisme, ..., etc.). Il sert également à stabiliser localement certaines parties de l'ouvrage (poutres, poteaux) relative aux phénomènes d'instabilité (flambage ou déversement).

Le contreventement comporte deux types :

- Le contreventement horizontal (diaphragme) ;
- Le contreventement vertical (murs, travées triangulées ou portiques) ;

4.5.1 Le contreventement horizontal (diaphragme):

Le diaphragme (Fig.4.17) est un ouvrage plan rigide, horizontal ou incliné, il peut être constitué par des :

- Planchers ou toitures terrasses (planchers en béton, bois, acier,.....) ;
- Toitures inclinées (en béton, charpente métallique ou bois,.....) ;

Son rôle est de :

- Transmettre les charges sismiques horizontales sur les éléments de contreventement vertical ;
- Raidir les bâtiments à la manière d'un couvercle de boîte ;
- Coupler les éléments verticaux ;

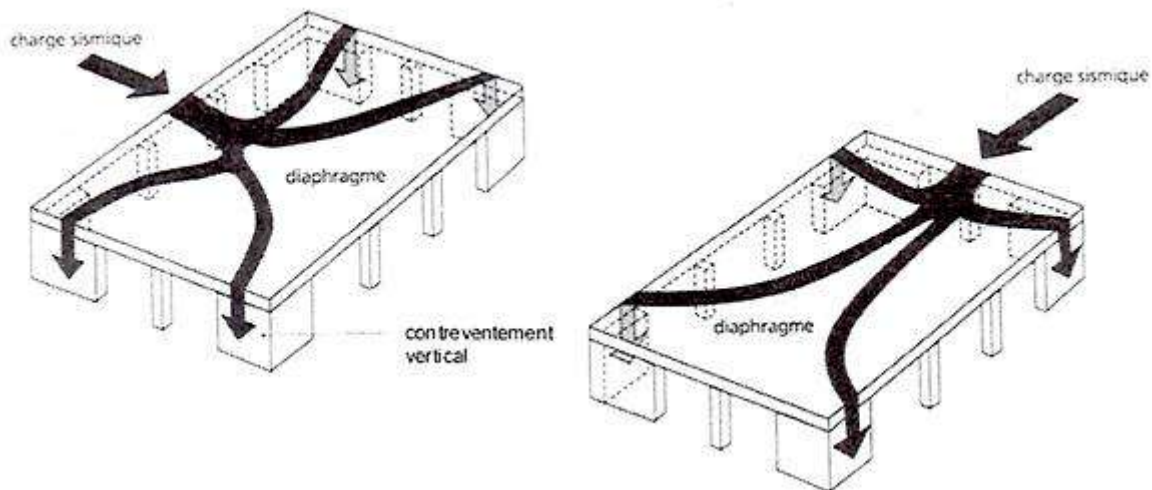


Figure 4.17 Présentation schématique de la transmission des charges sismiques par les diaphragmes sur les murs de contreventement [15]

4.5.2 Le contreventement vertical:

Le contreventement vertical est destiné à transmettre les efforts horizontaux aux fondations et assurer la stabilité (Fig.4.18). Les éléments de contreventement sont classés en trois catégories : panneaux rigides, portiques et palées triangulées.

Afin de constituer un système de contreventement efficace, ils devraient être :

- Les plus larges possibles, courant éventuellement sur plusieurs travées (Fig.4.19) ;
- Disposés en façade ou près des façades pour conférer un grand bras de levier au couple résistant à la torsion (Fig.4.20) ;
- Placés symétriquement par rapport au centre de gravité du niveau (Fig.4.21);
- Constitués par un grand noyau central fermé et non pas en forme de (U, X ou Z) (Fig.4.22) ;
- Superposés afin de former de consoles verticales ancrées dans les fondations (Fig.4.23);

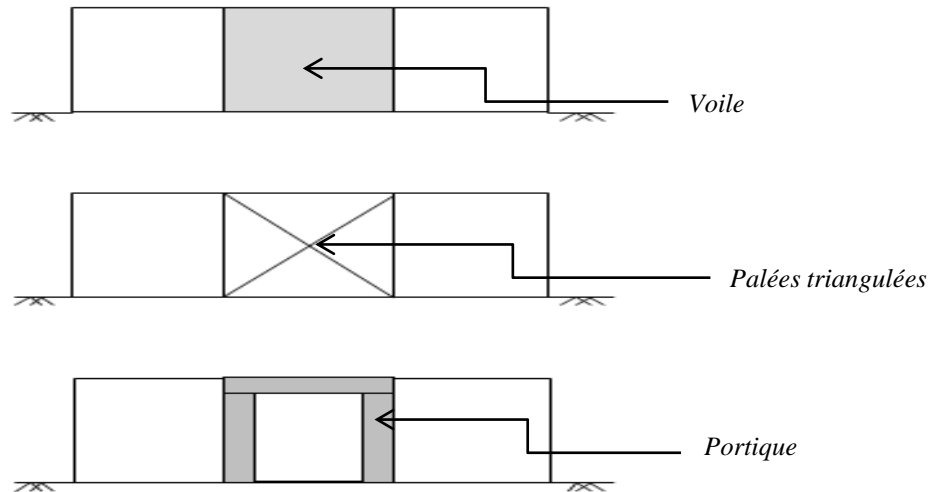


Figure 4.18 Stabilisation d'une file de poteaux par des éléments verticaux de contreventement

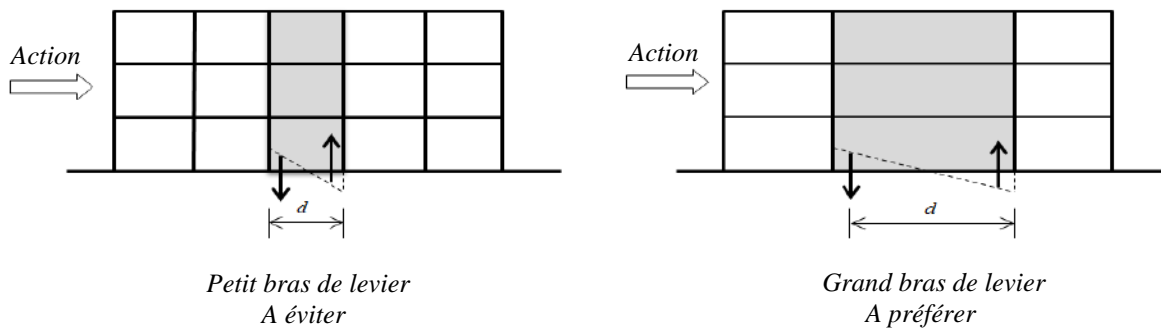


Figure 4.19 Largeur des éléments verticaux de contreventement

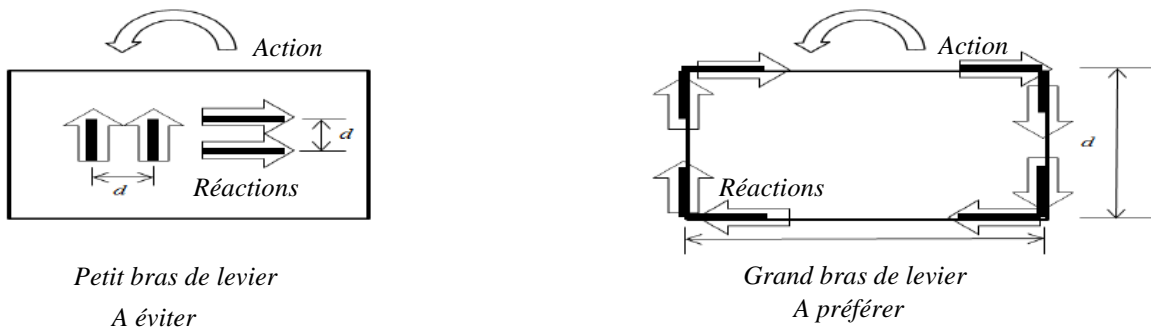


Figure 4.20 Distances entre les éléments de contreventement

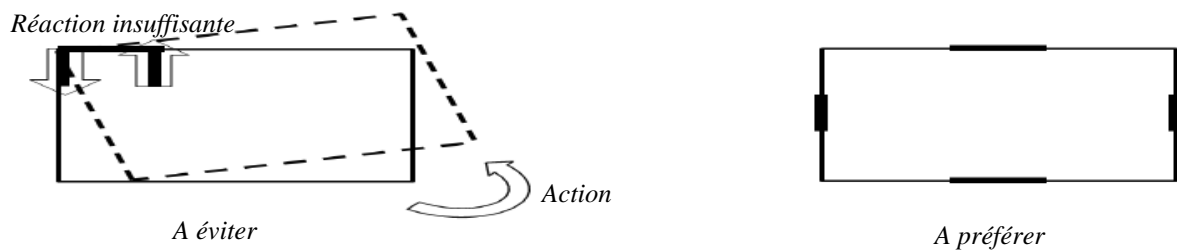


Figure 4.21 Disposition des éléments de contreventement par rapport au centre de gravité

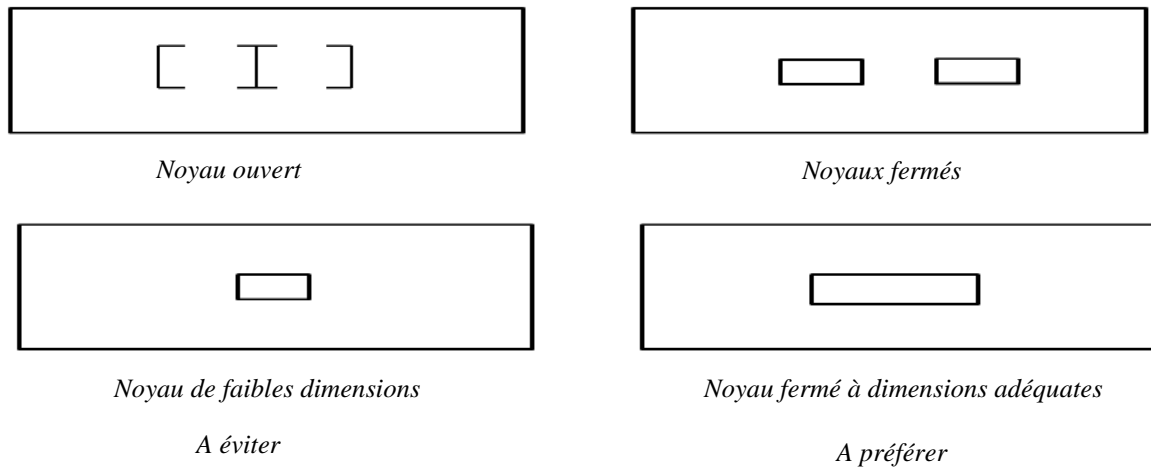


Figure 4.22 Contreventement formant un noyau central

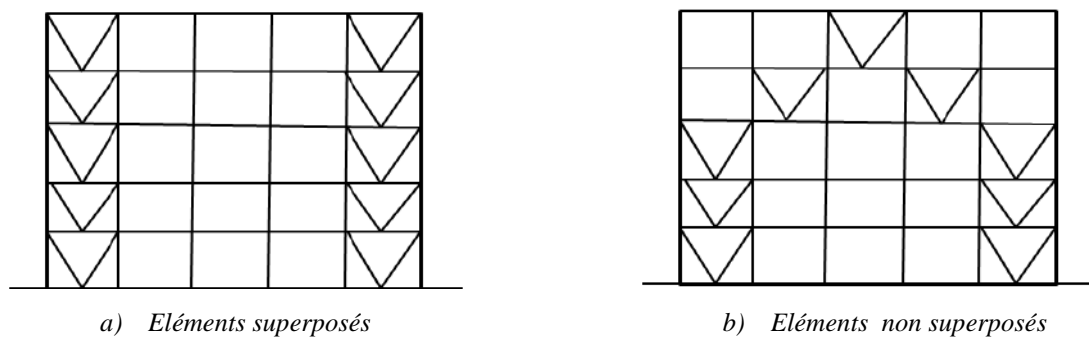
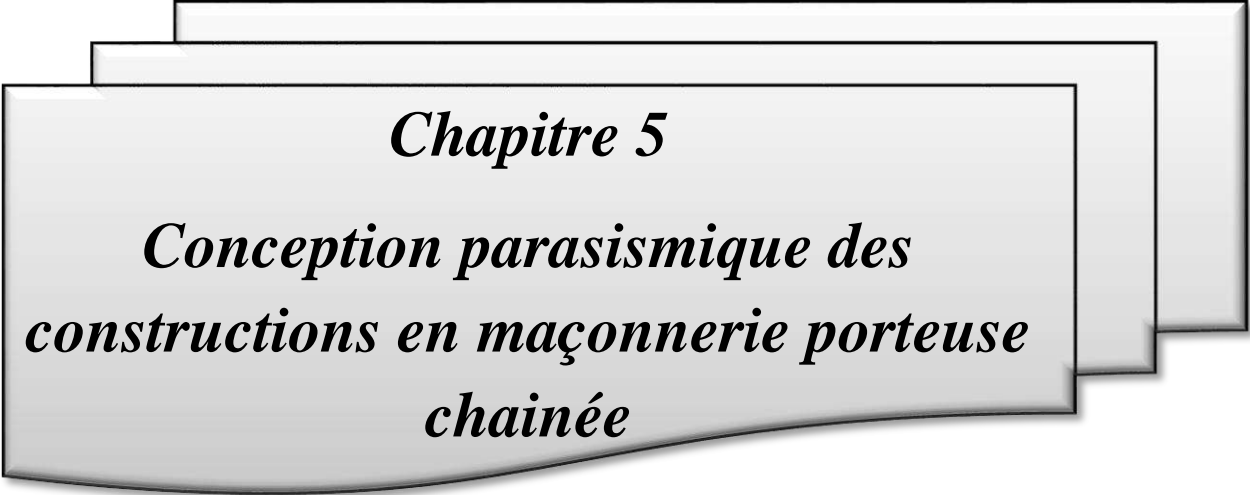


Figure 4.23 Disposition verticale des éléments de contreventement

4.6 Conclusion :

Le système constructif en béton armé est utilisé dans la construction parasismique implantée dans les régions exposées au tremblement de terre à condition que les dispositions constructives adéquates soient appliquées.



Chapitre 5
***Conception parasismique des
constructions en maçonnerie porteuse
chainée***

Chapitre 5 : Conception parasismique des constructions en maçonnerie porteuse chaînée

5.1 Introduction:

La maçonnerie porteuse chaînée appelée aussi maçonnerie portante est un système constructif de murs porteurs en blocs à maçonner confinés par un réseau de chaînages verticaux , horizontaux et inclinés coulés en place après le montage des murs .C'est un système différent des ossatures en béton armé possédant des remplissages en maçonnerie pour lesquelles ce sont les poteaux et les poutres qui sont porteurs.

Le présent chapitre expose les différentes dispositions constructives pour ce type de structure conformément au règlement parasismique algérien (le RPA99 / version 2003).

5.2 Fonctionnement de la maçonnerie porteuse chaînée en zone sismique:

Le comportement dynamique de la maçonnerie porteuse chaînée est complètement différent des ossatures en béton armé avec remplissage de maçonnerie, malgré l'utilisation des mêmes types de matériaux.

Pendant le séisme, les charges dynamiques horizontales générant un cisaillement au niveau des lits de mortier dans le cas de la maçonnerie non armée engendrent la fissuration des murs.

Pour cela la maçonnerie doit être compensée par des chaînages dans les trois directions s'opposant aux déformations et assurant la stabilité de la construction.

5.3 Exigences réglementaires pour la de mise en œuvre des structures en maçonnerie porteuse chaînée :

5.3.1 Dimensions en plan, hauteur de construction et nombre de niveaux:

Les dimensions en plan devront respecter les prescriptions y afférent données par les règles de conception et de calcul des ouvrages en maçonnerie et en béton armé. Par ailleurs le rapport longueur / largeur sera limité à 3,5.La hauteur du bâtiment (en mètres) ainsi que le nombre de niveaux seront limités compte tenu de la zone sismique comme c'est indiqué sur le tableau 5.1 [16].

| | | Zone sismique | | |
|-----------------|---|---------------|---------|----------|
| | | Zone I | Zone II | Zone III |
| Hauteur (m) | H | 17 | 14 | 11 |
| Nombre d'étages | n | 5 | 4 | 3 |

Tableau 5.1 La hauteur du bâtiment et le nombre de niveau en fonction des zones sismiques [16]

5.3.2 Répartition et densité des murs:

Les murs porteurs en maçonnerie devront être répartis de manière uniforme suivant les deux directions principales. Leur nombre doit être suffisant pour résister aux forces sismiques [16].

- L'aire totale des sections droites des murs porteurs dans une direction donnée et à chaque niveau ne devra pas être inférieure à 4 % de la surface du plancher au niveau considéré [16].
- Ces murs doivent être solidement liés (par l'intermédiaire des chaînages) aux planchers rigides; ces derniers vont distribuer aux murs les forces d'inertie au prorata de leur rigidité [16].

On distingue :

- Les murs structuraux de contreventement sont les panneaux du système de maçonnerie qui sont dépourvus de baies capables de reprendre les charges verticales et les charges latérales dues au séisme. Ils auront une épaisseur minimale de 20 cm pour les murs chaînés.
- les murs non-structuraux qui ont une fonction exclusive de cloisonnement. Leurs poids propres sont transmis aux murs porteurs par l'intermédiaire des planchers [16].
- Les distances maximales (en mètres) entre les murs porteurs sont fixées en fonction de la zone sismique comme s'est indiqué sur le tableau 5.2 :

| | Zone sismique | | |
|--------------|---------------|---------|----------|
| | Zone I | Zone II | Zone III |
| Distance (m) | 10 | 8 | 6 |

Tableau 5.2 La distance maximale entre les murs porteurs en fonction des zones sismiques [16]

5.3.3 Les ouvertures :

Les ouvertures ont une grande influence par leurs emplacements et leurs dimensions dans la résistance des bâtiments en maçonnerie. Afin d'améliorer le comportement des constructions en maçonnerie porteuse chaînée ; il faut suivre les recommandations suivantes:

- La longueur totale d'ouverture dans un mur ne devra pas dépasser la moitié de la longueur de ce mur [16];
- Les niveaux supérieurs des ouvertures devront être situés à la même côte [16] ;
- Les ouvertures dans les murs devront être prévues autant que possible de façon symétrique à l'égard à la configuration en plan du bâtiment pour assurer une distribution de rigidité et de résistance uniforme dans les deux directions du bâtiment [16] ;
- Les ouvertures seront placées autant que possible sur le même alignement vertical [16];
- Les ouvertures seront placées en dehors des zones d'influence des charges localisées ramenées par les poutres ou autres éléments porteurs [16] ;
- Les dimensions des ouvertures et des éléments structuraux (Fig.5.1) doivent respecter par ailleurs les conditions suivantes [16] :

$$\sum b_i \leq 0,5L_i \quad (5.1)$$

Pour les trumeaux extrêmes :

$$a_1 \geq 1m \quad (5.2)$$

Pour les autres trumeaux :

$$a_2 \geq 1m \quad (5.3)$$

Pour la zone I et II

$$a_2 \geq \frac{b_1 + b_2}{3} \quad (5.4)$$

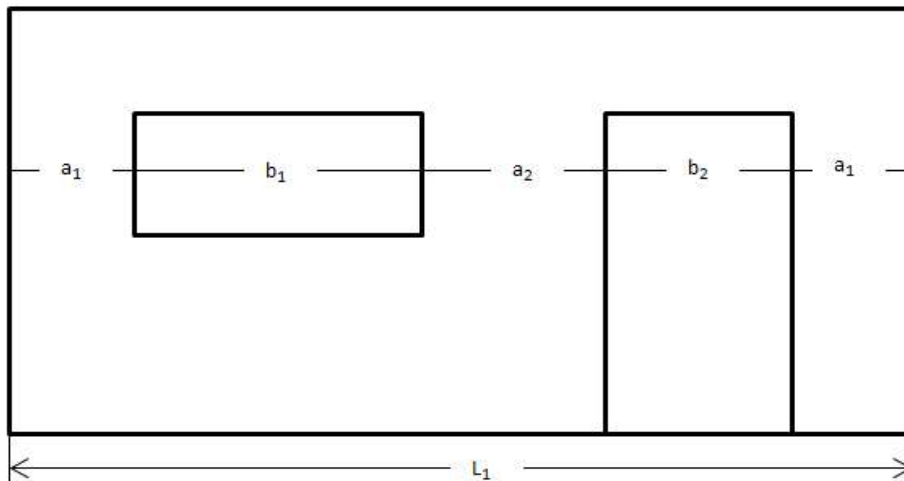


Figure 5.1 Emplacement et taille des ouvertures [16]

5.3.4 Encadrement des baies et des ouvertures:

Les ouvertures et les baies qui ne sont pas bordées par des chaînages doivent en principe recevoir un encadrement en béton armé ou en métal traité aux angles comme un système mécaniquement continu et relié aux chaînages suivant les prescriptions que voici ; à cette fin, les ouvertures sont divisées en trois catégories [16] :

- **Catégorie G** : Baies et ouvertures présentant une dimension supérieure à 2,50 m [16].
- **Catégorie M** : Baies et ouvertures présentant une dimension supérieure à 1,50 m (autre que celle de la catégorie G) [16].
- **Catégorie P** : Baies et ouvertures autres que celles des catégories G et M [16].

Les dispositions sont les suivantes [16] :

- **Catégorie G** : Encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires quelle que soit la zone sismique [16].
- **Catégorie M** : Zones III: encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires [16].
Zone II: encadrement et liaisons aux chaînages obligatoires, sauf lorsque l'ouverture est pratiquée dans un panneau dont aucune dimension n'excède 3,20 m [16].
- **Catégorie P** : Zones III: encadrement obligatoire [16].
Zone II: encadrement obligatoire, sauf lorsque la baie est pratiquée dans un panneau dont aucune dimension n'excède 3,20 m [16].

Les linteaux doivent être constitués par des poutres ou poutrelles en béton armé, en béton précontraint, en métal ou en bois. Les encadrements en béton armé doivent avoir une hauteur minimale de 7 cm et leur armature longitudinale doit être constituée d'au moins deux barres, chacune au voisinage de chaque face latérale. Le minimum d'armatures à disposer dans les encadrements est de (2 HA10) en (zones I et II) et de (3 HA10) en (zone III), l'espacement de deux barres ne doit pas excéder 20 cm (Fig.5.2) [16].

Les encadrements en métal doivent avoir une résistance à la traction au moins égale à celle exigée des encadrements en béton armé [16].

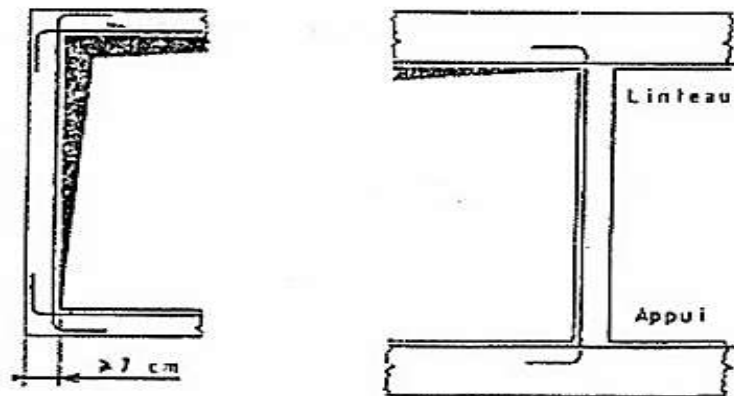


Figure 5.2 Encadrement en béton armé [16]

5.3.5 Les chaînages :

Les chaînages sont des éléments en béton armé, horizontaux, verticaux, ou inclinés, (Fig.5.3) composés d'armatures de hautes adhérences, noyées dans le béton qui participent avec la maçonnerie, à la stabilité de la construction et limitent les risques de fissuration. Le règlement parasismique algérien (le RPA99 / version 2003) définit le nombre et le diamètre minimal des armatures suivant leur rôle et leur emplacement dans la construction.

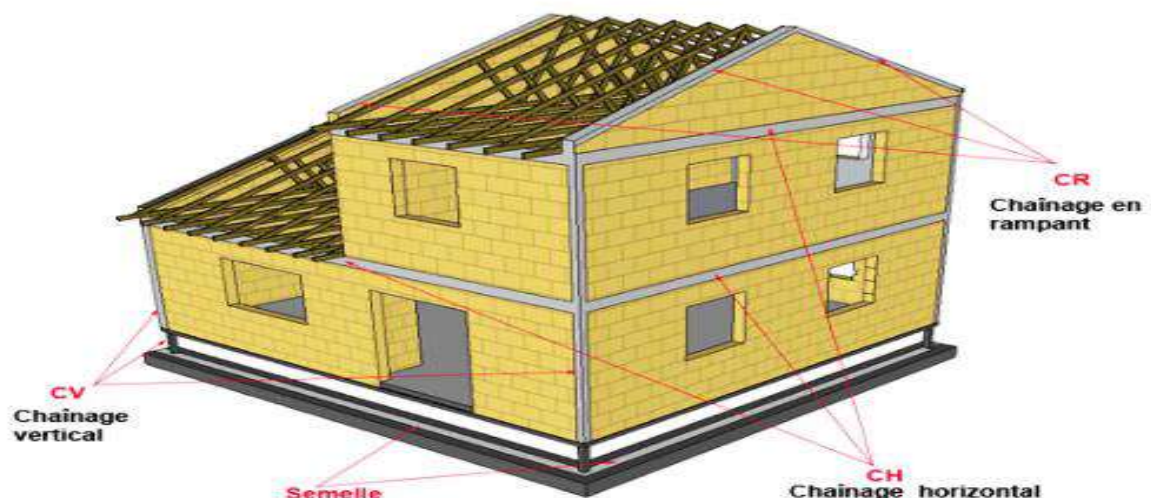


Figure 5.3 Disposition des chaînages verticaux, horizontaux et inclinés [19]

5.3.5.1 Les chaînages horizontaux:

Les chaînages horizontaux (Fig.5.4) doivent être présents au niveau des planchers de chaque étage et au niveau des fondations, ils doivent régner sur toute l'épaisseur du mur. Les chaînages horizontaux doivent être continus et fermés. Leur rôle est de répartir les charges transmises par les planchers sur les murs, de relier les planchers aux murs et d'éviter les tassements différentiels.

Le règlement parasismique algérien (le RPA99 / version 2003) tolère une réduction aux 2/3 de l'épaisseur des murs épais. Les chaînages doivent avoir une hauteur minimale de 15 cm [16]. Leur armature longitudinale doit être composée d'au moins une barre dans chaque angle de la section. Le minimum d'armature longitudinale des chaînages horizontaux est de 4 barres (HA 10). L'espacement de deux barres d'une même nappe horizontale ne doit pas excéder 20 cm [16]. Tout chaînage horizontal doit comporter des armatures transversales d'espacement au plus égal à la hauteur du chaînage et à 25 cm [16].

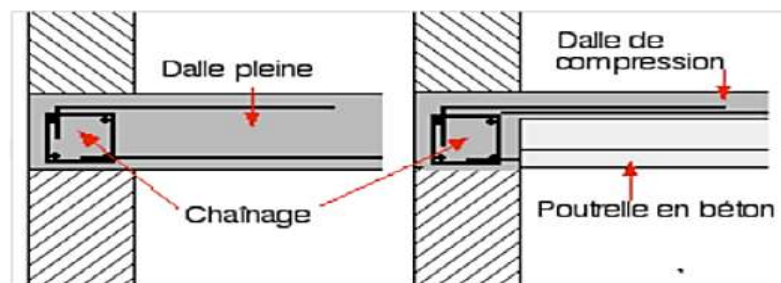


Figure 5.4 Exemple de chaînage horizontal [19]

5.3.5.2 Les chaînages verticaux:

Les chaînages verticaux (Fig.5.5) sont présents à tous les angles rentrants et au niveau des jonctions des murs de façade et de refend, ainsi que de part et d'autre des joints de rupture des constructions. Ils seront réalisés sur toute la hauteur du mur avec une section minimale (15 x15) cm² [16]. Leurs fonctions sont de ceinturer la maçonnerie en liaison avec les chaînages horizontaux et d'empêcher le soulèvement des planchers en béton armé dans les angles. Les sections et dispositions d'armatures sont les mêmes que celles concernant les chaînages horizontaux [16].

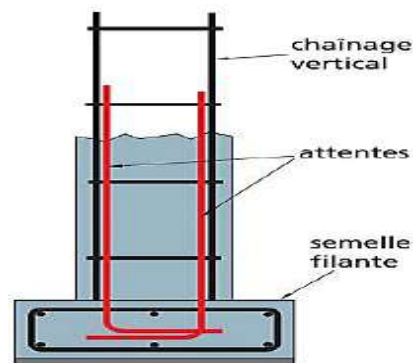


Figure 5.5 Exemple de chaînage vertical [20]

5.3.5.3 Les chaînages inclinés:

Appelés également chaînages rampant, ils sont utilisés pour renforcer les rives inclinées des pignons et ils sont obligatoires en zone de sismicité moyenne et élevée. Leurs armatures doivent être liaisonnées à celles des chaînages verticaux et horizontaux afin d'en assurer la continuité.

5.3.5.4 Nœuds des chaînages:

Les trois types de chaînages se lient entre eux au niveau des nœuds par des barres de recouvrement assurant leur continuité (Fig.5.6).

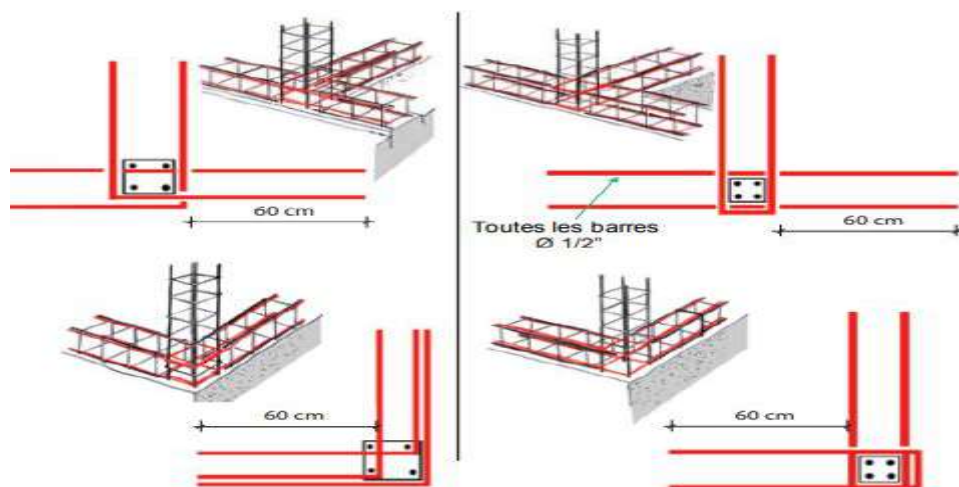


Figure 5.6 Exemple de liaisons entre chaînages horizontaux et chaînages verticaux [21]

5.4 Spécifications concernant les matériaux utilisés pour la maçonnerie porteuse chaînée :

5.4.1 Spécifications concernant les blocs à maçonner :

Le règlement parasismique algérien (le RPA99 / version 2003) autorise pour la réalisation de murs de contreventement en maçonnerie l'utilisation des blocs à maçonner suivants :

- moellons de pierre ;
- pierres de taille ;
- briques et blocs de terre cuite ;
- blocs en béton (parpaing plein ou creux) ;
- briques silico – calcaires ;
- blocs de béton de terre stabilisée B.T.S ;
- blocs de béton cellulaire autoclave (siporex ou autre...) ;

La résistance caractéristique en compression des blocs de pierre est prise égale à la valeur minimale en fonction de la catégorie de roche d'origine.

La résistance en compression des briques, blocs de terre cuite et de béton doivent être conformes aux normes y afférentes.

5.4.2 Spécifications concernant les mortiers :

Les mortiers utilisés pour les constructions des structures en maçonnerie seront à base de ciment ou ciment - chaux hydraulique et leur résistance minimale caractéristique à la compression sera de 5 MPa [16].

5.4.3 Spécifications concernant les armatures :

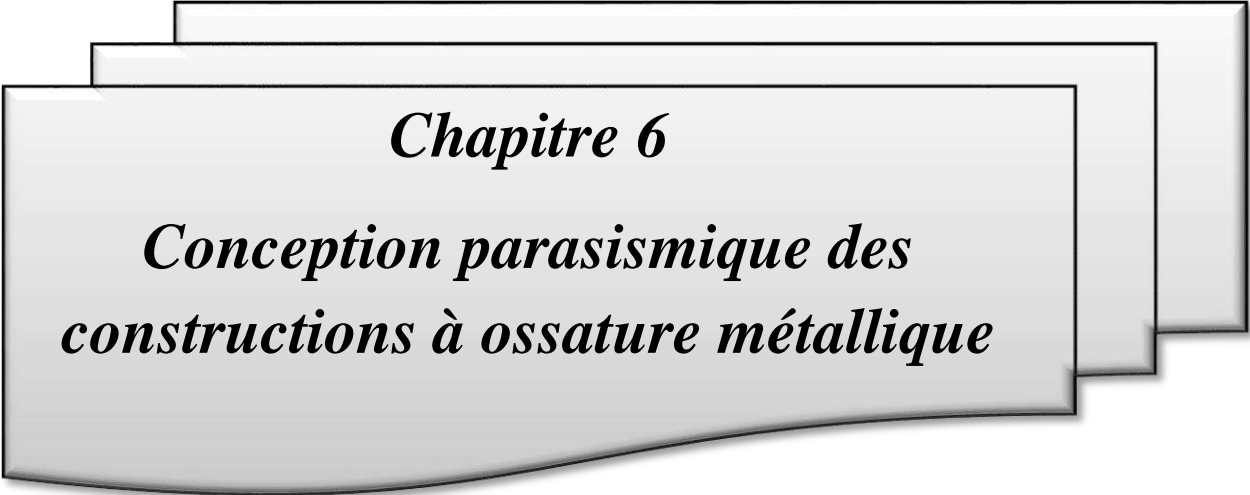
Les armatures sont celles prévues pour le béton armé et sont définies par les normes; la valeur de la résistance caractéristique à utiliser dans les calculs étant la limite d'élasticité f_e [16].

5.4.4 Spécifications concernant le béton :

Pour les éléments en béton armé faisant partie du système structural, la résistance caractéristique minimale à la compression exigée est de 15 MPa [16].

5.5 Conclusion:

Seul le système de construction en maçonnerie porteuse chaînée est permis en zone sismique.



Chapitre 6

***Conception parasismique des
constructions à ossature métallique***

Chapitre 6 : Conception parasismique des constructions à ossature métallique

6.1 Introduction:

Les constructions métalliques sont composées d'un ensemble d'éléments barres (poteaux-poutres) constitués de profilés laminés ou soudés souvent en forme de (I ou de H) assemblés entre eux (Fig.6.1). Ce type de structure présente de nombreux avantages : légèreté du matériau, facilité de montage, ..., etc.

La conception, le dimensionnement ainsi que l'exécution des ossatures métalliques des constructions en zones sismiques doivent satisfaire simultanément aux exigences de la réglementation parasismique algérienne (le RPA99 / version 2003) énoncées dans le présent chapitre et à celles prescrites par les autres règlements en vigueur.



Figure 6.1 Construction métallique [22]

6.2 Fonctionnement des constructions à ossature métallique en zones sismiques:

Les structures métalliques arrivent rarement à l'effondrement sous l'action sismique en raison de la ductilité des éléments qui les constituent parce que ces derniers ont la capacité de se déformer et de s'étirer, sans rupture.

Les dégâts observés sont les suivants :

- Plastification des barres ;
- Ruptures fragiles notamment au niveau des assemblages ;
- Dommages aux éléments non structuraux ;

Pour cela les constructions à ossatures métalliques doivent être dotées par des systèmes de contreventement et par des assemblages rigides assurant la stabilité.

6.3 Classification des structures métalliques selon le règlement parasismique algérien (le RPA99 / version 2003) et les exigences réglementaires pour leur mise en œuvres en zones sismiques:

6.3.1 Structures à cadres :

6.3.1.1 Portiques autostables ductiles :

Ils sont conçus en tant que contreventement vertical, capables de reprendre à la fois les actions horizontales et verticales et capable de subir d'importantes déformations inélastiques sans perte de résistance ni de réduction significative de leur capacité de dissipation d'énergie. Les aciers utilisés dans les portiques autostables ductiles doivent respecter les conditions suivantes :

- Avoir une bonne soudabilité ;
- Satisfaire aux critères de ductilité, de raffermissement et d'allongement à la rupture suivants:
 - Critère de ductilité: $(\epsilon_u/\epsilon_y) \geq 20$
 - Critère de raffermissement: $(f_u/f_y) \geq 1,2$
 - Critère de l'allongement à la rupture: $A_r \geq 15\%$
- Avoir des variations des limites d'élasticité réelles vis-à-vis des limites d'élasticité de calcul suffisamment faibles pour ne pas remettre en cause l'emplacement prévu des rotules plastiques [16].

- Sections transversales :

Les parois des sections comprimées et /ou fléchies des éléments dans lesquels des rotules plastiques sont susceptibles de se former pendant les déformations inélastiques des portiques doivent avoir un rapport largeur sur épaisseur (b/t) suffisamment faible pour prévenir les voilements locaux prématurés. Des valeurs maximales du rapport b/t pour des profils de section couramment utilisés, sont indiquées dans le tableau 6.1 [16].

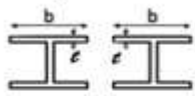
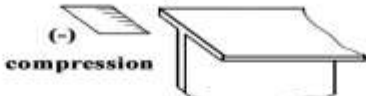
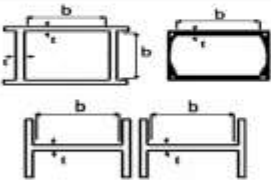



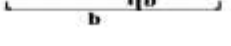
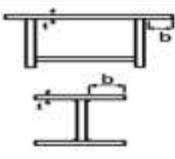

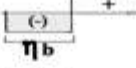
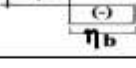
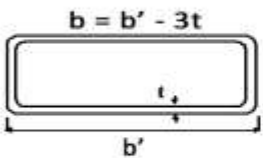

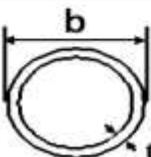
| Type de | Diagramme des | b/t max. |
|---|--|--|
|  |  | 20ε |
|  | compression  flexion  compression  flexion  | 33ε 72ε $\frac{396 \epsilon}{13 \cdot \eta - 1}$ $\frac{36 \epsilon}{\eta}$ |
|  | compression  compression flexion  compression flexion  | 9ε $\frac{9\epsilon}{\eta}$ $\frac{9\epsilon}{\eta^{1.5}}$ |
|  | compression  | 33ε |
|  | compression | 50ε ² |

Tableau 6.1 Valeurs maximales du rapport b/t [16]

- Les assemblages :

Ils constituent des composants spécifiques à la construction métallique. Leur rôle est de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux (poteaux, poutres, diagonales de contreventement), d'assurer la transmission et de répartir des diverses sollicitations entre les éléments assemblés. Les assemblages sont classés en deux grandes catégories : d'une part, assemblages « mécaniques » : boulons, vis, rivets... et, d'autre part assemblages « adhérents ou cohésifs » comme la soudure ou le collage (Fig.6.2), (Fig.6.3), (Fig.6.4).

Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale.

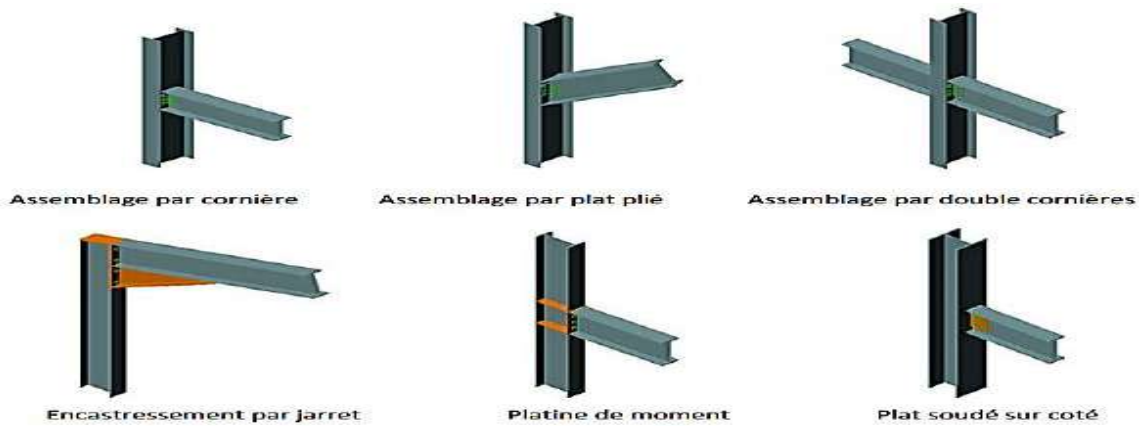


Figure 6.2 Assemblage poteau-poutre [23]



Figure 6.3 Assemblage poutre-poutre [23]

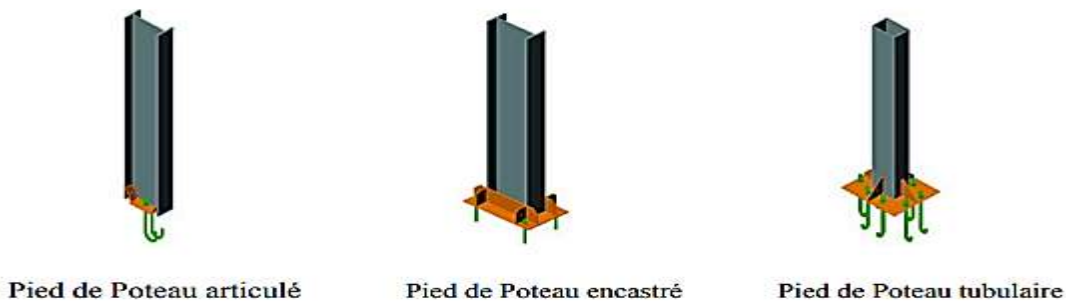


Figure 6.4 Assemblage poteau-fondation [23]

Les assemblages auront à satisfaire aux exigences de la réglementation parasismique algérienne suivante :

- Chaque assemblage poteau-poutre d'un portique auto-stable doit être de type rigide et être capable de développer dans la poutre la capacité plastique totale de cette dernière [16].
- Dans le cas où les assemblages poteaux-poutres d'un portique auto-stable sont boulonnés, ceux-ci seront conçus, calculés et réalisés comme des assemblages travaillant au cisaillement, de type résistant au glissement à l'état- limite ultime sous l'action sismique, et utilisant des boulons précontraints à haute résistance et à serrage contrôlé [16].
- Pour les aciers de construction dont la résistance ultime spécifiée est de moins de 1,5 fois la

résistance limite d'élasticité spécifiée, les rotules plastiques devant se former dans les poutres, pendant les déformations inélastiques du portique, ne doivent pas apparaître en des endroits où l'aire de la semelle a été réduite, par exemple par des trous pour boulons. A titre indicatif, cette condition est remplie pour les aciers de nuances (FE 360) et (FE 430) mais elle ne l'est pas nécessairement pour la nuance (FE 510) [16].

- Les cordons de soudure des assemblages soudés des portiques auto-stables se contrôleront par des méthodes de contrôle non destructif conformes aux normes, et ce, particulièrement pour les ouvrages des groupes (1A) et (1B) implantés en zone sismique (III) [16].

6.3.1.2 Cadres autostables ordinaires :

Les ossatures de bâtiments qui ont au plus 5 niveaux et qui sont contreventées par des portiques autostables dont les parois des sections comprimées et/ou fléchies des éléments dissipatifs ont un rapport (b/t) ne respectant pas les critères des sections transversales donnés au tableau 6.1, seront conçues et calculées sur la base d'un facteur de réduction (R) au plus égal à 4.

6.3.2 Les structures contreventées:

Les structures contreventées sont plus rigides que les structures à portiques ; moins déformables, elles imposent moins de dommages aux éléments non structuraux. Le système de contreventement des ossatures « articulées » peut être « centré » ou « excentré ».

Les aciers utilisés dans les éléments de contreventement doivent respecter les mêmes conditions des portiques autostables ductiles.

Le règlement parasismique algérien (le RPA99 / version 2003) exige l'utilisation du contreventement centré seulement. Les ossatures avec triangulation à barres centrées sont des structures dans lesquelles la résistance aux forces horizontales du séisme est assurée par des barres dont les axes se croisent sur l'axe des poteaux et des poutres. Selon le règlement parasismique algérien la triangulation autorisée doit appartenir aux deux catégories suivantes :

- Les palées triangulées en X ;
- Les palées triangulées en V ;

6.3.2.1 Les palées triangulées en X:

Dans ce type de palée (Fig.6.5), il est admis de considérer que seules les barres tendues, pour un sens donné de l'action sismique, interviennent avec efficacité dans la résistance dissipative de l'ossature. Pour ce type de palées de contreventement, il est pris une valeur du coefficient $R=4$ [16].

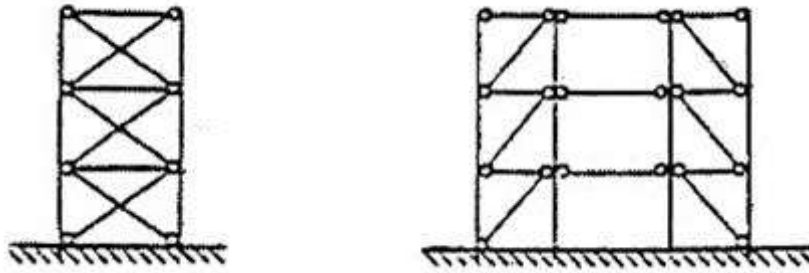


Figure 6.5 Palés triangulées centrées en X [16]

6.3.2.2 Les palées triangulées en V:

Dans ce type de palée (Fig.6.6), le point d'intersection des diagonales se trouve sur la barre horizontale. La résistance à l'action sismique est fournie par la participation conjointe des barres tendues et des barres comprimées. Le comportement dissipatif global de ce type de palée est de moindre efficacité. En conséquence, le coefficient de réduction R doit être réduit (prendre $R=3$) [16].

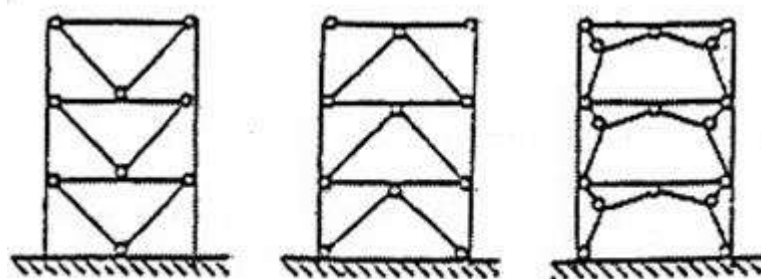


Figure 6.6 Palés triangulées centrées en V [16]

6.4 Exigences pour les diaphragmes :

- Planchers collaborants :

Les planchers collaborants doivent être bien liaisonnés avec l'ossature (solidarisation impérative avec les chaînages périphériques et les poutres) pour qu'ils puissent jouer leur rôle de diaphragme rigide assurant un comportement dynamique satisfaisant.

- Toitures légères :

La plupart des structures métalliques ont des toitures légères, Pour jouer leur rôle de diaphragme rigide elles doivent être correctement contreventées dans leurs plans.

6.5 Exigences pour l'ancrage des poteaux métalliques dans l'infrastructure:

Les poteaux métalliques sont fixés solidement sur une fondation en béton par des tiges d'ancrage qui sont utilisées pour transférer les charges de traction et / ou les charges de cisaillement à l'infrastructure. Il existe différents ancrages selon le type de structure à ancrer. Une tige de scellement pour fondation béton comporte une partie immergée dans le béton et une extrémité filetée sortant de la fondation. Le filetage permet de boulonner écrous et rondelles pour fixer une structure.

En zone sismique les tiges d'ancrage doivent être ductiles afin d'éviter la rupture fragile sous les efforts à l'arrachement, ce qui limite le diamètre unitaire à 16 mm (et augmente le nombre). Et pour prévenir l'arrachement de ces dernières, il faut mettre en place des plaques d'arrêt ou barres dans le béton armé de l'infrastructure (Fig.6.7).

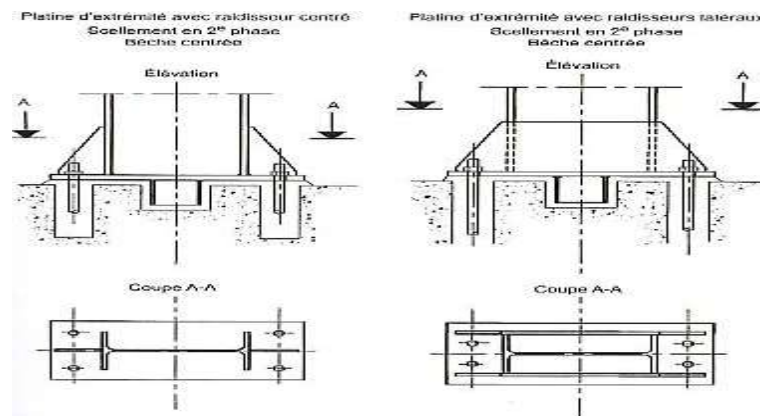


Figure 6.7 Pied de poteau encastré avec platine d'extrémité [24]

6.6 Exigences pour les éléments non structuraux:

6.6.1 Les remplissages maçonneries:

Les remplissages de maçonnerie doivent néanmoins être évités ou désolidarisés dans les structures métalliques. S'ils sont utilisés, il faut les armer, souder les armatures sur les poteaux et soigner le garnissage des joints en vue de parfaire la cohésion entre les matériaux et assurer le raidissage de la structure (Fig.6.7).

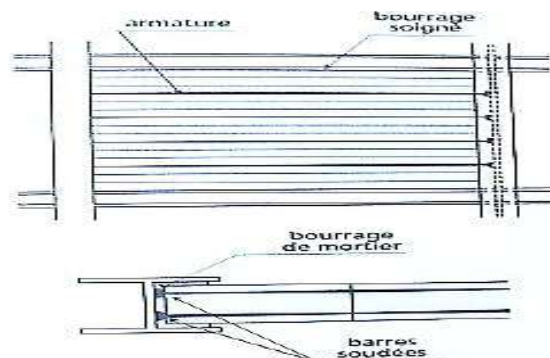


Figure 6.8 Armature des maçonneries de remplissage [24]

6.6.2 Fixations des bardages:

Le bardage désigne le revêtement des murs extérieurs d'une construction. Il a une fonction décorative et sert également à l'isolation thermique et acoustique, lorsqu'il est mal fixé ; en cas de séisme, il peut modifier considérablement le comportement de la structure et donner lieu à des désordres importants (Fig.6.8). Pour cela, son système de fixation doit être conçu pour résister aux déformations.



Figure 6.9 Chute des bardages mal fixés [24]

6.6.3 Fixations des murs- rideaux:

Un mur-rideau appelé aussi façade-rideau désigne un mur extérieur, non porteur, destiné à protéger un espace de tout ce qui est dehors. Il est léger et souvent en verre teinté, avec une armature en aluminium. C'est une technique très utilisée dans beaucoup de constructions métalliques. Cet élément non-porteur est très sensible aux forces dynamiques (Fig.6.9) ; sa conception doit permettre la déformation de la structure sans dommages pour les façades.



Figure 6.10 Déformation du mur –rideau [24]

6.7 Conclusion:

Il existe de multiples solutions constructives pour les constructions à ossatures métalliques, favorisent leur résistance au séisme tout en laissant une grande latitude au concepteur dans l'expression architecturale.



Chapitre 7
Conception des fondations en zones
sismiques

Chapitre 7 : Conception des fondations en zones sismiques

7.1 Introduction:

Les fondations constituent l'interface entre la superstructure et le sol d'assise, assurant ainsi la transmission à ce dernier toutes les sollicitations (charges et surcharges combinées). Les fondations sont aussi soumises aux sollicitations sismiques et elles sont endommagées. Il est donc obligatoire en zone sismique de prendre en considération des dispositions constructives spécifiques pour la conception des fondations.

Le choix du système de fondation est effectué dans les mêmes conditions qu'en situation non sismique en fonction :

- Des caractéristiques géotechniques du sol d'assise ;
- Des charges amenées par la construction ;
- Du coût d'exécution ;

On distingue deux principaux types de fondations selon la profondeur à laquelle elles se situent :

- Fondations superficielles ;
- Fondations profondes ;

7.2 Les fondations superficielles:

Appelées aussi fondations directes, ce type en question est employé lorsque le bon sol est proche de la surface. Elles sont dimensionnées et réalisées selon les méthodes et les dispositions techniques contenues dans le DTR- BC 2.33.1 (Règles de calcul des fondations superficielles et le DTR-BE 1.31 (Règles d'exécution des travaux de fondations superficielles).

Selon le RPA 99 / version 2003; les fondations superficielles sont dimensionnées selon les combinaisons d'actions :

$$G+Q+E \quad (7.1)$$

$$0.8G \pm E \quad (7.2)$$

Compte tenu de l'application à la résistance ultime du sol (q_u) d'un coefficient de sécurité de 2 [16].

7.2.1 Les semelles isolées:

Appelées également semelles ponctuelles parce que elles sont placées sous un poteau (Fig.7.1).

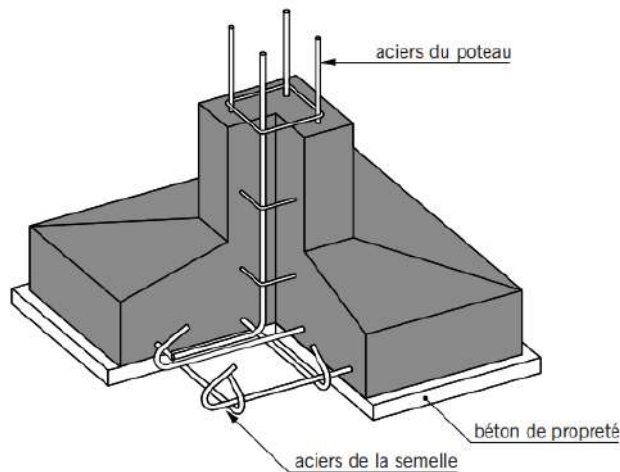


Figure 7.1 Semelle isolée [25]

7.2.2 Les semelles filantes:

Ce sont des semelles continues rectilignes (Fig.7.2) portant un mur ou une rangée des poteaux.

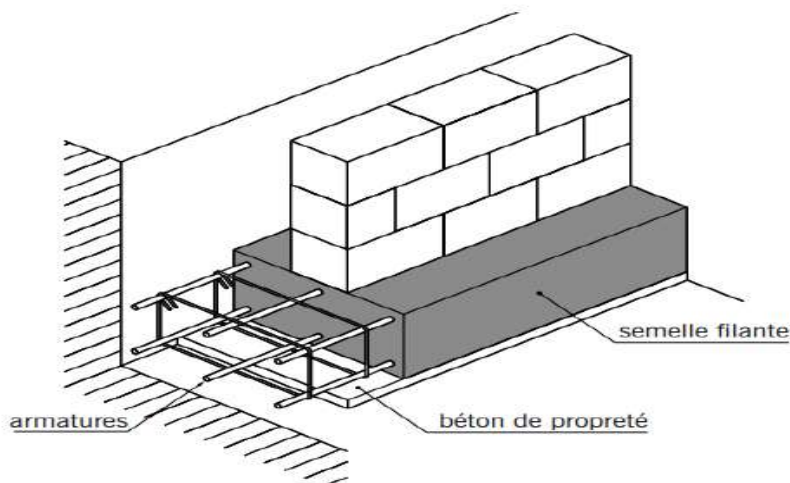


Figure 7.2 Semelle filante [25]

7.2.3 Les radiers:

Les radiers sont des dalles qui occupent la totalité de l'emprise au sol de la construction (Fig.7.3); Ils sont utilisés :

- Quand les conditions de réalisation imposent des semelles très rapprochées;
- Quand la capacité portante du sol est faible;
- Quand les charges de la construction sont élevées;
- Quand le sol n'est pas homogène et risque de provoquer des tassements;

Il existe quatre types de radier :

- Le radier dalle ;
- Le radier nervuré ;
- Le radier champignon ;
- Le radier voûte ;



Figure 7.3 Radier en béton armé [26]

7.3 Les fondations profondes:

Employées quand le bon sol est situé en profondeur, elles sont dimensionnées et réalisées selon les méthodes et les dispositions techniques contenues dans le DTR- BC 2.33.2 (Méthodes de calcul des fondations profondes) et le DTR-BE 2.31 (Travaux de fondations profondes). Les fondations profondes sont classées en deux catégories en fonction de leurs techniques de mise en œuvre:

- Pieux façonnés à l'avance (Fig.7.4): ils sont généralement mis en place par battage ;
- Pieux exécutés en place (Fig.7.5): ils sont coulés dans des forages ;

Selon le RPA 99 / version 2003, les fondations profondes sont dimensionnées selon les combinaisons d'actions :

$$G+Q+E \quad (7.3)$$

$$0.8G \pm E \quad (7.4)$$

Tenons compte de l'application de coefficient de sécurité partiel (γ) sur la charge limite (Q_1) qui dépend du mode de fonctionnement du pieu et de la méthode de détermination de (Q_1) ; ($Q_1=Q_{pl}+Q_{sl}$, Q_{pl} : charge limite de pointe, Q_{sl} : charge limite de frottement) [16].

| Coefficient γ Type de pieu | Essai de chargement statique | Essai en place | Essai au laboratoire |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------|
| Compression | 1,1 | 1,25 | 2,5 |
| Traction | 1,5 | 1,5 | 2 |

Tableau 7.1 Valeurs des coefficients de sécurité partiels (γ) [16]

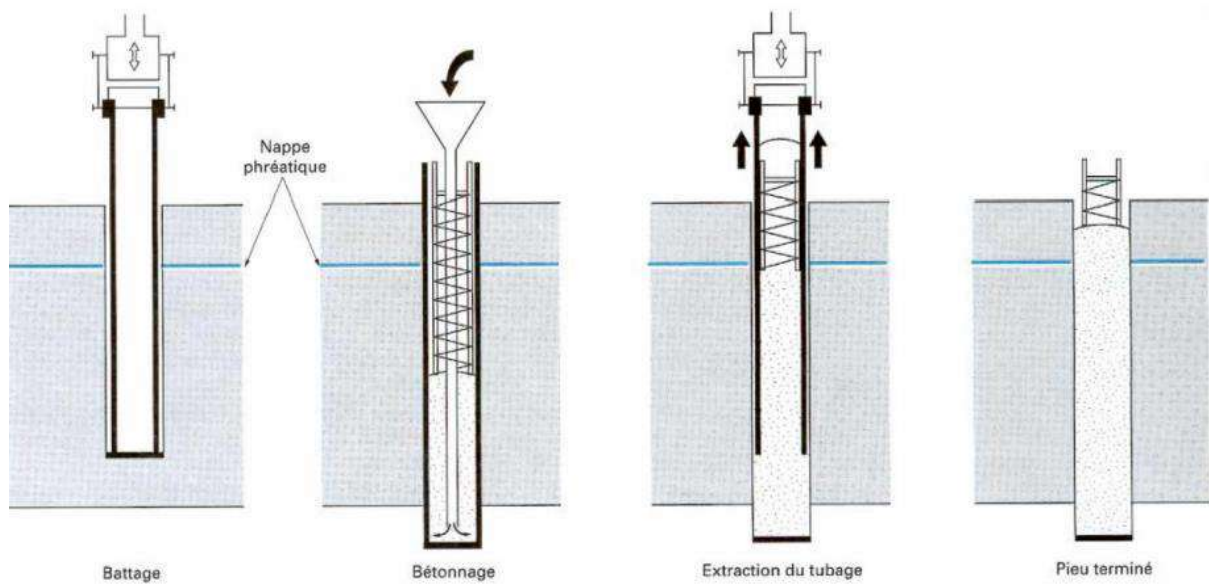


Figure 7.4 La mise en œuvre des pieux battus [27]

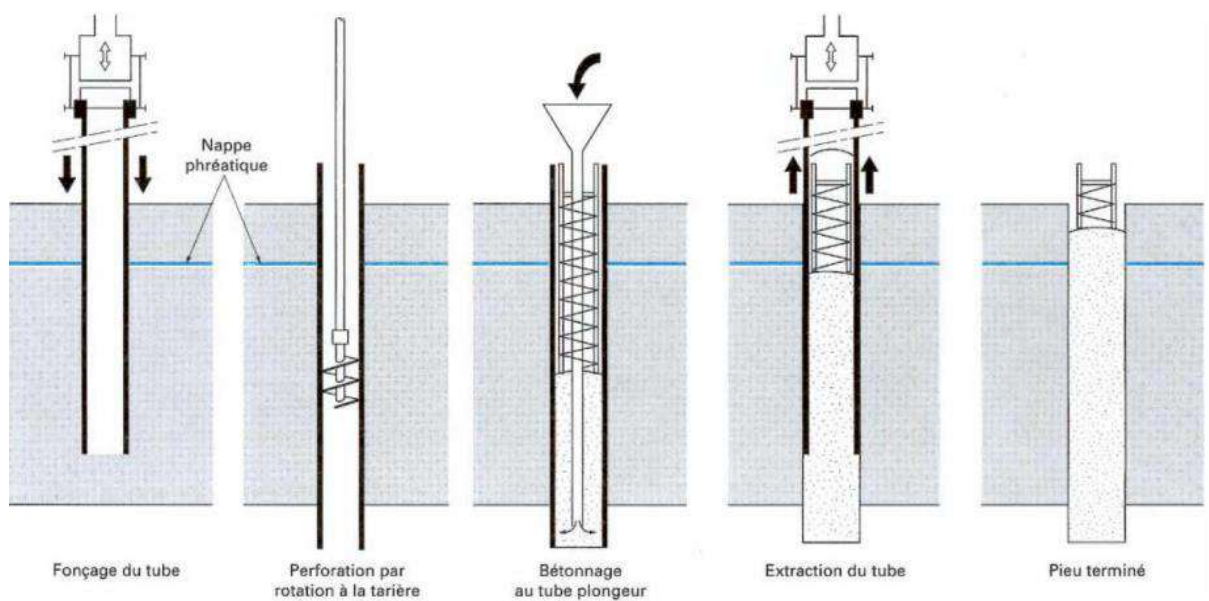


Figure 7.5 La mise en œuvre des pieux forés [27]

7.4 Dispositions spécifiques de conception des fondations en zones sismiques:

7.4.1 Homogénéité du système de fondation:

Le règlement parasismique (le RPA 99 / version 2003) exigent que les fondations d'une construction doit constituer un système homogène pour une même unité.

7.4.2 Solidarisation des points d'appui:

En zone de sismicité moyenne et forte ; il est indispensable de solidariser les points d'appui d'un même bloc par un réseau bidirectionnel de longrines ou un autre dispositif équivalent. Les dimensions minimales de la section transversale des longrines en fonction de la catégorie du site sont présentées dans le tableau 7.2.

| Section (cm ²) | Catégorie de site |
|----------------------------|----------------------------------|
| 25G30 | S ₂ et S ₃ |
| 30G30 | S ₄ |

Tableau 7.2 Dimensions des longrines en fonction de la catégorie du site [16]

Les longrines ou le dispositif équivalent doivent être dimensionnées pour résister à un effort de traction sous l'action d'une force égale à :

$$F = \frac{N}{\alpha} \geq 20KN \quad (7.5)$$

N : Effort normal maximum apporté par les points d'appui solidarisés.

α : Coefficient qui dépend de la zone sismique et de la catégorie du site dont les valeurs sont présentées dans le tableau 7.3.

| Site | Zone | | |
|----------------|------|----|-----|
| | I | II | III |
| S ₁ | - | - | - |
| S ₂ | - | 15 | 12 |
| S ₃ | 15 | 12 | 10 |
| S ₄ | 12 | 10 | 8 |

Tableau 7.3 Valeurs du coefficient (α) [16]

7.4.3 Fondations sur un terrain en pente:

Les fondations voisines sont implantées sur un terrain en pente dont ce dernier ne peut donner lieu à un glissement d'ensemble. Leurs arêtes doivent avoir une pente maximale de 3 de base et pour 2 de hauteur (Fig.7.6) .Si cette condition n'est pas satisfaite, ils doivent être reliés par :

- Des longrines (Fig.7.7) si la différence de hauteur d'implantation est inférieure à 1,20m ;
- Des voiles (Fig.7.8) si la différence de hauteur d'implantation est supérieure à 1,20m ;

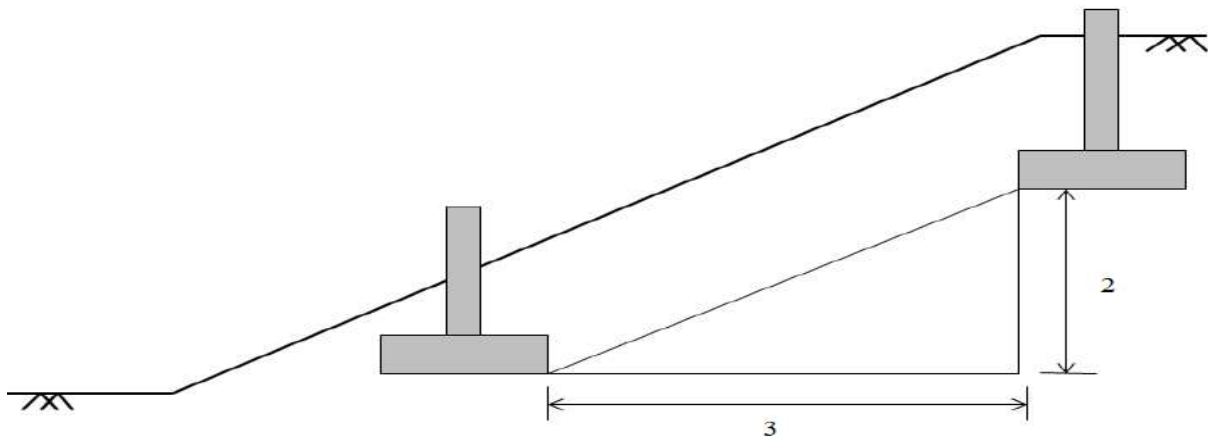


Figure 7.6 Pente limite pour les fondations sur un sol en pente

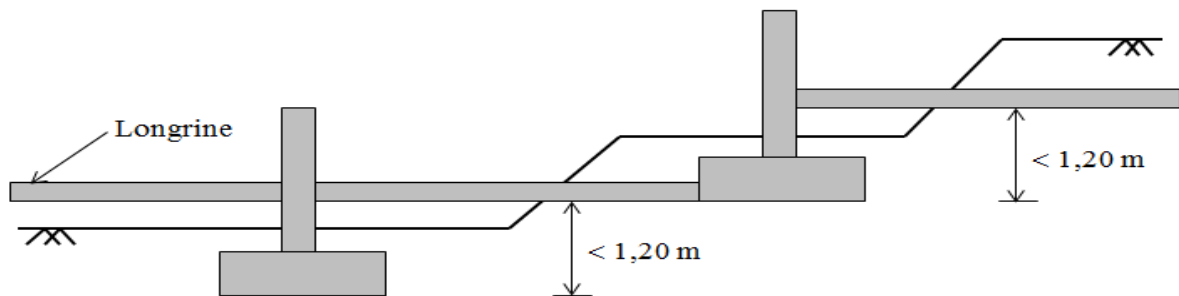


Figure 7.7 Liaison par longrines

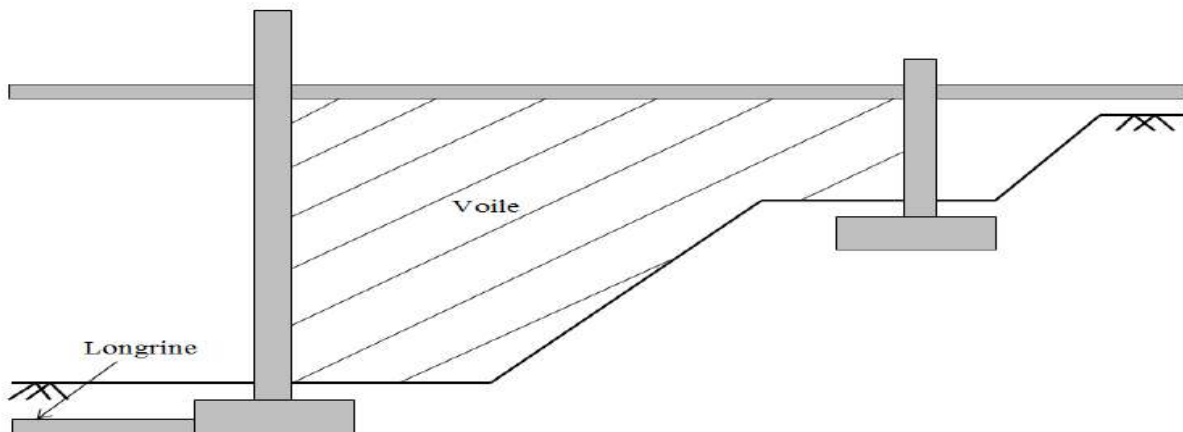


Figure 7.8 Liaison par voiles d'une épaisseur minimale de 15 cm

7.4.4 Vérification de la stabilité au renversement:

Quel que soit le type de fondations (superficielles ou profondes), on doit vérifier que l'excentrement de la résultante des forces verticales gravitaires et des forces sismiques reste à l'intérieur de la moitié centrale de la base des éléments de fondation résistant aux séismes [16].

7.5 Les joints:

7.5.1 Joint de rupture:

Appelé aussi joint de fractionnement (Fig.7.9), il sépare l'ouvrage en deux parties indépendantes y compris les fondations. Ce type de joint doit être prévu entre deux ouvrages voisins. Lorsqu'ils subissent des différences importantes de charge, ils s'appuient sur des sols de natures différentes ou possèdent des fondations de natures différentes.

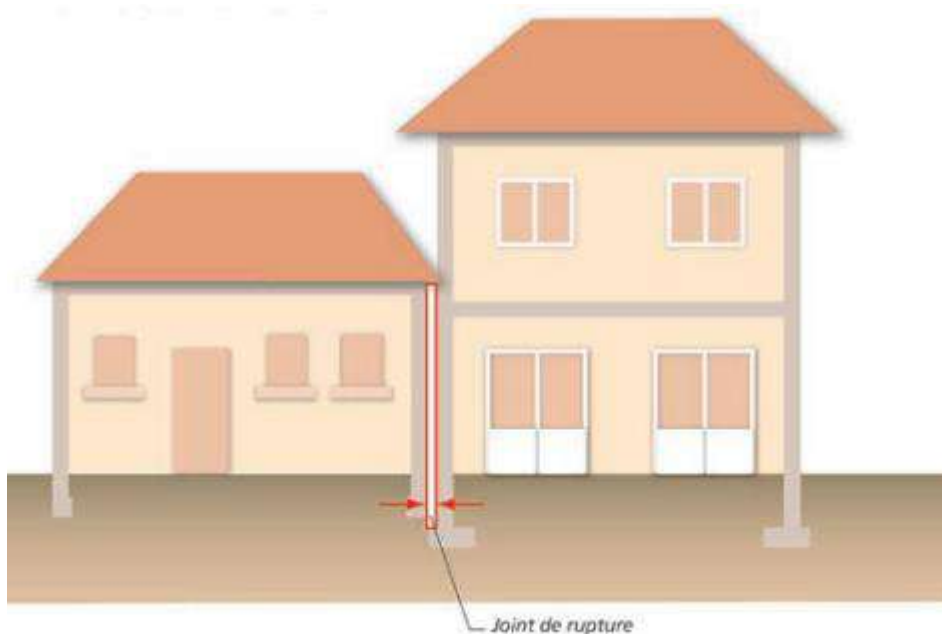


Figure 7.9 Joint de rupture [28]

7.5.2 Joint waterstop:

Ce type de joint (Fig.7.10) est utilisé pour éviter l'infiltration d'eau en cas de présence de nappe phréatique.

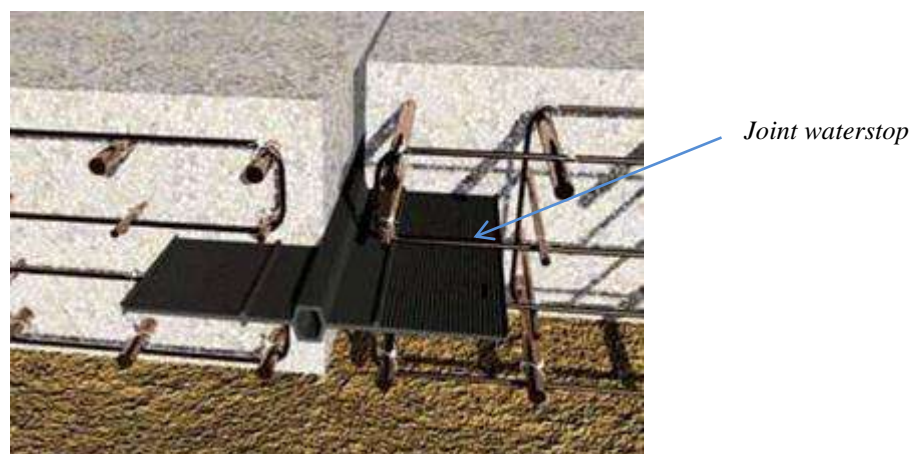


Figure 7.10 Joint waterstop [29]

7.6 Isolation parasismique:

Les techniques d'isolation sismique représentent un excellent système pour réaliser une protection sismique efficace des structures (Fig.7.11). Elle consiste à interposer entre la superstructure et les fondations des appareils d'appui (Fig.7.12), appelés aussi isolateurs. Ces dispositifs doivent permettre des déplacements horizontaux importants grâce à leur faible rigidité horizontale devant celle de la structure, par ailleurs ils présentent une grande rigidité verticale avec une capacité de supporter les charges gravitaires de la structure pendant et hors séisme.

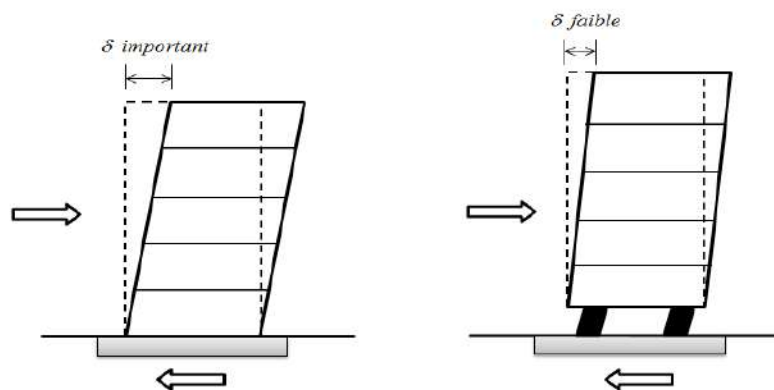


Figure 7.11 Oscillation des structures sans et avec appuis parasismiques



Figure 7.12 Isolateurs sur les massifs de fondation [24]

7.6.1 Les différents types d'appuis parasismiques:

Selon leur mode de fonctionnement, ils sont classés en plusieurs catégories :

- Appuis à déformation;
- Appuis à glissement;
- Appuis à déformation et glissement;
- Appuis à roulement ;

7.6.1.1 Appuis à déformation:

Ces appuis (Fig.7.13) sont réalisés en élastomère fretté (couches alternées d'élastomère ; caoutchouc naturel ou élastomère synthétique (néoprène) et de plaques métalliques (frettes) analogues aux appareils d'appuis utilisés pour les ponts.

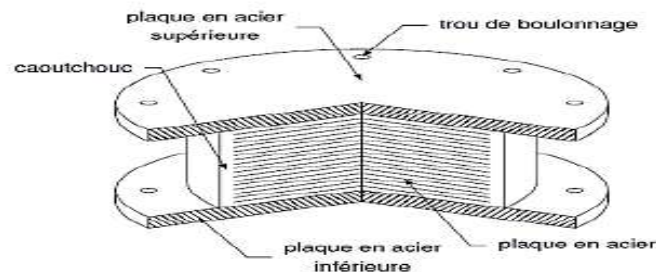


Figure 7.13 Appui à déformation [30]

7.6.1.2 Appuis à glissement :

Ce système (Fig.7.14) est composé de plaques solidaires à la superstructure et d'autres fixées aux fondations. Leur interface constitue le plan de glissement. Le matériau des deux séries de plaques n'est pas nécessairement le même. Le débord de la plaque la plus grande doit être au moins égal à 1,2 fois le glissement maximal pour éviter la formation d'empreinte en cas d'absence durable de secousses. La plaque la plus grande doit être plus dure que la petite plaque.

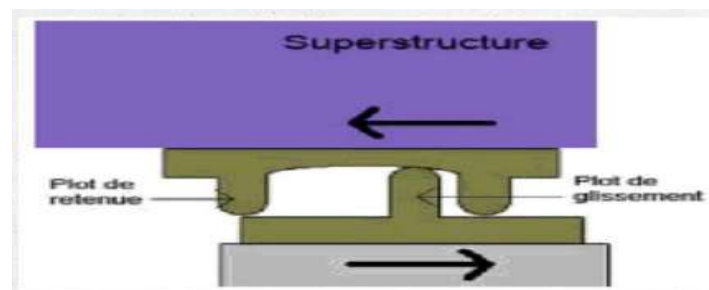


Figure 7.14 Appuis à glissement [31]

7.6.1.3 Appuis à déformation et à glissement:

Ils sont constitués par l'association des plaques de glissement et des appuis à déformation (Fig.7.15).

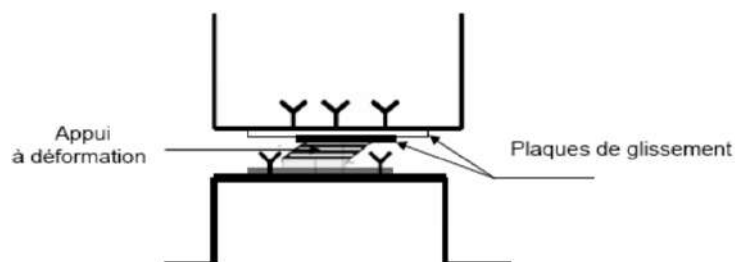


Figure 7.15 Appuis à déformation et à glissement [18]

7.6.1.4 Appuis à roulement:

Dans ce système, au lieu d'un glisseur articulé, une bille est employée et mise entre deux surfaces concaves opposantes (Fig.7.16). Le rayon de courbure des surfaces concaves sont remplacées dans ce système par le rayon de la bille adéquat pour atténuer l'effet sismique.

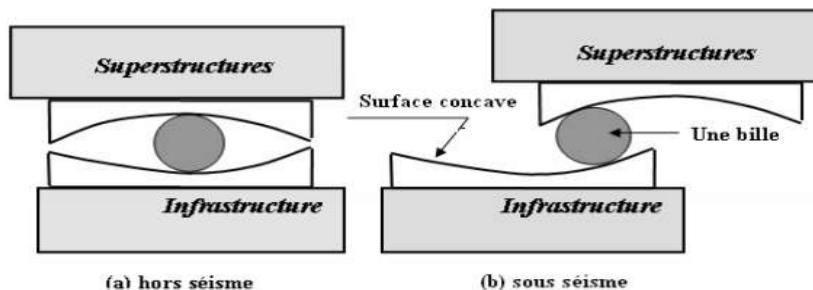


Figure 7.16 Appuis à roulement [18]

7.6.2 Systèmes d'amortisseur parasismique:

L'isolation sismique peut être utilisée en association avec un système d'amortissement (Fig.7.17) afin de limiter l'amplitude du mouvement sismique et de stabiliser la superstructure isolée face à diverses vibrations. Il existe trois types : hystérétique, visqueux ou à frottement.

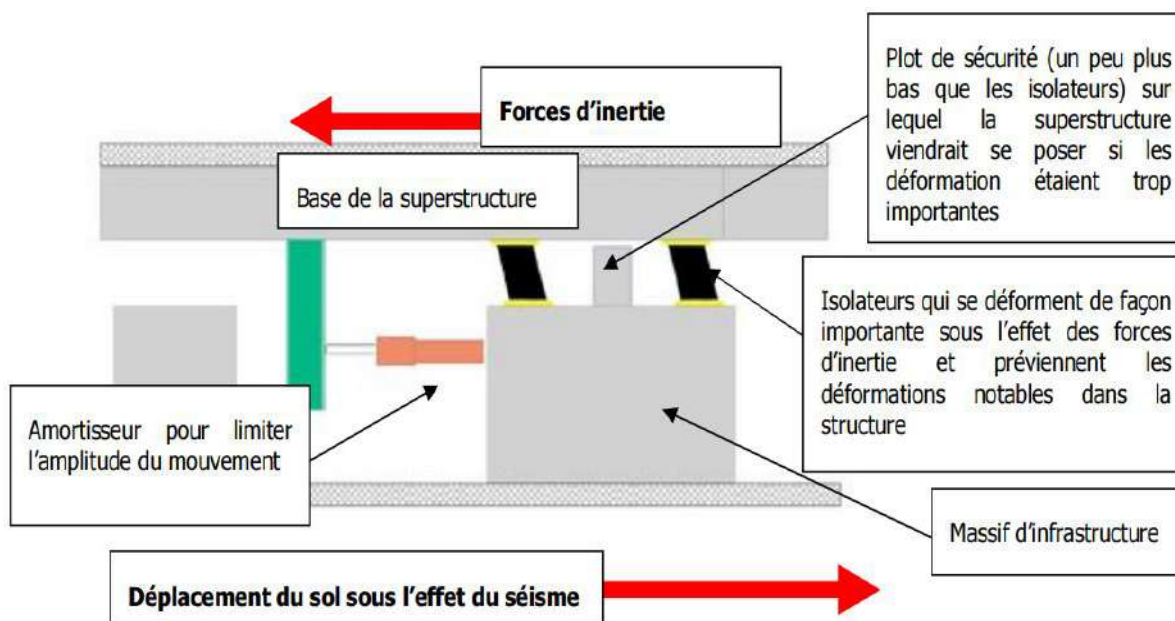


Figure 7.17 Association des isolateurs avec un système d'amortissement [24]

7.6.2.1 Amortisseurs hystérétiques :

Les amortisseurs hystérétiques (Fig.7.18) sont des pièces réalisées en matériaux très ductiles : acier doux, plomb, alliages malléables. La dissipation d'énergie est obtenue à travers les déformations plastiques auxquelles ils sont soumis lors des déplacements relatifs de la superstructure et des fondations.

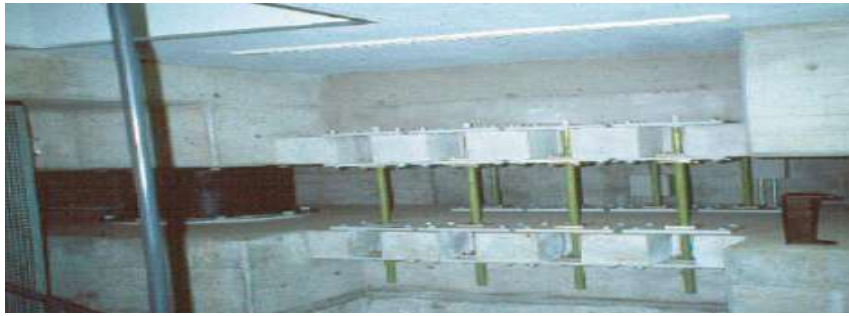


Figure 7.18 Amortisseurs hystérétiques [17]

7.6.2.2 Amortisseurs visqueux :

Les amortisseurs visqueux (Fig.7.19) sont également très efficaces. Ils peuvent être montés plus facilement en superstructure et doivent aussi autoriser les déformations indispensables à leur fonctionnement.



Figure 7.19 Amortisseurs visqueux [32]

7.6.2.3 Amortisseurs à frottement :

Les amortisseurs de ce type dissipent l'énergie par frottement sec (Fig.7.20).



Figure 7.20 Amortisseurs à frottement [17]

7.7 Conclusion:

Dans ce chapitre on a vu les principes constructifs des fondations en zones sismiques ainsi que la technique d'isolation parasismique qui est très efficace pour réduire les effets des séismes sur les constructions.



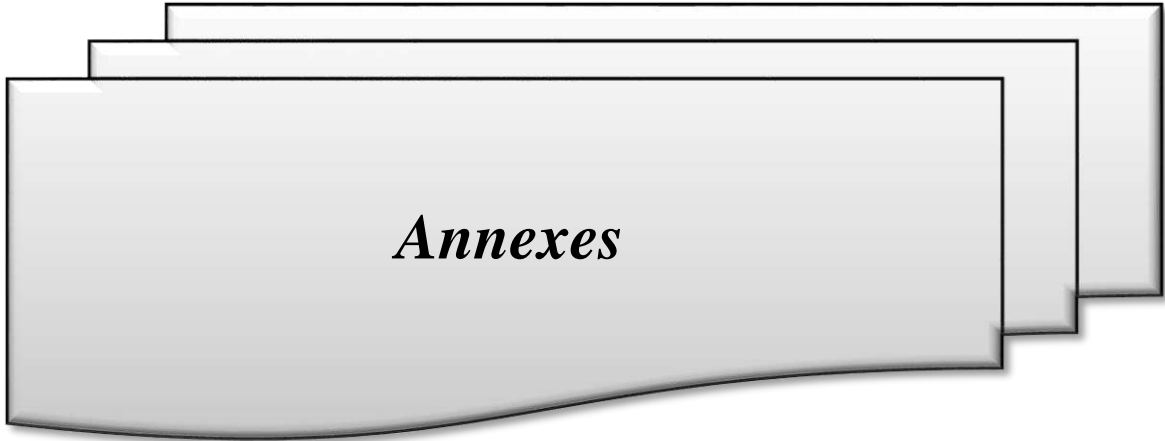
Références bibliographique

Références bibliographiques

- [1] CARAZAS AEDO, Wilfredo, RIVERO OLMOS, Alba, 2003.*Réhabilitation : Guide de construction parasismique* [en ligne]. Villefontaine : CRATerre [Consulté le 05 Avril 2021]. 15p. Disponible à l'adresse : <https://docplayer.fr/4413702-Guide-de-construction-parasismique-arch-wilfredo-carazas-aedo-craterre-eag.html>
- [2] OBSERVATOIRE REGIONAL DES RISQUES MAJEURS EN PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR. observatoire-regional-risques-paca.fr [en ligne]. [Consulté le 10 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : <http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/pourquoi-terre-tremble-en-region-paca>
- [3] CHERAIT, Yacine, 2012.*Conception des bâtiments en zone sismique*. Guelma : Direction de la Publication Universitaire de Guelma, 284p. ISBN 978-9961-9687-7-7-2
- [4] TERKI, Célia, JULIER, Andréa, FIQUET, Ingrid, WINGEL, Christopher, SAVIGNY, Victor, NUTT, Maxime, 2015. *Etude des mouvements d'une structure lors d'un séisme* [en ligne]. Consulté le 20 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : file:///C:/Users/DELL%205050/Downloads/Rapport_P6_2015_16.pdf
- [5] Séisme. Wikipédia : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 14 Avril 2021 à 9:16. [Consulté le 20 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9isme>
- [6] LA SOCIETE ECOPRESTATIONS-AGENCE DIGITALE. *Coursgeologie.com* [en ligne]. [Consulté le 20 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <http://coursgeologie.com/les-ondes-sismiques-73/>
- [7] DAVIDOVICI, Victor, 1999, *La construction en zone sismique*. France : Le Moniteur. Référence techniques ,330p. ISBN 978-2-281-11180-4
- [8] Echelle Rossi-Forel. Wikipédia : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 7 mars 2021 à 12:54. [Consulté le 10 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_Rossi-Forel
- [9] Echelle Mercalli. Wikipédia : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 7 mars 2021 à 12:54. [Consulté le 10 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_de_Mercalli#:~:text=L'%C3%A9chelle%20de%20Mercalli%20est,le%20s%C3%A9isme%20%C3%A0%20son%20foyer.
- [10] FUENTES, Albert, 1998.*Bâtiments en zone sismique*. Paris : Presses de l'école nationale des ponts et des chaussées. Livres ponts et. 218p. ISBN 978-2-85978-288-7
- [11] Echelle Medvedev-Sponheuer-Karnik. Wikipédia : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 7 mars 2021 à 12:54. [Consulté le 10 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_Medvedev-Sponheuer-Karnik
- [12] Echelle macrosismique européenne. Wikipédia : l'encyclopédie libre [en ligne]. Dernière modification de la page le 11 mars 2021 à 18:10. [Consulté le 10 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_macrosismique_europ%C3%A9enne
- [13] CHABOU, Moulley Charaf, 2014. Géologie 2 [document PDF]. Support de cours : Cours «Les tremblement de terre », Université Ferhat Abbas, Sétif 1, filière Science de la terre, année académique 2014-2015.
- [14] PLAN SEISME. planseisme.fr [en ligne]. [Consulté le 25 Février 2021]. Disponible à l'adresse:

- http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/CONCEPTION_PARASISMIQUE_DES_BATIMENTS_no1.pdf
- [15] BALANDIER, Patricia, GIVERY, Marc, MICHEL, Claude, MESSAOUI, Mehena, PER RISOL, Jean-Michel, TARTAR, Claude, VERCILLINO, Guy, ZAZEK, Milan, 2004. *Guide de la conception parasismique des bâtiments*. Paris : Eyrolles, 158p. ISBN 2-212-11347-1
- [16] CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE, 2003. *Règles Parasismiques Algérienne (RPA 99 /version 2003)* [document PDF].
- [17] ZAZEK, Milan, 2003. *Conception parasismique-niveau avant-projet* [en ligne]. Villefontaine : Les grands ateliers [Consulté le 01 mars 2021]. Conception parasismique, 89p. ISBN 2-913962-00-9. Disponible à l'adresse : <https://fr.slideshare.net/MomoOugataga/cahier-1conceptionarchitecturaleparasismiqueniveaavantprojetmilan-zacek>
- [18] ATHAMNIA, Brahim, 2011. *Modélisation et analyse des structures avec systèmes d'isolation parasismique* [en ligne]. Biskra : Université Mohamed Khider Biskra. Mémoire de Master [Consulté le 1 Mars 2021]. Disponible à l'adresse : <http://thesis.univ-biskra.dz/1104/3/Chapitre%2002.pdf>
- [19] PRECHEUR, Claude. abc-maonnerie.com [en ligne]. [Consulté le 05 Mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.abc-maonnerie.com/technologie/mise-oeuvre/beton-arme/ferraillage/chainages.html>
- [20] BIP INFORMATION PROFESSIONNELLE. Batirama.com [en ligne]. [Consulté le 23 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.batirama.com/article/107-comment-construire-en-parasismique.html>
- [21] MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS ET COMMUNICATIONS, MINISTERE DE L'INTERIEUR ET DES COLLECTIVITES TERRITORIALES, 2010. *Guide de bonnes pratiques pour la construction de petits bâtiments en maçonnerie chaînée en Haïti* [en ligne]. Haïti : MTPTC [Consulté le 06 Avril 2021]. 121p. Disponible à l'adresse : https://www.mtptc.gouv.ht/media/upload/doc/publications/Guide_construction_petits_batiments_maonnerie_chainee.pdf
- [22] SARL METAL CONCEPT MONTAGNAC. mcm34.fr [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.mcm34.fr/construction-metallique-charpente>
- [23] SAADI, Mohamed. Structure métallique [document PDF]. Support de cours : Cours «Chapitre 1 : Rappel sur les assemblages », Université Batena2, filière génie civil.
- [24] BALANDIER, Diren, 2009. *Cours constructions parasismique constructeurs Martinique* [en ligne]. Guadeloupe : Diren de Guadeloupe [Consulté le 25 Avril 2021], 210p. Disponible à l'adresse : https://www.pseau.org/outils/ouvrages/diren_balandier_cours_formation_parasismique_constructeurs_batiments.pdf
- [25] GERAD, Calvat, 2003. *La maison de A à Z, le vocabulaire de la construction* [en ligne]. Paris : éditions Alternatives [Consulté le 20 Avril 2021]. Construire de A à Z, 176p. ISBN 978-286227-372-3 Disponible à l'adresse : <http://www.buildinginfrance.com/Downloads/02-terrassements-et-fondations.pdf>
- [26] NOMBRET ENTREPRISE. maonnerie-nombret.fr [en ligne]. [Consulté le 20 Février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://maonnerie-nombret.fr/travaux-maonnerie-terrassment-coffrage-ferraillage/coffrage-coulage-radier-beton-arme/>
- [27] PLATEFORME D'APPRENTISSAGE EN LIGNE DE L'ECOLE DES PONTS

- Paristech.educnet.enpc.fr [en ligne].[Consulté le 20 Mars 2021]. Disponible à l'adresse : https://educnet.enpc.fr/pluginfile.php/80937/mod_resource/content/0/ENPC%202020%20-%20FONDATEURS%20PROFONDES.pdf
- [28] MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE.ecologie.gov.fr [en ligne]. [Consulté le 18 Février 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/dppr_secheresse_v5tbd.pdf
- [29] LEVIAT-A CRH COMPANY.plaka-solutions.com [en ligne].[Consulté le 15 Février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.plakagroup.com/fr-FR/PLAKA-France/Nos-Produits/Batiment/Etancheite-a-l-eau/Joints-Waterstop/Joint-de-dilatation-interne/Informations-produit/>
- [30] DUC-CHUAN, Vu, 2017. *Contrôle sismique des structures* [en ligne].Paris : Université Paris-Saclay. Thèse de Doctorat [Consulté le 4 Mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01743792/document>
- [31] BATH, Alem, CARPARELLI, Hdrien, CAVALLO, Dylan. *Les bâtiments parasismiques* [en ligne]. [Consulté le 20 Avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://tpebatimentsparasismiques.weebly.com/les-fondations.html>
- [32] VIRTUALEXPO.archiexpo.fr [en ligne]. [Consulté le 15 Février 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.archiexpo.fr/prod/maurer-se/product-126637-1887112.html>
- [33] CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE.cgs-dz.org [en ligne]. [Consulté le 15 Mars 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.cgs-dz.org/index.php/fr/le-cgs/experience-algerienne-en-matiere-de-gestion-du-risque-sismique>



Annexes

Annexe A : Réglementation parasismique algérienne

Le premier règlement parasismique intitulé «recommandations AS- 55 » a été élaboré, par les autorités françaises, suite au séisme qui a dévasté la région de Chelef (ex-Orléans-ville) le 9 septembre 1954.

En 1969, les règles parasismiques françaises PS/69 ont vu le jour et ont été appliquées en Algérie uniquement sur demande du maître de l'ouvrage. L'application de ces règles n'est devenue obligatoire qu'à partir de 1979.

Depuis le séisme d'El Asnam en 1980 qui a fait un désastre tant en vies humaines qu'en destruction de constructions, l'Algérie s'est dotée d'un règlement parasismique RPA81, suivi par le RPA81 / version 83, ces deux règlements se basent sur la méthode statique équivalente pour le calcul de la force sismique.

D'autres secousses moins importantes celle de Constantine en Octobre 1985 et autres ont fait que ces règles soient modifiées. Une première révision en 1988 concernant le zoning, l'annulation de la restriction pour l'utilisation des portiques auto-stables en zone III, l'introduction de la méthode d'analyse modale spectrale comme annexe, et quelques dispositions constructives ont été adoptées.

La révision faite en 1988 s'est avérée insuffisante puisque le principe même de la protection sismique à savoir le non effondrement des constructions n'a pu être respecté vu l'ampleur des dégâts occasionnés lors des séismes de Aïn Témouchent en 1999 et récemment celui de Boumerdès en 2003 qui a été très violent et destructeur.

La quatrième révision a eu lieu après le séisme de Boumerdès en 2003 donnant lieu aux RPA99 / Version 2003. Dans ce correctif, il y a eu, principalement, la révision de la carte de zonage sismique et la restriction en hauteur du système structurel en portiques avec murs de remplissage en maçonnerie. Par conséquent, l'utilisation des voiles de contreventement dans les structures de bâtiments en béton armé a été fortement encouragée et recommandée [16].

Le RPA99 / Version 2003 est applicable à toutes les constructions courantes. Par contre, il n'est pas directement applicable aux constructions telles que :

- Constructions et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité: centrales nucléaires, installations GNL, installations de fabrication et de stockage des produits inflammables, explosifs, toxiques, ou polluants [16] ;
- Ouvrages d'art (barrages, ouvrages maritimes, ponts, tunnels,...) [16];
- Réseaux et ouvrages enterrés. Pour ces types de constructions, il y a lieu de se référer à des règles ou recommandations spécifiques [16] ;
- Les structures en plaques et coques minces [16] ;

Par ailleurs les dispositions du présent règlement ne s'appliquent pas en zone de sismicité négligeable[16].

Annexe B : Classification des zones sismiques en Algérie

Selon le RPA 99 / version 2003 ; le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante [16] :

- Zone 0 : Sismicité négligeable ;
- Zone I : Sismicité faible ;
- Zone IIa : Sismicité moyenne ;
- Zone IIb : Sismicité moyenne ;
- Zone III : Sismicité forte ;

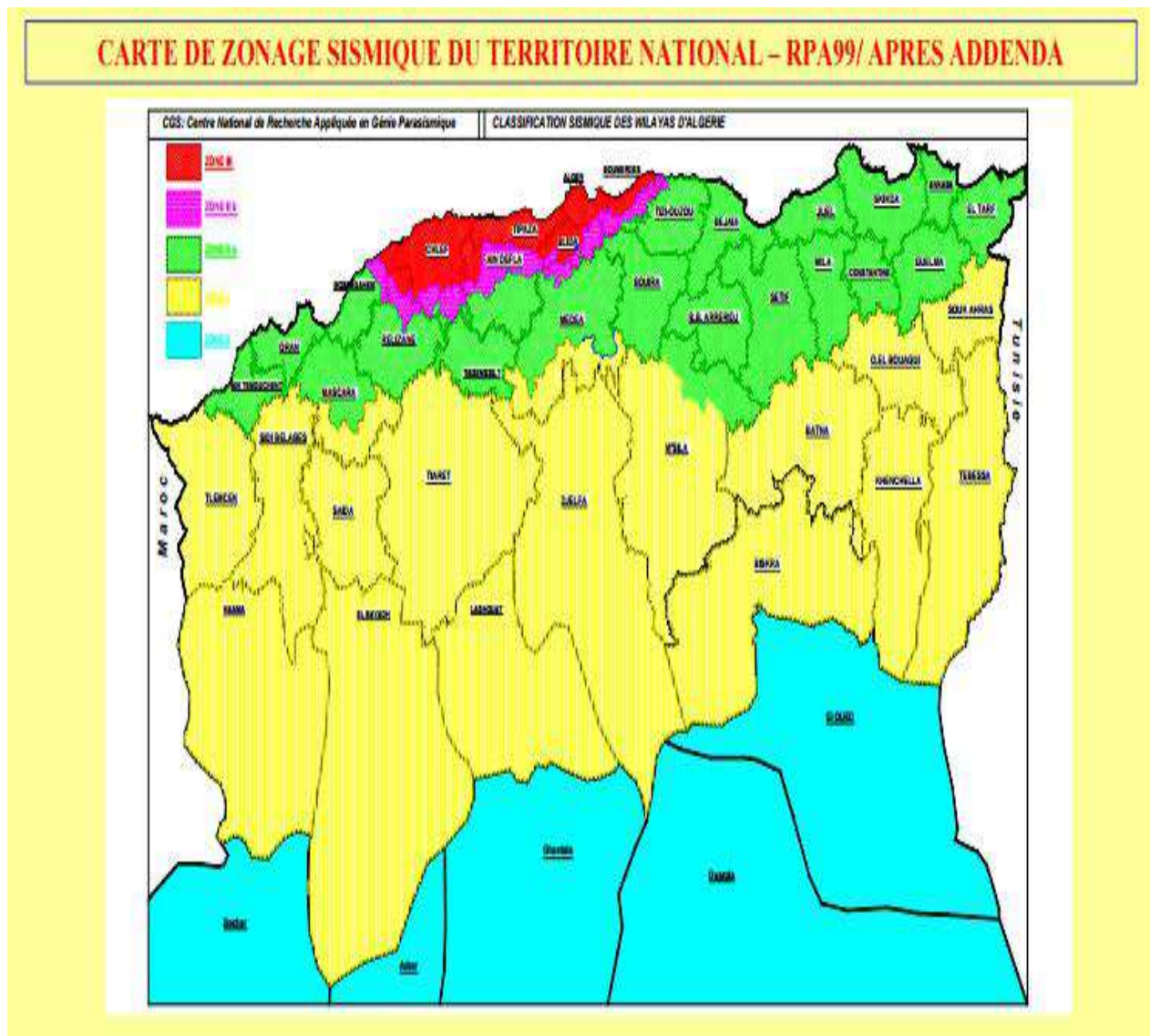


Figure A.1 Carte de zonage sismique en Algérie [16]

Annexe C : Classification des sites

Selon le RPA 99 / version 2003 ; les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent [16]:

- Catégorie S₁ (site rocheux) :

Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement $V_s \geq 800$ m/s [16].

- Catégorie S₂ (site ferme) :

Dépôts de sables et de graviers très denses et /ou d'argile surconsolidé sur 10 à 20 m d'épaisseur avec $V_s \geq 400$ m/s à partir de 10 m de profondeur [16].

- Catégorie S₃ (site meuble) :

Dépôts de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec $V_s \geq 200$ m/s à partir de 10 m de profondeur [16].

- Catégorie S₄ (site très meuble):

Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres [16].

Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres [16].

Par ailleurs, outre les valeurs des vitesses d'ondes de cisaillement, les valeurs moyennes harmoniques d'autres résultats d'essais (pénétrömètre statique, SPT, pressiomètre...) peuvent être utilisées pour classer un site selon le tableau suivant [16] :

| Catégorie | Description | q_c (MPA) (c) | N (d) | PI (MPA) (e) | E_p (MPA) (e) | q_c (MPA) (f) | V_s (m/s) (g) |
|----------------|--|-----------------------|----------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| S ₁ | Rocheux (a) | - | - | >5 | >100- | >10 | ≥ 800 |
| S ₂ | Ferme | >15 | >50 | >2 | >20 | >0,4 | $\geq 400 < 800$ |
| S ₃ | Meuble | 1,5~15 | 10~15 | 1~2 | 5~20 | 0,1~0,4 | $\geq 200 < 400$ |
| S ₄ | Très meuble en présence de 3 m au moins d'argile molle (b) | | | | | | ≥ 100 < 200 |

Tableau C.1 Classification des sites [16]

Annexe D : Classification des ouvrages selon leur importance

Selon le RPA 99 / version 2003 ; le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa destination et de son importance [16].

Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale

- Ouvrages vitaux qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur pour les besoins de la survie de la région, de la sécurité publique et de la défense nationale, soit :

- Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques [16] ;
- Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale ayant un caractère opérationnel tels que casernes de pompiers, de police ou militaires, parcs d'engins et de véhicules d'intervention d'urgence et de secours [16] ;
- Bâtiments des établissements publics de santé tels que les hôpitaux et centres dotés de services des urgences, de chirurgie et d'obstétrique [16] ;
- Bâtiments des établissements publics de communications tels que les centres de télécommunications, de diffusion et de réception de l'information (radio et télévision), des tours de contrôle des aéroports et contrôle de la circulation aérienne [16] ;
- Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance [16] ;
- Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale [16] ;
- Bâtiments des centres de production ou de distribution d'énergie, d'importance nationale [16] ;
- Bâtiments administratifs ou autre devant rester fonctionnels en cas de séisme [16] ;

Groupe 1B : Ouvrages de grande importance

- Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes [16]

- Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et culturelles, pénitenciers, grands hôtels [16] ;
- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48m [16] ;

- Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socio-culturelle et économique certaine [16]

- Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc. [16] ;
- Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A [16] ;
- Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du groupe 1A [16] ;
- Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance [16] ;

Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne

- Ouvrages non classés dans les autres groupes 1A, 1B ou 3 tels que [16] :

- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m [16] ;
- Autres bâtiments pouvant accueillir au plus 300 personnes simultanément [16] ;
- Parkings de stationnement public,... [16] ;

Groupe 3 : Ouvrages de faible importance

- Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faibles valeurs [16] ;
- Bâtiments à risque limité pour les personnes [16] ;
- Constructions provisoires [16] ;

Annexe E : Textes législatifs et réglementaires

Les textes législatifs et réglementaires qui traduisaient et organisaient, les politiques de prévention et d'intervention dans le domaine des catastrophes sont :

- Décret n° 85-231 du 25 août 1985 relatif à l'organisation des interventions et secours en cas de catastrophe.

Le décret définit les règles générales d'organisation des interventions et institue l'obligation pour chaque secteur : la wilaya, la commune et l'unité d'élaborer des plans d'intervention (Plans ORSEC) [33].

- Décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophe .

Le décret institue l'obligation pour chaque ministère concerné de définir des normes de sécurité applicables à son secteur d'activité et institue l'obligation pour chaque ministre, wali, président d'APC, responsable d'unité de prendre en charge la prévention du risque de catastrophe. Il s'en suivait donc, du fait des prescriptions de ce deuxième décret, que chaque ministère, chaque wilaya et chaque commune était responsable des missions de planification, de gestion et de coordination des programmes de réduction des catastrophes, dont le risque sismique, suivant la nature et l'ampleur des événements considérés [33].

- La loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention et à la gestion des risques majeurs dans le cadre du développement durable.

Cette loi constitue un cadre global et cohérent de planification, de programmation et de mise en œuvre de la politique nationale de réduction des risques de catastrophes [33].

- L'ordonnance du 26 août 2003 relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes.

Cette loi est entrée en vigueur le 1^o septembre 2004 avec, dans un premier temps, la couverture des risques « séisme », « inondation », « mouvements de terrain », « tempêtes et vents violents », de tous les biens immobiliers (et mobiliers dans certains cas) par la dizaine de compagnies d'assurances publiques et privées existantes [33].