

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

Université A. MIRA, - Bejaïa –
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil
Option : Matériaux et Structures

Thème

Vulnérabilité sismique des bâtiments existants Cas de la ville de Bejaia

Présenté par :

Mr. CHERRARED Abderrahmane

Mr. DJEBAR Tarek

Proposé et encadré par :

Mr. CHERRARED Marzouk

Jury composé :

Mr. LAICHAOUI Ahmed

Mr. LARABAT M^{ED}-Ziane

Mr. CHERRARED Marzouk

Promotion 2011/2012

REMERCIEMENT

Nous remercions Dieu tout puissant et Miséricordieux pour tous ce qu'il nous a donné sur cette terre.

Nous remercions vivement toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de ce travail et tout particulièrement notre promoteur M^r CHERRARED Marzouk, nos familles et parents qui ont été à nos cotés pondant nos études.

Nous tenons à remercier également :

- ❖ Mr. IMLOUL : chef de service d'urbanisme, DUC Bejaia.
- ❖ Mr. DAHMANA : OPGI Bejaia.
- ❖ Mr. MOUSSAOUI: architecte DLEP Béjaia.

Sans oublier tous les enseignants du département de génie civil qui ont contribué à notre formation universitaire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- + Mes très chers parents que j'aime très fort et qui se sont sacrifiés pour moi et qui n'ont ménagé aucun effort pour me voir réussir.*
- + Ma très chère grand-mère LOUISA à qui je souhaite une longue vie.*
- + Mes sœurs : HADJIRA, FADILA, DJOUHRA, NABILA et sa fille AHLEME, ma belle sœur GHANIA et ma petite sœur MALIKA.*
- + Mes frères : SOFIANE, LARBI et ses enfants, HAKIME et HAMZA.*
- + Toute la famille CHERRARED.*
- + Tous mes amis et amies*
- + Mes copains de chambre A102 : Fayçal, Mouloud, Hafid, Aissa, Mahdi.*
- + Mon binôme Tarek et toute sa famille.*

DAHMANE

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

✚ *Mes très chers parents que j'aime très fort et qui se sont sacrifiés
pour moi et qui n'ont ménagé aucun effort pour me voir réussir.*

✚ *Mes sœurs : SABRINA, DJA OUIDA ET HANANE.*

✚ *Mon frère : DJAAFAR.*

✚ *Ma nièce : SALIHA*

✚ *Toute la famille DJEBAR.*

✚ *Tous mes amis et amies*

✚ *Mes copains de chambre C312 : Kamel, Redouane et Yacine.*

✚ *Mon binôme DAHMANE et toute sa famille.*

TAREK

SOMMAIRE

DEDICACES

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 : Introduction3

I.2 : Problématique.....4

I.2.1 : Définition des séismes.....4

I.2.2 : Caractérisation des séismes.....4

I.2.3 : Type des séismes5

I.2.4 : Le séisme et les bâtiments6

I.2.4.a : Les constructions parasismiques7

I.2.4.b : Exemples de mauvaises conceptions parasismiques.....7

I.2.4.c : Effets des séismes sur les bâtiments9

I.2.5 : La sismicité en Algérie13

I.2.5.a : Le risque et l’alea sismique en Algérie13

I.2.5.b : Les règles parasismiques Algériennes13

I.2.5.c : Zonage sismique de l’Algérie15

I.3 : La vulnérabilité sismique.....15

I.3.1 : Méthodes d’évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments15

I.3.1.a : Méthodologie RiskUE.....16

I.3.1.b : Méthodologie du CETE Méditerranée (1990).....17

I.3.1.c : Méthodologie VULNERALP (2005)19

I.3.1.d : Méthodologie HAZUD (HAZARD US)20

I.4 : Stratégie de réhabilitation des bâtiments23

I.4.1 : Objectif d’une intervention parasismique23

I.4.1.1 : Réduction du niveau d’action sismique24

I.4.1.2 : Amélioration du niveau de performance du bâtiment.....25

I.4.1.3 : Suppression ou redistribution des zones faibles.....25

I.4.1.4: réparation de la structure et traitement de sol26

I.5 : Conclusion26

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.1 : Introduction.....27

II.2 : Enquêtes et recueil d’informations27

II.2.1 : localisation des projets étudiés29

SOMMAIRE

II.2.2 : Types d'informations brutes recueillies.....	29
II.2.3 : difficultés rencontrées sur le terrain	31
II.3 : Caractérisation et analyse critique du bâti existant	31
II.3.1 : Éléments de caractérisation et de classification	31
II.3.1.1 : Typologies des bâtiments.....	32
II.3.1.2 : Classification sismiques des sols	32
II.3.1.3 : La topographie des terrains.....	34
II.3.1.4 : La forme des structures	34
II.3.1.5 : Présence d'étages souples	36
II.3.1.6 : Position relatives des bâtiments	36
II.3.1.7 : La hauteur structures (ou nombre d'étages).....	36
II.3.1.8 : La date de la construction	37
II.3.1.9 : Le matériau de construction	38
II.3.1.10 : L'état d'entretien des batiments	38
II.3.2.11 : Le type de toiture	38
II.3.2.12 : Le risque de torsion d'ensemble	39
II.3.2.13 : La rigidité poteaux-poutres	39
II.3.1.14 : Le type de contreventement.....	40
II.3.1.15 : Le type de fondation.....	40
II.3.2 : Éléments de performance sismique	40
II.3.2.1 : Évaluation de dommages	40
II.3.2.2 : Croisement avec le niveau de performance souhaité	41
II.3.2.3. États de performance	41
II.4. Estimation de la vulnérabilité sismique du bâti existant	41
II.4.1 : Estimation de l'indice de vulnérabilité.....	42
II.4.2 : Application au bâti de la zone d'El Quods	42
II.4.2.1 : Présentation du cas étudié	42
II.4.2.2 : Procédure de calcul	44
II.4.3 : Application au bâti des autres zones	47
II.5 : Estimation de l'indice d'endommagements du bâti existant	48
II.6 : Cartographie de l'indice de vulnérabilité sismique du bâti existant	50
II.7 : Cartographie de l'indice d'endommagement sismique du bâti existant	52
II.8 : Interprétation des résultats et discussion	53

SOMMAIRE

II.8.1 : Interprétation globale des résultats.....	53
II.8.2 : Interprétation détaillée des résultats	54
II.8.2.1 : Comportement des bâtiments en forme L	54
II.8.2.2 : Comportement des bâtiments de forme hors L	55
II.8.2.3 : Influence du critère « régularité » en plan et en élévation.....	56
II.8.2.4 : Conclusion.....	58
II.8.3 : Etude de la relation $\mu_D = f(V_I)$	58
II.9 : Conclusion.....	59
CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES	
III.1 : Introduction	60
III.2 : Les solutions de renforcement possibles.....	60
III.2.1 : Renforcement par chemisage.....	62
III.2.1.1 : Chemisage en béton armé	62
III.2.1.2 : Gainage métallique	62
III.2.2 : Renforcement par mur en maçonnerie rigide	62
III.2.3 : Renforcement par voiles en béton armé	62
III.2.4 : Renforcement par palées de stabilité (triangulées)	62
III.2.5 : Renforcement des fondations.....	65
III.2.6 : Renforcement par tôles collées.....	66
III.2.7 : Renforcement à l'aide de matériaux composites renforcés de fibres.....	66
III.2.8 : Renforcement à l'aide de chemises en acier	66
III.2.8.1 : Les poteaux.....	66
III.2.8.2 : Les zones nodales.....	67
III.2.9 : Renforcement par précontrainte transversale	67
III.2.10 : Renforcement à l'aide d'amortisseurs.....	67
III.2.11 : Renforcement par l'isolation à la base	68
III.3 : Application.....	68
III.3.1 : Ajout des voiles de contreventement en béton armé.....	68
III.3.2 : Renforcement des poteaux et des poutres	69
III.3.3 : Renforcement des fondations.....	71
III.3.4 : Vérification de la vulnérabilité	71

SOMMAIRE

III.3.4.1 : Le bloc (C).....	71
III.3.4.2 : Le bloc (D3).....	72
III.4 : Conclusion.....	76
CONCLUSION GENERALE	77
BIBLIOGRAPHIE	78
LISTE DES FIGURES	80
LISTE DES TABLEAUX	83
ANNEXES	
Annexe 1 : Méthode FEMA 154 (HAZUS)	84
Annexe 2 : Méthode RISK-UE.....	89
Annexe 3 : Méthode VULNERALP (2005).....	93
Annexe 4 : méthode CETE MEDETERANNEE (1990).....	98
Annexe 5 : Les plans des bâtiments consultés.....	100
Annexe 6 : Les données brutes.....	116

Introduction générale

Les séismes sont inévitables, ils ont toujours été une sorte d'épreuve accablante du destin. Ils se sont produits dans le passé, ils s'en produiront à l'avenir de tout aussi violents. Faute de pouvoir les éviter, on doit s'efforcer de prévenir ou du moins de limiter les dommages qu'ils occasionnent, autrement dit, le risque sismique.

Le risque sismique peut être évalué pour une construction, pour une ville ou pour une région spécifique. Il est défini par la probabilité de pertes en biens, en activités productives et en vies humaines dans un laps de temps donné. Il augmente constamment avec la densité de la population et avec le potentiel économique du pays.

Le risque sismique dépend d'une part de la probabilité d'occurrence des séismes, donc de l'aléa sismique et, d'autre part, de la vulnérabilité des constructions menacées. La prévision d'un tremblement de terre permet de sauver des vies humaines. Une amélioration de la résistance aux séismes du patrimoine bâti réduit sa vulnérabilité et diminue aussi bien la probabilité de perte en vies humaines que celle de la destruction des biens matériels et du potentiel économique.

En effet, aucune partie du globe n'est complètement à l'abri des séismes. On estime la fréquence sismique à plus de 100.000 secousses par an - soit une moyenne de plus de 270 secousses telluriques par jour. Au cours du XXème siècle, la sismologie a recensé 80 séismes de magnitude égale ou supérieure à 8 (sur l'échelle de Richter), dont le dernier a frappé le Japon en Juin 2011 avec une magnitude de 8,9.

L'Algérie, comme d'autres pays au monde comme l'Italie, la Turquie, la Grèce, n'est pas épargné de ce phénomène destructif ; elle subit souvent des secousses d'importance modérée. Mais, d'après un rapport établi par le **GRAAG** (Centre De Recherche Appliquée En Astrophysique Et Géophysique), l'Algérie a subit des séismes d'une grande ampleur comme celui de Chlef (ex – El Asnam) qui a atteint une magnitude de **7.3** sur l'échelle de Richter et avait causé des dégâts humains et matériels très importants.

Dans ce projet, nous allons essayer d'estimer la vulnérabilité sismique de bâtis existants dans la ville de Bejaia qui s'avère une région à sismicité moyenne. En effet, selon les règles parasismiques algériennes, la ville de Bejaia est classé en zone IIa. Les structures étudiées (500 blocs) sont réparties sur 7 zones de la ville. Les bâtiments étudiés ont été choisis de telle façon à couvrir la majorité des critères de comportement sismique (forme des bâtiments en plan et en élévation, l'aspect géotechnique, type de contreventement, rigidité poteaux-poutres, etc.). Il s'agit donc d'une étude qui touche quelques bâtis de la ville.

L'objectif étant d'essayer de dégager les premières pistes et conclusions sur la vulnérabilité et les risques d'endommagement sismiques d'une partie du bâti de la ville de Béjaia.

La méthodologie adoptée pour réaliser cette étude est basée sur les étapes suivantes :

- Une étude bibliographique qui nous a permis de mettre en évidence l'état actuel des connaissances dans le domaine traité. Un rapport de synthèse bibliographique a déjà été établi au semestre 1. Nous avons repris les points forts de ce rapport et nous les avons exposés, avec quelques améliorations, dans le chapitre I de ce mémoire.
- La deuxième partie (chapitre II) a été consacrée à l'étude de diagnostic des structures des sept zones exploitées. Le bâti des sept zones doit vérifier de nombreux critères tels que la disponibilité des données et de l'information nécessaires, la possibilité de prendre en compte les critères de comportement sismique définis et analysés lors de l'étude bibliographique, l'aspect géotechnique, etc. Nous tenons à souligner ici que la phase d'enquêtes, de visites, de dépouillement, de traitement et d'exploitation des nombreux dossiers techniques consultés nous a pris un temps considérable (difficulté d'accéder aux dossiers, épaisseur et diversité des dossiers disponibles, difficulté de synthétiser des informations très éparpillées, etc.). A travers cette étude de diagnostic, nous avons pu :
 - Estimer les indices de vulnérabilité et d'endommagement sismique V_I et μ_D des structures étudiées ; les méthodes utilisées sont exposées dans le mémoire.
 - Etablir une cartographie partielle (couvrant les sept zones) de V_I et de μ_D .
 - Mettre en évidence l'influence de certains paramètres de comportement sismique sur V_I et μ_D .
- La troisième partie (chapitre III) est consacrée aux propositions de solutions de réhabilitation des structures trouvées fortement ou très fortement vulnérables. Ce sont des techniques de renforcement reconnues par la réglementation et/ou par la littérature. Les structures ainsi renforcées ont été réévaluées pour vérifier la réduction des degrés de vulnérabilité et d'endommagement sismiques.
- Nous avons enfin terminé notre mémoire par une conclusion générale en soulignant les principales conclusions de cette étude.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Introduction

Les tremblements de terre ont souvent été meurtriers. Les sources historiques et l'actualité en témoignent. Le nombre de victimes, quelques fois difficiles à évaluer se chiffre par milliers. Les préjudices inestimables de souffrances physiques et psychiques s'ajoutent aux dommages matériels considérables subis par les particuliers, la société et la collectivité. Le tremblement de terre n'est pas un phénomène rare. Fort heureusement, ces séismes ne touchent pas toutes les zones peuplées. La prédiction sûre et précise des tremblements de terres, si elle est disponible, pourrait éviter les pertes de vies humaines, mais ne saurait sauvegarder le patrimoine bâti. La seule protection efficace est la construction parasismique pour les bâtiments neufs et le confortement préventif des constructions existantes.

Les séismes affectent les villes en tant que système, et non pas seulement en tant qu'un ensemble de bâtiments. Les règles parasismiques portent sur les constructions prises individuellement et non pas sur la ville en tant qu'entité et système. La mise au point d'une prévention sismique à l'échelle urbaine est hautement souhaitable pour que le système de la ville fonctionne pendant et après un séisme important. Plusieurs pays ont entrepris des études du risque sismique urbain comme le programme **RISK-EU** (Europe), **HAZUS (Hazard US)**. De tels programmes ont pour objectifs de réduire, par une action concertée, les pertes en vies humaines, en dégâts matériels, éviter ou réduire la perturbation de la vie économique et sociale, et de créer un cadre pour la concertation des acteurs de l'aménagement (administrateur, sociologue, architecte, ingénieur, urbaniste, etc.) de spécialités différentes mais ayant le même objectif.

La problématique du bâti existant vulnérable en zone sismique suscite de plus en plus la préoccupation vis-à-vis du danger qu'il représente lors d'agression sismique. La prévention et le maintien d'un risque acceptable ne peuvent être envisagés que par la réhabilitation parasismique du bâti existant. De tels programmes d'adaptation des bâtiments comprennent trois phases principales :

- Sélection et établissement des priorités afin de déterminer la nécessité de procéder à une évaluation plus approfondie de la performance sismique des bâtiments.
- Évaluation détaillée visant à déterminer l'étendue et la gravité des travaux non acceptables des bâtiments.
- Sélection (ou conception) des techniques de renforcement appropriées pour différents types de bâtiments.

Ces techniques qui ne sont pas forcément parasismiques mais elles aboutissent à une amélioration significative de la performance et du comportement des structures vis-à-vis de ce risque.

1.2. Problématique

1.2.1. Définition des séismes

Les séismes majeurs sont liés à l'existence de mouvements tectoniques globaux continuellement en action qui soulèvent des chaînes de montagnes et creusent des tranchées océaniques à la surface de la terre (figure I.1). Ces mouvements affectent une quinzaine de plaques sphéroïdales et engendrent des contraintes sur les lignes de contact des plaques. Lorsque ces contraintes deviennent trop élevées et supérieures à la résistance au frottement, une rupture brutale se produit: c'est un tremblement de terre, à la suite duquel un nouvel état provisoire de stabilité est réalisé. Il résulte de cette description qu'il existe des régions du monde à plus ou moins haut risque sismique, suivant qu'elles sont plus ou moins proches des zones de jonctions des plaques [1].

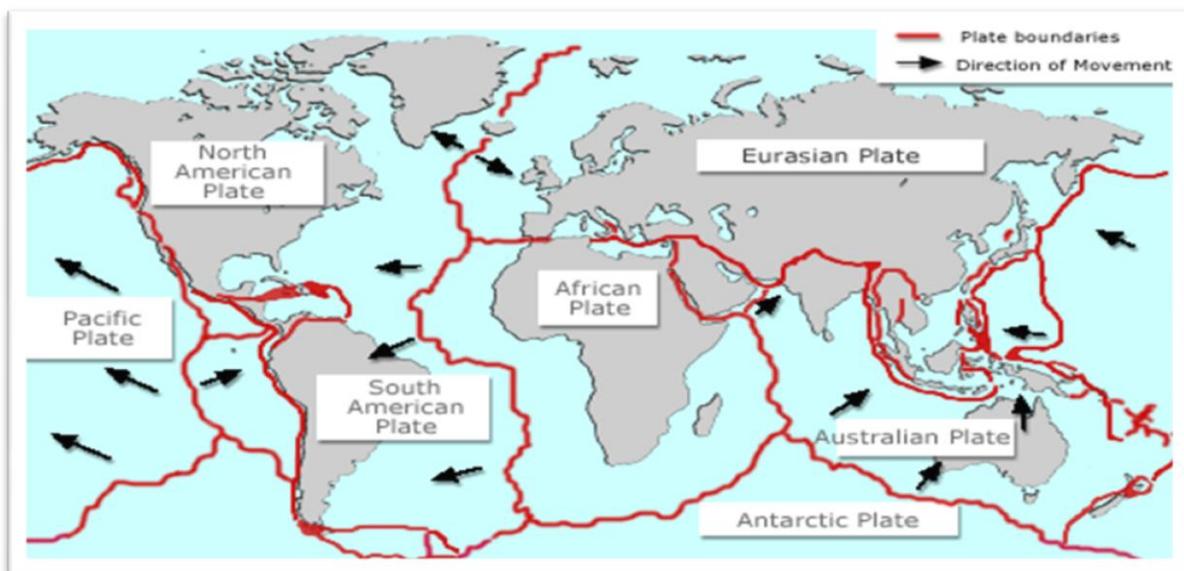


Figure I.1. Carte du monde montrant les principales plaques tectoniques [2].

Pour les séismes importants, le mouvement relatif des bords de la faille peut être apparent en surface. Il existe différents type de mouvement relatif : coulissage horizontal, coulissage vertical. Ces déplacements relatifs permanents du sol s'observent près de l'épicentre du séisme, mais le choc du tremblement de terre entraîne aussi la création et la propagation d'ondes de compression et de cisaillement dans le sol à des distances très grandes; en fait ces ondes font le tour de la terre en s'atténuant progressivement. A la surface du globe, l'effet de ces ondes est un mouvement de déplacement vertical et horizontal du sol. Le déplacement horizontal différentiel entraîne des rotations.

1.2.2. Caractérisation des séismes

On peut caractériser la taille des tremblements de terre par différents paramètres :

- La **magnitude M** (échelle de RICHTER) est une évaluation de l'énergie libérée au foyer du tremblement de terre. Le foyer peut se trouver à plusieurs kilomètres sous la surface et à plusieurs centaines de kilomètres de la zone donnée.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- L'**intensité I** (échelle de MERCALLI) est une caractérisation de l'importance des effets matériels observés en surface et de la perception par la population. Cette description vaut pour une zone géographique donnée, mais est assez qualitative.
- L'**accélération maximale a_g** ou accélération de pointe, PGA (Peak Ground Acceleration) qui est un paramètre important pour l'évaluation des effets des séismes à un endroit donné du sol. L'amplitude de l'accélération maximale du sol permet de se faire une idée de la résultante de force F appliquée à la construction de masse m : $F = m a_g$.
- Le **déplacement maximal d_g** du sol qui donne une idée de l'ordre de grandeur du déplacement relatif du centre de gravité de la structure par rapport à la base de la structure.
- Les **accélérogrammes** enregistrés dans la zone géographique considérée (figure I.2) : c'est la caractérisation la plus explicite d'un tremblement de terre ; ils contiennent à la fois les aspects accélérations, durée et contenu fréquentiel. Les accélérogrammes constituent une donnée d'action directement utilisable par la dynamique des structures.

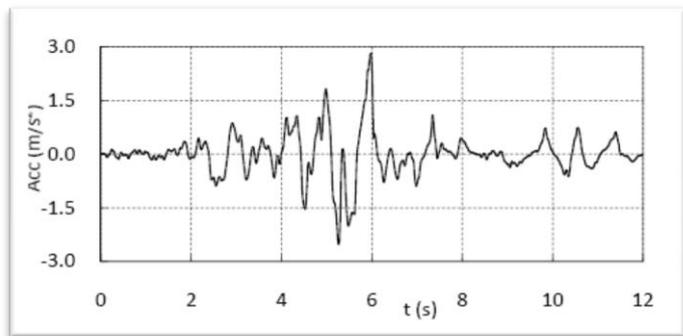


Figure I.2. Accélérogrammes du séisme de Loma Preita à la station Oakland

I.2.3. Types de séismes

On distingue deux grands types d'ondes émises par un séisme [3] : les ondes de volume, celles qui se propagent à l'intérieur de la terre et qui comprennent les ondes **P** et les ondes **S**, et les ondes de surface, celles qui se propagent en surface de la terre et qui comprennent les ondes de **LOVE** et les ondes de **RAYLEIGH**.

➤ Les ondes de volume

Les ondes P : elles sont des ondes de compression assimilables aux ondes sonores et qui se propagent dans tous les états de la matière. Les particules se déplacent selon un mouvement avant-arrière dans la direction de propagation de l'onde (figure I.3). Les ondes P sont les plus rapides (6 Km/s près de la surface). Ce sont les ondes enregistrées en premier sur un sismogramme.

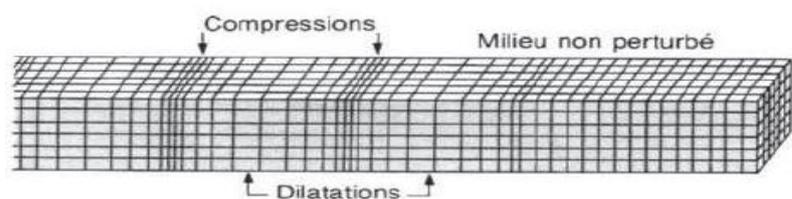


Figure I.3. Les ondes P [3].

Les ondes S : elles sont des ondes de cisaillement qui ne se propagent que dans les solides. Les particules oscillent dans un plan vertical, à angle droit par rapport à la direction de propagation de l'onde (figure I.4). Plus lentes que les ondes **P**, elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

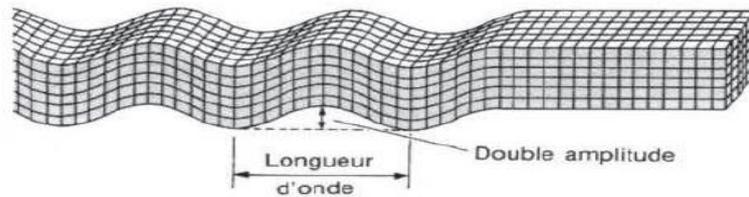


Figure I.4. Les ondes S [3].

➤ Les ondes de surface

Elles résultent de l'interaction des ondes de volume. Elles sont guidées par la surface de la terre, se propagent moins vite des ondes de volume, mais elles ont généralement une plus forte amplitude. Généralement, ce sont les ondes de surface qui produisent les effets destructeurs des séismes. On en distingue :

- **Les ondes de LOVE (ondes L) :** elles sont des ondes de cisaillement, comme les ondes S, mais qui oscillent dans le plan horizontal (figure I.5). Elles provoquent au sol un mouvement latéral.

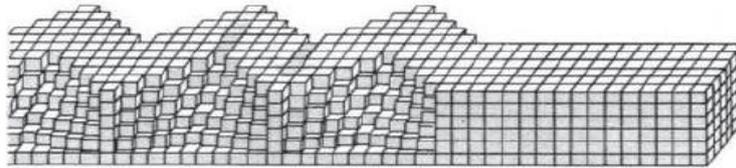


Figure I.5. Les ondes de LOVE [3].

- **Les ondes de RAYLEIGH :** elles sont assimilables à une vague ; les particules du sol se déplacent selon une ellipse, créant une véritable vague qui affecte le sol lors des grands tremblements de terre (figure I.6).

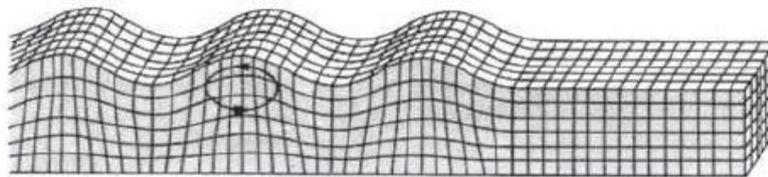


Figure I.6. Les ondes de RAYLEIGH [3]

1.2.4. Le séisme et les bâtiments

Lorsqu'un matériau rigide est soumis à des contraintes de cisaillement, il va d'abord se déformer de manière élastique, puis, lorsqu'il aura atteint sa limite d'élasticité, il se plastifie et il cède, en dégageant de façon instantanée toute l'énergie qu'il a accumulé durant la déformation élastique. Dans l'état actuel des choses, il est question de prévoir les modes de déformation des constructions sous l'effet des secousses, et de maîtriser l'importance de ces déformations et contraintes sur l'ensemble de la structure porteuse. Pour des raisons de bon fonctionnement et de stabilité générale de la construction, on ne peut pas laisser un bâtiment se déformer comme un roseau. On doit contrôler son endommagement en empêchant la rupture brutale et l'effondrement, tout en assurant un comportement ductile pour la structure.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Un autre facteur de ruine qu'il faut prévoir, c'est la mise en résonance. Lorsque la période d'oscillation d'un sol donné correspond à la période propre d'oscillation d'un bâtiment, celui-ci s'emballé et amplifie le mouvement [4].

1.2.4.a. Les constructions parasismiques

Le risque sismique est lié à l'aléa sismique et à la vulnérabilité de la construction. C'est la raison pour laquelle une démarche globale de conception parasismique dans la construction devrait être mise en place. Elle doit s'appuyer sur trois points [3]:

- respect de la réglementation parasismique. L'application des règles parasismiques concerne le calcul des charges sismiques et les dispositions constructives. La philosophie des règles consiste à préserver les vies humaines ; avant tout, l'objectif est de prévenir les risques d'effondrement des planchers et des murs.
- conception architecturale parasismique. La conception architecturale parasismique n'est pas obligatoire mais son rôle est fondamental dans la résistance des constructions aux séismes.

Elle comprend trois aspects :

- 1- l'aspect architectural : formes et dimensions des espaces (cellules) de la structure
 - 2- l'aspect constructif : dimensions et caractéristiques comportementales des éléments structuraux de résistance.
 - 3- l'aspect contreventement : type et nombre d'éléments de contreventement.
- mise en œuvre soignée de la construction. Enfin sans une mise en œuvre de qualité de la part de l'entrepreneur, la construction peut s'effondrer comme cela a été encore le cas récemment dans des immeubles en Turquie en 1999, en Inde en 2001 et en Algérie en 2003.

1.2.4.b. Exemples de mauvaises conceptions parasismiques

Les bâtiments ne réagissent pas de la même manière aux séismes. Il existe une grande variété de modes de ruine pour un même type apparent de construction. Par exemple les deux ailes d'un bâtiment en L n'oscillent pas librement, ce qui génère des dommages à leur extrémité qui n'est pas libre. Comme le montre la figure I.7, on remarque des destructions diverses par accumulation de contraintes à la jonction de deux ailes de bâtiment n'oscillant pas en phase [5].

Il faut veiller à ce que la distribution des espaces et le choix de leurs enveloppes ne créent pas de noyaux rigides excentrés (cage d'escalier). Sous l'effet des secousses, le bâtiment peut subir une torsion autour de ce noyau rigide peu déformable (figure I.8).

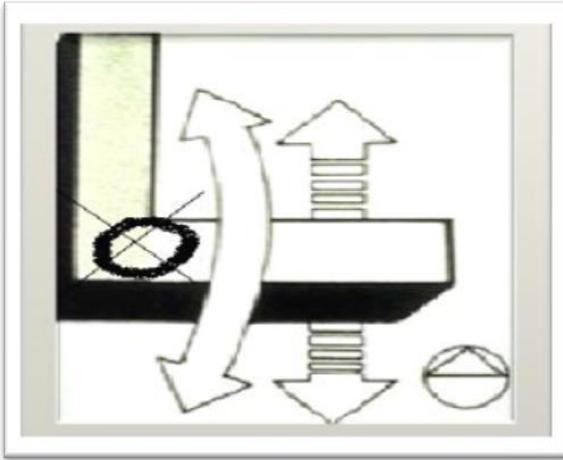


Figure I.7. Accumulation des contraintes dans la zone d'angle

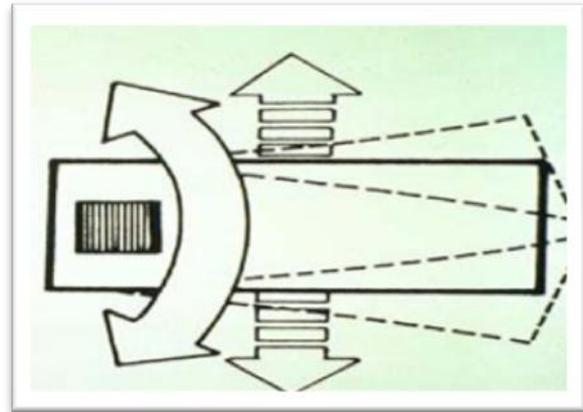


Figure I.8. Moment de torsion autour d'un noyau rigide.

Un autre principe consiste à dimensionner plus généreusement les éléments indispensables à la stabilité d'ensemble. C'est-à-dire, on adoptera le principe « poteau fort – poutre faible » pour les structures: les dommages ne doivent pas se former dans les éléments porteurs, ni dans les nœuds (figure I.9).



Figure I.9. Les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux



Figure I.10. Joint parasismique insuffisant

Un joint parasismique est un espace vide de tout matériau. Il est adopté généralement sur toute la hauteur de la superstructure des bâtiments ou parties de bâtiments. Ce joint a pour but d'éviter tout entrechoquement entre les corps des bâtiments qu'il sépare (figure I.10).

1.2.4.c. Effets des séismes sur les bâtiments

Les photos et les figures suivantes vont nous permettre de prendre conscience des zones sensibles vis-à-vis des séismes. Il faut arriver à l'interprétation de ces dommages pour pouvoir les éviter à l'avenir.

❖ *Les éléments porteurs*

La figure I.11 montre que les extrémités des poutres sont les zones touchées. Le séisme a provoqué la fissuration de ces parties et par la suite la rotation de celles-ci, provoquant ainsi une rotation du plancher. Ce cas présente aussi le problème de l'espacement du joint parasismique, qui est jugée insuffisante ou inexistante. Ce qui a provoqué des désordres dans le bâtiment voisin (à droite de la photo).

Sur la figure I.12, la zone de rupture a eu lieu au niveau de la base des poteaux. Il y a eu éclatement en pied de poteau ce qui a provoqué ces dégradations. Cet éclatement vient du fait que les crochets des étriers ne soient pas conformes à la réglementation, ils doivent être coudés à 135°. [6].



Figure I.11 : Endommagement et rotation des poutres



Figure I.12 : Éclatement du béton et flambement des armatures à la base

L'adaptation des constructions au site conduit parfois à opter des planchers décalés, par exemple d'un demi-niveau (figure I.13). Si ces planchers sont portés par une ossature à poteaux, on peut craindre un cisaillement de ces derniers sous l'effet d'un séisme. En effet, du fait de leur bridage à mi-hauteur, ils sont plus rigides que les poteaux courants et attirent ainsi des charges beaucoup plus élevées. En même temps, leur capacité à absorber l'énergie cinétique des oscillations en se déformant est sensiblement réduite. Leur rupture est due au cisaillement qui est une rupture fragile [5].

Certaines structures présentent une carence d'éléments porteurs verticaux (poteaux, voiles, murs de refend), dans ce cas l'effondrement total de la structure est quasiment inévitable (figure I.14). Ces structures présentent une très forte vulnérabilité.

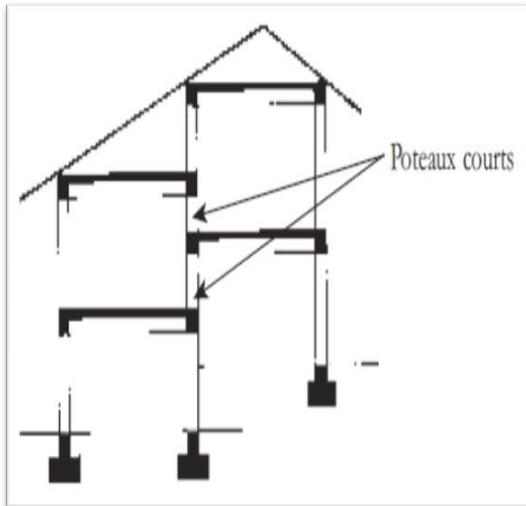


Figure I.13 : Poteaux courts



Figure I.14 : Effondrement total du bâtiment

❖ *Les éléments non porteurs*

Les ouvertures dans une façade constituent de nombreux points de vulnérabilité en cas de séisme. Ces zones sont très souvent sujettes à des fissures importantes mettant en jeu la solidité de la structure. Ces fissurations sont de type X et ont lieu entre deux ouvertures par exemple (figure I.15) [6].



Figure I.15 : Fissure en X de la maçonnerie



Figure I.16 : Effondrement de la maçonnerie

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Lorsqu'un mur de maçonnerie est soumis aux poussées horizontales violentes d'un séisme, les lits de mortier n'arrivent pas à assurer une cohésion satisfaisante entre les blocs à maçonner qui se disloquent, même pour des déformations modérées du mur (figures 15 à 17). Ainsi la dislocation partielle ou totale de la construction peut survenir pour des intensités locales du séisme assez faibles si on ne prend pas la précaution de confiner (encadrer) par des chaînages appropriés chacun des panneaux de maçonnerie et chacune des ouvertures pour limiter les déformations (figure I.16).

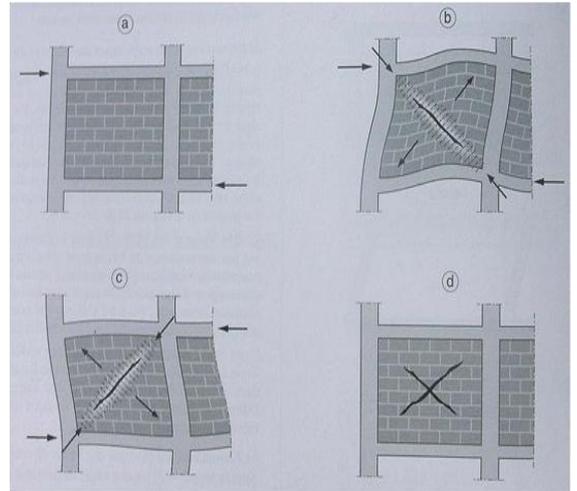


Figure I.17 : Interaction mur-portique

❖ *Présence des niveaux souples*

De nombreux bâtiments comportent un ou plusieurs niveaux dont la rigidité horizontale est sensiblement inférieure à celle des autres étages.

C'est le cas des bâtiments sur " pilotis " (figure I.18), de même que de ceux qui présentent de grandes portes, vitrines ou fenêtres concentrées sur certains niveaux (commerces, garages, hôtels, bâtiments administratifs, etc.). Ces étages sont plus vulnérables et subissent des déformations plus importantes.



Figure I.18 : Cisaillement de l'étage souple.

❖ *Le problème de liquéfaction des sols*

La liquéfaction des terrains résultant d'un tremblement de terre entraîne des désordres au niveau de la composition du sol où reposent les fondations. Ceci provoque l'affaissement de la couche non liquéfiée sur la couche liquéfiée, et a pour conséquence le mouvement ou la giration de la structure.

Le tableau I.1 reprend les différents « défauts » de conception parasismique à éviter ou à contrôler.



Figure I.19 : Tassement du bâtiment

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Conception non parasismique	Aspect	Conséquences possibles - Risques
Forme en L	Architectural	Accumulation de contraintes dans la zone d'angle
Présence de noyau rigide excentré (cage d'escalier, etc.)	Architectural	Torsion du bâtiment autour du noyau rigide peu déformable
Non respect du principe « poteau fort – Poutre faible »	Constructif	Endommagement des éléments porteurs (poteaux et des nœuds)
Insuffisance ou absence de joint (s) parasismique (s)	Constructif	Entrechoquement entre bâtiments non séparés
Armatures transversales mal disposées au niveau des nœuds (poteaux notamment)	Constructif	Eclatement du béton au niveau des nœuds (dans la zone considérée)
Décalage en planchers d'une construction	Architectural	Poteaux courts (plus rigides que les poteaux courants) vulnérables aux forces de cisaillement : - subissent des charges de cisaillement plus élevées - leur capacité à absorber l'énergie cinétique sensiblement réduite
Présence d'une carence en éléments porteurs verticaux (poteaux, voiles, ...)	Architectural	- Risque d'effondrement total de la structure - Structure fortement vulnérable
Présence d'ouvertures « non chaînées » dans les façades	Architectural	Risque de fissurations en X entre les ouvertures pour de faibles secousses sismiques
Présence de niveaux (étages) souples	Architectural	- Vulnérabilité aux déformations accentuée - Risque de désordres importants voir de rupture des éléments structuraux au droit de ces niveaux.
Sol de fondation « liquéfiable » sous séisme	Géotechnique	- Risque de désordres dans le sol (effondrement de la couche non liquéfiée sur la couche liquéfiée) - Affaissement des fondations (mouvement ou giration de la structure)
Contreventement absent ou insuffisant	Constructif	- Faible rigidité de la structure - Déplacements et périodes d'oscillation importants de la structure en cas de séisme
Absence ou manque de ductilité des éléments structuraux	Constructif	- Risque de rupture non ductile

Tableau I.1. Synthèse des éléments non parasismiques et des conséquences associées

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.2.5. La sismicité en Algérie

La sismicité du Nord de l'Algérie est connue depuis 1365, date de séisme qui a frappé la ville d'Alger. Les nombreux travaux qui se sont intéressés à l'historique de la sismicité ont permis la réalisation de plusieurs catalogues, donné par le CRAAG [16]. Ces derniers montrent que **la sismicité est concentrée dans la région nord du pays** ; c'est à dire dans la bande comprise entre la région littorale et la région de la flexure sud atlasique, et des frontières marocaines jusqu'aux frontières tunisiennes. D'autre part, ces catalogues indiquent que plusieurs séismes importants se sont produits au cours de l'histoire : Alger (1716), Oran (1790), Blida (1825), Ténès (1890)... Le **Tableau 1** en page 25 de notre rapport de recherche bibliographique [17] résume tous les séismes qui se sont produits en Algérie depuis 1365.

1.2.5.a. Le risque et l'alea sismique en Algérie

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Situé sur la bordure de la plaque africaine laquelle est en mouvement continue de collision avec la plaque eurasienne. Ce mouvement est responsable des séismes destructeurs qui se sont produits en Algérie et ont causé d'énormes pertes en vies humaines et en matériel.

L'alea sismique est la probabilité en un lieu donné qu'au cours d'une période de référence, une secousse sismique atteigne ou dépasse une certaine valeur.

*** Aléa sismique régional**

Définition du mouvement sismique correspondant à des probabilités d'occurrence et détermination de l'intensité sismique pouvant être atteinte ou dépassée dans une période de temps donnée [8].

*** Aléa sismique local**

Détermination de l'alea à partir d'une étude de micro zonage visant à identifier les zones affectées par la manifestation d'un effet de site ou de phénomènes induits (liquéfaction, glissement de terrain) [8].

1.2.5.b. Les règles parasismiques algériennes

Le document technique « DTR BC 2-48 » portant sur les « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99, version 2003 » qui a été approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (CTP) lors de sa réunion du 4 Décembre 1999 se situe dans la continuité des documents précédents « RPA 81 , version 1983 » et « RPA 88 » dont il garde la philosophie originelle .

Il constitue en fait une actualisation qui s'avère nécessaire après près de deux décennies de pratique riche et diversifiée de la part des scientifiques et techniciens nationaux des

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

bureaux d'études et de contrôle , des entreprises et des institutions de formation supérieure .

<i>Principes</i>	<i>Description</i>
Les fondations	<ul style="list-style-type: none"> - Elles doivent former un ensemble résistant et rigide sur un minimum de profondeur et hors d'eau de préférence. - Elles doivent être capables de reprendre les charges horizontales en plus des charges verticales et de limiter les tassements différentiels. - Les fondations sur remblais ou sols reconstitués ne sont pas admises. - Le système de fondation doit être homogène avec un seul mode de fondation par bloc de construction
La régularité	<ul style="list-style-type: none"> - Les ouvrages doivent de préférence avoir des formes simples. - Ils doivent assurer une distribution aussi régulière que possible des masses et des rigidités tant en plan qu'en élévation.
Les joints parasismiques	<ul style="list-style-type: none"> - Ils doivent assurer l'indépendance complète des blocs qu'ils délimitent et empêcher leur entrechoquement.
Les systèmes structurels	<ul style="list-style-type: none"> - Les ouvrages doivent en général comporter des contreventements dans au moins les deux directions horizontales. - Les éléments de contreventement devraient présenter une configuration régulière et former un système continu et cohérent aussi monolithique que possible.
La ductilité	<ul style="list-style-type: none"> - Les éléments de la structure doivent avoir une ductilité suffisante pour pouvoir dissiper une grande part de l'énergie induite par le mouvement sismique. - Le développement des rotules plastiques devrait se faire, en dehors des nœuds, de préférence dans les éléments horizontaux.
Les éléments non-structuraux	<ul style="list-style-type: none"> - Il faut tenir compte de la présence d'éléments non-structuraux qui peuvent modifier considérablement le comportement de la structure et donner lieu à des désordres importants.
Modélisation et méthodes de calcul	<ul style="list-style-type: none"> - Le choix des méthodes de calcul et la modélisation de la structure doivent avoir pour objectif de reproduire au mieux le comportement réel de l'ouvrage. - Il est admis que les structures soumises à une action sismique puissent subir des déformations dans le domaine post élastique.

Tableau I.2. Description des principes fondamentaux des règles parasismiques algérienne.

1.2.5.c. Zonage sismique de l'Algérie

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante [9], définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit [9]:

- Zone O : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée

La figure I.20 présente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas.

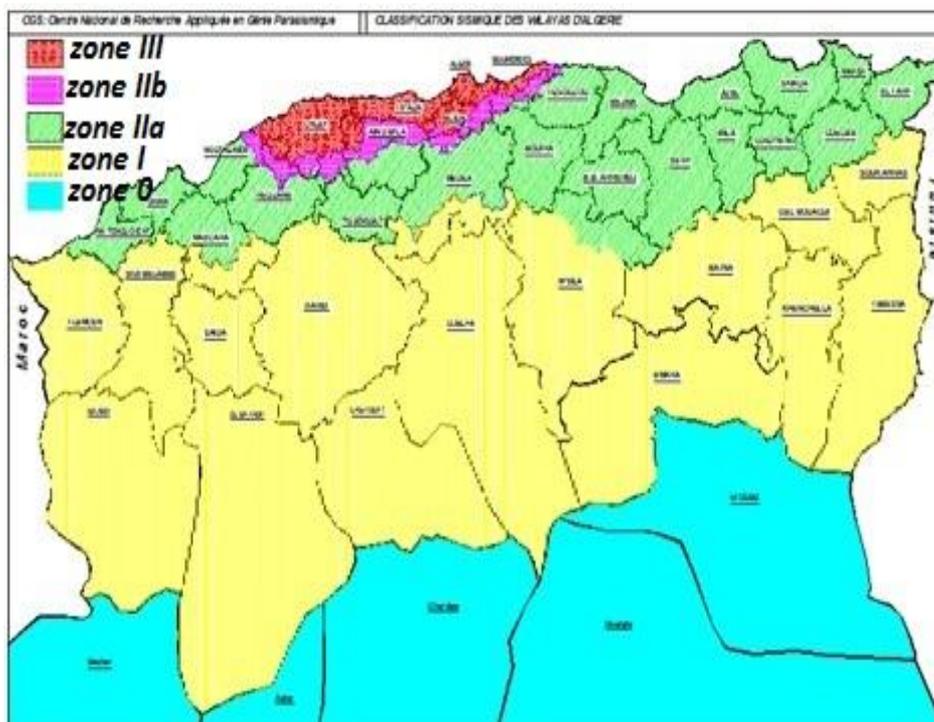


Figure I.20. Carte de zonage sismique de l'Algérie

1.3. la vulnérabilité sismique

L'estimation des pertes spécifiques résultant d'un séisme, exige que pour chaque classe de bâtiments, la relation entre intensité du mouvement sismique et le degré de dommage doit être connue ou développée. L'endommagement sismique potentiel des structures a été l'objectif de plusieurs études effectuées. Différentes approches ont été développées afin de prédire et d'estimer les pertes spécifiques en terme d'endommagement et en terme de victimes.

1.3.1. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments

L'intérêt de se prémunir contre les effets destructeurs des séismes est croissant ces deux dernières décennies et en particulier vis-à-vis des constructions existantes. Une multitude de

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

programmes et d'approches ont vu le jour depuis, en vue d'une mitigation du risque sismique, et en l'occurrence le programme **RiskUE** (2003) [10], **VULNERALP** (2005) [12], **CETE Méditerranée** (1990) et **Méthode FEMA-154** [11] (annexe 1, 2, 3 et 4)

1.3.1.a. Méthodologie RiskUE

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE dans le cadre du Works Package 4 relatif à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant. Ce projet avait pour but d'analyser le risque sismique à l'échelle d'une ville, et d'aboutir à la création d'une méthodologie permettant l'évaluation des risques [10].

L'indice de vulnérabilité du bâtiment (V_I) est compris entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 correspondent aux bâtiments les plus vulnérables. Il s'obtient en faisant la somme de 3 termes :

$$V_I = V_I^* + \Delta V_m + \Delta V_R$$

Où V_I^* : fonction de la typologie du bâtiment.

ΔV_m : représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement,

ΔV_R : prenant en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation

Le terme V_I^* est donné par une matrice dans laquelle un indice de vulnérabilité est affecté à chaque type de bâtiment.

Le terme ΔV_m est évalué en sommant les coefficients associés à chaque facteur de vulnérabilité observé sur le bâtiment. (Voir annexe 2)

Le terme ΔV_R est laissé à l'appréciation de l'enquêteur.

Procédure de la méthode

V_I^* est donné par une matrice regroupant 23 typologies de bâtiment, la matrice propose un V_I^* probable et les termes $[V_I^-, V_I^+]$ (limite de l'intervalle plausible de V_I), et $[V_I^{\min}, V_I^{\max}]$ (limites inférieur et supérieur de V_I). (Voir annexe 2)

En sommant V_I^* aux ΔV_m et ΔV_r , on obtient une marge d'erreur sur l'indice global (V_I).

A partir de cet indice V_I on peut évaluer la répartition des probabilités de dommage sur le bâtiment en établissant des courbes de vulnérabilité puis des courbes de fragilité.

Pour un groupe de n bâtiments : $V_I^* = \sum_t q_t \cdot V_{I_t}^*$

q_t : le pourcentage de bâtiments appartenant à une catégorie spécifique.

Données nécessaires

- Typologie des bâtiments : 23 types (voir annexe 2).
- L'état d'entretien (bon ou mauvais).

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- Nombre d'étages : 1 à 2 : peu élevé.
3, 4,5 : moyennement élevé.
6 et plus : élevé.
- Système structural : Épaisseur et distance entre les murs.
Connexion entre les éléments horizontaux et verticaux.
- Étages souples.
- Irrégularité en plan et en élévation et éléments résistants superposés.
- Contreventement.
- Interaction entre bâtiments : position dans l'îlot.
- Interaction entre bâtiments : élévation.
- Fondation : niveaux différents.
- Morphologie du sol : pente et escarpement.

1.3.1.b. Méthodologie du CETE Méditerranée (1990)

C'est une méthode sommaire d'analyse de la vulnérabilité développée par le CETE Méditerranée à la fin des années 90. Elle ne constitue pas une étude de vulnérabilité proprement dite, mais plutôt une approche pour la détermination de la présomption de vulnérabilité. Il s'agit surtout de recenser les indices de vulnérabilité de bâtiments et de fournir une indication à priori sur le comportement plus ou moins favorable des constructions sous sollicitation sismique. A partir d'un examen visuel extérieur des bâtiments, l'approche consiste à identifier et à pondérer les paramètres structuraux ou non pouvant modifier le comportement des constructions existantes en cas de séisme et consister en des facteurs aggravant de vulnérabilité. Ces derniers sont identifiés à l'aide d'une fiche de relevé (**voir annexe 4**) des caractéristiques des bâtiments et les pondérations correspondent à des valeurs pré-établies par les experts ayant développé cette méthode. Elle s'applique à l'échelle d'une ville, un quartier ou un ensemble de bâtiment [11].

Procédure de la méthode

A partir de la fiche de relevé présentée en annexe 4, **un indice de vulnérabilité V** est calculé selon l'expression suivante : $V = V_1 + V_2$ où :

V_1 : indice de base cumulant l'influence des caractéristiques d'ensemble du bâtiment selon trois (3) critères :

- L'âge (V_A)
- Les matériaux de construction : Béton armé, maçonnerie et CM (V_M).
- L'état d'entretien : bon, assez bon, assez mauvais et mauvais (V_E).

$$V_1 = V_A + V_M + V_E$$

V_1 est compris entre 0 et 0.50.

V_2 : représente le facteur découlant de l'observation de dommage post-sismique.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	oui	non	poids	vi
a	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)			25	
b	Proximité de changement de pente ($d < 2 h$)			50	
c	Soutènement ou talus ($d < 2 h$)			40	
d	Bâtiment proche ($d < h$)			25	
e	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4\text{cm}$)			15	
f	Dissymétrie en plan			25	
g	Élancement en plan ($L/l > 4$)			10	
h	Parties saillantes ou rentrantes			15	
i	Étages de hauteur différente			10	
j	Retraits en façades			15	
k	Transparence complète			90	
l	Demi - transparence			60	
m	Angle affaibli			20	
n	Non-continuité verticale des éléments porteurs			25	
o	Présence de poteaux courts			25	
p	Présence de poteaux élancés			10	
q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse			10	
r	Porte à faux > 2 m			5	
s	Présence de souches de cheminées vulnérables et dangereuses			5	
t	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses			5	
u	Antenne hertzienne en toiture			5	
v	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)			10	
				500	

Tableau I.3 : Les 22 facteurs retenus pour déterminer V_2

Les 22 facteurs retenus pour déterminer V_2 appellent une réponse binaire, selon l'existence du facteur ou pas (1=oui/0=non),

Un poids est attribué (selon l'estimation du degré de dommage) pour chacun d'eux. Cette somme pondérée des 22 facteurs est normée à 0,50.

L'indice global de vulnérabilité correspond à une valeur comprise entre 0 à 1. La valeur 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus important.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Données nécessaires

- typologies des bâtiments.
- l'état d'entretien (bon ou mauvais).
- l'époque de construction.
- les matériaux de construction.
- topographie du site (présence de pente ou de talus).

1.3.1.c. Méthode VULNERALP (2005)

Il s'agit d'une méthode à étages ou gigognes permettant de mettre en œuvre différents niveaux d'analyse de plus en plus précis et impliquant une immobilisation progressive des moyens [12].

Quatre (4) niveaux d'analyse ont été développés :

Niveau 1 : le plus rudimentaire, appelé **0**, se base uniquement sur la typologie des bâtiments. Il permet un rapide screening des niveaux probables des dommages pour une typologie présente dans la ville.

Niveau 2 : assez sommaire, appelé **1.0**, est un questionnaire assorti d'un guide informatif. L'indice de vulnérabilité obtenu est assorti d'une grande marge d'incertitude, les informations nécessaires sont d'ordre qualitatif et géométrique (**voir annexe 3**).

Niveau 3 : plus précis, appelé **1.1**, mis en œuvre des fiches un peu plus détaillées après inspection visuelle extérieure. Les informations obtenues permettent d'affiner l'estimation de l'indice de vulnérabilité.

Niveau 4 : appelé **2.0**, permet d'acquérir des informations sur la structure elle-même par inspection externe et interne et consultation des plans (**voir annexe 3**).

L'indice de vulnérabilité global de l'ouvrage est obtenu pour chaque niveau d'analyse en agrégeant les indices de vulnérabilité partiels des facteurs de vulnérabilité étudiés, pondérés par leurs coefficients. Cet indice de vulnérabilité global variant entre **0** et **100** est associé une marge d'erreur appelée « **intervalle** ».

Formulation de la méthode Le niveau d'endommagement se calcule par croisement de la vulnérabilité du bâtiment et des intensités sismiques par la formule de Giovinazi et Lagomarsino [10] :

$$\text{Endommagement} = [0,5 + 0,45 \cdot \text{Arctan}(0,55(I - 10,2 + 0,05 \cdot V_i))]$$

Où **I** : est l'intensité macrosismique et **V_i** l'indice de vulnérabilité

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Le résultat obtenu (l'endommagement) s'exprime en degrés (échelle des dommages EMS 98), selon la correspondance suivante :

Degré 1 (dégât léger) Endommagement de 0 à 0,2 ;

Degré 2 (dégât modéré) Endommagement de 0,21 à 0,4 ;

Degré 3 (dégât important) Endommagement de 0,41 à 0,6 ;

Degré 4 (dégât très important) Endommagement de 0,61 à 0,8 ;

Degré 5 (dégât destruction) Endommagement de 0,81 à 1 ;

Cette méthode a été établie pour être mise en œuvre soit à **l'échelle d'une ville** soit à **l'échelle d'un groupe de bâtiment** (quartier ou bâtiments de classe C d'une ville par exemple). L'application de cette méthode nécessite des données comme (**Typologie de l'unité, environnement : sol, pente ; Époque de construction, Toiture et Régularité en élévation et en plan**).

II.3.2.d. Méthodologie HAZUS (Hazard US)

Cette méthode, proposée par la U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA) et connue également sous le nom d'ATC-21, est décrite dans les documents FEMA 154 et FEMA 155 révisés pour la dernière fois en 2002 (BSSC, 2002a ; BSSC, 2002b).

Une note de base associée au risque structurel (*BSH* : Basic Structural Hazard) est attribuée au bâtiment selon son principe constructif, identifié parmi 15 types de structures courantes aux États-Unis, et selon la sismicité de la région (voir **l'annexe 1**). Cette note varie de 1,6 pour les ossatures en béton armé avec remplissage en maçonnerie situées en zone de forte sismicité, à 7,4 pour les structures en bois de charpente en zone de faible sismicité. La note structurale de base est ensuite modifiée par l'ajout ou la soustraction de facteurs de modification de performance *SM* établis selon les déficiences observées pour les différentes classes de bâtiment. Les caractéristiques structurales considérées par les facteurs de modification *SM* sont la hauteur du bâtiment, les irrégularités géométriques et structurales en plan et en élévation, l'année de conception qui présuppose l'application d'un certain code de construction, le type de sol. Une grille standardisée, contenant les valeurs des coefficients à appliquer, est fournie pour faciliter le pointage de ces éléments [18].

La note finale varie théoriquement entre 0 et 7 et correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment pour un séisme égal ou dépassant le séisme maximum considéré (MCE, correspondant à 2% de probabilité de dépassement en 50 ans) selon la relation :

$$S = - \log_{10} (\text{probabilité d'effondrement})$$

Les courbes de fragilité définissent la probabilité d'atteindre ou de dépasser un certain niveau de dommages, structurels ou non structurels, pour une valeur donnée du déplacement correspondant au point de demande. Dans le cas du programme HAZUS, ces courbes ont été mises au point à partir d'extrapolations des données liées aux dommages observés, sur avis d'experts [19].

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Ces courbes ont été calibrées ensuite, avec des données consécutives aux séismes de Loma Prietta (1989) et de Northridge (1994). C'est l'une des raisons que les courbes ne peuvent pas être directement exploitées pour tous les pays et en l'occurrence pour un pays à sismicité modérée. L'endommagement est modélisé par une distribution normale cumulée du logarithme (distribution log-normale) du déplacement spectral S_d donné. Ainsi pour un niveau de dégâts d_s provoqué par un déplacement spectral S_d donné, la probabilité d'endommagement, $P(d_s/S_d)$, s'exprime à travers la formule suivante:

$$P[d_s/S_d]=\Phi(\beta_{d_s},S_{d,d_s})$$

Avec : $P[d_s/S_d]$ est la probabilité d'obtenir un niveau de dégât donné d_s , pour un déplacement spectral S_d , Φ est la distribution normale cumulée, S_{d,d_s} le logarithme de la valeur moyenne de déplacement d pour le niveau d'endommagement fixé à d_s , β_{d_s} est le logarithme de l'écart-type du déplacement d pour le niveau d'endommagement ou degré de dégât d_s .

Dans cette étude on va utiliser les courbes d'endommagement fournies par le programme **HAZUS** qui définit 4 niveaux ou degrés de dégâts: faibles, modérés, importants et très importants. On se basera sur les degrés de dommages structurels.

Degrés de dégât, DG	Définition	Indice d'endommagement
0	Aucun dégât	<0.10
1	Faible endommagement	0.10-0.25
2	Endommagement modéré	0.25-0.40
3	Dégâts importants	0.40-1.00
4	Effondrement	1.00

Tableau I.4. Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement. [18]

La FEMA 154 est une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité destinée à sélectionner les bâtiments présentant a priori un risque inacceptable. Il est généralement recommandé de procéder au diagnostic détaillé (par exemple suivant la procédure FEMA 310) des bâtiments dont la note est inférieure à 2, c'est-à-dire des bâtiments dont la probabilité d'effondrement est supérieure à 1 %.

La méthode est calibrée pour les 15 types de constructions les plus courants et les différentes zones sismiques des États-Unis.

Données nécessaires

Les données nécessaires pour établir le diagnostic sont réunies à l'aide d'une fiche de relevé normalisée remplie par simple examen visuel, extérieur et éventuellement intérieur, du bâtiment. L'analyse des plans de structure n'est pas indispensable mais peut aider à conclure sur le principe constructif, la régularité du contreventement ou encore la date de construction.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

La classe de sol (types A à F) peut en revanche difficilement être identifiée sur place : il est nécessaire de se référer aux cartes géologiques, géotechniques ou aux sondages existants sur la zone d'étude.

Méthode	Principe	formulation	Observations
RiskUE	Evaluer un indice de vulnérabilité pour 1 bâti courant $V_I \in [0,1]$ Ainsi que l'endommagement (μ_D)	$V_I = V_I^* + \Delta V_m + \Delta V_R$ $\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$	Elle est utilisable pour tous les types de bâtiment : maçonnerie, béton armé, structure métallique, structure bois.
VULNERALP (2005)	Cette approche permet d'attribuer un indice de vulnérabilité global à la construction étudiée ainsi que leur degré d'endommagement	Endommagement = [0,5 + 0,45. Arctan (0,55 (I - 10,2 + 0,05. V_I))]	Cette méthode a été établie pour être mise en œuvre soit à l'échelle d'une ville soit à l'échelle d'un groupe de bâtiment
CETE Méditerranée (1990)	Recenser les indices de vulnérabilité et donner une indication sur le comportement des constructions plus au moins favorable sous les sollicitations sismiques	$V = V_1 + V_2$ Telque : $V_1 = V_A + V_M + V_E$	Concernant le V_2 on le calcul à partir du tableau I.2
HAZUS (FEMA 154)	Attribuer au bâtiment selon son système constructif une note associée au risque structurel, elle varie entre 1.6 et 7.4. Elle correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment.	S = - log10 (probabilité d'effondrement) P[d_s/S_d]=Φ(β_{ds},S_d,ds) : fonction de la courbe de vulnérabilité et endommagement.	C'est une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité sismique. Il est recommandé de procéder au diagnostic détaillé du bâtiment avant l'évaluation de sa vulnérabilité.

Tableau I.5. Synthèse des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.4. Stratégie de réhabilitation des bâtiments

La problématique du bâti existant vulnérable en zone sismique suscite de plus en plus la préoccupation vis-à-vis du danger qu'il représente lors d'agression sismique. La prévention et le maintien d'un risque acceptable ne peuvent être envisagés que par la réhabilitation parasismique du bâti existant.

1.4.1. Objectif d'une intervention parasismique

Pour atteindre les objectifs de performance d'une structure réhabilitée lors d'agression sismique, la réhabilitation parasismique intervient en générale pour augmenter la ductilité, la résistance de la structure et/ou la rigidité. En modifiant la rigidité et la masse de la structure, on change les caractéristiques dynamiques, et par conséquent, on change aussi la demande sismique. Deux grandes familles de démarches peuvent être suivies pour améliorer le comportement et la survie de l'édifice [8]:

- Réduire le niveau des charges sismiques.
- Améliorer le niveau de performance de l'ouvrage.

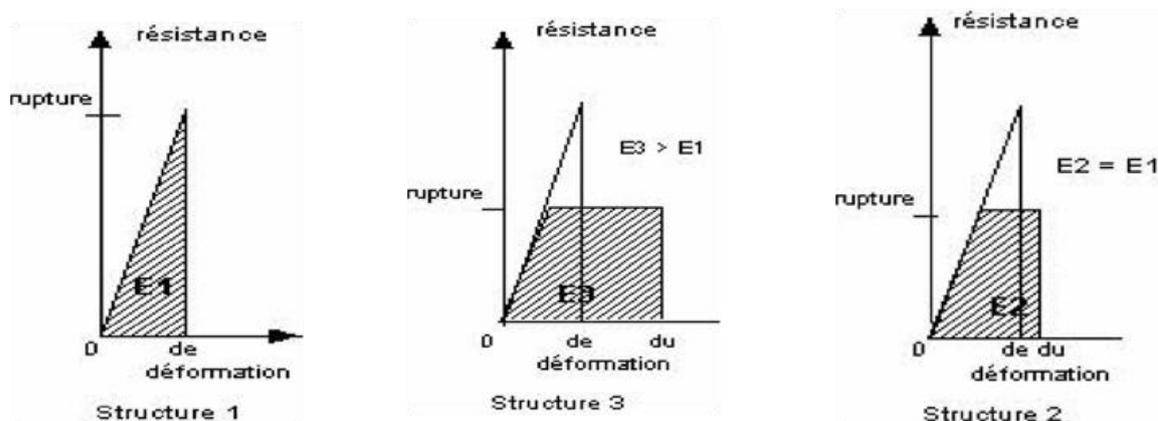


Figure I.21. Efficacité structurale en termes d'énergie absorbée [8].

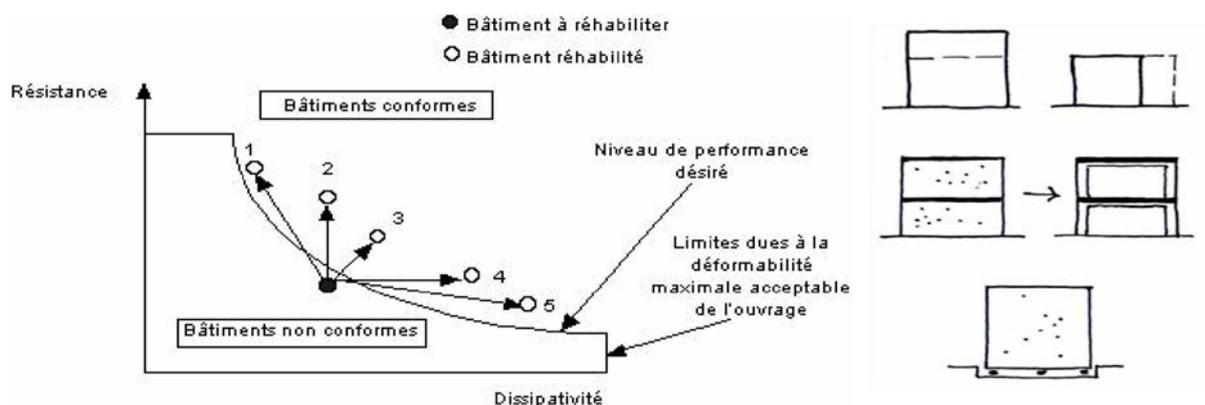


Figure I.22. Stratégies permettant d'atteindre un niveau de performance recherché

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans la structure 1, E_1 est l'énergie absorbée avant rupture, dans la structure 2, l'énergie absorbée $E_2=E_1$, la structure est moins résistante, mais la structure 2 présente plus de déformabilité, la structure 3 est plus performante malgré que sa résistance est moindre.

Pour la position 1 : on renforce en diminuant la dissipativité.

Pour la position 2 : on renforce en maintenant la dissipativité.

Pour les positions 4 et 5 : augmenter la dissipativité en mettant des amortisseurs par exemple [8].

1.4.1.1. Réduction du niveau d'action sismique

a) Réduction des masses

C'est une démarche capitale qui consiste à remplacer soit des planchers lourds par des planchers performants légers ou le remplacement des panneaux de façade lourd.

b) Recherche de la non résonance

Éviter que l'immeuble n'ait pas la même période propre que le sol d'assise par la réduction ou l'augmentation de la période propre du bâtiment.

Réduction de la période propre T

➤ Modification de la forme du bâtiment

- Réduction de la hauteur
- Réduction de l'élançement géométrique
- Évaser la base (contreforts)

➤ Augmentation de la rigidité de la structure

- Contreventement par voile.
- Augmentation du nombre de voile.
- Contreventement en périphérie.

➤ Réduction de la masse

- Allègement de la structure.
- Éléments non structuraux légers

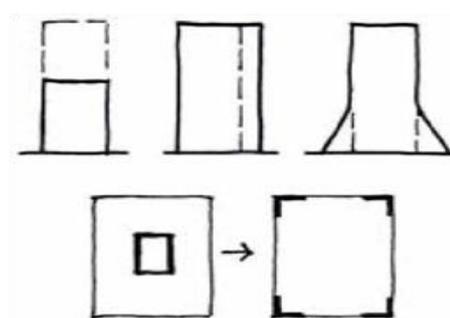


Figure 1.23 : Quelques modifications pour réduire la période T

Augmentation de la période T

➤ Modification de la forme du bâtiment

- Augmentation de la hauteur (surélévation).
- Augmentation de l'élançement géométrique (Démolition partielle).

➤ Réduction de la rigidité

- Suppression des murs de remplissage en maçonnerie.
- Remplacement des allèges rigides par un bardage.
- Fractionnement par des joints parasismique.

c) Limitation de la torsion d'ensemble

On peut limiter la torsion autour des points rigides par une redistribution plus au moins symétrique des voiles de contreventement comme indiqué sur la figure I.24.

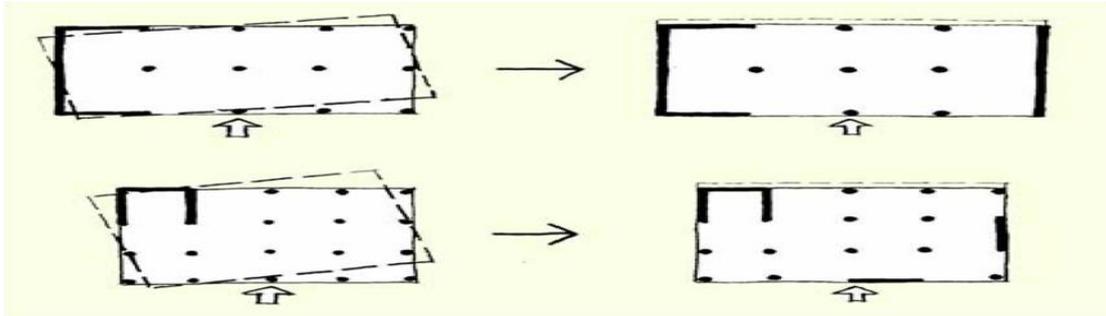


Figure I.24. Correction de la torsion

1.4.1.2. Amélioration du niveau de performance du bâtiment

a) Renforcement

Le renforcement augmente la résistance mécanique et peut augmenter la ductilité par confinement et chemisage d'une manière notable, on procède au renforcement de l'une de ces manières :

- Injection des maçonneries par coulis de ciment.
- Dimensionnement par chemisage.
- Corsetage ou contreforts en façade.
- Ajouts d'appuis.
- Ancrage des éléments de contreventement.
- Création d'un nouveau système de contreventement.
- Renforcement des fondations.
- Traitement du sol d'assise.

b) Amélioration de la dissipativité

On peut améliorer la dissipativité d'une structure par :

- Augmentation de la section des porteurs verticaux
- Suppression des affaiblissements locaux, les changements brusques de forme et de section.
- Confiner la maçonnerie par des chaînages.
- Ajout de chaînages horizontaux.
- Utilisation des amortisseurs.

1.4.1.3 : Suppression ou redistribution des zones faibles

Dans le cas d'un rez-de-chaussée sur pilotis on peut procéder de l'une de ces solutions :

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- Contreventement en façade
- Noyau rigide.
- Goussets important en tête des poteaux.

Et dans le cas des bâtiments possédant des ailes on peut :

- Fractionner la construction.
- Placer des voiles aux extrémités des ailes.

1.4.1.4. Réparation de la structure et traitement de sol

En procédant au :

- remplacement du béton et armatures détériorés.
- Injection de nouveaux éléments
- Vibroflottation.
- Cloutage. etc.

1.5. Conclusion

Cette première partie de notre étude a eu pour objet de présenter les conséquences plus ou moins graves que peut occasionner un tremblement de terre. Il apparaît inéluctable qu'une prise de conscience de la part des collectivités s'impose.

Il s'agissait dans un premier temps de prendre connaissance des règlements et des textes concernant le parasismique. Afin de pouvoir mettre en place une méthode d'évaluation du risque sismique, il a fallu étudier les dommages courants que pouvait occasionner l'action d'un séisme sur les bâtiments. Il s'agissait de déterminer les zones les plus influencées par les actions sismiques.

On peut résumer quatre méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant. Ces approches ont toutes un principe général commun, à savoir l'identification de la typologie constructive et des facteurs de vulnérabilité permettant d'estimer un niveau global de vulnérabilité présumée. Cependant, leurs fondements scientifiques, leur niveau de validation opérationnelle, leur complexité, leur coût etc. sont variables d'une méthode à l'autre.

La réhabilitation du bâti ancien est un effort à long terme. Pour l'heure, elle semble peu pratiquée, bien qu'il suffise parfois de procéder à des renforcements simples pour réduire sensiblement la vulnérabilité d'une construction. La raison est probablement due à trois éléments : la non conviction de l'efficacité des procédés utilisés, la non maîtrise des techniques et enfin les désagréments causés lors des travaux. Le coût de l'opération pourrait être un facteur dissuasif dans certains cas. La puissance publique peut dans le domaine de la réhabilitation parasismique d'une part donner l'exemple en consolidant les bâtiments publics et, d'autre part, inciter à la réhabilitation privée en procédant à des études et des actions qui la facilitent.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.1. Introduction

La problématique du bâti existant vulnérable en zone sismique suscite de plus en plus la préoccupation vis-à-vis du danger qu'il représente lors d'un séisme. La prévention et le maintien d'un risque acceptable ne peut être envisagé que par la réhabilitation parasismique du bâti existant.

Notre pays connaît des secousses d'importance modérée. Cependant, il n'est pas à l'abri d'un grand tremblement de terre, comme celui de gouraya en 15/01/1891 d'une magnitude de 7.5 qui a occasionné de nombreux dégâts [16]. La ville de Bejaia n'est pas épargnée par le phénomène sismique. Selon les Règles Parasismiques Algériennes RPA99/2003, la région est classée en zone « **Ila** ». Des exemples plus récents montrent la vulnérabilité importante des villes algériennes vis-à-vis du risque sismique. En effet, des dégâts importants ont été constatés lors des tremblements de terre d'El-Asnam (Chlef actuellement) en 1980, Constantine en 1985, Ain Timouchent en 1999 et celui de Zemmouri en 2003. De nombreuses constructions effondrées ou fissurées et beaucoup de vies humaines perdues.

Il est par conséquent primordial de se préoccuper de la problématique du risque et de la vulnérabilité sismique à Bejaia.

Ce chapitre se déroule en deux phases : une première phase de travail sur le terrain durant laquelle les informations les plus pertinentes concernant les bâtiments composants la ville de Bejaia ont été récoltées, puis une deuxième phase durant laquelle différentes méthodes de calcul sont implémentées et utilisées afin d'estimer la vulnérabilité sismique des constructions et leur comportement prévisible lors d'un séisme.

L'organigramme de la figure II.1 montre la méthodologie utilisée pour réaliser cette étape de l'étude et celle du chapitre suivant (proposition de solutions de renforcement et application aux cas traités).

II.2. Enquêtes et recueil d'informations

Pour réaliser cette étude, nous avons dû contacter et rendre visite à plusieurs institutions et acteurs concernés par le bâti existant à Béjaia (la DUC, l'OPGI, etc.). Ces enquêtes et visites nous ont permis de collecter plusieurs informations et données.

La méthodologie de recherche d'informations est basée sur les points suivants :

- Recherche et examen de documents disponibles (plans, coupes, croquis, données géotechniques, données géométriques, etc.) voir annexe 5.
- Entretiens auprès de personnes et acteurs ayant participé à la construction ou connaissant la typologie de la construction en question
- Relevés de facteurs affectant la vulnérabilité : la typologie, la date de construction, la régularité en plan et en élévation, le type de sol, les défauts de conception, etc.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

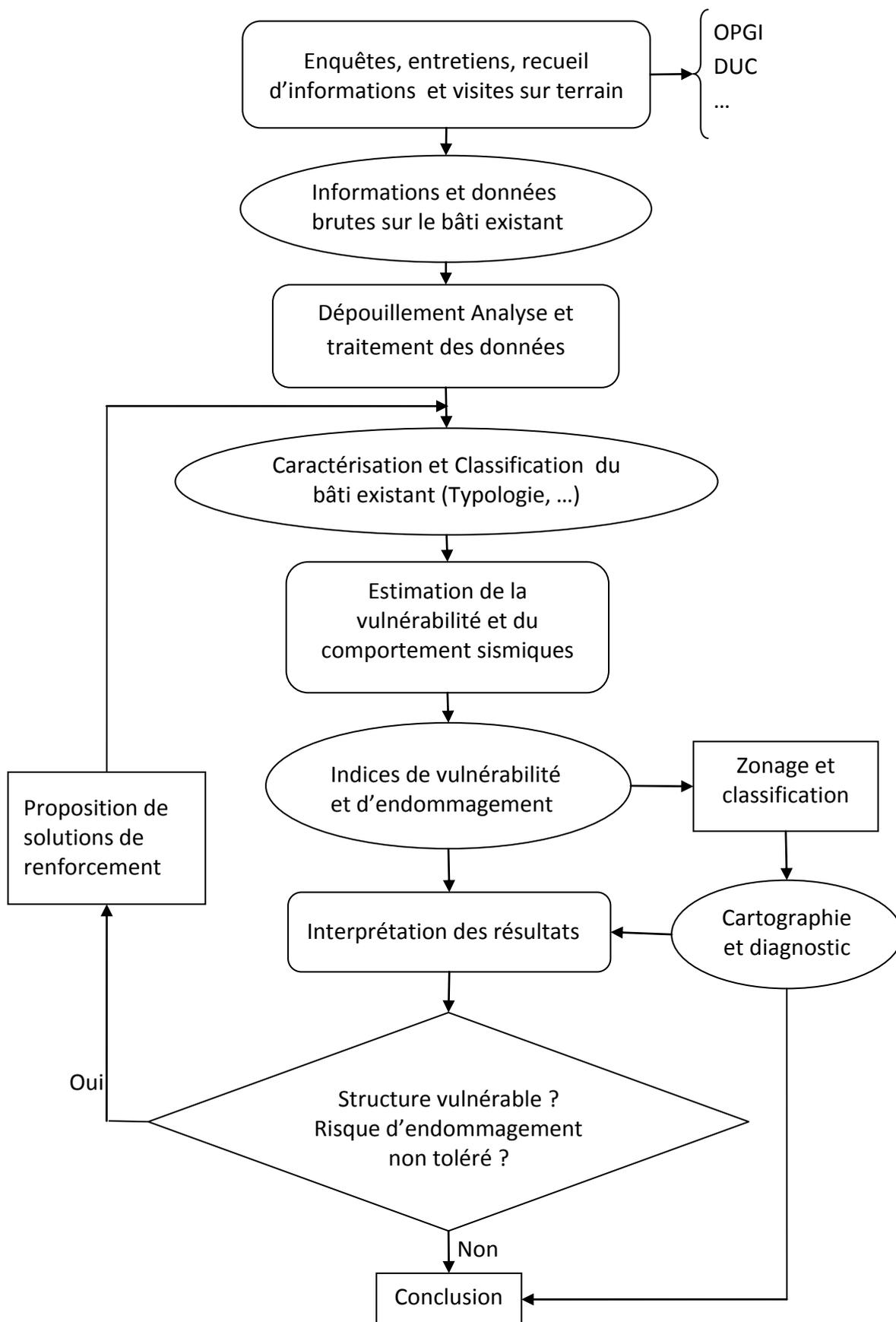


Figure II.1. Organigramme méthodologique de réalisation des chapitres II et III

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.2.1. Localisation des projets étudiés

Les dossiers consultés couvrent sept zones de construction à Béjaia :

- Zone 1 : Sidi Ahmed **B** ; 185 blocs
- Zone 2 : Tala Ouariane ; 02 blocs
- Zone 3 : Sidi Ahmed **A** ; 13 blocs
- Zone 4 : El Quods ; 04 blocs
- Zone 5 : Iheddaden ; 190 blocs
- Zone 6 : Sidi Ali Labher ; 98 blocs
- Zone 7 : Stade - Targa Ouzemour ; 08 blocs

Il s'agit donc de 500 blocs consultés. Lorsqu'on est confronté à un manque d'informations (cas de Sidi Ahmed B et Iheddaden par exemple), on fait des visites sur le site. Dans ce cas, les données manquantes sont complétées sur la base d'observations visuelles. Les zones consultées sont présentées sur la carte de la figure II.2.

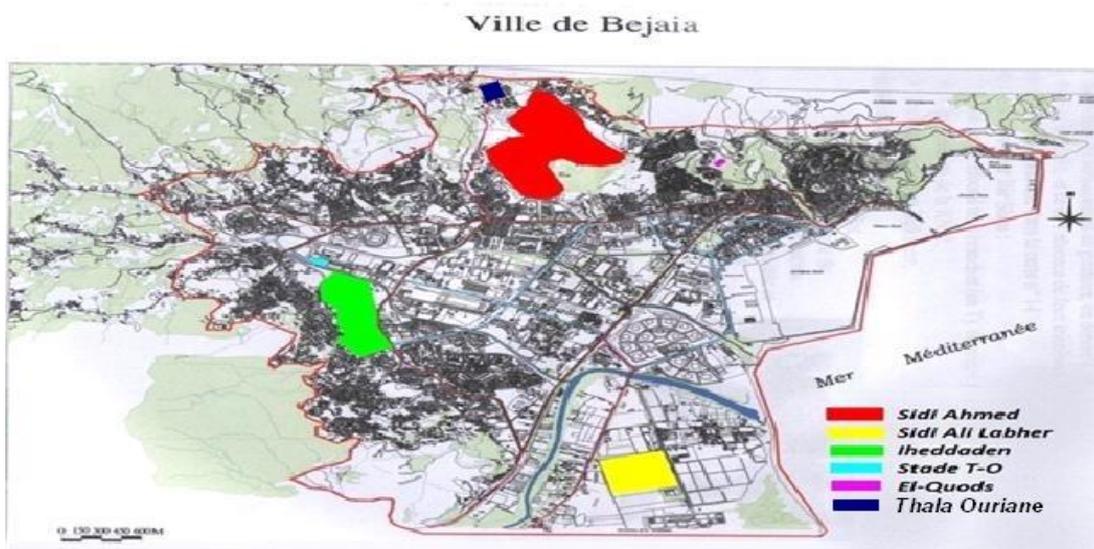


Figure I.2 : Localisation de projets

II.2.2. Types d'informations brutes recueillies

Le type de données et informations à collecter a été défini sur la base d'une analyse approfondie des objectifs visés par notre étude (étude de la vulnérabilité sismique des structures). Le tableau II.1 présente les types d'information recherchés et les résultats obtenus par les dépouillements et l'étude des dossiers consultés. Nous tenons à souligner ici que la phase d'enquêtes, de visites, de dépouillement, de traitement et d'exploitation des nombreux dossiers techniques consultés nous a pris un temps considérable (difficulté d'accéder aux dossiers, épaisseur et diversité des dossiers disponibles, difficulté de synthétiser des informations très éparpillées, etc.).

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Mettre le tableau II.1 présentant les données et informations brutes recueillies

En format A3 (pour une zone)

Pour les autres zones, mettre les tableaux en annexe

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.2.3. Difficultés rencontrées sur le terrain

Nous voulons attirer l'attention du lecteur sur les difficultés rencontrées lors de notre travail de collecte des données et des informations nécessaires. On en distingue principalement :

- La non disponibilité des informations (plans, documents...) concernant les vieux bâtis comme l'ancienne ville ou même les bâtiments stratégiques (hôpitaux, écoles...) ; cette situation nous a empêché d'une part, d'élargir notre investigation à de telles structures et, d'autre part, de faire une évaluation plus précise de la vulnérabilité sismique.
- La perte de temps accumulée lors de nos visites en raison de l'indisponibilité des personnes qui devaient nous accueillir (absentes pour des raisons professionnelles, etc.).
- Consultation de dossiers techniques épais (plusieurs plans et documents techniques) sans intérêt pour notre étude (données insuffisantes, etc.)
- Difficulté de saisir et de reporter l'information brute sur nos « tableaux – canevas ». Par exemple, on peut citer la difficulté de distinguer le type de matériau de construction utilisé. Cette information n'est pas toujours évidente. Lorsqu'elle n'est pas reportée dans le dossier technique on utilise l'observation visuelle des bâtiments. Les bâtiments étant souvent recouverts d'une importante couche de crépi, distinguer la maçonnerie en brique de celle en pierre naturelle est particulièrement délicate. Dans certains cas, même la distinction entre béton armé et briques en terre cuite n'est pas évidente. Les critères utilisés pour distinguer ces différents matériaux de construction sont l'épaisseur des murs et la forme des fenêtres (des fenêtres plus larges témoignent généralement de murs en béton armé).

II.3. Caractérisation et analyse critique du bâti existant

Les structures étudiées (500 blocs) sont réparties sur 7 zones de la ville. Les bâtiments étudiés ont été choisis de telle façon à couvrir la majorité des critères de comportement sismique (forme des bâtiments en plan et en élévation, l'aspect géotechnique, type de contreventement, rigidité poteaux-poutres, etc.). Le bâti doit aussi vérifier d'autres critères pratiques tels que la disponibilité des données et de l'information nécessaires.

II.3.1 Eléments de caractérisation et de classification

Cette récolte d'informations comprend un relevé détaillé des caractéristiques des bâtiments. Ces caractéristiques doivent refléter les paramètres d'influence de la vulnérabilité sismique. On en distingue les matériaux de construction utilisés, la typologie du bâtiment, le nombre d'étage, l'année de construction, la forme du bâtiment en plan et en élévation, le système de contreventement, l'état d'entretien, la rigidité ou la souplesse des étages, la topographie du terrain, l'aspect géotechnique du sol de fondation, etc. Ce sont tous des éléments que nous avons essayé de caractériser de la manière la plus précise

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

possible. Tous ces paramètres sont autant d'éléments qui influent la vulnérabilité d'un bâtiment. Ces éléments sont repris et décrits dans les paragraphes suivants.

II.3.1.1. Typologie des bâtiments

Après avoir consulté les documents disponibles, on a constaté que le tissu urbain de la ville de Bejaia est très riche du fait qu'il est constitué d'une typologie variée. Dans notre cas d'étude, on s'est basé sur 3 types : les bâtiments en voiles porteurs, les bâtiments mixtes (voiles-portiques) et les bâtiments en portiques autostables. La figure II.2 montre les proportions de ces trois types de bâtiment par rapport aux 500 structures étudiées.

- 30 blocs en « Portiques autostables » (6 %)
- 95 blocs en « voiles-portiques » (mixtes) (19 %), et
- 375 blocs en « Voiles porteurs » (75 %).

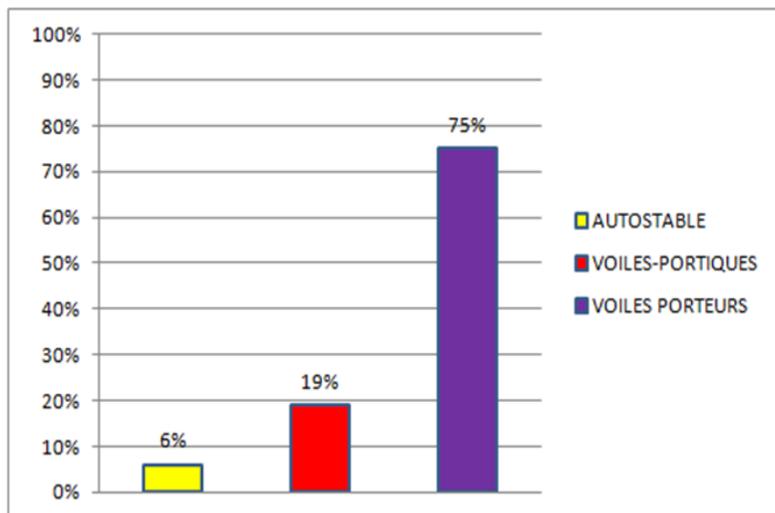


Figure II.3. Pourcentage des bâtiments selon la typologie

II.3.1.2. Classification sismique des sols

Nous avons adopté les 4 classes de sol définies par le RPA99/2003. Les sites sont classés en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent (tableau II.2). [9]

Catégorie S₁ (site rocheux) : Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement (V_s) \geq à 800m/s.

Catégorie S₂ (site ferme) : Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile surconsolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur avec $V_s \geq 400$ m/s à partir de 10 m de profondeur.

Catégorie S₃ (site meuble) : Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec $V_s \geq 200$ m/s à partir de 10 m de profondeur.

Catégorie S₄ (site très meuble) : Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres, à moyennement raide avec $V_s < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.

La géologie la région de Bejaia est représentée par des terrains alluvionnaires de la vallée Soummam, secondaire et tertiaires des anticlinaux djebel Gouraya et Adrar Oufarnou.

- Des dépôts alluvionnaires anciens et récents : basses terrasses, sables, argiles et argiles vaseuses de la vallée Soummam.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

- Des brèches de pentes reçimentées d'âge miocène rencontrées dans l'ancienne ville passant sous les argiles gris-blanchâtres de l'oued Seghir, on retrouve ce niveau argileux jusque dans la région de Mellala.
- Des schistes rouges et verts, des calcaires lenticulaires et des alternances régulières de marno-calcaires de 200 à 300 m d'épaisseur d'âge lias-jurassique des anticlinaux djebel Gouraya et Adrar Oufarnou.

Catégorie	Description	V_s (m/s)
S₁	Rocheux (a)	$V_s \geq 800$
S₂	Ferme	$\geq 400 - < 800$
S₃	Meuble	$\geq 200 - < 400$
S₄	Très Meuble ou Présence de 3m au moins d'argile molle (b)	≥ 100 < 200

Tableau II.2. Classification des sols [9]

(a) : La valeur de la vitesse de l'onde de cisaillement du rocher doit être mesurée sur site ou estimée dans le cas d'un rocher peu altéré. Les roches tendres ou très altérées peuvent être classées en catégorie **S₂** dans le cas où V_s n'est pas mesurée. Le site ne peut être classé dans la catégorie **S₁** s'il existe plus de 3 mètres de sols entre la surface du rocher et le niveau bas des fondations superficielles

(b) : L'argile molle est définie par un indice de plasticité $I_p > 20$, une teneur en eau naturelle $W_n \geq 40\%$, une résistance non drainée $C_u < 25$ kPa et une vitesse d'onde de cisaillement $V_s < 150$ m/s.

V_s : Vitesse des ondes de cisaillement.

Concernant les types de sol sur les quels nos projets sont implantés, ils sont répartis selon les régions comme suite :

- **Sidi Ali Labher, Targa-Ouzemour**: les sols des sites sont constitués essentiellement par des argiles limoneuses a vaseuses et aussi il y a présence d'une nappe d'eau à (-2 m) ce qui présente un risque de liquéfaction du sol lors d'un séisme, selon le RPA99/2003 le sol est classé dans la catégorie (**S4**).
- **El-Quods** : le sol est constitué d'un remblai argileux graveleux ainsi un substratum marno-calcaires, le sol peut être classé dans la catégorie (**S2**).
- **Tala-Ouriane, Iheddaden et Sidi Ahmed** : le sol est constitué d'un limons argileux très graveleux plus au moins compact et assez plastique, et vu l'anomalie de la topographie du terrain (présence de talus), ce qui présente un risque de glissement de terrain, le sol peut être classé dans la catégorie (**S3**)

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.3.1.3. La topographie des terrains

La pente du terrain a non seulement de l'importance pour la réponse sismique, mais elle aura également de l'importance sur l'architecture du bâtiment et sur le nombre d'étage, qui peut être variable pour un même bâtiment. De plus, elle peut induire des décalages au niveau des étages ou des hauteurs différentes sur un même bâtiment. Ce qui peut faire varier la rigidité et donc le comportement lors d'un séisme. Les visites des sites que nous avons effectué, nous ont permis de constater que le terrain de la ville de Bejaia se caractérise par une topographie variée, ce qui nous emmène à faire la classification suivante :

- Sidi Ali Labher, Targa Ouzemour : le terrain présente une topographie plane sans pente ni talus.
- Sidi Ahmed, Iheddaden, Tala Ouriane et el-Quods : de leurs cotés on trouve que leurs topographie présente une anomalie à cause de la forme du terrain en pentes (toutes les constructions sont construites sur des talus).

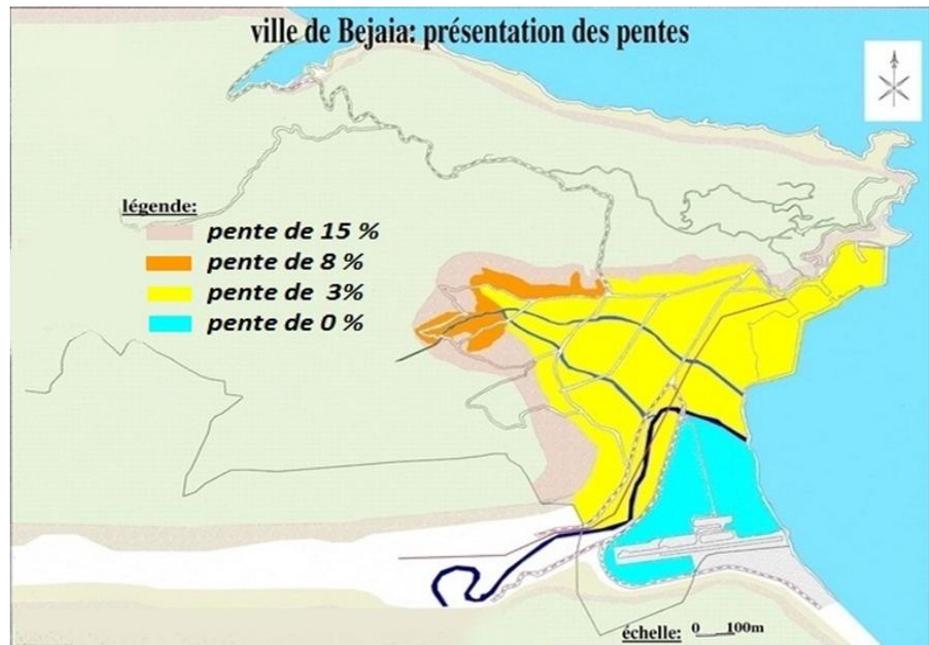


Figure II.4. Présentation des pentes moyennes du site de la ville de Bejaia

II.3.1.4. La forme des structures

Comme nous l'avons vu dans les règles parasismiques, le bâtiment idéal, d'un point de vue sismique serait un cube dans lequel aucun saut de rigidité n'est présent et où les éléments internes de rigidité (cage d'escalier, cage d'ascenseur) sont disposés de manière symétrique. Cependant, de tels bâtiments seraient incommodes d'un point de vue fonctionnel. Nous avons donc affaire, dans la quasi-totalité des bâtiments observés, à des variations

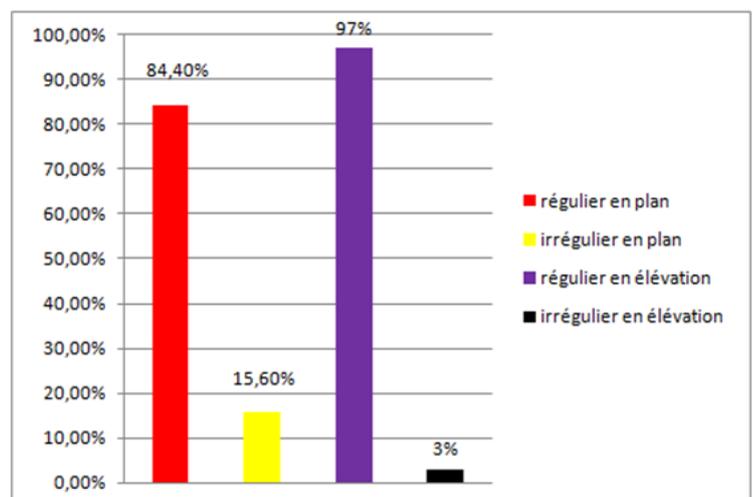


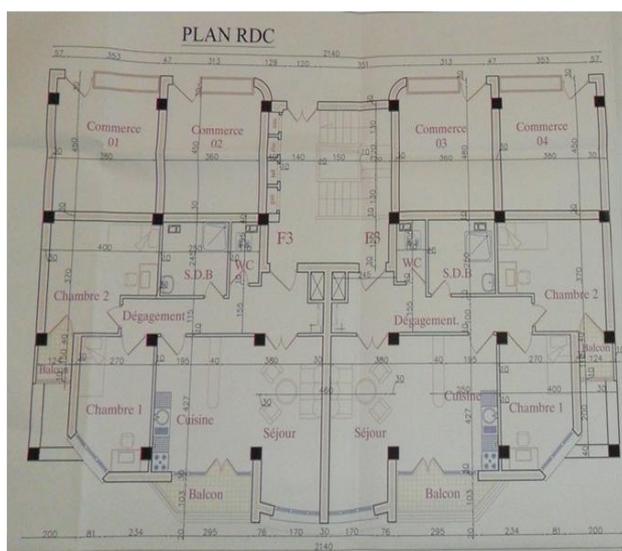
Figure II.5. Pourcentage selon la régularité

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

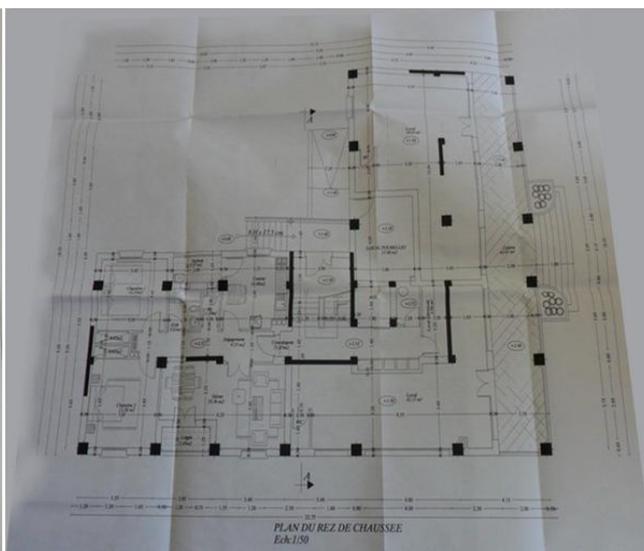
plus ou moins importantes en plan ou en élévation. Plus la forme est irrégulière, plus la vulnérabilité du bâtiment est grande. Il est donc important de déterminer la régularité en plan et en élévation des différents bâtiments évalués (figure II.3).

- Régularité en plan : 422 blocs réguliers (84.4 %) et 78 blocs irréguliers (15.6 %)
- Régularité en élévation : 485 blocs réguliers (97 %) et 15 blocs irréguliers (3 %)

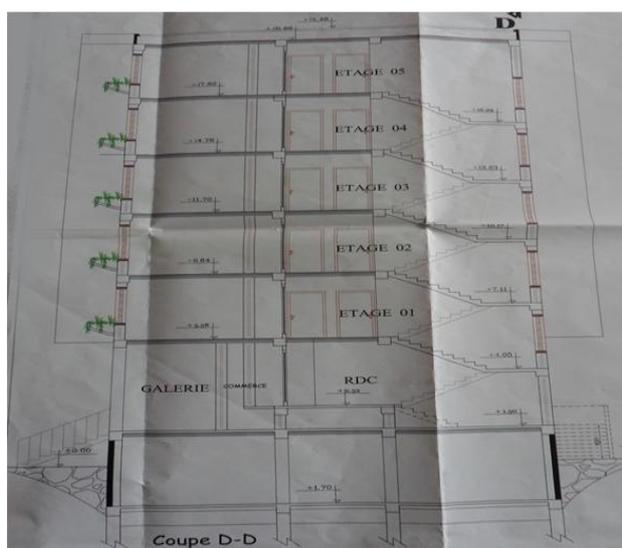
La figure II.4 montre des exemples de formes régulières et irrégulières de bâtiments rencontrés dans les projets étudiés.



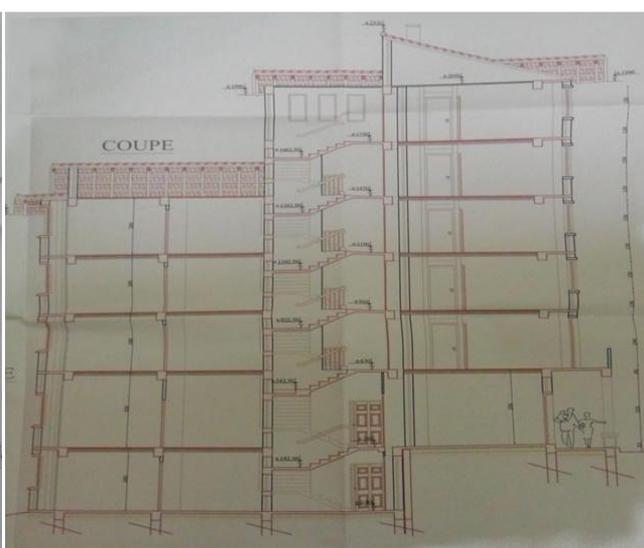
a. bâtiment régulier en plan



b. bâtiment irrégulier en plan



c. bâtiment régulier en élévation



d. bâtiment irrégulier en élévation

Figure II.6. Exemple de formes de bâtiment en plan et en élévation rencontrées

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.3.1.5. Présence d'étages souples

Nous avons également relevé des défauts flagrants de conception parasismique telle que la présence d'étages souples (la rigidité horizontale de cette étage est sensiblement inférieure de celle des autres étages). La figure II.5 montre les proportions des bâtiments avec ou sans étages souples. Souvent, ce type d'étages est rencontré aux RDC destinés à des usages hors habitation (locaux commerciaux, etc.). On a :

- 110 blocs avec étage souple (22 %), et
- 390 blocs sans étage souple (78 %)

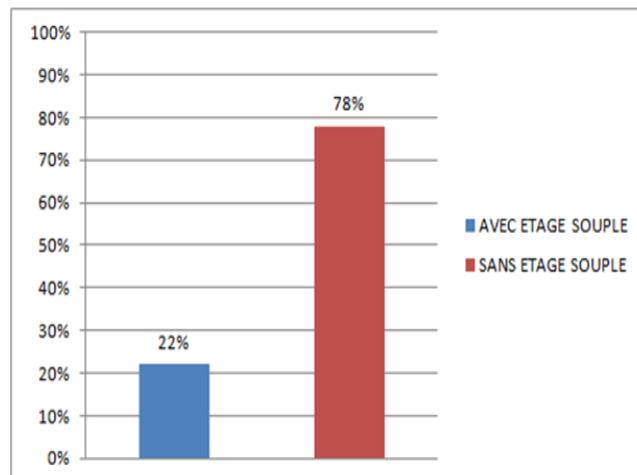


Figure II.7. Proportions de bâtiments avec ou sans étages souples

II.3.1.6. Positions relatives des bâtiments

La position du bâtiment par rapport aux autres revêt également une certaine importance.

En effet, si deux bâtiments accolés l'un à l'autre n'ont pas la même hauteur d'étage et oscillent à des fréquences différentes, des problèmes de martèlement peuvent apparaître et causer des dégâts importants. Concernant nos projets, la majorité des bâtiments sont isolés et indépendants. Par contre, Certaines structures forment des parcs immobiliers où les bâtiments sont regroupés et séparés par des joints de ruptures parasismiques (les blocs 98 blocs de sidi Ali Labher, les 13 blocs de sidi Ahmed A et les 06 blocs de Targa Ouzemour). La figure II.6 présente un exemple de ce type de blocs.

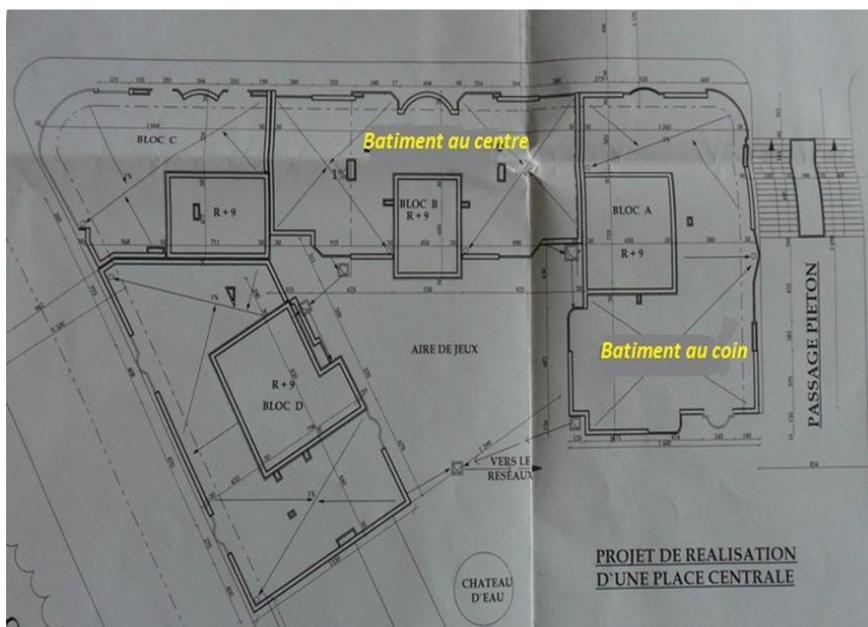


Figure II.8. Position possible d'un Bâtiment

II.3.1.7. La hauteur de la structure (ou nombre d'étages)

La hauteur de la structure (surtout le nombre d'étages) est un paramètre d'influence très important. On considère en effet que seuls les bâtiments compris entre 3 et 9 étages posent

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

des problématiques d'un point de vu sismique dans une région a sismicité modérée telle que la ville de Bejaia. Les bâtiments plus petits ne subissent que des déformations limitées dues à leurs fréquences de résonances élevées. Concernant les bâtiments hauts (plus de 9 étages), la ville de Bejaia n'en contient pas vraiment un nombre important.

Dans notre étude, on a défini deux (02) classes distinctes de bâtiments en fonction du nombre d'étages : ceux de 3 à 5 étages et ceux de 6 à 9 étages.

Ceci pour mieux distinguer l'influence de ce paramètre important sur la vulnérabilité sismique. La figure II.7 montre clairement que près de 93% des blocs étudiés ont un nombre d'étage compris entre 3 à 5.

- 467 blocs à « 03 à 05 » étages (93.4 %), et
- 33 blocs à « 06 à 09 » étages (6.6 %).

II.3.1.8. La date de la construction

L'un des paramètres utilisés dans l'évaluation de la vulnérabilité sismique est la période de construction du bâtiment. Ce paramètre est très important car il nous permis de voir si les constructions sont construites selon les règles parasismiques nouvelles ou anciennes.

Vu que la ville de Bejaia est une ville ancienne, on trouve des constructions qui datent de longues années comme les constructions de la période coloniale. Dans notre cas, on peut distinguer deux époques ; les structures construites avant et après 2003. Ce choix n'est pas aléatoire parce qu'après 2003 les règles de construction sont devenues plus sévères en donnant une plus grande importance au phénomène sismique. Alors qu'avant 2003, les règles étaient relativement moins sévères. La figure II.8 montre la classification des blocs selon ce critère.

- 376 blocs construits avant 2003 : à Sidi Ahmed et Ihaddaden en 1985 (75.2 %), et

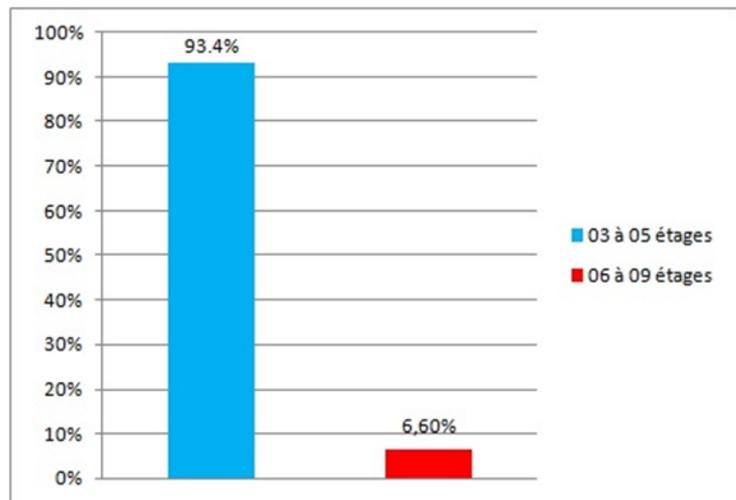


Figure II.9. Classification des blocs par nombre d'étages

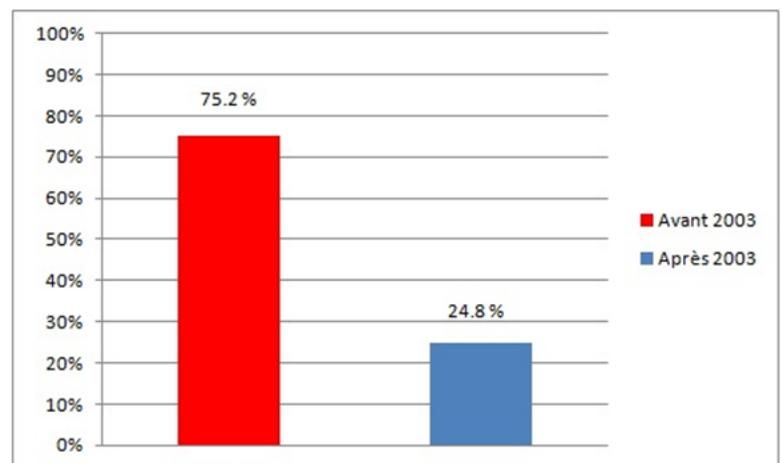


Figure II.10. Pourcentage selon la date de construction

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

- 124 blocs construits après 2003 (24.8 %).

II.3.1.9. Le matériau de construction

Parmi les paramètres importants pour l'évaluation de la vulnérabilité, on distingue le matériau utilisé pour la construction des contreventements (éléments verticaux). Une première distinction est effectuée entre les bâtiments en maçonnerie et les bâtiments en béton armé. Pour les premiers, il faut dans un deuxième temps déterminer le type d'éléments utilisés (brique ou pierre naturelle). Cette distinction n'est pas toujours évidente puisque la maçonnerie est pratiquement toujours recouverte d'une couche de crépi assez épais. De plus, il faut également déterminer si le bâtiment est stabilisé par des refends verticaux ou par un système de cadre.

Le matériau constituant les planchers (éléments horizontaux) est également déterminé. Le type de matériau utilisé pour les éléments horizontaux influence le comportement dynamique du bâtiment.

En raison de manque d'informations, on n'a pas pu consulter les anciennes constructions (de l'époque de la période coloniale). Mais, d'après des études faites sur des cas similaires (Alger, ...) [20], et vu la ressemblance des bâtiments, le matériau utilisé semble être de la pierre taillé. Dans notre cas, les bâtiments sont tous construits en béton armé.

II.3.1.10. L'état d'entretien des bâtiments

L'état d'entretien des bâtiments influence également l'indice de vulnérabilité. En effet, un bâtiment qui fait l'objet d'un entretien régulier préservera ses caractéristiques mécaniques initiales et se comportera conformément à sa résistance de conception. A contrario, la même résistance d'un bâtiment non entretenu et se dégradant pourrait être fortement réduite.

La difficulté principale dans la détermination du niveau d'entretien provient du fait qu'un bâtiment peut apparaître bien entretenu car une attention toute particulière a été portée à l'aspect extérieur alors que le système structural du bâtiment n'a, lui, fait l'objet d'aucune attention particulière.

Le relevé de telles informations nécessite des campagnes d'expertise sur site que devraient faire les institutions concernées (OPGI, ...).

II.3.1.11. Le type de toiture

La toiture est un élément du bâtiment qui ne participe pas directement à sa résistance sismique. Mais, son mode de construction peut avoir un effet favorable ou défavorable. Si la charpente de la toiture est bien réalisée, elle peut jouer le rôle de diaphragme et donc limiter les ruptures hors-plan.

Si au contraire, la toiture repose uniquement sur les murs, elle ne fera qu'accentuer l'effort horizontal sur ces derniers. Les toitures à quatre pans assez plats sont assez favorables en général. Au contraire, des toitures à deux pans sont assez raides.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Concernant les toitures, nous nous sommes aussi intéressé à la position et au nombre de cheminées. Celles-ci ne jouent aucun rôle sur la résistance du bâtiment, mais elles peuvent être, en cas de secousses sismiques, très dangereuses pour la sécurité des personnes. Dans notre cas, on n'a pas pris en compte ce paramètre, en raison du manque d'informations nécessaire.

II.3.1.12. Le risque de torsion d'ensemble

La torsion est l'un des facteurs provoquant des dommages sismiques destructeurs. Elle se produit lorsque le centre de rigidité d'une construction n'est pas confondu avec son centre de gravité. Elle a donc lieu quand les éléments de contreventement sont décentrés ou lorsque la configuration de l'ouvrage est à l'origine d'un excentrement de ses parties latéralement rigides. Dans ces cas, sous l'action de forces horizontales, l'ouvrage vrille autour d'un axe vertical. Au lieu de fléchir comme un bloc, il subit à chaque niveau des déplacements horizontaux différents. Ce type de sollicitation est mal toléré par la structure.

II.3.1.13. La rigidité Poteaux-poutres

Dans le cas d'une ossature en portiques, il est impératif d'opter pour des poteaux plus résistants que les poutres. Il s'agit du principe « poteau fort- poutre faible ». En effet, étant donné que les excursions de la structure dans le domaine post-élastique en cas de séismes majeurs sont prévues par la démarche réglementaire. Le maintien de la stabilité de l'ouvrage nécessite que les éléments horizontaux (poutres) puissent se déformer plastiquement avant les éléments porteurs verticaux. Les zones plastifiées deviennent des « rotules plastiques » car elles ne peuvent pas s'opposer à une éventuelle rotation autour de l'axe. Elles doivent donc se former d'abord entre les appuis des éléments de franchissement et non pas dans les nœuds, sous peine d'effondrement.

Parmi les 500 bâtiments pris en considération, on a 125 bâtiments qu'on peut vérifier vis à vis de ce phénomène. La figure II.9 illustre les proportions des blocs vérifiant ou non ce critère. On a :

- 47 bâtiments ne vérifient pas la condition (37.6 %)
- 78 bâtiments vérifient la condition (62.4 %)

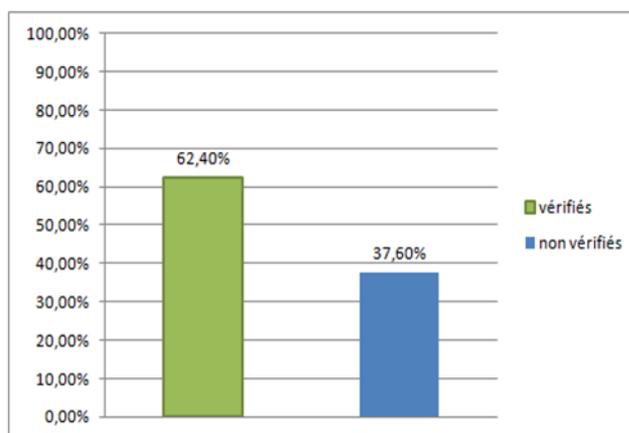


Figure II.11. Proportions des blocs vérifiant ou non le « Poteau fort – poutre faible »

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.3.1.14. Le type de contreventement

Le contreventement permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure lors des secousses sismiques. Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions aux éléments verticaux appelés *palées de stabilité*.

Pour assurer le contreventement horizontal au niveau des planchers et des toitures faisant office de diaphragme rigide, celui-ci ne devra pas être affaibli par percements trop grands ou mal placés pouvant nuire à leurs résistances et leurs rigidités. Les diaphragmes flexibles devraient être évités pour combattre le déversement des murs notamment en maçonnerie.

Le contreventement vertical par palées devra répondre à des critères spécifiques tels que :

- **Leurs nombres** : au moins trois palées non parallèles et non concourantes par étage,
- **Leurs dispositions** : elles seront situées le plus symétriquement possible par rapport au centre de gravité des planchers et de préférence aux angles avec une largeur suffisante,
- **Leurs distributions vertical** : être régulière ; les palées seront de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux, une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion.

Les niveaux souples comme par exemple un rez-de-chaussée transparent d'un immeuble devront être contreventés correctement si possible par des voiles de cisaillement. Une mauvaise disposition des palées de stabilité pourra entraîner des effondrements dus à des déformations trop importantes.

Dans le cas des constructions construites ici à Bejaia, on trouve, en générale, que le contreventement se fait par des voiles en béton armé.

II.3.1.15. Le type de fondation

C'est un autre paramètre très important qui influe sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments. Les fondations jouent un très grand rôle dans la stabilité de la structure. Dans notre cas, on recense 03 types de fondation : semelles isolés, semelles filantes et radier général.

II.3.2. Éléments de performance sismique

La performance sismique d'un bâtiment peut être évaluée sur la base des éléments précédents et en procédant par plusieurs niveaux de raisonnement.

II.3.2.1. Évaluation des dommages

Cette étape consiste à :

- choisir des niveaux d'agression sismique pour lesquels la structure sera soumise. A titre d'exemple [8] :

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

- Séisme faible ($I < 7$) ; $a = 1m/s^2$; (0,1g)
- Séisme moyen ($I < 8$) ; $a = 2m/s^2$ (0,2g)
- Séisme fort ($I < 9$) ; $a = 4m/s^2$ (0,4g)

I : l'intensité du séisme.

a : l'accélération des ondes sismique.

g : l'accélération de la pesanteur

- Classer les différents dommages possibles. A titre d'exemple :
 - nuls ou négligeables.
 - Légers.
 - Modérés.
 - Graves.
 - Effondrement

II.3.2.2. Croisement avec le niveau de performance souhaité

- Non effondrement : la structure tient toujours
- Réparable rapidement : même si la structure subit des dommages, ils resteront rapide à réparer.
- Fonctionnalité : la structure reste fonctionnelle

II.3.2.3. Etats de performance

On distingue cinq états de performance :

- Etat acceptable : pas de renforcement
- Vulnérabilité modérée et renforcement économiquement acceptable
- Vulnérabilité forte : évaluation économique nécessaire
- Bâtiment économiquement irréparable
- Approche qualitative insuffisante : études plus poussées nécessaires

II.4. Estimation de la vulnérabilité sismique du bâti existant

Les premières méthodes calculant un indice de vulnérabilité à grande échelle ont naturellement été développées dans les pays à fort aléa sismique tels que les USA, le Japon, la Turquie et l'Italie. La plupart de ces méthodes se basent sur des observations de dégâts post-sismiques. C'est seulement récemment que les pays à risque sismique modéré se sont intéressés à l'étude de vulnérabilité du bâti. En effet, dans ces régions où le risque sismique n'est que peu pris en compte dans le dimensionnement des bâtiments, un séisme d'intensité « moyenne » peut engendrer des dégâts importants.

La manière la plus simple de mener une analyse de risque serait d'appliquer directement les méthodes développées dans le chapitre I aux régions à fort aléa sismique. Cependant, le haut degré de danger sismique de ces pays a imposé la mise en place d'études et de méthodes très coûteuses qui ne se justifient pas dans le cas de zones à risque modéré. De plus, la variabilité du bâti d'une région à l'autre rend difficile l'application de méthodes

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

existantes. C'est pour ces raisons qu'il a fallu adapter ces méthodes, afin de les rendre exploitables ailleurs.

II.4.1 : Estimation de l'indice de vulnérabilité

Pour pouvoir estimer l'indice de vulnérabilité, on essaiera d'appliquer la méthode **RISK-UE**. Selon cette méthode, l'indice de vulnérabilité du bâtiment (V_I) est compris entre 0 et 1. Il s'obtient par la relation :

$$V_I = V_I^* + \Delta V_m + \Delta V_r$$

Avec V_I^* : indice qui est fonction de la typologie du bâtiment.

ΔV_m : indice représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement sismique des bâtiments.

Avec $\Delta V_m = \sum_{i=1}^n V_{mi}$; où n : est le nombre de facteurs de comportement sismique.

ΔV_r : Ce facteur permet de prendre en compte les propriétés de typologies spécifiques à un niveau régional. Son évaluation se fait sur la base d'un jugement d'expert ou sur l'interprétation de données de vulnérabilité existantes (retour post-sismique par exemple).

V_m : Indice correspondant aux différents paramètres géométriques et structurels pouvant modifier le comportement sismique du bâtiment, identifiés dans le tableau II.5.

On propose cinq (05) niveaux de vulnérabilité qui font l'équivalence avec l'indice de vulnérabilité (tableau II.3).

Niveau	Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité
0	0--0.2	Très faible
1	0.21--0.4	Faible
2	0.41--0.6	Moyenne
3	0.61--0.8	Forte
4	0.81--1	Très forte

Tableau II.3. Correspondance entre l'indice de vulnérabilité et le degré de vulnérabilité

II.4.2. Application au bâti de la zone d'El Quods

Nous présentons d'abord le détail de cette application sur le bâti de la zone de El Quods. Ensuite, nous présenterons les résultats obtenus pour les 7 zones de cette étude.

II.4.2.1. Présentation du cas étudié

Le cas faisant objet de cette application est le projet des 90 logements RHP de l'OPGI situé au lieu dit El Quods. D'après l'OPGI, l'étude du projet a été faite en 1999 et l'achèvement de

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

sa construction était en 2007. Il est composé de quatre (04) blocs A, B, C et D à usage d'habitation en R+5 (18.36m de hauteur d'immeuble) (figure II.10).

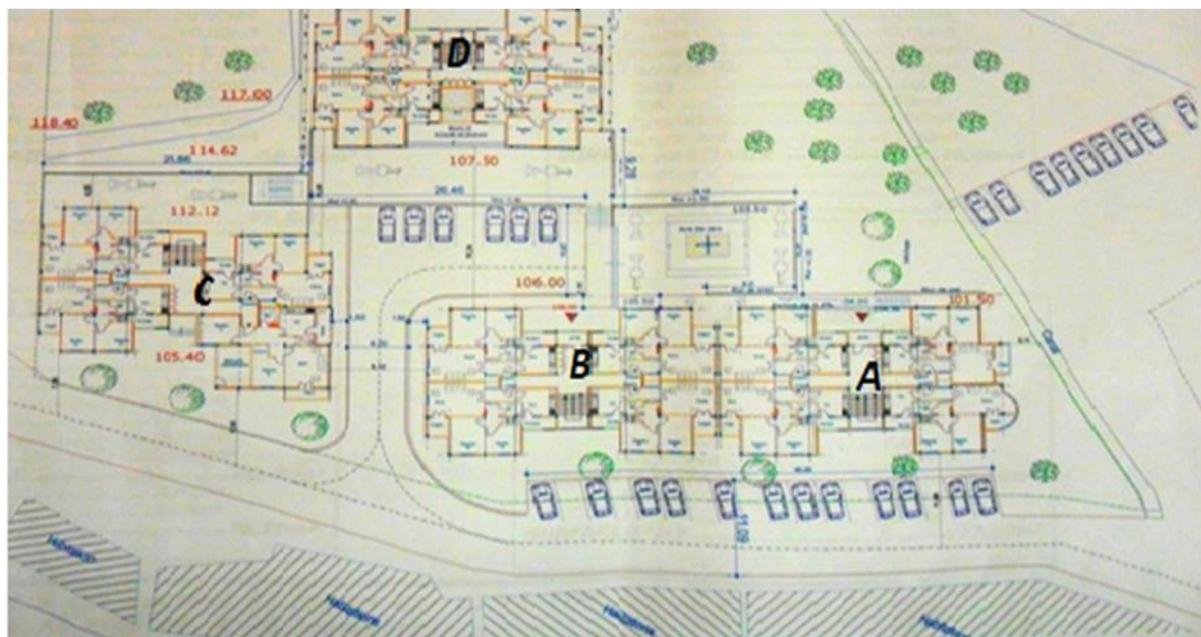


Figure II.12. Plan de l'ensemble des blocs de la zone de El Quods

Les blocs sont en ossature portique autostable en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide. Les poteaux sont carrés de dimensions (30x30) cm². Les poutres sont rectangulaires de dimensions (30x35) cm². Les fondations adoptées sont superficielles (majoritairement filantes).

Les blocs A, B et D présentent une irrégularité en plan ($I_x/L_x=0.4>0.25$), mais ils sont réguliers en élévation. Par contre, le bloc C est irrégulier en plan et en élévation.

Le sol d'implantation est caractérisé par une pente de 15% et est constitué de remblais argileux graveleux compacts et un substratum marno-calcaire. Le site est classé selon le RPA comme catégorie S2 (article 3.3.1) (tableau II.2).

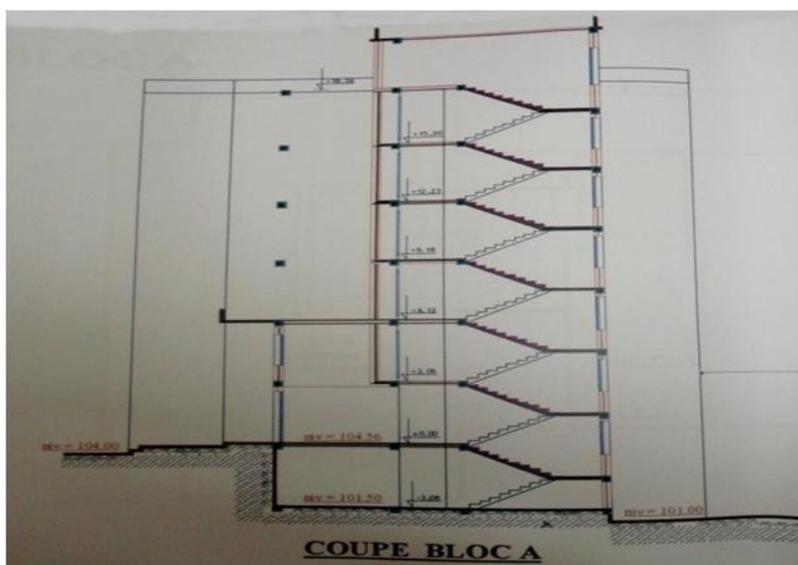


Figure II.13. Vue en élévation du bloc A

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.4.2.2. Procédure de calcul

Pour calculer la vulnérabilité sismique pour le bloc A par exemple, on procède selon les étapes suivantes.

- 1) On détermine l'indice V_1^* qui est fonction de la typologie du bâtiment selon le tableau II.4. Le bloc est de catégorie RC3.2 ; c'est-à-dire, Structures poteaux-poutres irrégulières. Ce qui nous donne un indice : $V_1^* = 0.522$.
- 2) On détermine le facteur ΔV_m représentant l'influence des paramètres autres que la typologie sur la réponse de la structure aux sollicitations sismiques que nous avons pu relever à base de la consultation des plans du projet. Le facteur ΔV_m est calculé comme la somme de facteurs de vulnérabilité V_m correspondant aux différents paramètres identifiés et donnés par le tableau II.5.

$$\Delta V_m = \sum V_m \quad \text{On trouve : } \Delta V_m = 0.22$$

- 3) Pour ΔV_r , dans notre cas, on prend $\Delta V_r = 0$ (situation défavorable) à cause du manque d'informations et de données sur la vulnérabilité existante (retour post-sismique par exemple).

L'indice de vulnérabilité V_1 pour ce bloc sera donc :

$$V_1 = 0.522 + 0.22 + 0 = 0,742 \quad \text{donc,} \quad V_1 = 0.742$$

D'après le tableau II.2., le bloc A a un indice de vulnérabilité relativement élevé. On peut le ranger dans le niveau 3 et présente une forte vulnérabilité sismique.

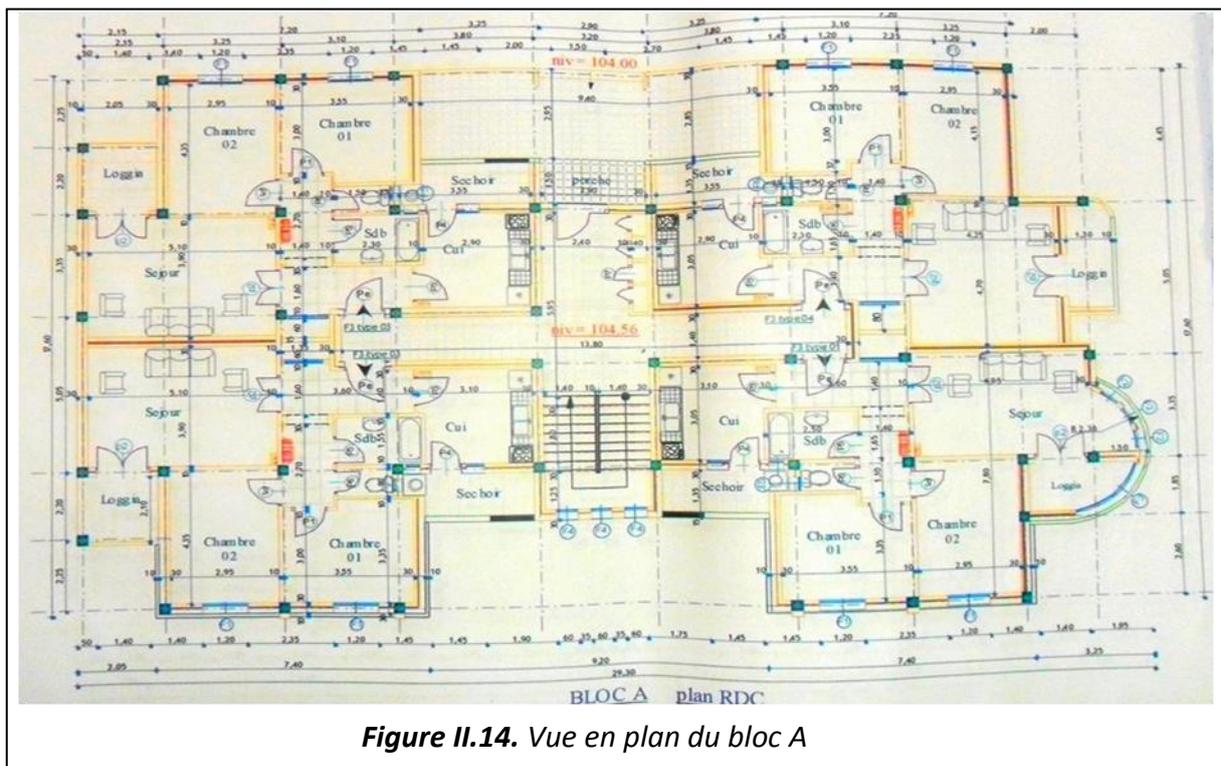


Figure II.14. Vue en plan du bloc A

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Typologie	Description	V_i^{\min}	V_i^-	V_i^*	V_i^+	V_i^{\max}
M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M1.2	Pierres appareillées	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M1.3	Pierres de taille	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
M3.1	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M3.4	Planchers en béton armé	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M5	Maçonnerie globalement renforcée	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC1	Structures poteaux-poutres en béton armé	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC2	Murs porteurs en béton armé	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC3.1	Murs de remplissage en maçonnerie, structure régulière	-2.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC3.2	Structures poteaux-poutres irrégulières	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC4	Structures mixtes en béton armé (portiques et murs)	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC5	Murs préfabriqués en béton armé (tilt-up walls)	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC6	Structures préfabriquées en béton armé	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S1	Ossatures métalliques en portique	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S2	Ossatures métalliques avec triangulation	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S3	Portiques + remplissage en maçonnerie non armée	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S4	Portiques + murs en béton armé coulés en place	-0.02	0.047	0.224	0.35	1.54
S5	Structure mixte béton-acier	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Structures en bois	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tableau II.4. Valeurs de V_i^* en fonction de la typologie de l'ouvrage

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Facteurs de vulnérabilité	Paramètres	Valeurs de V_m
État d'entretien	Bon	-0.04
	Mauvais	+0.04
Nombre d'étages	Construction peu élevée (1 ou 2)	-0.02
	Moyennement élevée (3, 4 ou 5)	+0.02
	Élevée (6 étages ou plus)	+0.06
Système structural	Épaisseur des murs	-0.04 à + 0.04
	Distance entre les murs	
	Connections entre les murs (tirants, cornières D'assemblage)	
	Connections entre éléments horizontaux et Verticaux (diaphragmes)	
Étage souple	Transparence, démolition	+0.04
Irrégularité en plan	forme	+0.04
	torsion	+0.02
Irrégularité en élévation		+0.02
Poteaux courts	Présence de poteaux courts	+0.02
Éléments résistants superposés		+0.04
Toiture	Poids de la toiture + poussée sur les murs	+0.04
	Connections de la toiture	
Interventions de confortement		-0.08 à 0.08
Éléments asismiques	Barbacanes, contreforts, arcs	Pas d'indication
Interaction entre bâtiments : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
	Isolé	+0.02
Interaction entre bâtiments : élévation	Planchers décalés	+0.02
	Bâtiments de hauteurs différentes	-0.04 à +0.04
Fondations	Fondations à des niveaux différents	+0.04
	Semelles filantes avec longrines	0
	Semelles isolées	+0.04
Morphologie du sol	Pente	+0.02
	Escarpement	+0.04
Score total		$\Delta V_m = 0.22$

Tableau II.5. Valeurs des facteurs ΔV_m pour les bâtiments en béton armé

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.4.3. Application au bâti des autres zones

Nous allons présenter les principaux résultats des indices de vulnérabilité que nous avons déterminés à l'aide de la méthode RISK-UE pour les autres bâtiments situés sur les 6 autres zones étudiées. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau II.6.

Site	La vulnérabilité	Nombre de blocs	Indice et état de performance de la vulnérabilité
Sidi Ali Labher	moyenne	93	0.426-0.566
	forte	5	0.642-0.742
El Quods	forte	04	0.722-0.742
Stade : Targa Ouzemour	moyenne	08	0.446-0.586
Thala Ouariane	moyenne	1	0.586
	forte	1	0.742
Sidi Ahmed	Moyenne	185	0.526
	Forte	10	0.662 - 0.742
	Très forte	3	0.822
Iheddaden	Moyenne	190	0.526

Tableau II.6. Etats de vulnérabilité sismique obtenus pour les différents sites

D'après le tableau II.5, on constate que la plupart des bâtiments étudiés ont une vulnérabilité moyenne (couleur jaune), et ce, grâce à leurs caractéristiques de comportement sismique relativement favorables. Généralement, ce sont les bâtiments mixte (voiles-portiques) ou ceux en voiles porteurs. Cependant, ça n'empêche pas qu'il y ait des bâtiments à forte vulnérabilité (couleur violette), voir même très forte (couleur rouge). C'est le cas des 03 bâtiments situés à Sidi Ahmed A. C'est dû à plusieurs facteurs : d'abord leur caractère autostable, puis leurs hauteurs importantes (plus de 20 m de haut). Alors que le RPA 2003 exige de mettre des voiles de contreventements à partir de 14 mètres en zone IIa.

On peut aussi citer d'autres facteurs comme leurs caractéristiques de forme (irrégularités en plan et en élévation).

On constate aussi que les bâtiments de typologie « **portiques auto stables** », tels que l'on trouve à Sidi Ali Labher, Sidi Ahmed B, El Quods et Thala Ouariane, ont un indice de vulnérabilité relativement élevé et qui varie entre **0.542 et 0.822**. Les bâtiments mixtes « **voiles-portiques** », localisés à Sidi Ali Labher, Targa Ouzemour, et Thala Ouariane, ont un

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

indice de vulnérabilité moyen qui varie en **0.486 et 0.626**. Les bâtiments en « **voiles porteurs** » qu'on trouve en grande partie à Sidi Ahmed A et à Iheddaden, ont un indice de vulnérabilité relativement bas est compris entre **0.486 et 0.546**

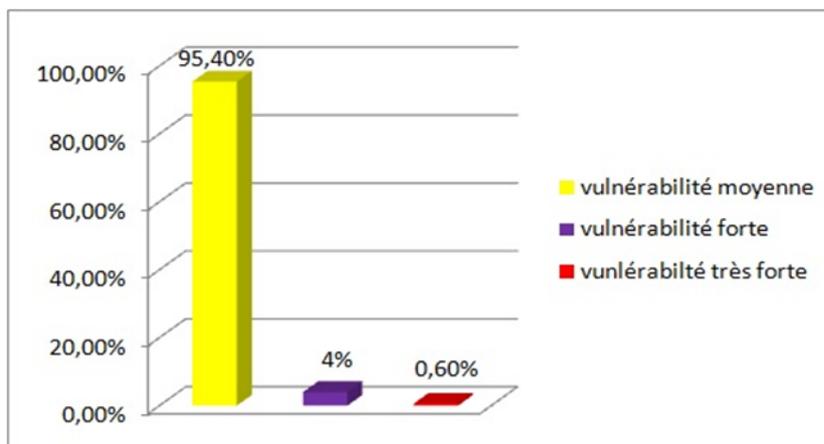


Figure II.15. Pourcentage selon le degré de vulnérabilité

Les variations de l'indice de vulnérabilité pour une même typologie de bâtiments sont dues aux effets négatifs des irrégularités en plan et en élévation, à la présence d'étage souple, à la hauteur relativement importante des bâtiments (nombre d'étages), à la position défavorable dans l'ilot, au type de fondations et à la topographie du site d'implantation (présence de pente).

II.5. Estimation de l'indice d'endommagement du bâti existant

L'un des paramètres représentatif de l'évolution des degrés de dégâts dans une structure est l'indice de dommages ou indice d'endommagement. Cet indice étant normalisé et discrétisé en une série de valeurs partant de 0, indiquant que la structure ne risque de subir aucun dommage structurel, jusqu'à la valeur de 1 indiquant que la structure risque d'atteindre sa capacité maximale et une instabilité structurel au voisinage de la rupture ou de l'effondrement total. La méthode RISK-UE donne la formule suivante pour le calcul de cet indice.

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Le tableau II.7 donne les états de performance possibles de cet indice en fonction des niveaux d'endommagement proposés par la méthode **Risk-UE**.

Niveau de dommage	Définition	Indice d'endommagement μ_D (%)
0	Aucun dégât	0
1	Faible endommagement	0-5
2	Endommagement modéré	5-20
3	Dégâts importants	20-50
4	Dégâts très importants et Effondrement	>50

Tableau II.7. équivalence entre le niveau d'endommagement et l'indice d'endommagement

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

On calcule l'indice d'endommagement pour un séisme modéré d'une intensité macrosismique $I=5$. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau II.8.

Le tableau II.8 montre que le système constructif autostable présente un indice de dommage élevé lorsque les règles de conception parasismique et les dispositions constructives y afférentes ne sont pas prises en considération ils risquent de subir des dégâts structuraux importants (au niveau des éléments porteurs), voir même leur destruction. D'ailleurs, ce système a fait ravage lors du tremblement de terre de Boumerdès du 21 Mai 2003. Les bâtiments en voiles porteurs et mixtes (voiles-portiques) ont un indice relativement bas et risquent de subir des dégâts non structuraux légers (au niveau des murs de remplissage par exemple).

Site	Degré de dommage	Nombre de blocs	Indice d'endommagement μ_D (%)
Sidi Ali Labher	Faible endommagement	16	4.38 – 4.88
	Endommagement modéré	79	5.43 - 15.45
	Dégâts importants	03	22.28 - 23.71
El Quods	Dégâts importants	04	21.15 - 23.46
Stade : Targa Ouzemour	Endommagement modéré	08	6.73 - 9.28
Sidi Ahmed B	Endommagement modéré	185	6.73
Sidi Ahmed A	Dégâts importants	13	23.48 - 34.35
Thala Ouariane	Dégâts importants	1	23.46
	Endommagement modéré	1	10.33
Iheddaden	Endommagement modéré	190	7.5

Tableau II.8. Indices d'endommagement obtenus pour les sites étudiés

D'après la figure II.14, on constate que la plupart des bâtiments risquent de subir un endommagement modéré. Ceci est dû, en premier lieu, à la typologie des bâtiments qui joue un rôle très important. Ensuite, intervient l'influence des autres paramètres qui diffère d'un cas à l'autre.

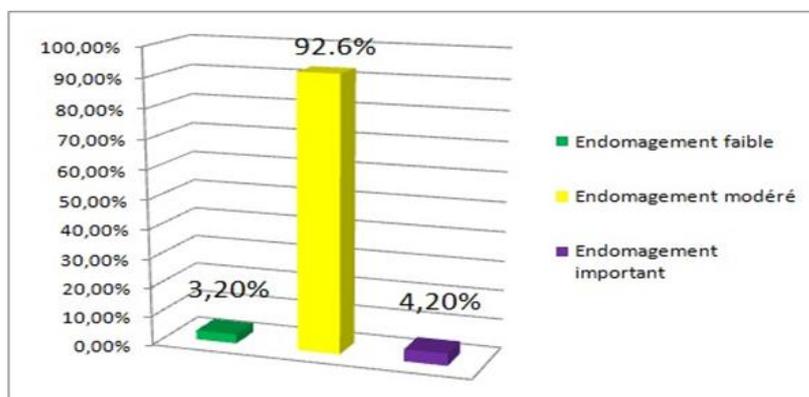


Figure II.16. Pourcentage selon le degré d'endommagement

On peut aussi voir qu'il ya des bâtiments qui subiraient, en cas de séisme d'intensité moyenne ($I=5$), des dommages importants. On peut même avoir un risque d'effondrement.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Généralement ce sont les bâtiments **Autostables** pour lesquels on n'a pas respecté les règles de conception parasismique lors de la construction.

II.6. Cartographie de l'indice de vulnérabilité sismique du bâti existant

La figure II.15 montre la répartition géographique de l'indice de vulnérabilité sismique du bâti étudié.

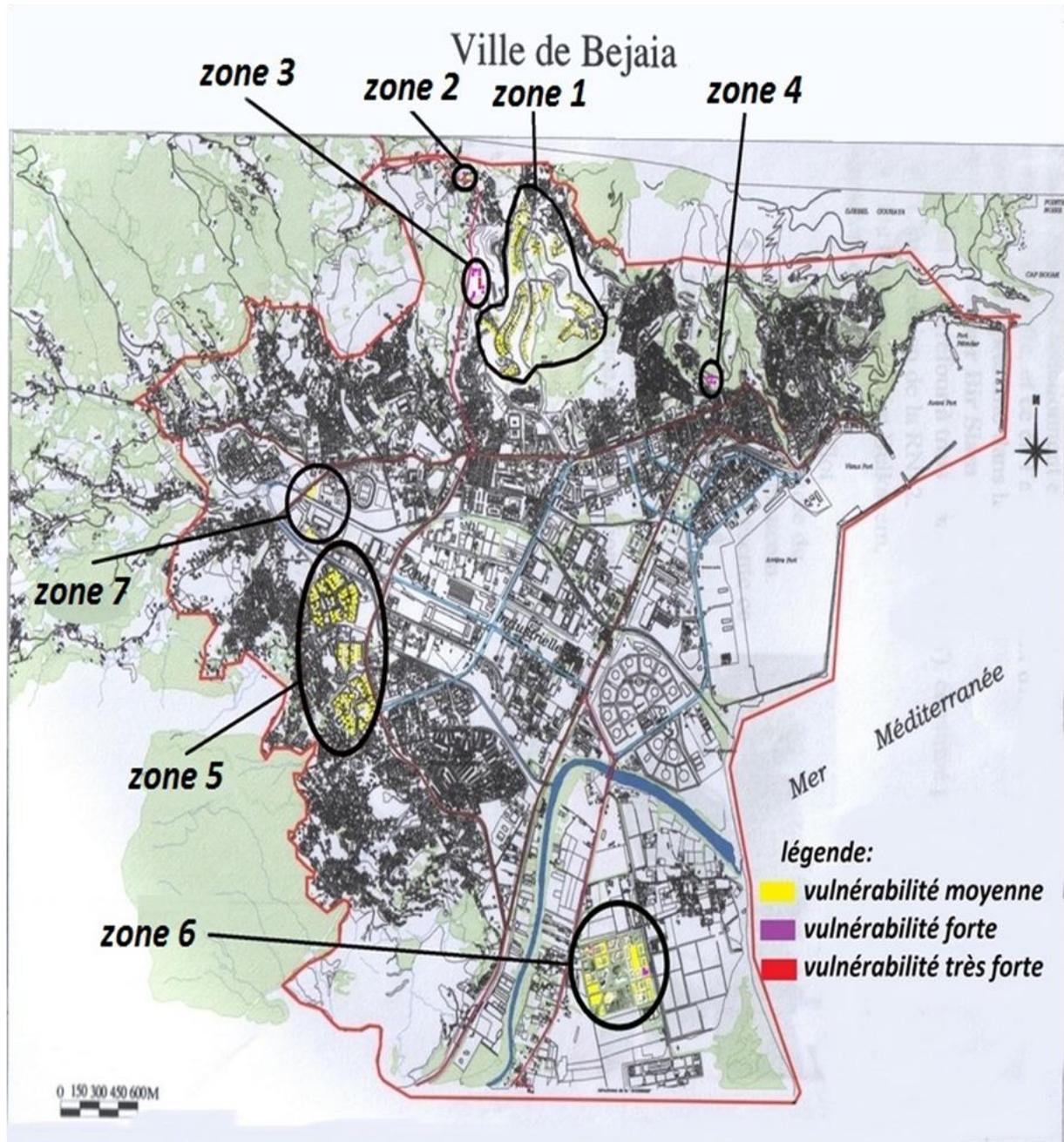


Figure II.17. Répartition géographique de l'indice de vulnérabilité sismique des bâtiments étudiés

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Commentaires sur la figure II.17 :

- L'échelle de la carte étant très grande, Les bâtiments étudiés sont difficilement repérables. Pour remédier à ce problème, nous avons ajouté le détail correspondant à chaque zone (figures II.18).
- les zones étudiées 1 à 7 sont définies au paragraphe II.2.1 précédent.



Zone 1 : Sidi Ahmed B (185 blocs)

Zone 5 : Ihaddaden (190 blocs)



Zone 2 : Tala Ouariane
(02 blocs)



Zone 4 : El Quods (04 blocs)



Zone 6 : Sidi Ali Labher (98 blocs)



Zone 3 : Sidi Ahmed A (13 blocs)



Zone 7 : Targa Ouzemour (08 blocs)

Figure II.18. *Détail de la répartition géographique de la vulnérabilité sismique des 7 zones étudiées*

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.7. Cartographie de l'indice d'endommagement sismique du bâti existant

La figure II.19 montre la répartition géographique de l'indice d'endommagement sismique du bâti étudié.

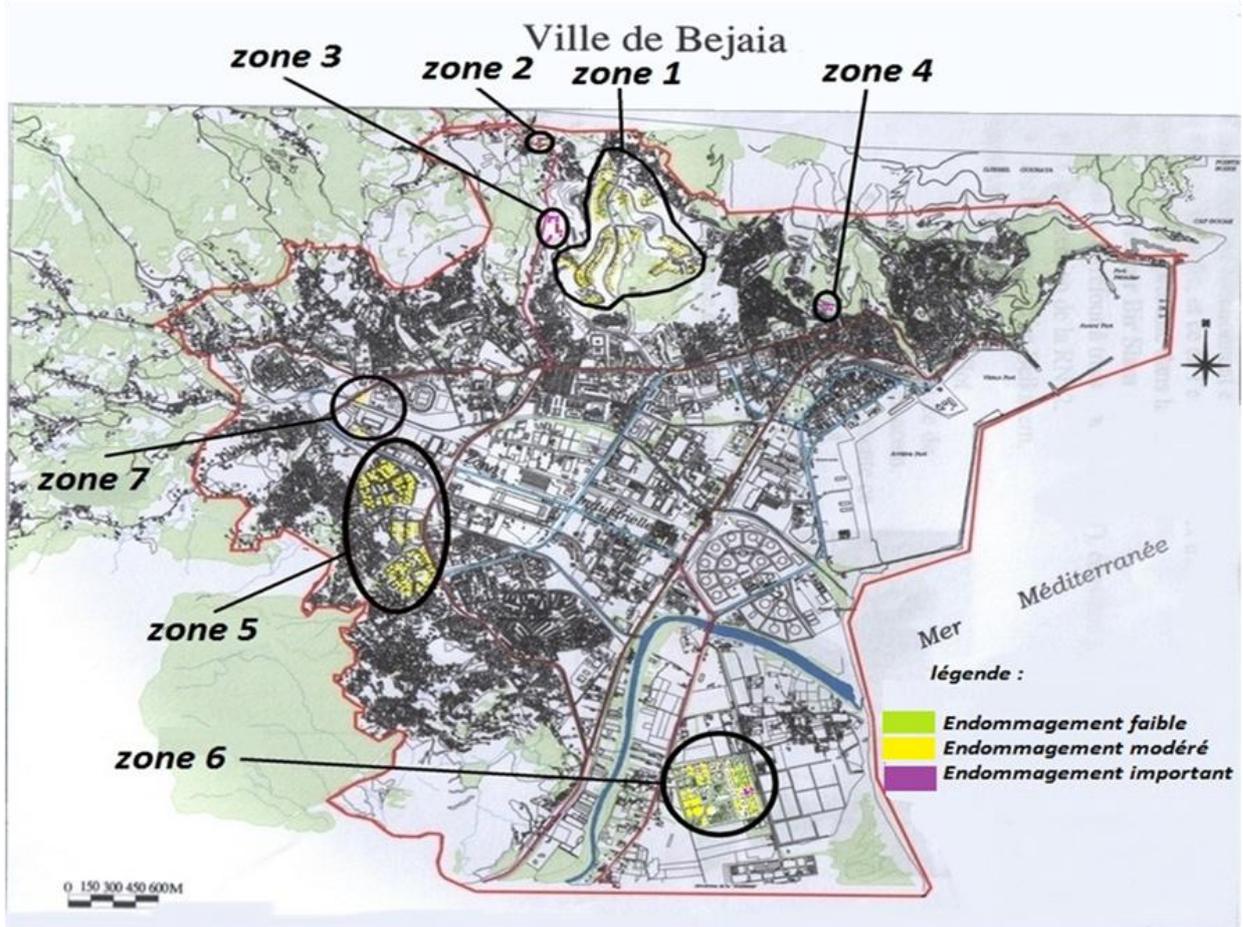


Figure II.19. Répartition géographique de l'indice d'endommagement sismique des bâtiments étudiés

Le détail correspondant à chaque zone peut être présenté par la figure II.20. Les images des détails semblent majoritairement identiques à celle de la figure II.18 car on a utilisé presque la même correspondance de couleurs pour définir les états de performance des indices de vulnérabilité et d'endommagement sismiques (voir les tableaux II.3. et II.6 à II.8).

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

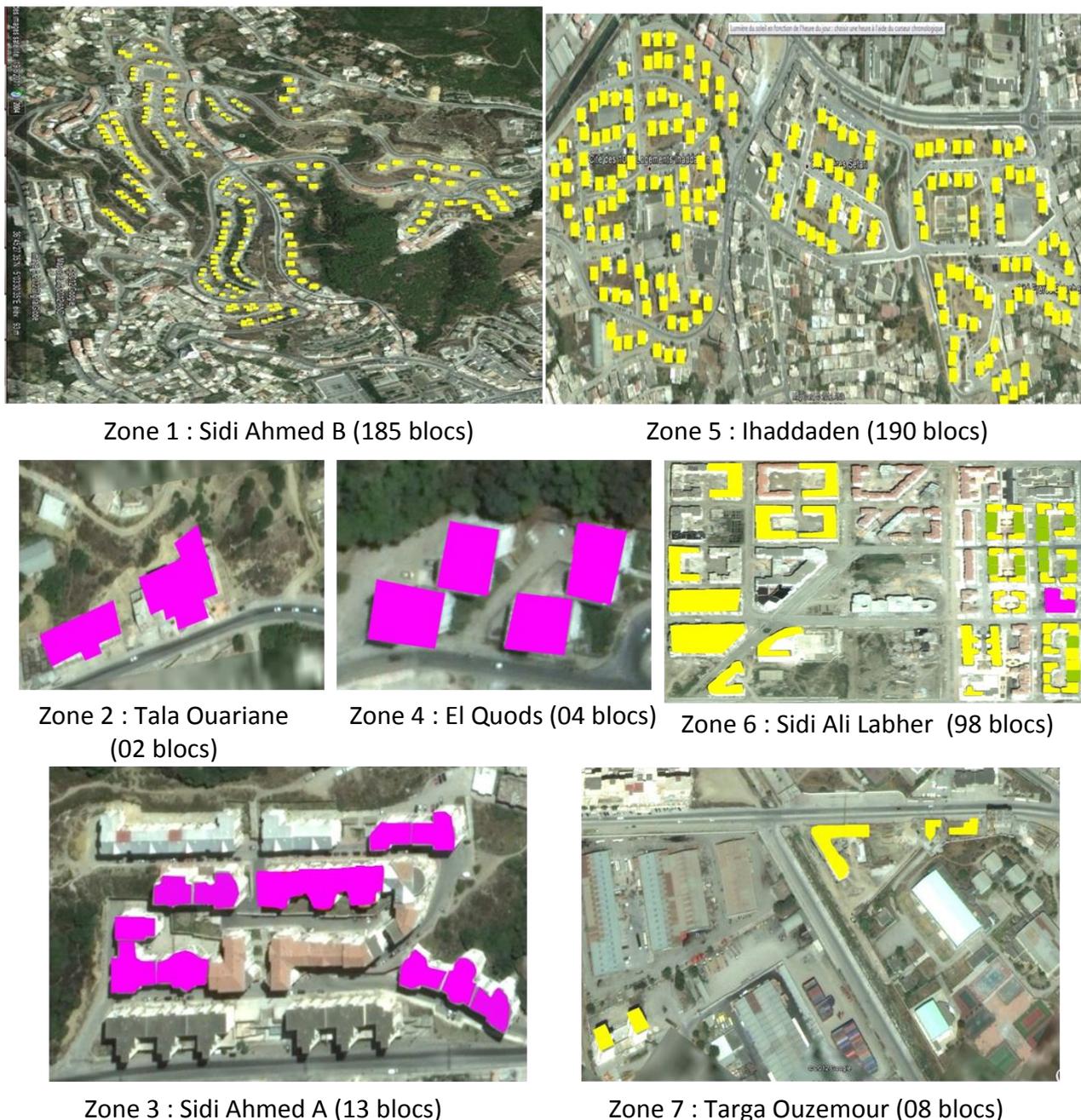


Figure II.20. *Détail de la répartition géographique de l'indice d'endommagement sismique des 7 zones étudié*

II.8. Interprétation des résultats et discussion

II.8.1. Interprétation globale des résultats

Nous rappelons d'abord que nous avons utilisé uniquement la méthode RISK-UE pour l'évaluation des indices de vulnérabilité et d'endommagement sismiques. Ceci est dû, d'une part, au manque de données nécessaires à l'application des autres méthodes (voir CH I et le

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

rapport de synthèse bibliographique) et, d'autre part, au manque de temps nécessaire à ce genre d'études.

En observant la carte des indices d'endommagement calculés pour les 500 bâtiments (figures II.19 et II.17), on observe que les dommages sont compris dans les premier, deuxième et troisième degrés de dégâts définis par l'EMS. Les dommages maximums qui peuvent être attendus sont donc des dégâts structuraux légers et des dégâts non-structuraux qualifiés de moyens. Ainsi, d'après les estimations données par notre méthode de calcul, la ville de Bejaia dans sa globalité ne pose que peu de problèmes au niveau de sa vulnérabilité sismique concernant les bâtiments construits selon les règles parasismique.

Il faut bien garder à l'esprit que cette méthode ne permet pas de manière absolue de prendre une décision sur les interventions à mener. En effet, les résultats se basent sur des relevés effectués sur dossiers techniques et parfois sur la base d'observations visuelles assez rapides. Il n'est pas justifié de se baser uniquement sur ces résultats pour déterminer les bâtiments nécessitant une intervention. Cependant, ils donnent une bonne idée des bâtiments requérant une analyse dynamique plus approfondie.

II.8.2. Analyse détaillée des résultats

Nous allons maintenant essayer d'interpréter les résultats trouvés par rapport aux critères de forme des bâtiments :

- Bâtiments en forme de L
- Bâtiments en forme « hors L »
- Bâtiments réguliers ou irréguliers en plan et en élévation

Nous étudierons ensuite la relation $\mu_D = f(V_i)$ dans le but de rechercher une relation plus simple que celle donnée par la méthode RISK-UE et de vérifier la concordance de l'effet de l'indice de vulnérabilité sismique (V_i) sur celui d'endommagement (μ_D) (paragraphe II.8.3).

II.8.2.1. Comportement des bâtiments en forme de L

L'organigramme de la figure II.21 présente les résultats du degré de vulnérabilité sismique des bâtiments en forme de L. Ces résultats mettent en évidence l'influence accentuée de certains critères de comportement sismique par rapport aux autres. En effet, on constate que des critères tels que « ossature en portique autostable », « irrégularité en élévation », et « sol de fondation en pente » donc « fondations à des niveaux différents » expliquent très certainement la très forte vulnérabilité d'un des blocs étudiés. En outre, le passage d'une vulnérabilité sismique « moyenne » à « forte » est dû au critère « ossature autostable en portiques ».

On sait que selon le règlement parasismique, les bâtiments irréguliers en plan sont généralement déconseillés, surtout ceux de forme en L, parce que la structure risque de subir une torsion d'ensemble très importante, d'où sa vulnérabilité sismique importante.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Cependant, d'après la figure II.21, cette restriction pourrait être affinée en distinguant les structures caractérisées ou non par les critères de comportement précédents. En effet, même si un bâtiment a une forme en L, sa vulnérabilité peut être diminuée ou augmentée selon la présence ou non de ces caractéristiques ou de ces paramètres de conception.

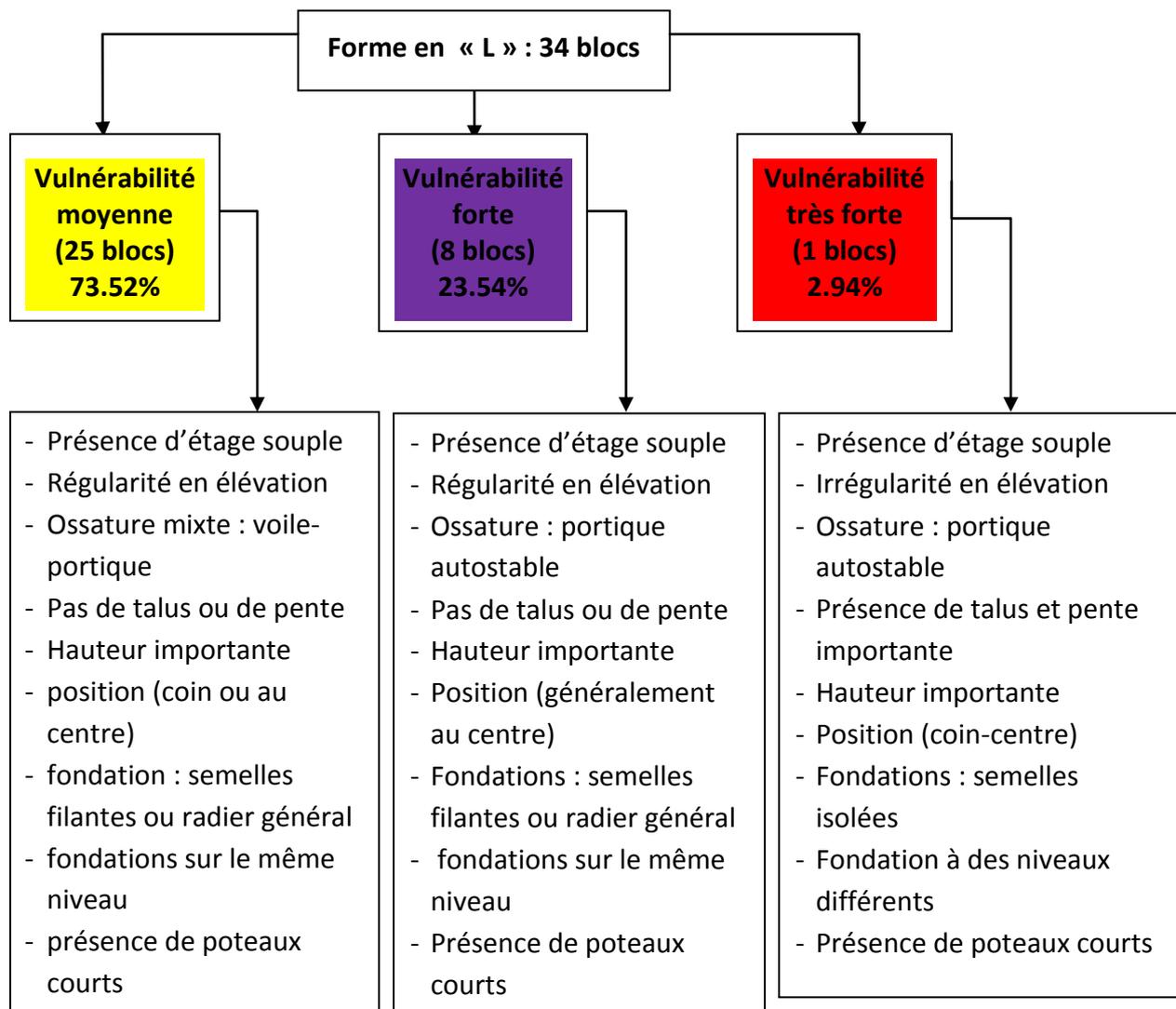


Figure II.21. Degré de vulnérabilité des bâtiments en forme de L

II.8.2.2. Comportement des bâtiments de forme hors L

D'après la figure II.22, on constate que même si la forme du bâtiment n'est pas régulière en plan (forme hors L), sa vulnérabilité peut varier entre (moyenne, forte ou très forte) et ça à cause d'autre paramètres comme on peut le voir, par exemple un bâtiment qui a une vulnérabilité très forte, le faite que l'absence du talus et de pente, avoir une régularité en élévation et avoir des semelles filantes au lieu des semelles isolés a pu diminuer la vulnérabilité très forte au vulnérabilité forte. Comme on peut aussi constater que la typologie du bâtiment a un impact très important sur la vulnérabilité du faite que tout les

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

bâtiments qui ont une vulnérabilité moyenne sont construits en mixte (voiles-portiques) ou en voiles porteurs.

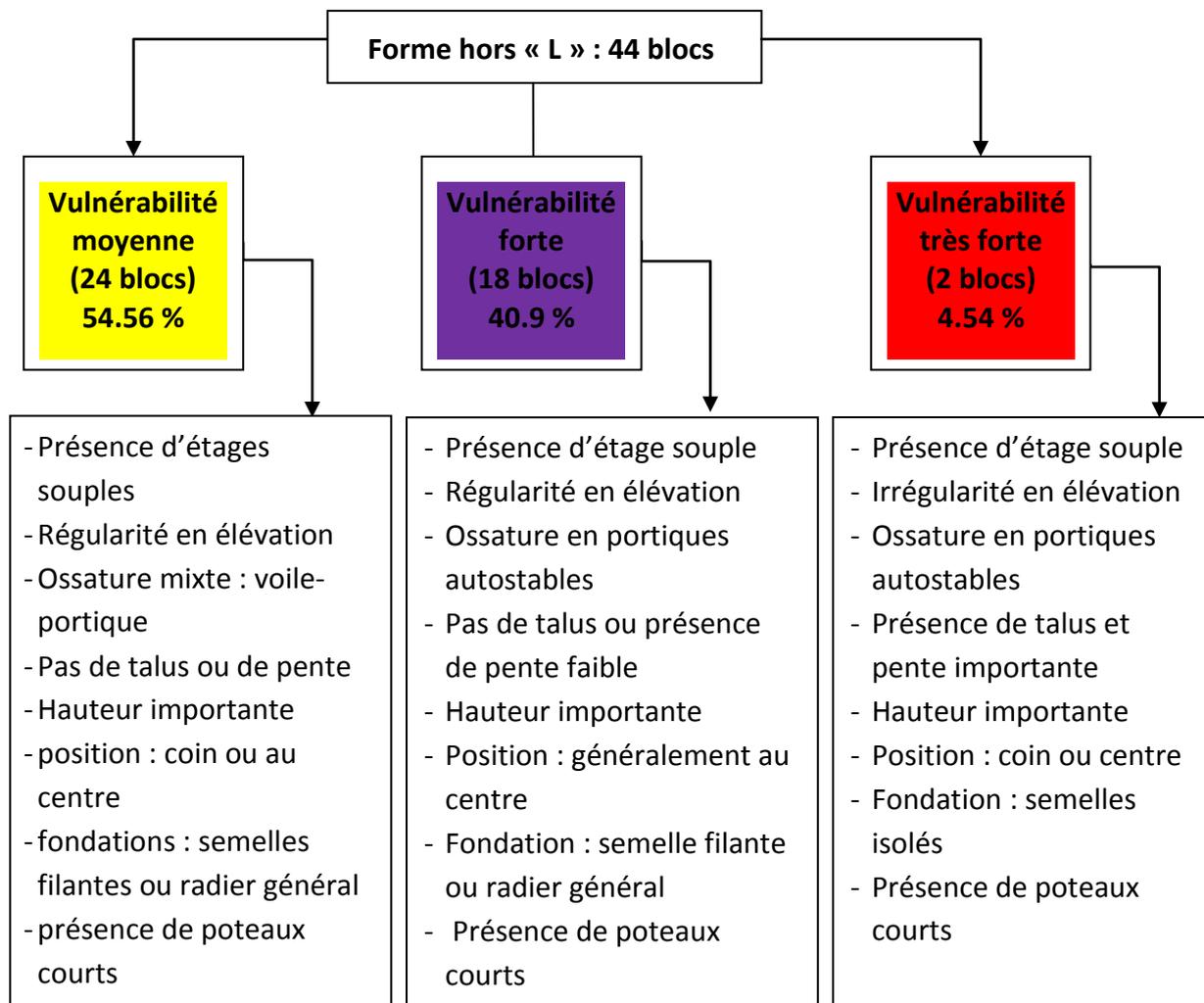


Figure II.22. Degré de vulnérabilité des bâtiments de forme hors L

Remarque : les 422 bâtiments qui ont une forme rectangulaire ne sont pas compris dans cette classification « forme hors L ».

II.8.2.3. Influence du critère « régularité » en plan et en élévation

Comme on peut le voir sur les figures II.23 et II.24, 485 bâtiments réguliers en élévation ont une vulnérabilité sismique moyenne, et 16 seulement sont fortement vulnérables. Et parmi les irréguliers en plans, 9 bâtiments ont une vulnérabilité moyenne, 3 bâtiments présentent une forte vulnérabilité et 3 bâtiments ont une vulnérabilité très forte. Dans la recherche des paramètres de distinction, on retrouve les mêmes critères d'influence vus précédemment.

On peut voir aussi que tous les bâtiments réguliers en plan (figure II.24) présentent une vulnérabilité moyenne. Et parmi les 78 bâtiments irréguliers, **71.81%** ont une vulnérabilité moyenne. Un tel résultat ne peut s'expliquer que par leur type de contreventement (voiles en béton armé) et en partie par les fondations adéquates adoptées (semelles filantes ou

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

radier général). En outre, leur terrain d'implantation n'est pas accidenté (absence de pente et d'escarpement). On a aussi **24.35 %** de forte vulnérabilité et **3.84 %** très forte vulnérabilité sismique.

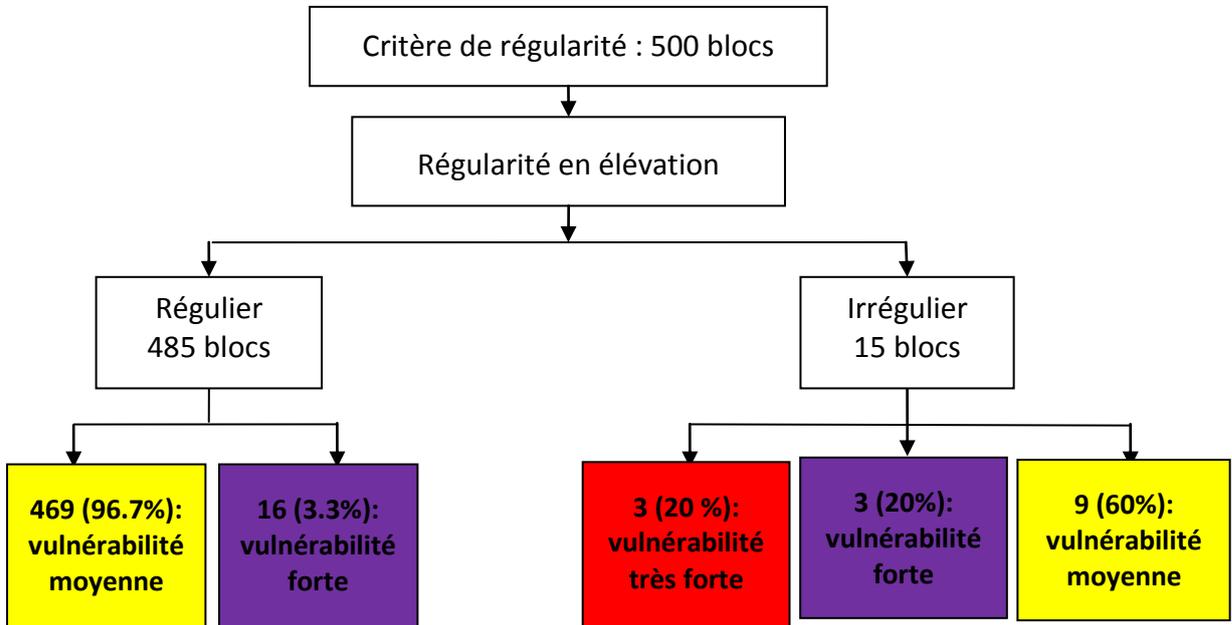


Figure II.23. Degré de vulnérabilité en fonction de la régularité en plan

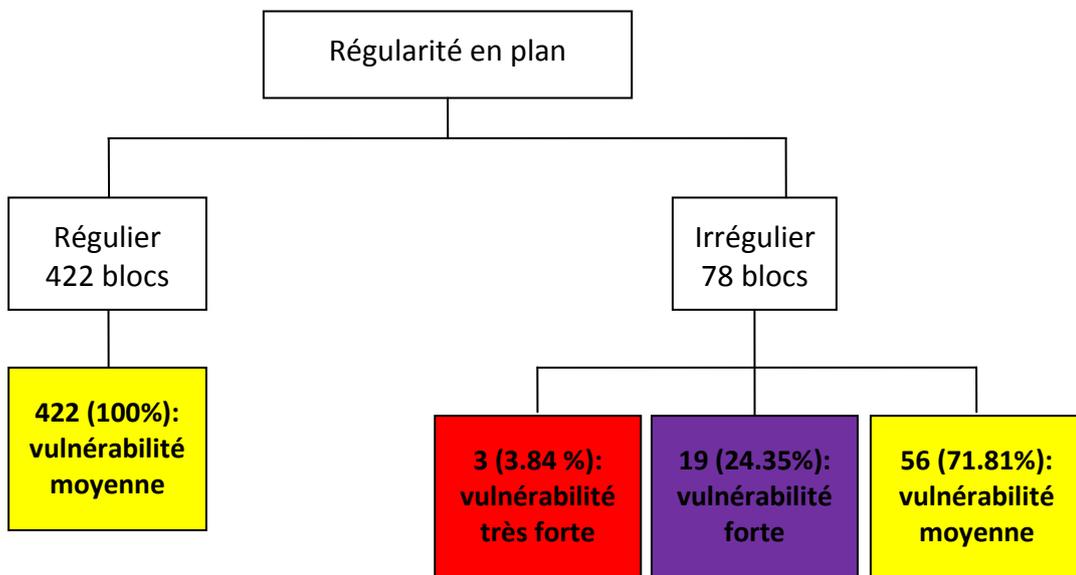


Figure II.24. Degré de vulnérabilité en fonction de la régularité en élévation

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

II.8.2.4. Conclusion

En conclusion, on peut dire qu'on ne peut pas faire une évaluation visuelle de la vulnérabilité sismique, selon un seul critère à savoir par exemple la forme du bâtiment, la typologie, le type de fondation ou la présence de pente et de talus. Car une bonne évaluation nécessite la prise en compte de tous les facteurs sans exception.

Ces résultats confirment le fait que les bâtiments à ossature « autostable » soient plus vulnérables que ceux qui sont contreventés par des voiles en béton armé ou ceux qui sont en voiles porteurs. Mais, l'intérêt de nos résultats résulte dans la mise en évidence du degré d'influence du critère « typologie de la structure ».

Pour qu'un bâtiment présente une vulnérabilité admissible (acceptable), il doit satisfaire toutes les conditions parasismiques à savoir : la régularité en plan et en élévation, rigidifier les étages souples, fractionner les bâtiments en forme de L à l'aide de joints parasismiques, éviter d'implanter des fondations à des niveaux différents et choisir les fondations les plus adaptées selon l'importance de l'ouvrage.

II.8.3. Etude de la relation $\mu_D = f(V_I)$

La figure II.25 présente la relation entre le degré de vulnérabilité sismique (V_I) et le degré d'endommagement sismique (μ_D). On peut voir que lorsque le degré de vulnérabilité V_I est entre (0.4 et 0.6) la valeur du degré de l'endommagement ne varie pas de beaucoup. Au contraire, lorsque V_I est entre (0.6 et 1), le degré d'endommagement monte d'une façon exponentielle. Ce constat permet de conclure, d'après nos résultats, que le risque d'avoir un fort (voir très fort) endommagement sismique peut être atteint à partir d'un indice de vulnérabilité sismique de 0,6.

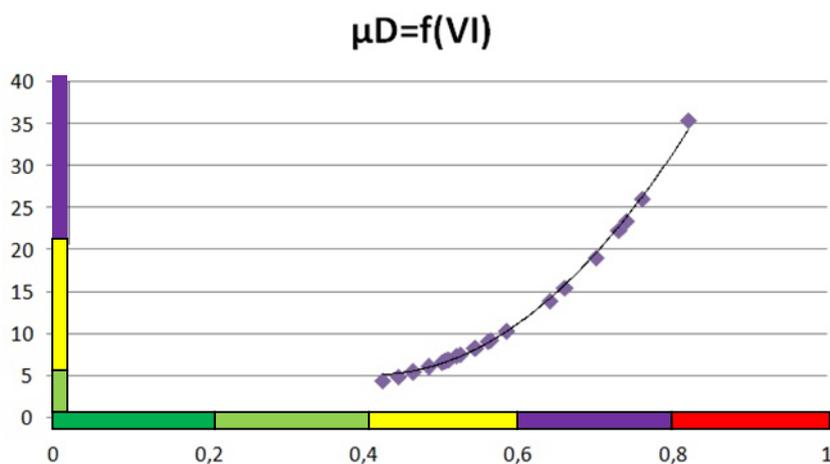


Figure II.25 : Relation entre le degré de vulnérabilité et le degré d'endommagement

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DES BATIMENTS EXISTANTS DE LA VILLE DE BEJAIA

Un autre aspect de cette étude consiste à rechercher une relation beaucoup plus simple reliant V_I à μ_D . Comme on l'a vu précédemment, l'équation d'endommagement donné par la méthode RISK-UE est de la forme $\mu_d = 2.5 * \left[1 + \tanh \frac{I+6.25*V_I-13.1}{2.3} \right]$. L'approximation des valeurs calculées de μ_D et de V_I par une loi de type parabolique nous a donnée l'équation suivante (figure II.25) :

$$\mu_d = 176.7V_I^2 - 149.9V_I + 35.65$$

II.9. conclusion

Dans ce chapitre on pu évaluer la vulnérabilité et le risque d'endommagement sismiques de quelques bâtis de la ville de Béjaia. Cette étude nous a permis de d'avoir une idée sur le type de construction à bon comportement sismique, ainsi que sur les facteurs qui affecte la vulnérabilité sismique des bâtiments. On a constaté que les paramètres qui affecte le plus la vulnérabilité des bâtiments sont : la typologie du bâtiment, le type de fondation adopté, la topographie du sol, la hauteur du bâtiment et la forme du bâtiment.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

III.1. Introduction

Les techniques de renforcement des structures vulnérables vis-à-vis du séisme sont des solutions techniques de réhabilitation permettant d'acquérir la performance sismique recherchée. Il existe autant de techniques qu'il y a de cas de figures et de situations d'insuffisances sismiques et de types de matériaux et d'éléments structuraux.

Le renforcement des structures existantes est une opération qui vise à améliorer leur comportement sismique en augmentant leur résistance et leur ductilité soit par la modification soit par l'ajout d'éléments structuraux. Les causes qui sont à l'origine des opérations de renforcement, sont nombreuses. On peut citer entre autres :

- Une mauvaise mise en œuvre du béton donnant lieu à des résistances caractéristiques insuffisantes et inférieures à celles prévues initialement dans la note de calcul.
- Un changement de destination des locaux de l'ouvrage.
- Une augmentation de la capacité portante est parfois nécessaire.
- Une actualisation vis-à-vis de nouvelles normes parasismiques. Par exemple, nous devons renforcer la structure d'un immeuble d'importance vitale qui a été conçu selon des normes parasismiques anciennes.

On proposera dans ce présent chapitre les techniques de renforcement possibles et les plus utilisées, puis on essayera d'appliquer celles qui sont plus efficaces et plus économiques sur un bâtiment. Après renforcement de la structure, nous étudierons de nouveau sa vulnérabilité sismique pour s'assurer de l'efficacité de la solution proposée et adoptée.

III.2. Les solutions de renforcement possibles

Nous avons déjà présentés, dans le chapitre III du rapport de synthèse bibliographique et dans le paragraphe I.4 du chapitre I du présent mémoire, les principales techniques de renforcement existantes. Le renforcement augmente la résistance mécanique et peut augmenter la ductilité par confinement et chemisage d'une manière notable.

On peut englober les différentes techniques de renforcement dans deux grandes familles : les techniques classiques et les techniques nouvelles [13]. Le tableau III.1 résume ces différentes techniques.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

Type	Principe de renforcement		Procédé de mise en œuvre
Classiques	Par chemisage	En béton armé	Augmenter la section transversale du poteau (figure III.1.a)
		Gainage métallique	enfermer le poteau en béton armé dans un poteau en treillis métallique constitué de larges plats comme montants et de cornières comme membrures verticales (figure III.1.b)
	Par mur en maçonnerie rigide		Ajouter ou remplacer les murs de remplissage existants par des murs en maçonnerie rigides, réalisés dans les plans des portiques et doivent participer au contreventement de la structure (figure III.1.c). L'ajout de connecteurs aux poutres de planchers, permettront une meilleure collaboration entre les portiques existants et ces murs de contreventement
	Par voiles en BA		Voiles placés à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment.
	Par palées de stabilité (triangulées)		Insérer des palées de stabilité (profilés métalliques) dans les plans des portiques. Assurer une libre rotation des sections d'extrémité (figure III.1.f).
	Renforcement des fondations		Plusieurs procédés possible selon les cas : chemisage en BA, élargissement de la fondation, nouvelle fondation, nouvelles fondations, etc. (figure III.1.g).
Nouvelles	Par tôles colées		Réparation locales de fissures ou d'insuffisances locales de résistance par des tôles colées. Nécessité d'une préparation soignée de la surface
	Par matériaux composites renforcés de fibres (ou polymère renforcé de fibres : PRF)		Envelopper l'élément à renforcer de « tissus » de composite de fibres pour réparer les fissures (figure III.1.h et o). Après application d'une couche de résine servant de colle en vue d'assurer l'adhérence des feuilles de fibres.
	Chemises en acier	poteaux	Chemises en acier circulaires ou elliptiques selon les poteaux circulaires et rectangulaires (fig.III.1.i).
		Zones nodales	Chemises en acier de formes ondulées (figure III.1.j).
	Par amortisseurs		Figures III.1.k et l.
Par isolation à la base		Figures III.1.m et n.	

Tableau III.1. Techniques de renforcement possibles

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

III.2.1. Renforcement par chemisage

C'est une technique qui consiste à reconstituer ou à augmenter la section d'un élément en service, en le gainant par du béton (chemisage) ou de métal (gainage).

III.2.1.1. chemisage en béton armé

Cette technique convient dans le cas de modification des conditions d'exploitation des locaux, quelquefois dans le cas de doute sur la qualité du béton mis en œuvre ou de sections reconnues trop réduites. Le procédé classique consiste à chemiser ou '**corseter**' le poteau en augmentant sa section transversale par mise en œuvre d'une épaisseur de béton sur tout le périmètre du poteau primitif [13].

III.2.1.2. Gainage métallique

Cette technique consiste à enfermer le poteau en béton armé dans un poteau en treillis métallique constitué de larges plats comme montants et de cornières comme membrures verticales. Par la suite, la gaine métallique ainsi constituée sera enrobée par un mortier de ciment à fort dosage et à faible retrait [13].

III.2.2. Renforcement par mur en maçonnerie rigide

Cette technique consiste à ajouter ou à remplacer les murs de remplissage existants par des murs en maçonnerie rigides. Ces derniers seront réalisés dans les plans des portiques et doivent participer au contreventement de la structure. Ce procédé est plus facile à mettre en œuvre. Toutefois, des liaisons par le biais de connecteurs avec les poutres de planchers, permettront une meilleure collaboration entre les portiques existants et ces murs de contreventement [13].

III.2.3. Renforcement par voiles en béton armé

Cette technique est incontestablement la meilleure méthode pour augmenter la résistance aux efforts sismiques d'une construction. Ces voiles peuvent être placés à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment [13].

III.2.4. renforcement par palées de stabilité (triangulées)

Cette méthode consiste à insérer des palées de stabilité dans les plans des portiques. Ce sont généralement des profilés métalliques et dimensionnés soit en compression simple, soit en traction simple. Pour cela, il est donc nécessaire d'assurer une libre rotation des sections d'extrémité. Ceci est désigné par l'appellation technique de « relâchement des extrémités » [13].

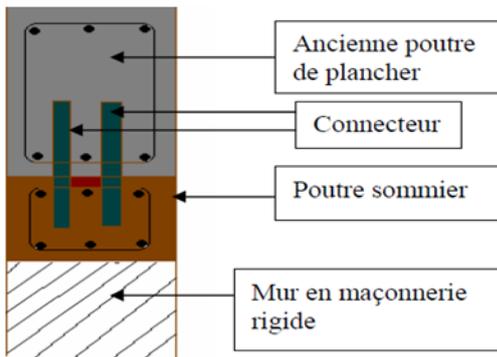
CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES



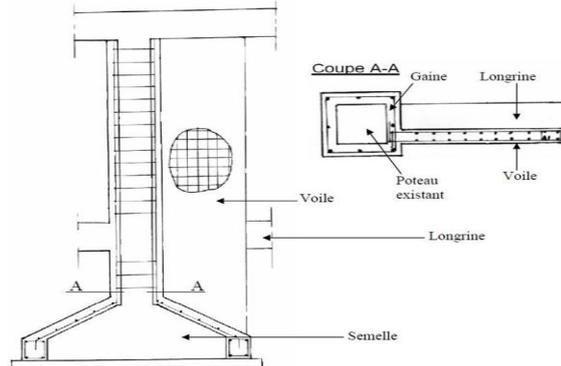
a. Chemisage en BA d'un poteau



b. Chemisage métallique d'un poteau



c. Renforcement par mur en maçonnerie rigide avec poutre sommier



d. Renforcement avec voile (plan de ferrailage)



e. Renforcement avec voile (vue de l'extérieur)



f. Renforcement par palées de stabilité triangulées



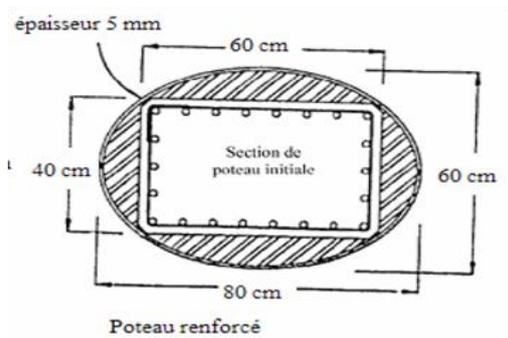
g. Renforcement d'une fondation



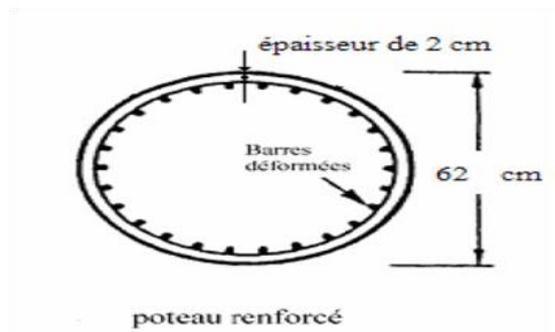
h. Renforcement d'un poteau avec des chemises en matériaux composites

Figure III.1. Illustrations de quelques techniques de renforcement de bâtiments en Génie civil

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

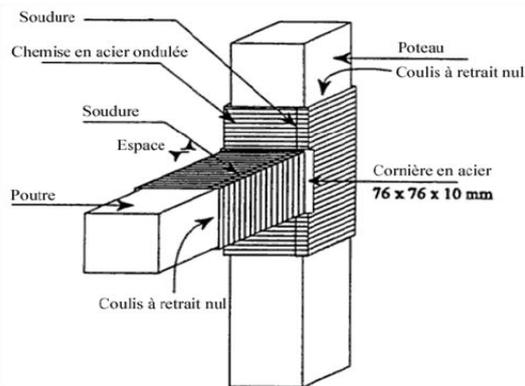


Poteau renforcé



poteau renforcé

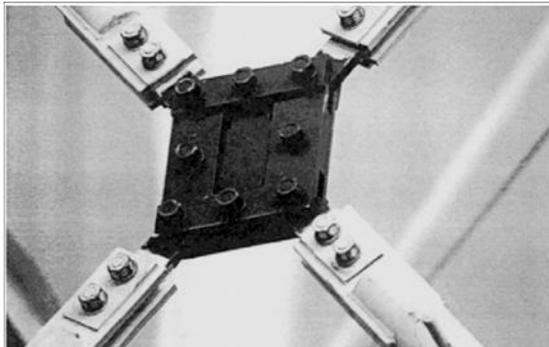
i. renforcement à l'aide de chemise métallique [8]



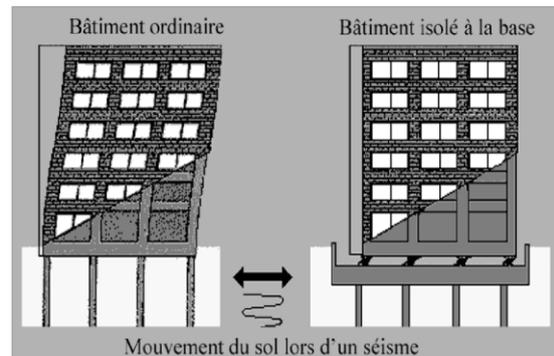
j. Chemisage de l'assemblage poteau-poutre



k. Amortisseurs visqueux [8]



l. Amortisseurs par frottement



m. bâtiment avec et sans isolation à la base



n. Isolateur à la base d'un poteau métallique



o. Renforcement d'une poutre avec des chemises en matériaux composites.

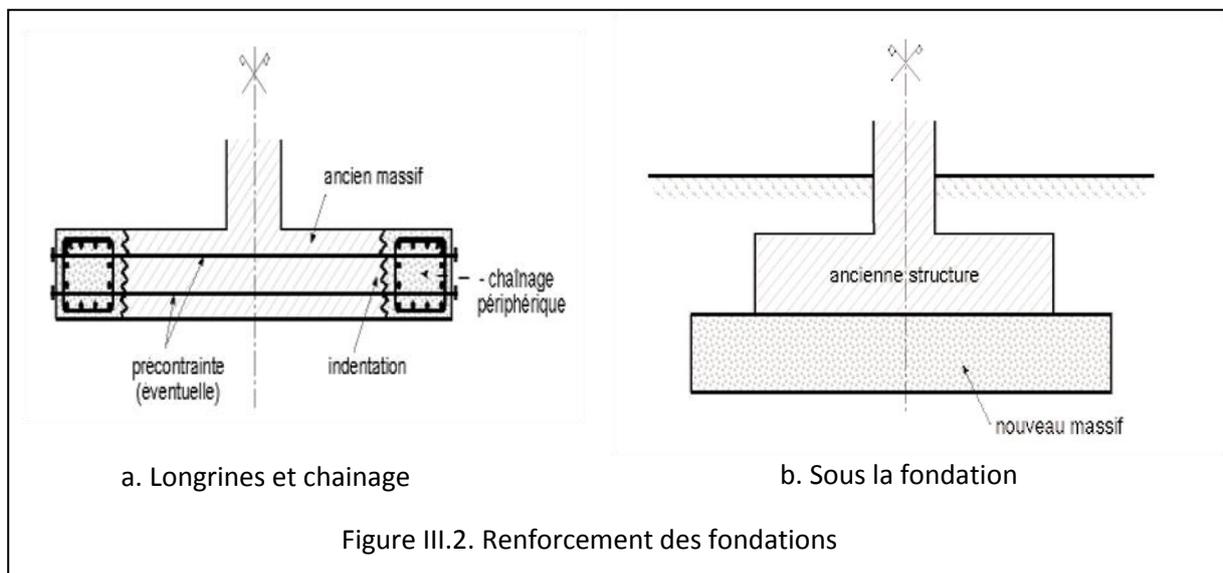
Figure III.1. Illustrations de quelques techniques de renforcement de bâtiments en Génie civil (suite)

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

III.2.5. Renforcement des fondations

Le renforcement des éléments de la superstructure engendre automatiquement le renforcement de l'infrastructure pour une bonne transmission des efforts à l'assiette de la construction, cela se fait par :

- augmentation des dimensions de contact avec le sol.
- application d'un chemisage en béton armé.
- émulsion d'Époxy avec reconstruction partielle ou totale des fondations.
- introduction de nouvelles fondations dans le cas où le renforcement est réalisé par des murs en béton armé ou éléments similaires.



On doit porter une attention particulière sur l'incorporation de la semelle existante dans la nouvelle structure de fondation et la façon d'ancrage des aciers principaux du mur dans la fondation [14].

Le principe de base consiste, soit à reporter le niveau de fondation à un niveau inférieur, où le terrain est de meilleure qualité, soit à augmenter la surface de la fondation au même niveau, où elle a été initialement réalisée. Il peut être nécessaire d'assurer un transfert des charges de part et d'autre de la zone de travail. Ce transfert peut être réalisé de plusieurs façons : longrines ou chaînage horizontal par exemple.

L'objectif du dispositif de la figure suivante est de trouver la portance nécessaire par reprise en sous-œuvre ou de ramener les fondations à un même niveau, elle se fait par . L'excavation doit être faite de façon prudente, sans moyens mécaniques susceptibles de causer des chocs, des vibrations, ou des ébranlements. Il faut rester en permanence vigilant quant aux éventuelles venues d'eau ou aux éventuels entraînements de terrain. Au fur et à mesure de l'excavation, les parois doivent être blindées. Il s'agit d'un étaieement à caractère provisoire dont la fonction principale est de limiter au strict minimum la décompression des terres autour de l'excavation en cours et d'assurer la sécurité du personnel.

III.2.6. Renforcement par tôles collées

La technique des tôles collées permet de renforcer ou de réparer localement une structure présentant soit des dommages locaux (fissures), soit des insuffisances locales de résistance.

La surface du béton doit subir, avant tout, une préparation soignée ayant pour but d'éliminer toutes les parties peu adhérentes et de supprimer les imperfections locales afin de la rendre la plus plane possible [13].

III.2.7. Renforcement à l'aide de matériaux composites renforcés de fibres

Les termes **matériau composite renforcé de fibres**, ou **polymère renforcé de fibres PRF** sont généralement employés pour désigner les matériaux en fibres synthétiques tels que la fibre de verre, la fibre de carbone et l'aramide enchâssée dans une résine matrice (résine époxyde ou ester). Les composites de fibres possèdent habituellement un ratio résistance - poids plus élevé que celui des matériaux de construction conventionnels tels que l'acier.

La technologie du renforcement par les fibres est l'une des technologies les plus efficaces d'accroissement de la résistance des poteaux aux séismes. Son application est relativement simple, très peu dérangeante pour les occupants des bâtiments et peu exigeante en main-d'œuvre. Ainsi, elle représente l'une des solutions de rechange les plus souhaitables en matière d'accroissement de la résistance des bâtiments existants aux séismes. Les caractéristiques non corrosives des fibres de carbone et leur résistance à la plupart des substances chimiques donnent à ce système de renforcement une durée de vie bien plus longue que celle des matériaux conventionnels tels que l'acier, c.-à-d. une valeur plus économique à long terme.

Technique de mise en œuvre :

La technique consiste à envelopper un élément de « tissu » de composite de fibres. C'est un processus relativement simple, bien que l'installation du système de renforcement du composite varie d'un fabricant à un autre, le processus passe généralement par les étapes suivantes :

- Inspecter la condition de surface de l'élément de structure à renforcer.
- Réparer les fissures et les surfaces effritées avec une injection d'époxyde ou de mortier à résine époxydique.
- Préparer la surface de l'élément de structure en vue d'obtenir une rugosité meilleure à l'aide du sablage.
- Appliquer une couche de résine servant de colle en vue d'assurer l'adhérence des feuilles de fibres.

III.2.8. Renforcement à l'aide de chemises en acier

III.2.8.1. Les poteaux

Le renforcement des poteaux circulaires avec des chemises en acier circulaires et le renforcement des poteaux rectangulaires avec des chemises elliptiques permettent

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

d'améliorer considérablement la résistance au séisme des poteaux. Un poteau déficient est enveloppé d'une couche (ou chemise) d'acier préfabriquée soudée ou jointée mécaniquement. Afin d'assurer l'adhérence, le mince espace entre la chemise et le poteau, généralement inférieur à 10 mm, est rempli soit de coulis de ciment à faible retrait soit d'une résine de type époxy. L'ajout ou bien la mise en place de goujons connecteurs, améliorera considérablement cette liaison. Ce qui transformera la section initiale du poteau en béton armé en une « pseudo section mixte acier béton » [8].

III.2.8.2. Les zones nodales

Très peu de recherches et d'études expérimentales ont été effectuées sur les techniques de renforcement chemisage en acier des zones nodales. Toutefois, ces études ont été entreprises pour une application particulière : pour des joints de cadres sans dalles, soutenant les larges conduits en béton des centrales nucléaires. Cela étant, les études relatives au renforcement des nœuds pour les structures de bâtiments possédant des dalles de plancher, semblent indisponibles dans la littérature [14], [15]... En général, les chemises en acier utilisées pour ces zones nodales possèdent des formes ondulées.

III.2.9. Renforcement par précontrainte transversale

La performance des éléments structuraux peut être améliorée au moyen d'une précontrainte externe qui assure une armature supplémentaire ainsi qu'une pression latérale active. Cette nouvelle technique a été mise au point à l'Université d'Ottawa et est appelée ' **Retro-belt** '. Elle utilise des bandes d'acier à haute résistance placées autour des poteaux.

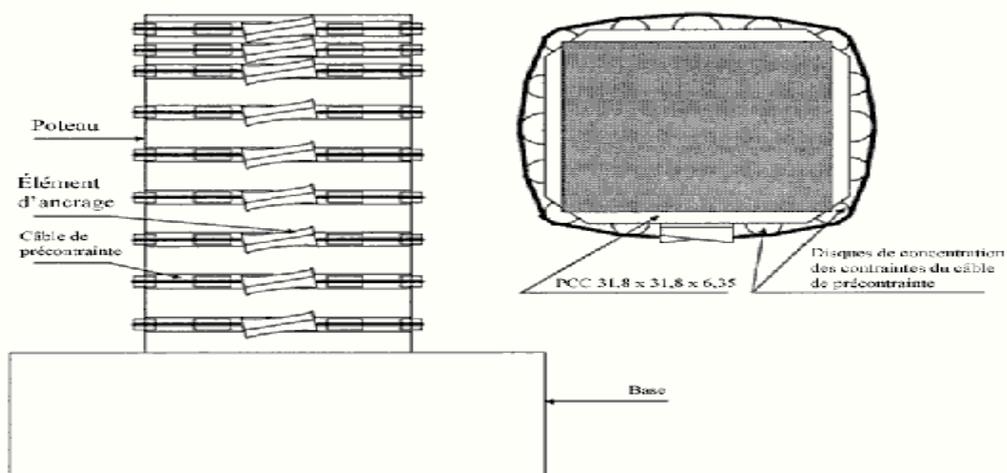


Figure III.3. Renforcement par précontrainte transversale [13].

III.2.10. Renforcement à l'aide d'amortisseurs

Depuis quelques années, une attention considérable a été accordée à une technologie nouvelle et en évolution, principalement au Japon et aux États-Unis, qui introduit des dispositifs amortisseurs. Pratiquement toutes les installations qui comprennent un tel système sont des nouveaux bâtiments construits au Japon. Des séismes ont déjà frappé la

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

plupart de ces nouveaux bâtiments qui démontrent des performances prometteuses. L'applicabilité de cette technologie est en évolution dans le domaine du renforcement des bâtiments déjà construits [8].

III.2.11. Renforcement par l'isolation à la base

De nouveaux dispositifs peuvent servir à diffuser (ou à absorber) l'énergie induite lors d'un séisme avant que cette énergie ne soit transférée à la structure du bâtiment. Généralement, on désigne ces dispositifs sous les noms « d'isolateurs à la base ». Ainsi, ils permettent non seulement d'isoler à un niveau acceptable, la base d'un bâtiment du sol mais de réduire les effets des secousses sur la structure [8].

III.3. Application

Dans cette partie de ce chapitre, on essaiera de renforcer un bâtiment afin d'augmenter sa capacité de résister aux agressions sismiques. On prendra comme exemples le bloc « C » du projet des 90 logements sis à Al Quods, et le bloc « D3 » du projet des 100 logements sis à Sidi Ahmed. Les blocs en question sont de typologie « portiques autostables » en béton armé. Les bâtiments ont 18.36 m de hauteur (R+5). Leur dissymétrie et irrégularité en plan risquent de provoquer une torsion de l'ensemble lors d'un séisme. Les fondations adoptées sont superficielles : filantes sur les rives et isolées au milieu. Elles sont implantées à deux niveaux différents. L'indice de vulnérabilité calculé selon la méthode Risk-UE de ce bloc est de **0.742** pour le bloc « C », et **0.822** pour le bloc « D3 ». Ils présentent respectivement une vulnérabilité forte et très forte et risquent de subir certainement des dégâts importants lors d'un séisme.

	Bloc C	Bloc D3
Typologie	Portiques autostables	Portiques autostables
Hauteur	18.36m (R+5)	18.00m (R+5)
Type de fondations	Semelles isolées et filantes	Semelles isolées et filantes
Différence de niveau des fondations	50 cm	Fondation au même niveau
Forme architecturale	Hors L	En L
Symétrie en plan	Dissymétrique	Dissymétrique
Régularité en élévation	Régulier	Régulier
Topographie du terrain	Pente et escarpement	Pente et escarpement
Présence des poteaux courts	Oui	Oui
Présence de l'étage souple	Non	Oui

Tableau III.2. Caractéristiques asismiques des blocs étudiés

III.3.1. Ajout des voiles de contreventement en béton armé

Le renforcement par des murs en béton armé est la meilleure méthode pour augmenter la capacité de résistance aux forces horizontales. Dans ce cas, les murs sont introduits au niveau de la structure dans les deux directions. Ils doivent avoir une rigidité suffisante pour reprendre les forces horizontales et une partie des forces verticales qui leur sont conférées.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

Les murs sont liaisonnés aux poteaux et poutres à l'aide d'armatures. Ces dernières sont ancrées dans la fondation existante. En infrastructure, l'incorporation d'une nouvelle fondation pour le mur en béton armé est nécessaire.

Dans notre cas, on propose l'ajout des murs de contreventement en béton armé dans la mesure où les contraintes architecturales le permettent. Ils sont disposés, pour les deux bâtiments, de la façon la plus symétrique possible (figures III.4 et III.5).

Nos bâtiments présentent une dissymétrie accentuée en plan qui aggrave leur capacité à résister aux effets de la torsion lors d'un séisme. Les voiles sont insérés pour réduire cette torsion au maximum et reprendre la majorité des efforts horizontaux.

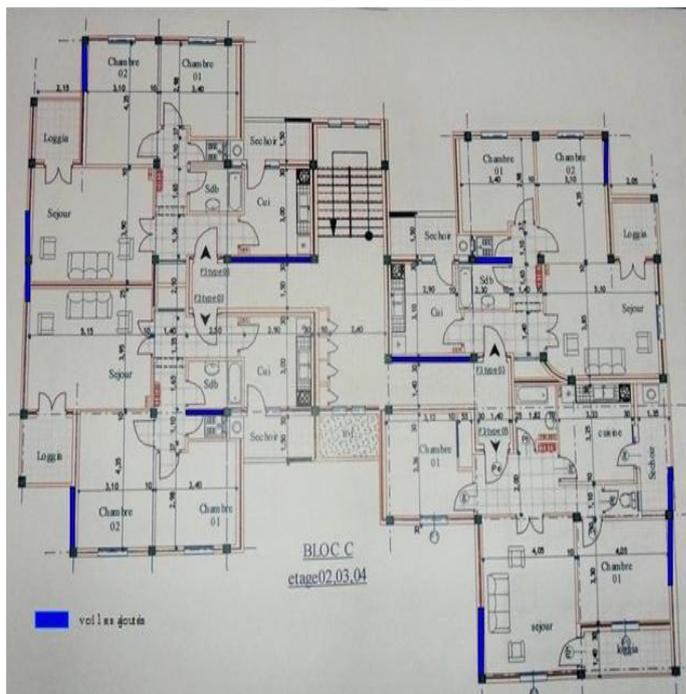


Figure III.4. Disposition des voiles de contreventement pour le bloc C.

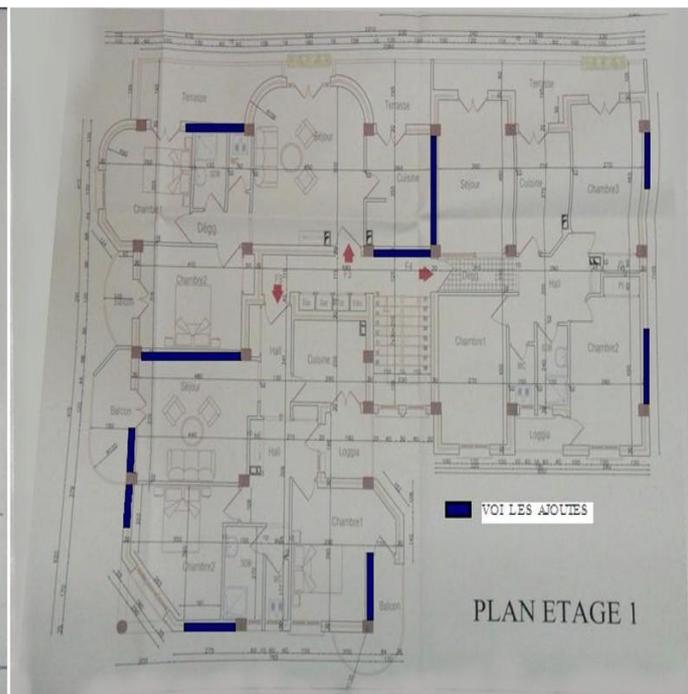


Figure III.5. Disposition des voiles de contreventement pour le bloc D3.

III.3.2. Renforcement des poteaux et des poutres

Le renforcement des éléments porteurs de nos bâtiments s'avère plus que nécessaire, car l'inertie des poteaux est inférieure à celle des poutres. Par conséquent, lors d'une agression sismique, on aurait la formation des rotules plastiques dans les poteaux. Le RPA, dans son article 7.6.2, exige de dimensionner la zone nodale de sorte à avoir la formation des rotules plastiques dans les poutres plutôt que dans les poteaux.

a- Les poteaux

Plusieurs méthodes de renforcement des poteaux pourront être appliquées. Pour des raisons économiques et pour gagner du temps, on choisira le chemisage en béton armé pour les poteaux qui sont solidaires aux voiles, et le gainage métallique pour le reste.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

Le gainage métallique, consiste à enfermer le poteau dans une cage ou tube métallique constitué de fers plats et cornières ou tôles soudées. La gaine métallique peut être ensuite recouverte d'un enduit en ciment.

Le chemisage en béton armé peut être réalisé une, deux, trois ou quatre faces du poteau. Cependant, il est recommandé de gainer les poteaux sur les quatre faces pour obtenir une meilleure rigidité. La surface de l'ancien béton qui doit adhérer à la nouvelle doit être rendue rugueuse par piquage, et il faut enlever tous le béton endommagé et ensuite procéder au nettoyage à grands jets d'eau pour éliminer toute poussière. Le ferrailage est confectionné sur place. Le diamètre et la quantité des aciers sont choisis selon la résistance et la rigidité voulues. Le béton est mis en place par déversement par trémie ou tout autre procédé. L'utilisation d'un adjuvant est indispensable pour la reprise du bétonnage et une adhérence parfaite entre les deux surfaces.

b- les poutres

Pour ne pas augmenter la section transversale des poutres et aussi pour gagner du temps, on adoptera la méthode de renforcement par les matériaux composites.

Les composites de fibres en tant que matériau de renforcement (ou de réparation) des bâtiments ont initialement été employés sur des poutres. En effet, des «tissus» de polymère renforcé de fibres (PRF), ont été utilisés pour remplacer les tôles d'acier et renforcer les poutres en béton armé.

De plus, étant donné que le PRF est un matériau est caractérisé par une résistance adaptée à la direction des fibres, ces dernières peuvent être orientées dans la direction qui produira une résistance maximale aux fissures de cisaillement. De plus, il pourrait s'avérer avantageux de créer un pseudo isotropie en orientant les fibres dans deux directions perpendiculaires.

Plusieurs types d'ancrages des PRF et différentes dispositions sont illustrées dans les figures suivantes :

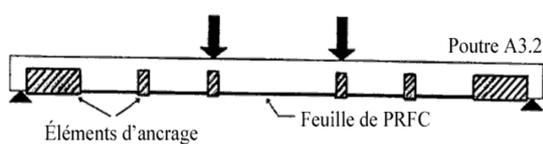


Figure III.6. Chemises en U et des bandes en acier.

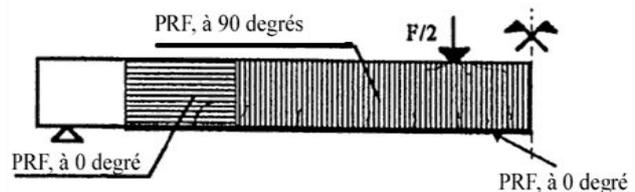


Figure III.7. Feuilles de PRF enroulées autour de trois cotés de la poutre.

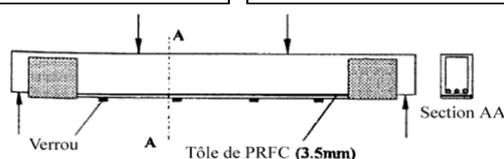


Figure III.8. Chemises en U avec verrous en acier (l'Amel de PRF).

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

III.3.3. Renforcement des fondations

La réparation et le confortement des fondations des bâtiments récents par la reprise en sous œuvre se fait généralement si celles-ci ne sont pas déficientes ou inadaptées. Les fondations qui sont adoptées pour notre batiments sont de types superficiels : semelles isolées et semelles filantes. Les fondations des deux blocs sont à deux niveaux différents (50 cm pour le bloc « C » et plusieurs mètres pour le bloc « D3 »).

Pour pouvoir ramener les fondations du bloc « C » au même niveau, on procède par l'excavation des terres sous les semelles, cette étape est très délicate et doit se faire de façon prudente, sans moyens mécaniques susceptibles de causer des chocs ou des vibrations. Donc il faut prévoir des érailllements à caractère provisoire dont la fonction est d'éviter des désordres qui seront causés par les tassements différentiels, et de limiter au strict minimum la décompression des terres autour de l'excavation en cours. Ensuite, on réalise un grand béton qui constituera le nouveau massif d'assise sur toute la surface occupée par les semelles qui seront remontées après.

On transformera toutes les semelles isolées en semelles filantes par l'augmentation de leur dimensions et en les liaisonnant par des voiles.

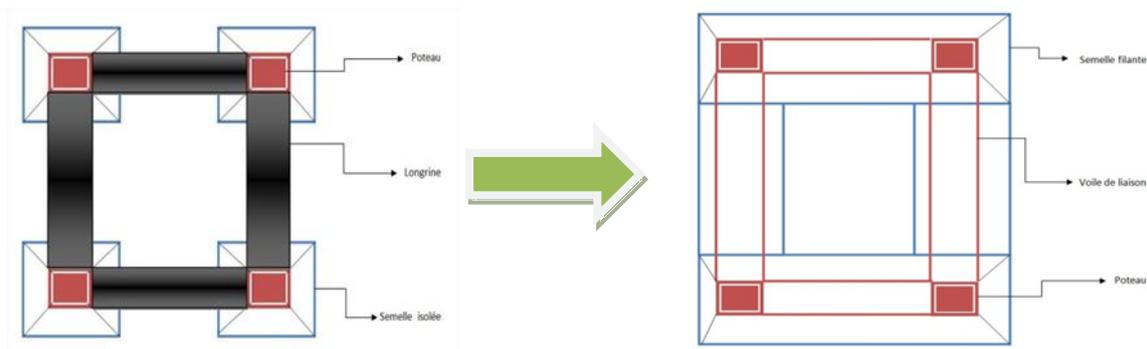


Figure III.9 : Remplacement des semelles isolées par des filantes.

III.3.4. Vérification de la vulnérabilité

On rappelle que les indices de vulnérabilité obtenus par la méthode Risk-UE dans le deuxième chapitre pour nos deux bâtiments sont respectivement 0.742 et 0.822. Ils présentent une vulnérabilité élevée. Et leurs indices d'endommagement étaient de 23.46 % et 35.34%. Par la même méthode, on recalcule l'indice de vulnérabilité de ce bâtiment après l'avoir renforcé.

III.3.4.1. Le bloc « C »

1) En premier lieu, on détermine l'indice V_1^* qui est fonction de la typologie du bâtiment selon le tableau « III.4 ». Après avoir incorporé les voiles, on a changé la typologie du bâtiment qui est devenu de catégorie RC4: Structures mixtes en béton armé (portiques et murs), ce qui induit à la réduction de l'indice V_1^* de 0.522 à 0.386, soit de 26.05 %.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

2) En second lieu, on détermine le facteur ΔV_m avec, $\Delta V_m = \sum V_m$.

Où V_m : facteurs de vulnérabilité correspondant aux différents paramètres identifiés et donnés par le tableau « III.5 ».

Après avoir insérer les voiles, on a pu réduire la torsion, ainsi le remplacement des semelles isolées par des filantes, et les ramener au même niveau, on a pu réduire l'indice ΔV_m de **0.22 à 0.12** soit de **45.45%**.

$$\Delta V_m = 0.12$$

3) dans notre cas, on prend ΔV_r égal à zéro (0) à cause de manque d'informations et de données sur la vulnérabilité existante (retour post-sismique par exemple).

L'indice de vulnérabilité V_I pour ce bloc sera donc :

$$V_I = 0.386 + 0.12 + 0$$

$$V_I = 0.506$$

L'indice de dommage d'après la même méthode sera de **6.73%**, on a pu le réduire de **71.61%**. Le bâtiment subira des dégâts moins importants qu'avant son renforcement.

III.3.4.2 : Le bloc « D3 »

En procédant de la même façon pour le bloc « C », le tableau III.3 nous donne l'indice $V_I^* = 0.386$. Et le tableau III.6 nous donne $\Delta V_m = 0.2$

L'indice de vulnérabilité sera donc : $V_I = 0.386 + 0.2 + 0$

$$V_I = 0.586$$

L'indice de dommage après renforcement sera réduit de **34.35%** à **10.32%**, soit une réduction de **70%**.

		L'indice de vulnérabilité V_I	L'indice d'endommagement μ_D
Avant le renforcement	Bloc « C »	0.742	26.05%
	Bloc « D3 »	0.822	34.35%
Après le renforcement	Bloc « C »	0.506	6.73%
	Bloc « D3 »	0.586	10.32%

Tableau III.3. Comparaison des résultats avant et après renforcement.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

Typologie	Description	V_1^{\min}	V_1^-	V_1^*	V_1^+	V_1^{\max}
M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M1.2	Pierres appareillées	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M1.3	Pierres de taille	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
M3.1	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M3.4	Planchers en béton armé	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M5	Maçonnerie globalement renforcée	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC1	Structures poteaux-poutres en béton armé	- 0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC2	Murs porteurs en béton armé	- 0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC3.1	Murs de remplissage en maçonnerie, structure régulière	- 2.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC3.2	Structures poteaux-poutres irrégulières	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC4	Structures mixtes en béton armé (portiques et murs)	- 0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC5	Murs préfabriqués en béton armé (tilt-up walls)	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC6	Structures préfabriquées en béton armé	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S1	Ossatures métalliques en portique	- 0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S2	Ossatures métalliques avec triangulation	- 0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S3	Portiques + remplissage en maçonnerie non armée	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S4	Portiques + murs en béton armé coulés en place	- 0.02	0.047	0.224	0.35	1.54
S5	Structure mixte béton-acier	- 0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Structures en bois	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tableau III.4. Valeurs de V_1^* en fonction de la typologie de l'ouvrage.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

Facteurs de vulnérabilité	Paramètres	Valeurs de V_m
État d'entretien	Bon	-0.04
	Mauvais	+0.04
Nombre d'étages	Construction peu élevée (1 ou 2)	-0.02
	Moyennement élevée (3, 4 ou 5)	+0.02
	Élevée (6 étages ou plus)	+0.06
Système structural	Épaisseur des murs	-0.04 à +0.04
	Distance entre les murs	
	Connections entre les murs (tirants, cornières D'assemblage)	
	Connections entre éléments horizontaux et Verticaux (diaphragmes)	
Étage souple	Transparence, démolition	+0.04
Irrégularité en plan	forme	+0.04
	torsion	+0.02
Irrégularité en élévation		+0.02
Poteaux courts	Présence de poteaux courts	+0.02
Éléments résistants superposés		+0.04
Toiture	Poids de la toiture + poussée sur les murs	+0.04
	Connections de la toiture	
Interventions de confortement		-0.08 à 0.08
Éléments asismiques	Barbacanes, contreforts, arcs	Pas d'indication
Interaction entre bâtiments : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
	Isolé	+0.02
Interaction entre bâtiments : élévation	Planchers décalés	+0.02
	Bâtiments de hauteurs différentes	-0.04 à +0.04
Fondations	Fondations à des niveaux différents	+0.04
	Semelles filantes avec longrines	0
	Semelles isolées	+0.04
Morphologie du sol	Pente	+0.02
	Escarpement	+0.04
Score total		$\Delta V_m = -0.12$

Tableau III.5. Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

Facteurs de vulnérabilité	Paramètres	Valeurs de V_m
État d'entretien	Bon	-0.04
	Mauvais	+0.04
Nombre d'étages	Construction peu élevée (1 ou 2)	-0.02
	Moyennement élevée (3, 4 ou 5)	+0.02
	Élevée (6 étages ou plus)	+0.06
Système structural	Épaisseur des murs	-0.04 à +0.04
	Distance entre les murs	
	Connections entre les murs (tirants, cornières D'assemblage)	
	Connections entre éléments horizontaux et Verticaux (diaphragmes)	
Étage souple	Transparence, démolition	+0.04
Irrégularité en plan	forme	+0.04
	torsion	+0.02
Irrégularité en élévation		+0.02
Poteaux courts	Présence de poteaux courts	+0.02
Éléments résistants superposés		+0.04
Toiture	Poids de la toiture + poussée sur les murs	+0.04
	Connections de la toiture	
Interventions de confortement		-0.08 à 0.08
Éléments asismiques	Barbacanes, contreforts, arcs	Pas d'indication
Interaction entre bâtiments : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
	Isolé	+0.02
Interaction entre bâtiments : élévation	Planchers décalés	+0.02
	Bâtiments de hauteurs différentes	-0.04 à +0.04
Fondations	Fondations à des niveaux différents	+0.04
	Semelles filantes avec longrines	0
	Semelles isolées	+0.04
Morphologie du sol	Pente	+0.02
	Escarpement	+0.04
Score total		$\Delta V_m = 0.2$

Tableau III.6. Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé.

CHAPITRE III : PROPOSITION DE SOLUTIONS DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES VULNERABLES

III.4. Conclusion

Nous avons passé, dans ce chapitre, les principales techniques classiques de renforcement. Certaines se sont avérées difficiles à mettre en œuvre voir coûteuses. Toutefois, ces méthodes semblent être efficaces et sont les plus utilisées. Il s'agit en l'occurrence du renforcement par chemisage et par voiles en béton armé. Certaines techniques, peu connues, sont plus faciles à mettre en œuvre et, de surcroît, moins coûteuses. Il s'agit du renforcement par palées de stabilité métalliques. Cette technique semble être très utile pour les interventions d'urgence après un séisme de forte magnitude. Et les nouvelles techniques qui visent en premier lieu l'amélioration de la résistance des éléments des structures, Pour ce dernier, nous pouvons citer : la technique de renforcement par tôles collées, par polymères renforcés de fibres (PRF), par des chemises en acier, etc. Ces procédés présentent l'avantage d'être non seulement économiques mais surtout faciles à mettre en œuvre. Toutefois, ils sont difficilement applicables au niveau des zones nodales. En effet, seul le collage des tôles en acier, peut être appliqué sans difficulté au niveau de ces zones. Cependant cette solution semble être partielle car elle ne concerne que les structures faiblement endommagées par le séisme. En second lieu, des dispositifs d'amélioration de la dissipation de l'énergie ont été mis au point par l'insertion dans les systèmes de contreventement, d'amortisseurs par frottement de contact ou d'amortisseurs visqueux. Enfin ; l'amélioration de l'absorption de l'énergie a été rendue possible grâce à la technologie des isolateurs incorporés à la base des bâtiments. Notons enfin qu'en raison de leur nouveauté et de leur aspect hautement technique, ces procédés demeurent rarement utilisés dans notre pays et nécessitent en premier lieu une vulgarisation voir également des formations.

L'application de certaines de ces méthodes a montré qu'on peut augmenter la sécurité d'un bâtiment fortement vulnérable en réduisant son risque d'endommagement.

Le lancement de tels programmes de renforcement par les autorités permettra de sauvegarder le cadre bâti et la vie humaine lors d'un tremblement de terre.

Pour terminer, il est fondamental de lancer une étude technico-économique pour évaluer l'impact financier de ce genre de techniques de renforcement.

CONCLUSION GENERALE

La réglementation parasismique actuelle ne s'applique qu'aux constructions neuves et laisse de côté le problème crucial de l'existant. Sauf en cas de réhabilitation post sismique comme les renforcements des bâtiments endommagés par le séisme du 21 mai 2003 à Boumerdès. Aucune instruction ne permet d'imposer des mesures de renforcement aux constructions existantes.

La réduction de la vulnérabilité sismique du bâti existant peut être envisagée suivant deux approches : attendre le renouvellement du bâti ou engager des renforcements dès maintenant. La deuxième approche consiste à diagnostiquer puis engager les renforcements des constructions vulnérables. Ce qui permettra de réduire significativement la vulnérabilité sismique des bâtiments, et mettre à l'abri les personnes exposées à l'aléa sismique.

Une synthèse des méthodes existantes de diagnostic et de renforcement devrait être réalisée ainsi que l'élaboration des guides des méthodes de diagnostic et de renforcement d'ores et déjà utilisables qui expliciteront, pour chaque méthode le type de construction concernée.

Notre étude nous a permis de constater que les bâtiments sont exposés à un danger sismique permanent. Il a fallu étudier les conséquences que peut occasionner un séisme sur les bâtiments. Il s'agit de déterminer les zones et les éléments les plus influençables par les secousses sismiques. Puis faire une évaluation de l'indice de vulnérabilité. Cette évaluation nous a permis de constater que les bâtiments non construits selon les règles parasismiques présente une vulnérabilité importante vis-à-vis les séismes, comme on la vu pour certains bâtiments. Ces derniers qui sont défailants, ne vérifient pas les critères de construction parasismique ; à savoir la typologie, la régularité, le contreventement, la hauteur et le type de fondation utilisé. Par contre, les bâtiments qui sont réguliers en plan et en élévation, contreventé par des voiles en béton armé sont le meilleur modèle de construction qui présente une résistance parfaite en zone de moyenne sismicité.

Enfin, on peut conclure que pour qu'un bâtiment soit protégé contre le phénomène sismique, il doit respecter tous les paramètres affectant sa vulnérabilité et être construit selon les règles parasismiques en vigueur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : ANDRE PLUMIER « construction en zone sismique », université de LIEGE, 2006.
- [2]: Bristol University website: www.ideers.bris.ac.uk.
- [3]: Euro code 8 : construction parasismique.
- [4] : PATRICIA BLANDIER « Document d'information à l'usage du constructeur » (volume 3), Direction Départementale de l'Équipement de la Guadeloupe.
- [5] : MILAN ZACEK : « construction parasismique » NIVEAU AVANT PROJET, 2004.
- [6] : GARCIA Jean-François, Élaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments, Rapport final de PFE d'ingénieur, INSA Strasbourg, Spécialité Génie Civil, Option Construction.
- [7] : AFPS (1994), *Le séisme de NORTHRIDGE (Californie) du 17 janvier 1994*, rapport de mission AFPS, publication AFPS.
- [8] : Brahim CHAIB, « *vulnérabilité du bâti existant et aménagement en zone sismique* », Mémoire de Master en Management Habitat, Urbanisme et Politique de la ville (MHUPV), École de Management, Marseille, France, 2004/2005.
- [9] : DTR BC 2-48 : Les règles parasismiques algériennes RPA 99 (version 2003).
- [10] : Milutinovic Z. V., Trendafiloski G. S., .Vulnerability of current buildings., September report 2003, RISKUE, Work Package 4 .An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns., Nice, September 2003.
- [11]: Comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes (**CETE Méditerranée**).
- [12] : 7^{eme} colloque national AFPS 2007-École Centrale De Paris « Vulneralp : l'enquête au service de l'évaluation des vulnérabilités sismiques en milieu urbain. L'exemple de Grenoble».
- [13]: cours de pathologie de construction 2eme année master LMD Génie civil « techniques de renforcement des structures », Option « Matériaux-structures », Département de génie civil, université de Bejaia, 2011/2012.
- [14] : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, « Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement », CGS, Alger, 1992 ; 94 p.
- [15] : C.G.S. Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages.

BIBLIOGRAPHIE

- [16] : Centre De Recherche Appliquée En Astrophysique Et Géophysique (CRAAG).
- [17] : CHERRED. A, DJEBAR. T : « vulnérabilité sismique des batiments existants-cas de la ville de Bejaia ». Rapport de recherche bibliographique. Université de Bejaia 2011/2012.
- [18]:FEMA 154 (1988). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential seismic Hazards: Supporting Documentation. FEMA, Washington.
- [19]: ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- [20]: AIT MEZIANE Yamina : <Evaluation de la vulnérabilité et contribution a la réduction du risque sismique : Construction de scénarios cas de l'agglomération d'Alger>. Thèse de doctorat. Université de Béjaia 2008.

LISTE DES FIGURES
CHAPITRE I

Figure « I.1 » : <i>Carte du monde montrant les principales plaques tectoniques</i>	4
Figure « I.2 » : <i>Accélérogrammes du séisme de Loma Preita à la station Oakland</i>	5
Figure « I.3 » : <i>Les ondes P</i>	5
Figure « I.4 » : <i>Les ondes S</i>	6
Figure « I.5 » : <i>Les ondes de LOVE</i>	6
Figure « I.6 » : <i>Les ondes de RAYLEIGH</i>	6
Figure « I.7 » : <i>Accumulation des contraintes dans la zone d'angle</i>	8
Figure « I.8 » : <i>Moment de torsion autour d'un noyau rigide</i>	8
Figure « I.9 » : <i>Les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux</i>	8
Figure « I.10 » : <i>Joint parasismique insuffisant</i>	8
Figure « I.11 » : <i>Endommagement et rotation des poutres</i>	9
Figure « I.12 » : <i>Éclatement du béton et flambement des armatures à la base</i>	9
Figure « I.13 » : <i>Poteaux courts</i>	10
Figure « I.14 » : <i>Effondrement total du bâtiment</i>	10
Figure « I.15 » : <i>Fissures en X de la maçonnerie</i>	10
Figure « I.16 » : <i>Effondrement de la maçonnerie</i>	10
Figure « I.17 » : <i>Interaction mur-portique</i>	11
Figure « I.18 » : <i>Cisaillement de l'étage souple</i>	11
Figure « I.19 » : <i>Tassement d'un bâtiment</i>	11
Figure « I.20 » : <i>Carte de zonage sismique de l'Algérie</i>	15
Figure « I.21 » : <i>Efficacité structurale en termes d'énergie absorbée</i>	23
Figure « I.22 » : <i>Stratégies permettant d'atteindre un niveau de performance recherché</i>	23
Figure « I.23 » : <i>Quelques modifications pour réduire la période T</i>	24
Figure « I.24 » : <i>Correction de la torsion</i>	25

CHAPITRE II

Figure « II.1 » : <i>Organigramme méthodologique de réalisation des chapitres II et III</i>	28
Figure « II.2 » : <i>Localisation des projets</i>	29
Figure « II.3 » : <i>Pourcentage des bâtiments selon la typologie</i>	32
Figure « II.4 » : <i>Présentation des pentes moyennes du site de la ville de Bejaia</i>	34
Figure « II.5 » : <i>Pourcentage selon la régularité</i>	34
Figure « II.6 » : <i>Exemple de formes de bâtiment en plan et en élévation rencontrées</i>	35

Figure « II.7 » : Proportions de bâtiments avec ou sans étages souples	36
Figure « II.8 » : Position possible d'un Bâtiment	36
Figure « II.9 » : Classification des blocs par nombre d'étages	37
Figure « II.10 » : Pourcentage selon la date de construction	37
Figure « II.11 » : Proportions des blocs vérifiant ou non le « Poteau fort – poutre faible »	39
Figure « II.12 » : Plan de l'ensemble des blocs de la zone de El Quods	43
Figure « II.13 » : Vue en élévation du bloc A	43
Figure « II.14 » : Vue en plan du bloc A	44
Figure « II.15 » : Pourcentage selon le degré de vulnérabilité	48
Figure « II.16 » : Pourcentage selon le degré d'endommagement	49
Figure « II.17 » : Répartition géographique de l'indice de vulnérabilité sismique des bâtiments étudiés	50
Figure « II.18 » : Détail de la répartition géographique de la vulnérabilité sismique des 7 zones étudié	51
Figure « II.19 » : Répartition géographique de l'indice d'endommagement sismique des bâtiments étudiés	52
Figure « II.20 » : Détail de la répartition géographique de l'indice d'endommagement sismique des 7 zones étudié	53
Figure « II.21 » : Degré de vulnérabilité des bâtiments en forme de L.....	55
Figure « II.22 » : Degré de vulnérabilité des bâtiments de forme hors L.....	56
Figure « II.23 » : Degré de vulnérabilité en fonction de la régularité en plan.....	57
Figure « II.24 » : Degré de vulnérabilité en fonction de la régularité en élévation	57
Figure « II.25 » : Relation entre le degré de vulnérabilité et le degré d'endommagement.....	58

CHAPITRE III

Figure « III.1 » : Illustrations de quelques techniques de renforcement de bâtiments en Génie civil...63	
Figure « III.1 » : Illustrations de quelques techniques de renforcement de bâtiments en Génie civil (suite).....	64
Figure « III.2 » : Renforcement des fondations	65
Figure « III.3 » : Renforcement par précontrainte transversale	67
Figure « III.4 » : Disposition des voiles de contreventement pour le bloc C.....	69
Figure « III.5 » : Disposition des voiles de contreventement pour le bloc D3.....	69
Figure « III.6 » : Chemises en U et des bandes en acier	70

Figure « III.7 » : Feuilles de PRF enroulées autour de trois cotés de la poutre	70
Figure « III.8 » : Chemises en U avec verrous en acier.....	70
Figure « III.9 » : Remplacement des semelles isolées par des filantes	71

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau « I.1 » : Synthèse des éléments non parasismiques et des conséquences associées	12
Tableau « I.2 » : Description des principes fondamentaux des règles parasismiques algériennes	14
Tableau « I.3 » : Les 22 facteurs retenus pour déterminer V_2	18
Tableau « I.4 » : Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement.....	21
Tableau « I.5 » : Synthèse des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité	22

CHAPITRE II

Tableau « II.1 » : Exemple de tableau utilisé pour la collecte des informations et des données	30
Tableau « II.2 » : Classification des sols	33
Tableau « II.3 » : Correspondance entre l'indice de vulnérabilité et le degré de vulnérabilité	42
Tableau « II.4 » : Valeurs de V_i^* en fonction de la typologie de l'ouvrage	45
Tableau « II.5 » : Valeurs des facteurs ΔV_m pour les bâtiments en béton armé	46
Tableau « II.6 » : États de vulnérabilité sismique obtenus pour les différents sites	47
Tableau « II.7 » : Équivalence entre le niveau d'endommagement et l'indice d'endommagement	48
Tableau « II.8 » : Indices d'endommagement obtenus pour les sites étudiés	49

CHAPITRE III

Tableau « III.1 » : Techniques de renforcement possibles	61
Tableau « III.2 » : Caractéristiques asismiques des blocs étudiés	68
Tableau « III.3 » : Comparaison des résultats avant et après renforcement	72
Tableau « III.4 » : Valeurs de V_i^* en fonction de la typologie de l'ouvrage	73
Tableau « III.5 » : Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé	74
Tableau « III.6 » : Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé	75

ANNEXES

ANNEXE 1 : Méthode FEMA-154 (HAZUS)

Méthode FEMA-154

Le document « Rapid Visual screening of buildings for seismic hazard – A handbook » fournit trois fiches de relevé dépendant de la sismicité du territoire sur lequel se trouve le bâtiment étudié. Les trois fiches sont traduites dans les pages suivantes.

Éléments nécessaires pour remplir les fiches de relevés SISMICITÉ

Trois sismicités sont considérées, une sismicité forte (ex : Californie), modérée ou faible, définies suivant les paramètres spectraux spécifiques à la réglementation américaine.

TYPOLOGIE DES BATIMENT

Typologie	Description
W 1	Ossature bois légère, habitation ou commerce, surface inférieure à 5000
W2	Ossature bois, surface supérieure à 465 m ²
S1	Ossatures métalliques en portique
S2	Ossatures métalliques avec triangulation
S3	Ossatures légères en acier
S4	Ossatures métalliques avec murs en béton armé coulés en place
S5	Ossatures métalliques avec remplissage maçonnerie non armée
C1	Portiques en béton armé
C2	Murs porteurs en béton armé
C3	Structures poteaux-poutres avec remplissage maçonnerie non armée
PC1	Construction de type "tilt-up" en béton armé
PC2	Structures préfabriquées en béton armé
RM1	Maçonnerie armée avec diaphragmes flexibles (planchers et toiture)
RM2	Maçonnerie armée avec diaphragmes rigides
URM	Murs porteurs en maçonnerie non armée

Tableau 1.1

TYPE DE SOL

Type	Description
A	Rocher avec $v_s > 5000$ ft/s
B	Rocher avec 2500 ft/s $< v_s < 5000$ ft/s
C	Sol très dense avec 1200 ft/s $< v_s < 2500$ ft/s
D	Sol rigide avec 600 ft/s $< v_s < 1200$ ft/s
E	Sol avec $v_s < 600$ ft/s
	Sol pour lequel une évaluation détaillée du bâtiment est nécessaire

Tableau 1.2

Il est recommandé de procéder au diagnostic détaillé des bâtiments ayant un score final inférieur à 2.

ANNEXES

Score de base	7.4	6.0	4.6	4.8	4.6	4.8	5.0	4.4	4.8	4.4	4.4	4.6	4.8	4.6	4.6
Hauteur moyenne (4 à 7 étages)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.2	-0.2	+0.4	-0.2	-0.4	N/A	-0.2	-0.4	-0.2	-0.
Grande hauteur (plus de 7 étages)	N/A	N/A	+1.0	+1.0	N/A	+1.0	+1.2	+1.0	0.0	-0.4	N/A	-0.2	N/A	00	N/A
Irrégularité verticale	-4.0	-3.0	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-1.5	-2.0	-2.0	N/A	-1.5	-2.0	-1.5	-1.5
Irrégularité en plan	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
Pas de code PS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
Après application code PS	0.0	+0.2	+0.4	+0.6	N/A	+0.6	N/A	+0.6	+0.4	N/A	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+0.4
Sol type C	-0.4	-0.4	-0.8	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	-0.4
Sol type D	-1.0	-0.8	-1.4	-1.2	-1.0	-1.4	-0.8	-1.4	-0.8	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8
Sol type E	-1.8	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.2	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.8	-2.0	-1.4	-1.6	-1.4
SCORE FINAL S															
COMMENTAIRES										EVALUATION DETAILLÉE REQUISE					
										OUI			NON		

Tableau 1.3

SISMICITE MODÉRÉE																																																																																																																																																																																															
Echelle :										Adresse :																																																																																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr> </table>																																																																																																																																																																																										Autres identifiants :					
Nbre étages :						Année construction :																																																																																																																																																																																									
Technicien :						Date :																																																																																																																																																																																									
Surface totale :																																																																																																																																																																																															
Nom du bâtiment :																																																																																																																																																																																															
Utilisation :																																																																																																																																																																																															
PHOTOGRAPHIE																																																																																																																																																																																															

ANNEXES

OCCUPATION			TYPE DE SOL										RISQUE DE CHUTE				
Rassembl. Commercial Secours Admin. Historique	Industriel Bureaux Habitation Ecole	Nombre de pers. 0-101 11-100 101-1000 +1000	A	B	C	D	E	F									Cheminée non renforcée Parapets Parements Autres
SCORE DE BASE, FACTEURS MODIFICATIFS ET SCORE FINAL S																	
TYPOLOGIE	W1	W2	S1 MRF	S2 BR	S3 LR	S4 RC SW	S5 URM INF	C1 MRF	C2 SW	C3 URM INF	PC1 TU	PC2	RM1 FD	RM2 RD	URM		
Score de base	5.2	4.8	3.6	3.6	3.8	3.6	3.6	3.0	3.6	3.2	3.2	3.2	3.6	3.4	3.4		
Hauteur moyenne (4 à 7 étages)	N/A	N/A	+0.4	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.2	+0.4	+0.2	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	-0.4		
Grande hauteur (plus de 7 étages)	N/A	N/A	+1.4	+1.4	N/A	+1.4	+0.8	+0.5	0.8	+0.4	N/A	+0.6	N/A	+0.6	N/A		
Irrégularité verticale	-3.5	-3.0	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	N/A	-1.5	-2.0	-1.5	-1.5		
Irrégularité en plan	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5		
Pas de code PS	0.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-1.0	-0.4	-1.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4		
Après application code PS	+1.6	+1.6	+1.4	+1.4	N/A	+1.2	N/A	+1.2	+1.6	N/A	+1.8	N/A	+2.0	+1.8	N/A		
Sol type C	-0.2	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8	-0.6	-0.4		
Sol type D	-0.6	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8		
Sol type E	-1.2	-1.8	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6		
SCORE FINAL S																	
COMMENTAIRES													EVALUATION DETAILLÉE REQUISE				
													OUI	NON			

Tableau 1.4

SISMICITE ÉLEVÉE																																																																																																																							
Echelle :										Adresse :																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>																																																																																																														Autres identifiants :									
Nbre étages :					Année construction :																																																																																																																		
Technicien :					Date :																																																																																																																		
Surface totale :																																																																																																																							
Nom du bâtiment :																																																																																																																							
Utilisation :																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>																																																																																																														PHOTOGRAPHIE									

ANNEXES

ANNEXE 2 : méthode RiskUE

La méthode RiskUE : se décomposer en trois étapes.

Étape 1. Estimation de l'indice de vulnérabilité VI.

1) Déterminer l'indice VI* fonction de la typologie du bâtiment.

Typologie	Description	VI ^{min}	VI ⁻	VI*	VI ⁺	VI ^{max}
M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M1.2	Pierres appareillées	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M1.3	Pierres de taille	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
M3.1	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M3.4	Planchers en béton armé	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M5	Maçonnerie globalement renforcée	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC1	Structures poteaux-poutres en béton armé	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC2	Murs porteurs en béton armé	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC3.1	Murs de remplissage en maçonnerie, structure régulière	-2.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC3.2	Structures poteaux-poutres irrégulières	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC4	Structures mixtes en béton armé (portiques et murs)	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC5	Murs préfabriqués en béton armé (tilt-up walls)	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC6	Structures préfabriquées en béton armé	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S1	Ossatures métalliques en portique	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S2	Ossatures métalliques avec triangulation	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S3	Portiques + remplissage en maçonnerie non armée	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S4	Portiques + murs en béton armé coulés en place	-0.02	0.047	0.224	0.35	1.54
S5	Structure mixte béton-acier	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Structures en bois	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tableau « 2.1 »

La matrice donne également les termes VI⁻ et VI⁺ limites de l'intervalle plausible des valeurs de VI ainsi que les valeurs de VI^{min} et VI^{max} limites inférieure et supérieure des valeurs possibles de VI.

2) Déterminer le facteur V_m représentant l'influence de paramètres autres que la typologie sur la réponse de la structure aux sollicitations sismiques. Le facteur V_m est calculé comme la somme de facteurs de vulnérabilité V_m correspondant aux différents paramètres identifiés.

$$\Delta V_m = \sum V_m$$

La méthode Risk-UE de niveau 1 donne des valeurs de V_m seulement pour les structures en maçonnerie (M) et celle en béton armé (RC). Les structures métalliques (S) et en bois (W) ne sont pas traitées.

ANNEXES

Facteurs de vulnérabilité	Paramètres	Valeurs de V_m
État d'entretien	Bon	-0.04
	Mauvais	+0.04
Nombre d'étages	Construction peu élevée (1 ou 2)	-0.02
	Moyennement élevée (3, 4 ou 5)	+0.02
	Élevée (6 étages ou plus)	+0.06
Système structural	Épaisseur des murs	-0.04 à + 0.04
	Distance entre les murs	
	Connection entre les murs (tirants, cornières D'assemblage)	
	Connections entre éléments horizontaux et Verticaux (diaphragmes)	
Étage souple	Transparence, démolition	+0.04
Irrégularité en plan	Forme	+0.04
	Torsion d'ensemble	+0.02
Irrégularité en élévation		+0.02
Éléments résistants superposés		+0.04
Toiture	Poids de la toiture + poussée sur les murs	+0.04
	Connections de la toiture	
Interventions de confortement		-0.08 à 0.08
Éléments asismiques	Barbacanes, contreforts, arcs	Pas d'indication
Interaction entre bâtiments position dans l'îlot:	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	Isolé	+0.02
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	Planchers décalés	+0.02
	Bâtiments de hauteurs différentes	-0.04 à +0.04
Fondations	Fondations à des niveaux différents	+0.04
Morphologie du sol	Pente	+0.02
	Escarpeement	+0.04

Tableau « 2.2 » : Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en maçonnerie

ANNEXES

Facteurs de vulnérabilité		Niveau de la réglementation		
		Pas de code PS ou niveau bas de protection PS	Niveau de protection PS moyen	Haut niveau protection PS
Niveau de code		+0.1	0	-0.16
Mauvais entretien		+0.04	+0.02	0
Nombre d'étages	Faible (1 ou 2)	0.04	0.04	0.04
	Moyen (3, 4, ou 5)	0	0	0
	Élevé (6 ou plus)	+0.08	+0.06	+0.04
Irrégularité en plan	Forme	+0.04	+0.02	0
	Torsion	+0.02	+0.01	0
Irrégularité en élévation		+0.04	+0.02	0
Poteaux courts		+0.02	+0.01	0
Fenêtre arquée (bow window)		+0.04	+0.02	0
Joint parasismique insuffisant		+0.04	0	0
Fondations	Semelles filantes	-0.04	0	0
	Semelles filantes avec longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.04	+0.04

Tableau « 2.3 »: Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé

3) Évaluer le facteur ΔV_R de vulnérabilité régionale.

Ce facteur permet de prendre en compte les propriétés de typologies spécifiques à un niveau régional. Son évaluation se fait sur la base d'un jugement d'expert ou sur l'interprétation de données de vulnérabilité existantes (retour post-sismique par exemple).

4) Calculer l'indice de vulnérabilité V_I .

L'indice de vulnérabilité V_I est la somme de l'indice typologique V_I^* , du facteur ΔV_m et du facteur ΔV_R de vulnérabilité régionale.

$$V = V^* + \Delta V + \Delta V_R$$

Etape 2. Estimation du dommage moyen μ_D

Le dommage moyen μ_D s'exprime en fonction de l'indice de vulnérabilité V_I et de l'intensité macro-sismique I considérée.

$$\mu_D = 2.5 [1 + \tanh((I + 6.25V_I - 13.1)/2.3)]$$

Etape 3. Estimation de la distribution de dommages (matrice de probabilité de dommages)

La distribution des dommages est calculée en utilisant une distribution bêta.

Densité de probabilité :

$$p_\beta(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}}$$

Fonction de distribution cumulée :

Avec les paramètres :

$$P_\beta(x) = \int_a^x p_\beta(\varepsilon) d\varepsilon$$

$a = 0, t = 8, b = 6, r = t(0.007 \mu_D^3 - 0.052 \mu_D^2 + 0.2875 \mu_D)$.

ANNEXES

ANNEXE 3 : Méthode Vulneralp

Etude :

Enquêteur :

Identifiant de l'unité : bâtiment bloc îlot maison individuelle nom ou numéro de l'unité : _____ Adresse précise : N° Rue/Avenue/Boulevard/Place Bât/Résidence	
Code Postal : Commune : Coordonnée Géographique WGS84 : Latitude : ° ' '' Longitude : ° ' ''	
Commentaires : 	

Cocher les cases grisées de la catégorie repérée Reporter la valeur de la catégorie dans la case Résultat

TYPOLOGIE DE L'UNITÉ						TySt	
Niveau 1.0							
Maçonnerie TySt1	Béton Armé TySt2	Métallique TySt3		Bois TySt4		Terre TySt5	
							Résultat 1.0
Niveau 1.1 (typologie suivant EMS98)						TySt	
Bâtiments en maçonnerie							
Maçonnerie	maçonnerie en pierres régulièrement ou non disposées avec ou sans chaînage					TySt1.1	
	maçonnerie en brique crue ou en pisé					TySt1.2	
	maçonnerie en bloc de béton					TySt1.3	
Béton Armé	ossature en béton armé avec des remplissages en maçonneries murs porteurs en béton armé					TySt2.1	
						TySt2.2	
Bâtiments en charpente métallique						TySt3.1	
Bâtiments en bois de charpente						TySt4.1	
							Résultat 1.1

Tableau « 3.1 »

ANNEXES

ENVIRONNEMENT						
Niveau 1.0						
Rocher EnSo	Oui En- So1		Non EnSo2			
Résultat 1.0						
Terrain en pente EnPe	Oui EnPe1		Non EnPe2			
						Résultat 1.0
Niveau 1.1						
Nature du sol de fondation EnSo						
Rocher sain EnSo1.1	Rocher fractu- ré EnSo1.2		Sédiments bonne qualité EnSo2.1		Sédiments mauvaise qualité EnSo2.2	
Résultat 1.1						
Pente du terrain de fondation EnPe						
Hauteur maximale du bâtiment au des- sus du niveau du sol H_{max}	$H_{max} =$					
Hauteur minimale du bâtiment au des- sus du niveau du sol H_{min}	$H_{min} =$					
Largeur de la structure A	A =					
Longueur de la structure L	L =					
Pente P: $(H_{max}-H_{min}) \cdot 100/v(\ddot{A} .L)$	P =					
Commentaires : La pente peut être évaluée par une me- sure directe sur le terrain, sans passer par la formula- tion de P.						
Pente	$P \leq 10\%$ -So EnPe1.1		$10 < P \leq 20\%$ -So EnPe2.1		$20 < P \leq 30\%$ - So	
						Résultat 1.1

Tableau « 3.2 »

ANNEXES

TOITURE				
Niveau 1.0				
Toiture Terrasse	Oui		Non	
ToCo	ToCo1		ToCo2	
				Résultat 1.0
Niveau 1.1				
Commentaires – Schéma :				
Toiture ToCo	Toiture terrasse sur des murs en maçonnerie ou terre ToCo 1.1			
	Terrasse sur des murs autres que maçonnerie ToCo1.2			
	Simple pente sur des murs en maçonnerie ou terre ToCo2.1			
	Simple pente sur des murs autres que maçonnerie ToCo2.2			
	Multi pente sur des murs en maçonnerie ou terre ToCo2.3			
	Multi pente sur des murs autres que maçonnerie ToCo2.4			
				Résultat 1.1

Tableau « 3.3 »

ANNEXES

REGULARITE EN ELEVATION					
Niveau 1.0					
Nombre d'étages		NbEt			
Nombre d'étages	N =	N < 3 NbEt1	3 < N < 5 NbEt2	5 < N NbEt3	
Résultat 1.0					
Niveau 1.0					
Régularité géométrique en élévation		ReEI			
Régularité en élévation	Oui ReEI		Non ReEI		
<p>Commentaires : Une unité est régulière si elle ne possède pas de retraits (excepté retraits progressifs) et si sa masse est uniformément répartie en hauteur.</p>					
Résultat 1.0					
Niveau 1.1					
Régularité géométrique en élévation (uniquement si structure irrégulière au niveau 1.0)					
Nombre d'étages en retraits T	T				
Nombre d'étages H	H				
Rapport T/H	T/H				
Arcade ou/et Galeries Cv	Oui	Non			
<p>Commentaires : En complément à l'analyse niveau 1.0, une structure est régulière si son contreventement est constant ou augmentant en élévation (aucun niveau souple intercalé mais possibilité d'un niveau souple au dernier étage – par exemple : structure métallique en terrasse au-dessus d'une structure béton). Les arcades ou galeries (regroupées sous le terme de transparence) sont des éléments fragilisant la structure.</p>					
Ratio T/H	T/H ≤ 2/3 ReEI1.1	T/H > 2/3 ReEI2.1			
Résultat 1.1					
Transparence	Cv=Oui ReEIC1	Cv=Non ReEIC2			
Résultat 1.1					

Tableau « 3.4 »

REGULARITE EN PLAN

ANNEXES

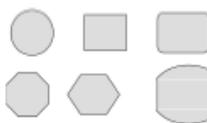
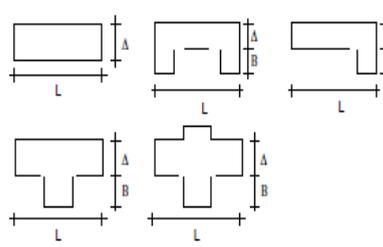
Niveau 1.0										
Position de l'unité										
Position de l'unité RePo	isolé RePo1		extrémité RePo2		en travée RePo3		en coin Re- Po4			
									Résultat	
Régularité en plan										
Régularité en plan RePI		Oui RePI1		Non RePI2		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p style="font-size: small; margin: 0;">Structure régulière</p>  </div> <div> <p style="font-size: small; margin: 0;">Structure irrégulière</p>  </div> </div>				
Une unité est régulière si elle possède deux axes de symétrie sans angles rentrants.										
									Résultat 1.0	
Niveau 1.1										
Régularité en plan										
Largeur de l'unité Δ		$\Delta =$								
Longueur de l'unité B		$B =$								
$\beta_1 = \Delta / L$		$\beta_1 =$								
$\hat{a}_2 = B / L$		$\beta_2 =$								
Commentaires – Schéma :										
L L										
Ratio RePI	$\beta_1 \geq 0.8$		$0.8 > \beta_1 \geq 0.6$			$0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ $0.2 < \beta_2 \leq$				
	$\hat{a}_2 \leq$		$0.1 < \beta_2 \leq$			0.3				
$0.4 > \beta_1$										
$0.3 <$										
									Résultat 1.1	

Tableau « 3.5 »

ANNEXES

ANNEXE 4 : Méthode du CETE Méditerranée (fin années 1990)

1. Détermination de l'indice de base (V1)

L'indice de base V1 cumule les trois critères que sont l'âge du bâtiment, le matériau et l'état d'entretien.

VA âge de la construction	
après 1977	0,05
entre 1949 et 1977	0,15
entre 1880 et 1949	0,10
avant 1880	0,20
Score VA	
VM matériau structural bé-	
ton armé	0,05
charpente métallique	0,05
maçonnerie	0,15
Score VM	
VE état d'entretien	
bon	0
assez bon	0,05
assez mauvais	0,10
mauvais	0,15
Score VE	
VA + VM + VE = V1	

Tableau 4.1

2. Détermination des facteurs de vulnérabilité (V2)

La méthode retient 22 facteurs de vulnérabilité visibles depuis l'extérieur du bâtiment. Les facteurs appellent une réponse binaire (oui=1, non=0). Un poids est attribué à chacun d'eux en fonction du degré de dommages qu'ils peuvent induire. La somme pondérée des 22 valeurs (somme pondérée maximale de 500) est normée à 0,50.

La grille des facteurs de vulnérabilité est donnée à la page suivante.

3. Indice de vulnérabilité V

l'indice de vulnérabilité V est la somme de l'indice V1, correspondant aux critères de base, et de l'indice V2, correspondant aux éléments critiques.

$$V = V1+V2$$

ANNEXES

Bâtiment

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	oui	non	poids	vi
a	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)			25	
b	Proximité de changement de pente ($d < 2 h$)			50	
c	Soutènement ou talus ($d < 2 h$)			40	
d	Bâtiment proche ($d < h$)			25	
e	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4\text{cm}$)			15	
f	Dissymétrie en plan			25	
g	Élancement en plan ($L/l > 4$)			10	
h	Parties saillantes ou rentrantes			15	
i	Étages de hauteur différente			10	
j	Retraits en façades			15	
k	Transparence complète			90	
l	Demi - transparence			60	
m	Angle affaibli			20	
n	Non-continuité verticale des éléments porteurs			25	
o	Présence de poteaux courts			25	
p	Présence de poteaux élancés			10	
q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse			10	
r	Porte à faux > 2 m			5	
s	Présence de souches de cheminées vulnérables et dangereuses			5	
t	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses			5	
u	Antenne hertzienne en toiture			5	
v	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)			10	
				500	

Tableau 4.2

OBSERVATIONS:

.....

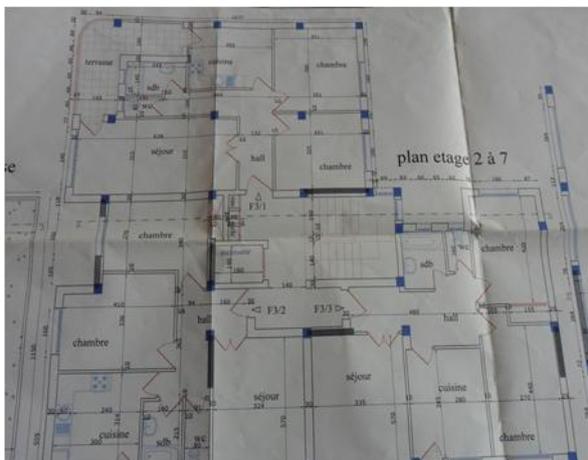
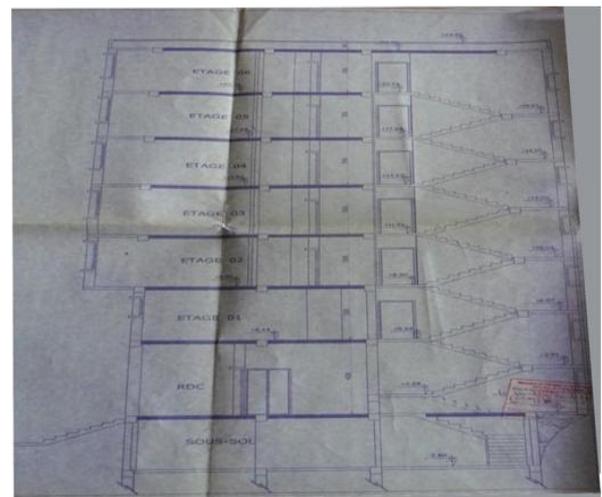
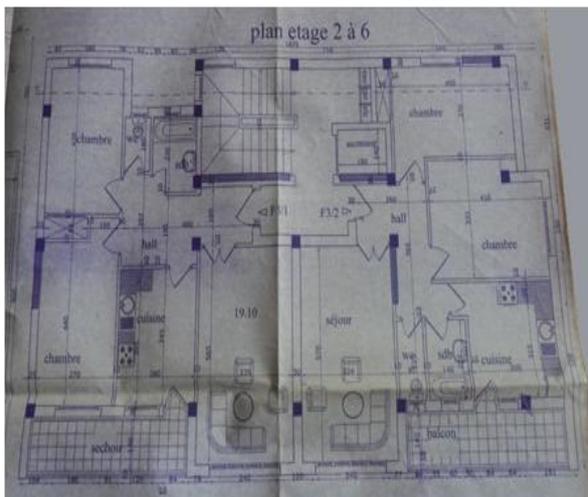
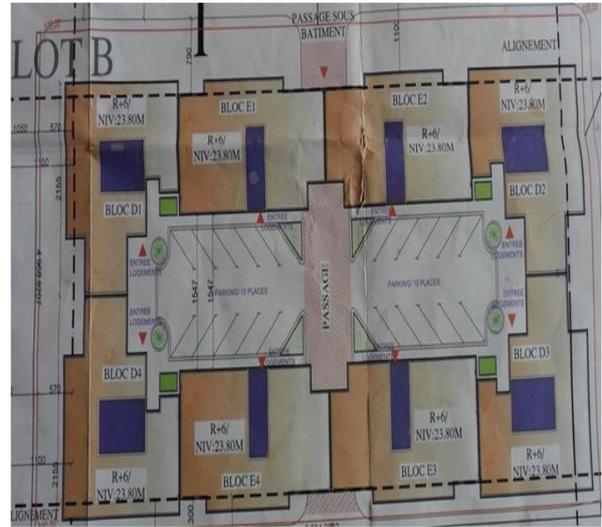
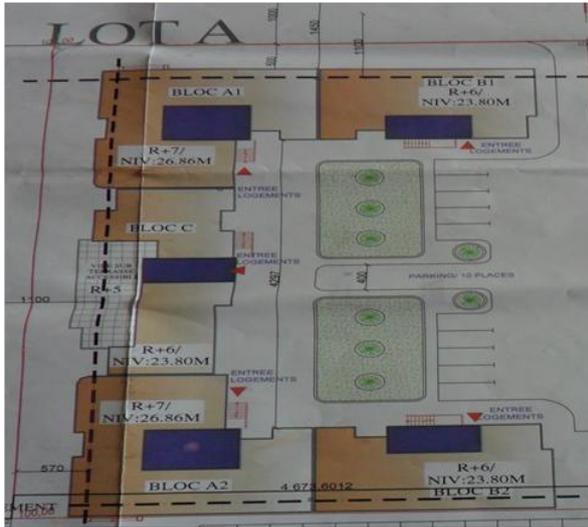
.....

.....

ANNEXES

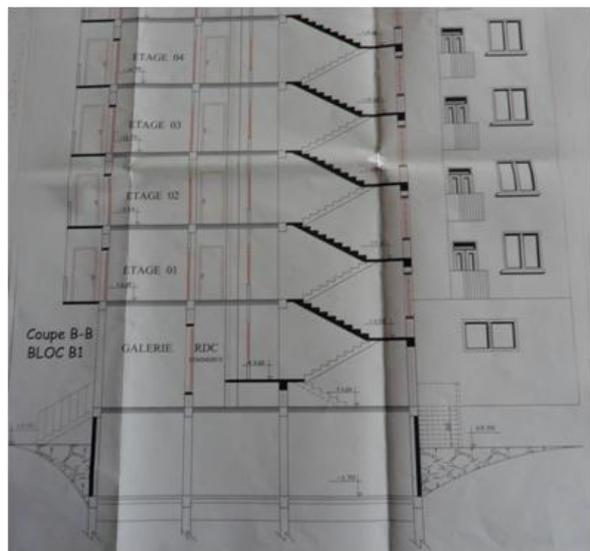
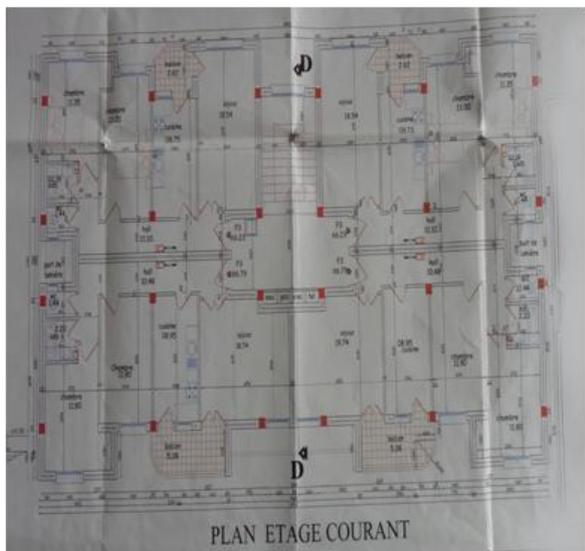
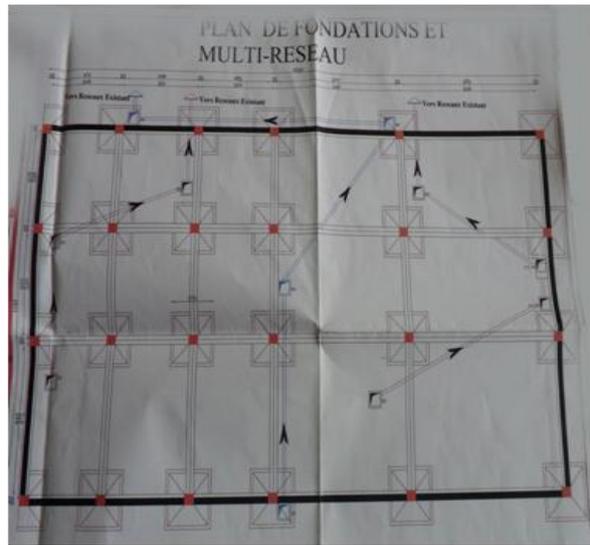
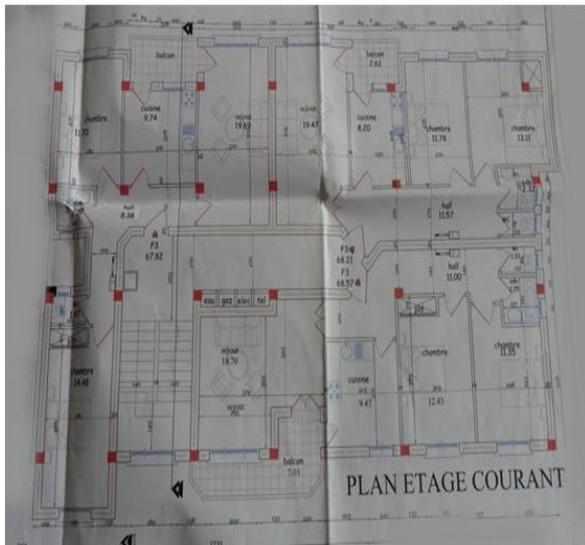
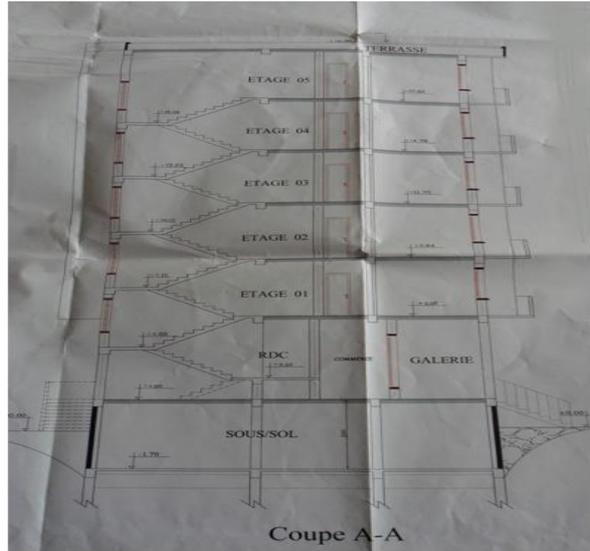
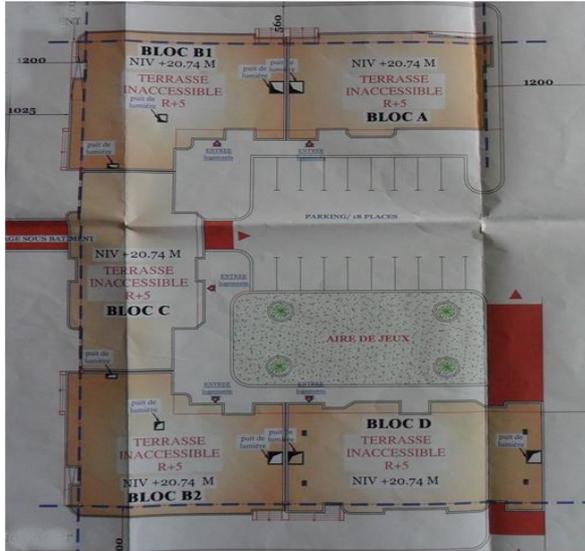
ANNEXE 5 : Les plans des batiments consultés

PROJETS SIDI ALI LABHER



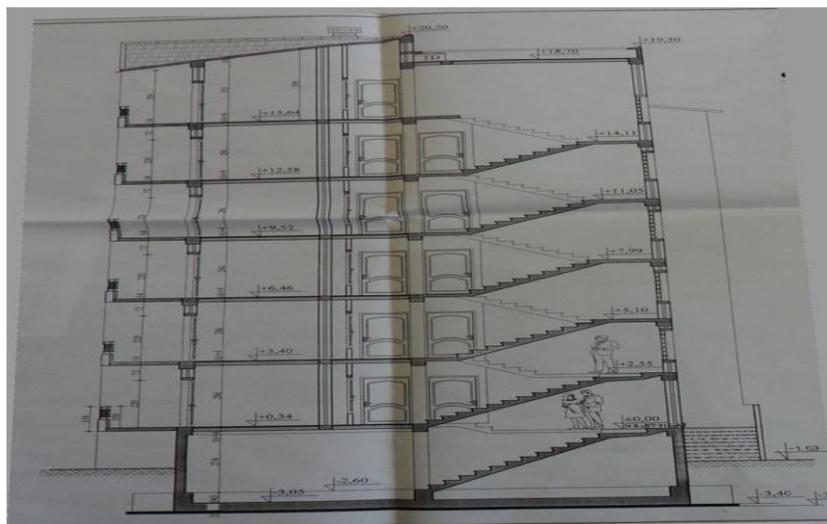
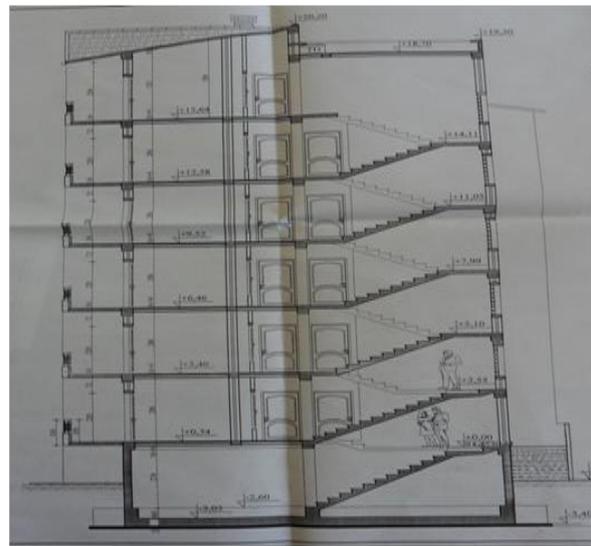
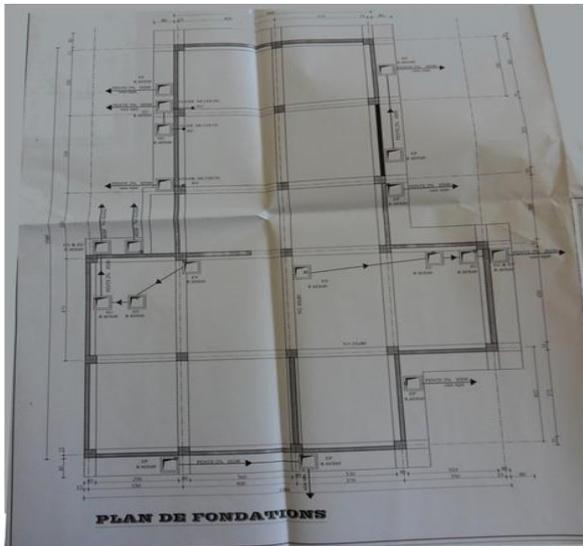
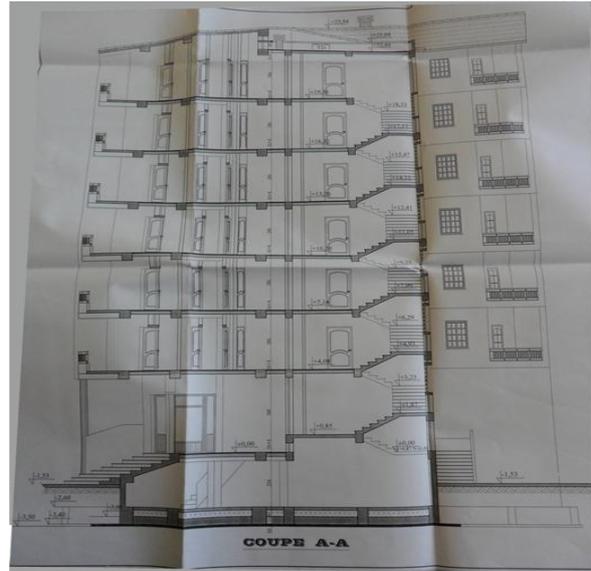
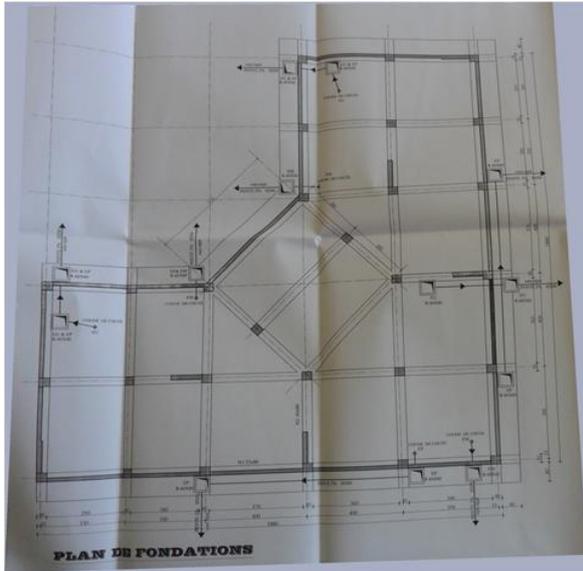
Projet : 190 logements (LSP)

ANNEXES



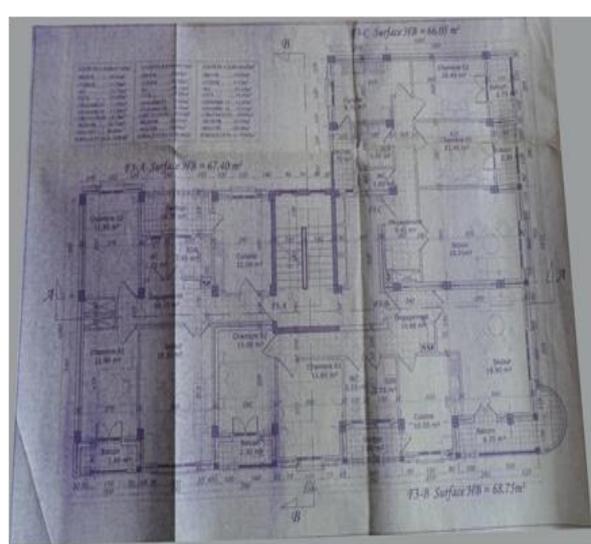
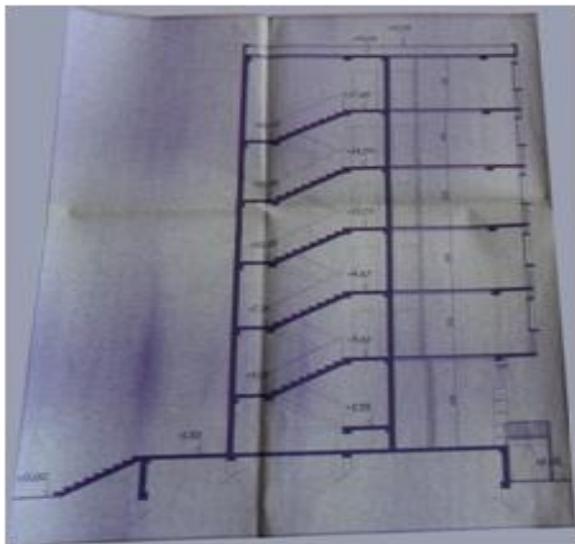
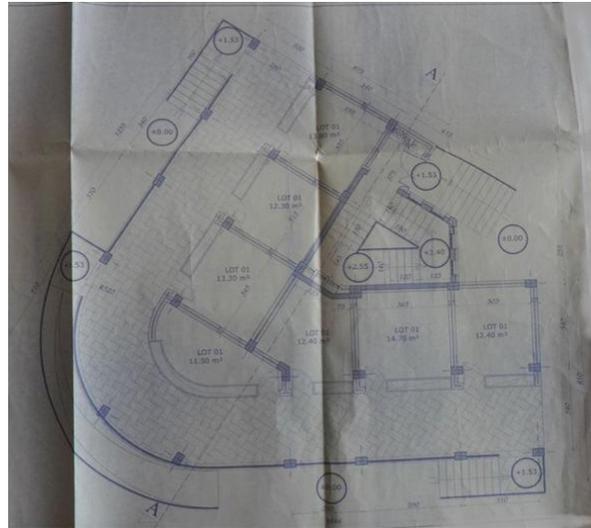
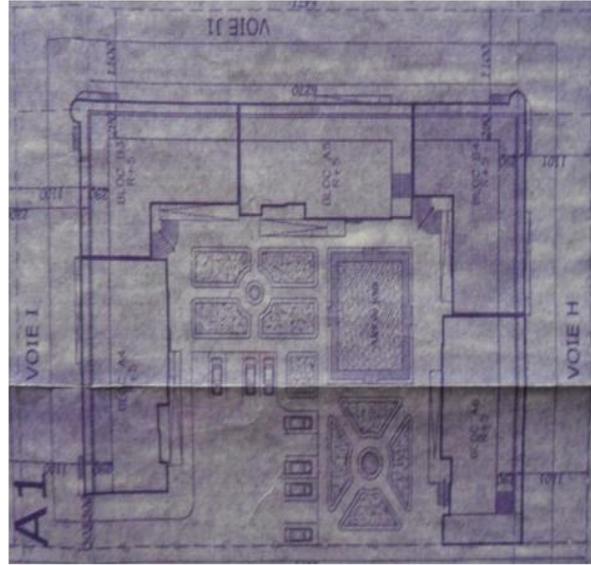
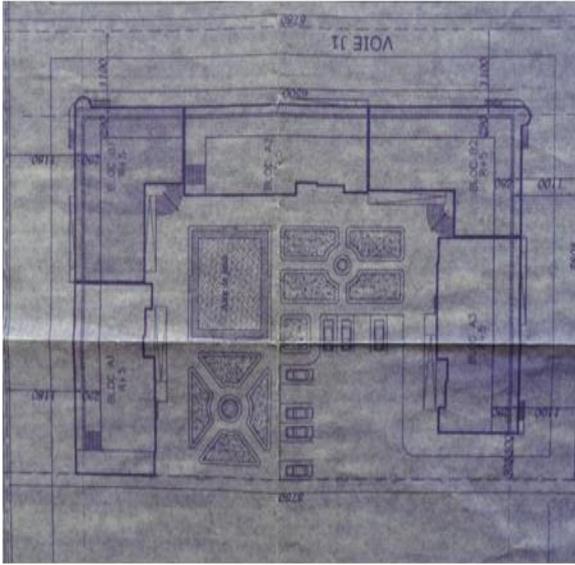
Projet : 90 logements (DJEMA Boubeker)

ANNEXES



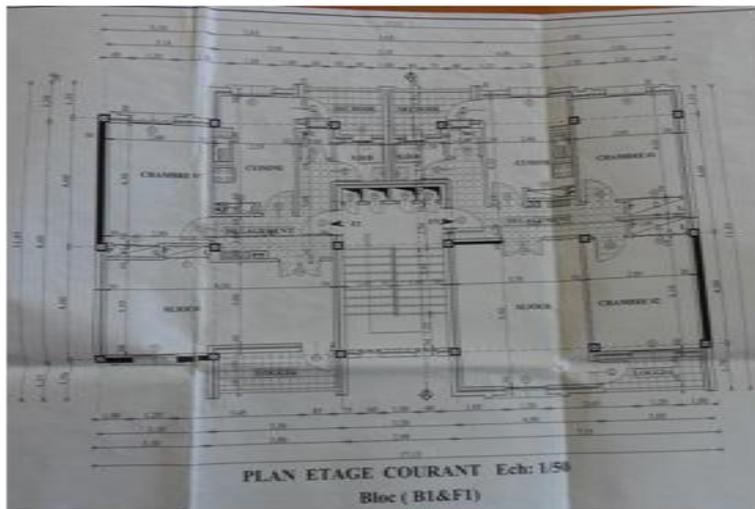
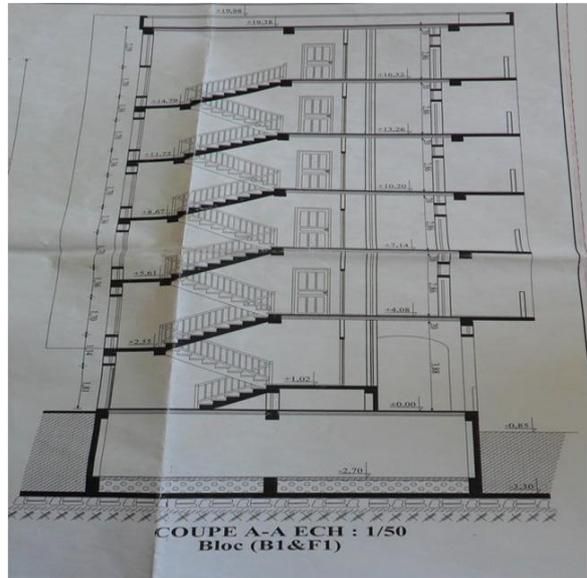
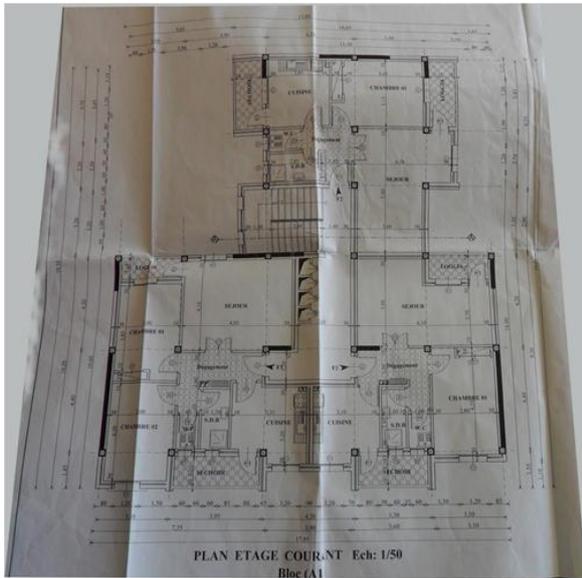
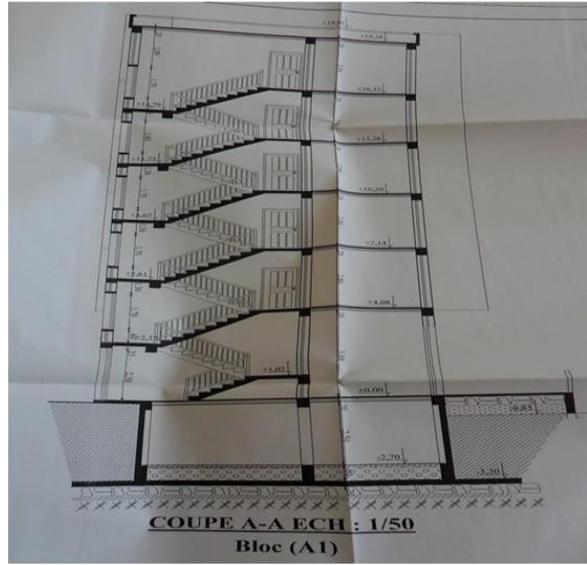
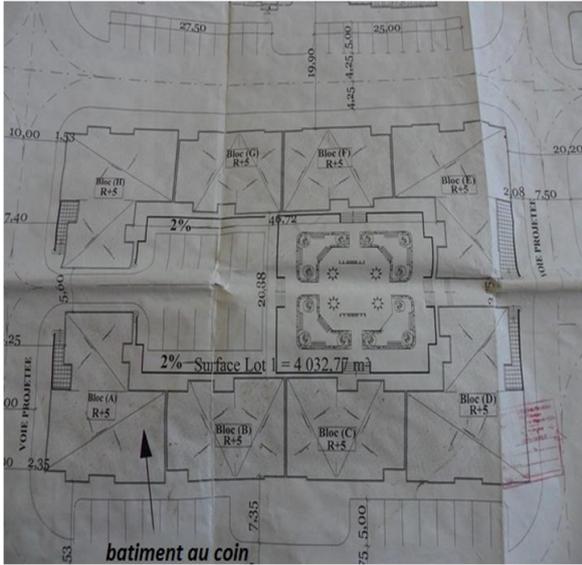
Projet : 140 logements LSL (OPGI)

ANNEXES



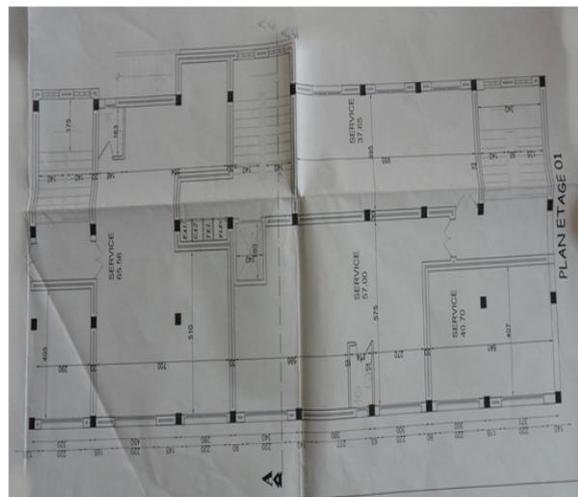
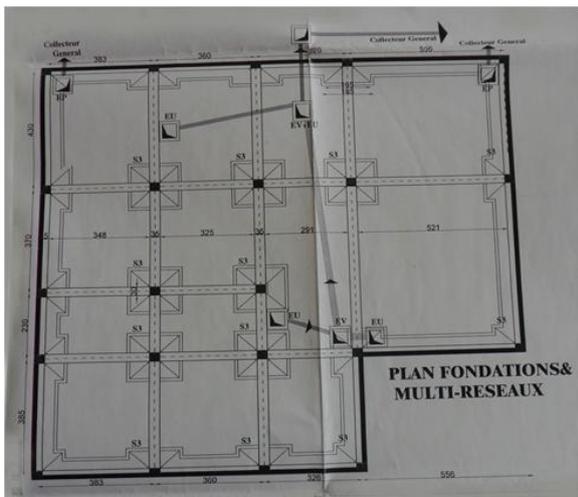
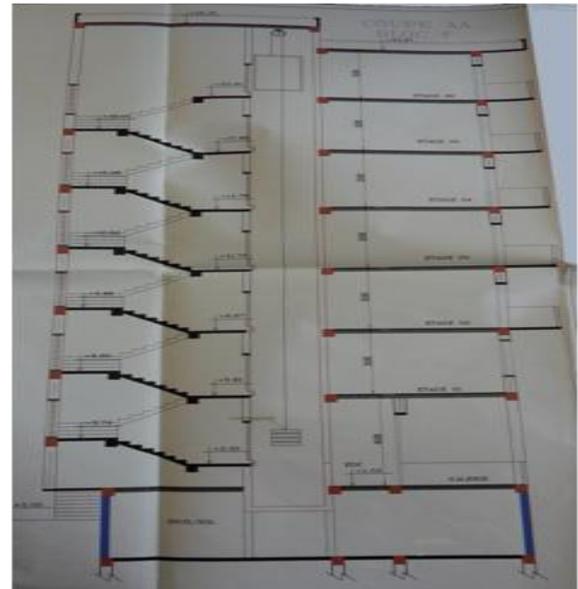
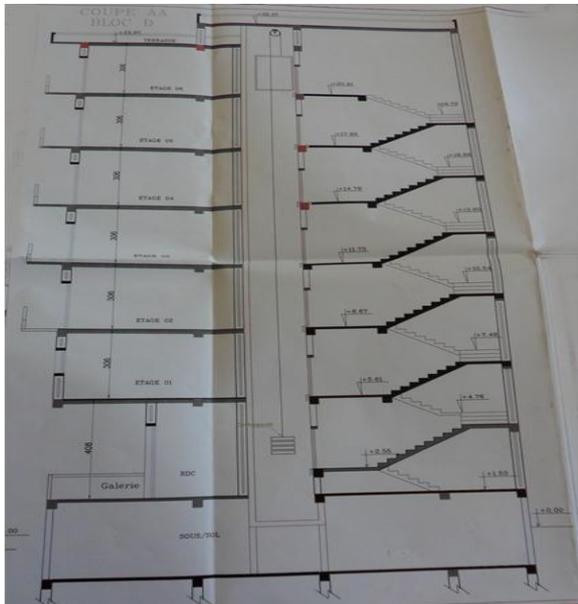
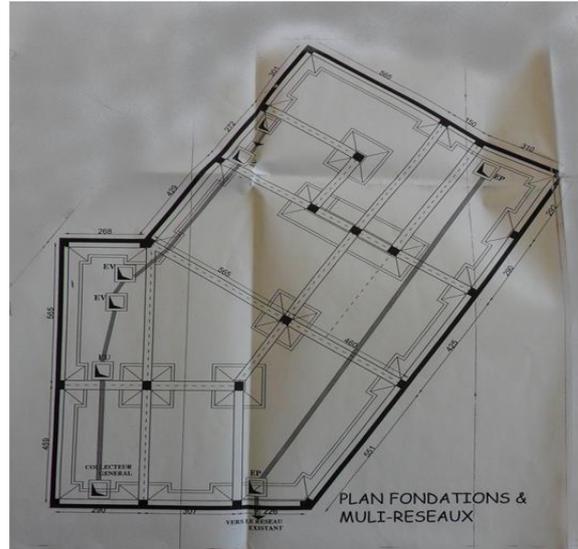
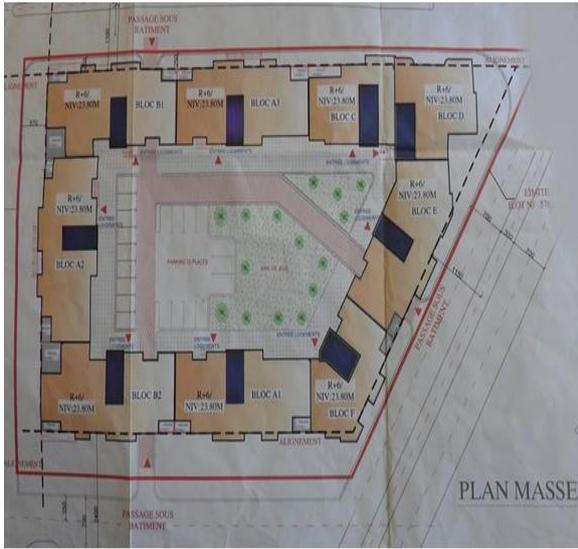
Projet : 170 logements LSP (OPGI)

ANNEXES



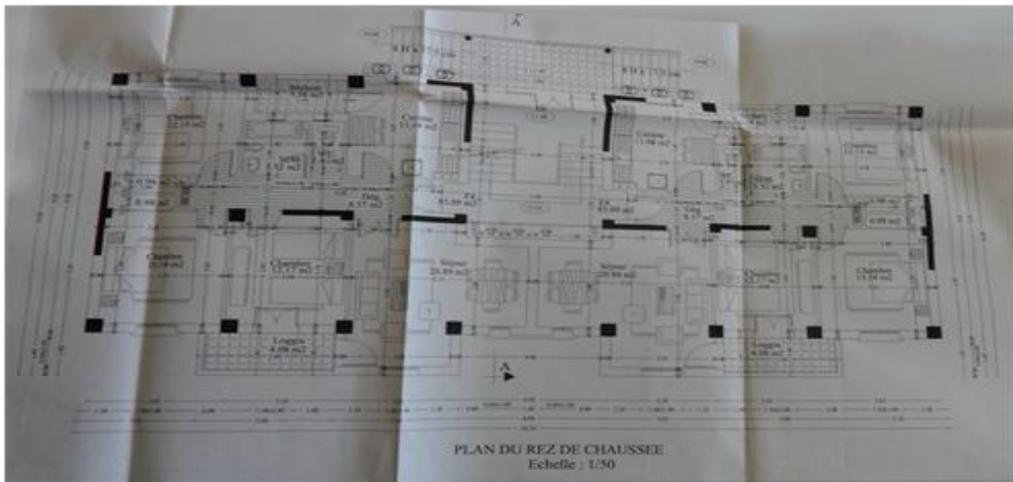
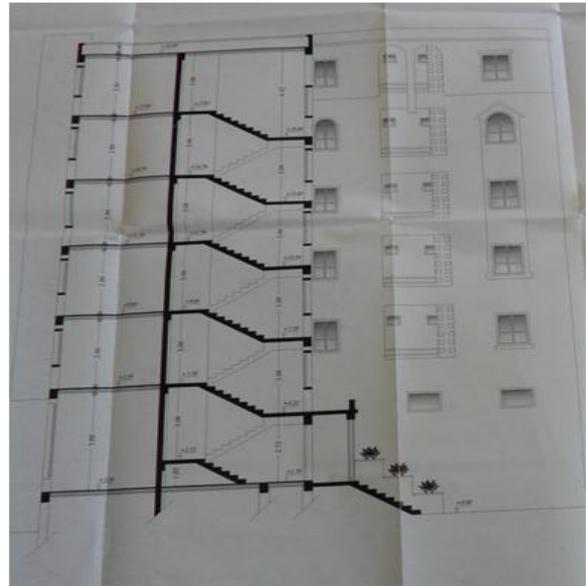
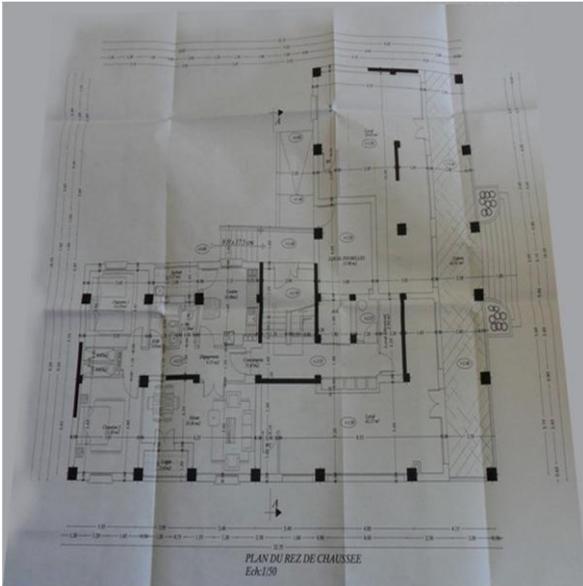
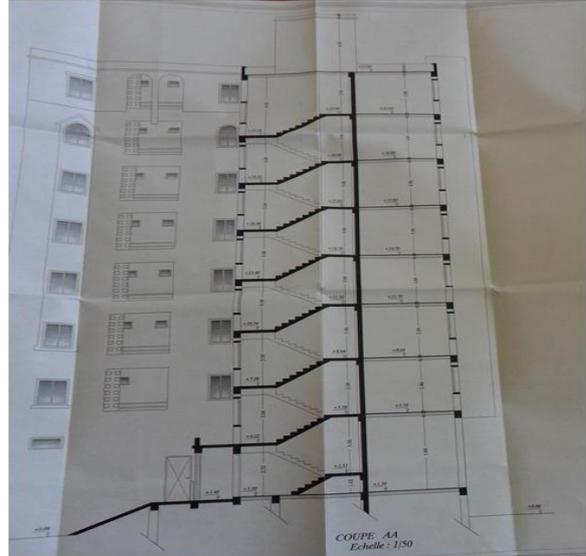
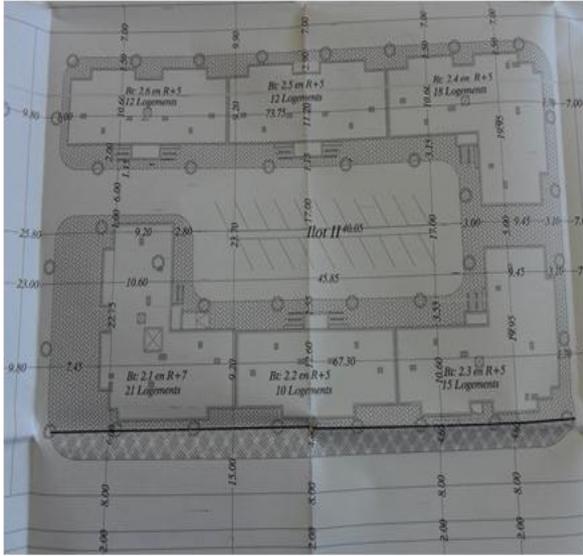
Projet : 200 logements LSL (OPGI)

ANNEXES



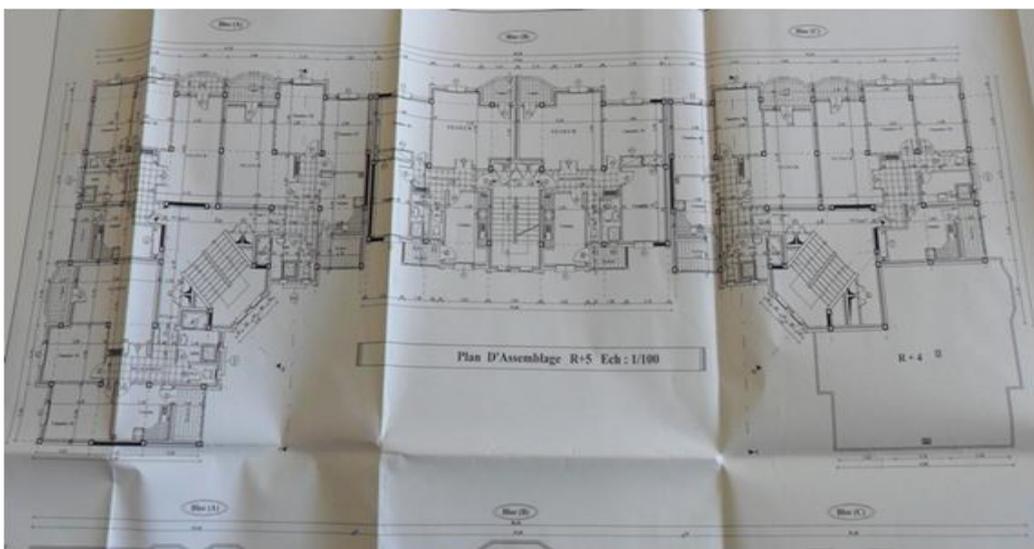
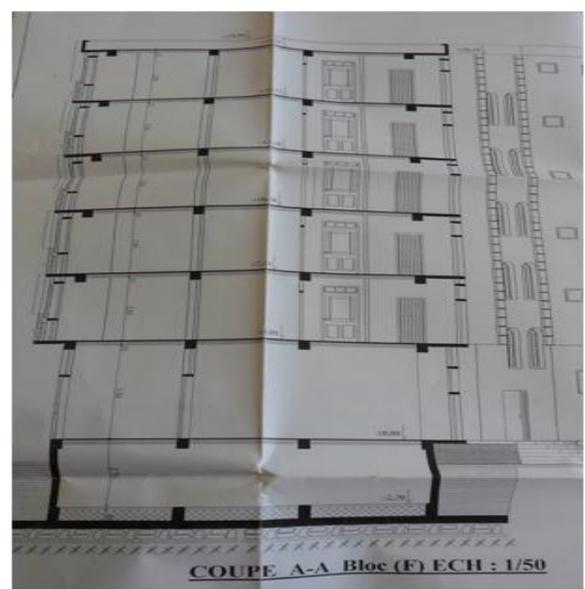
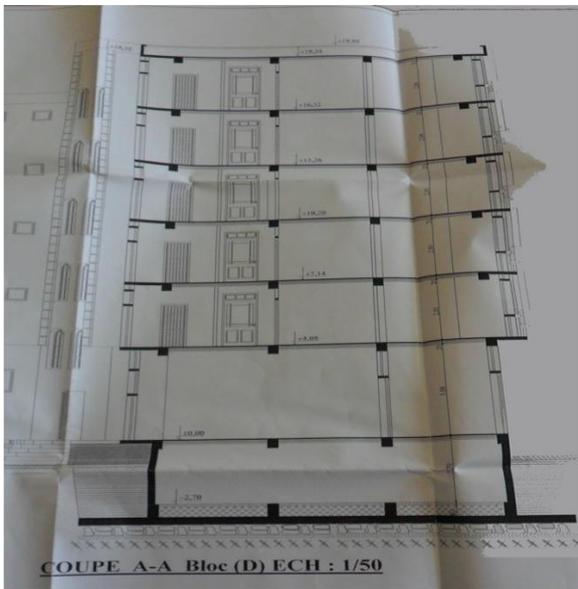
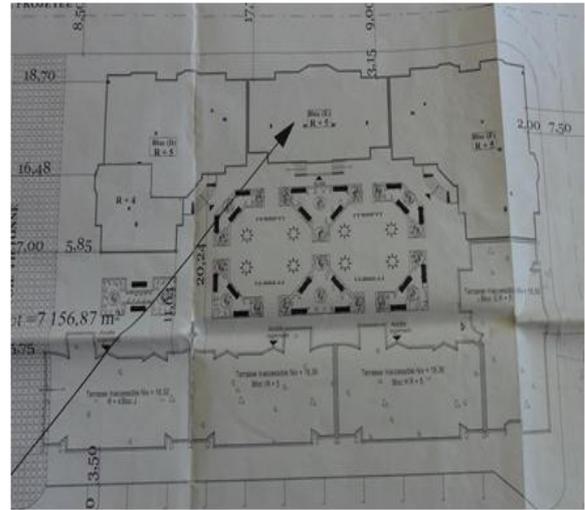
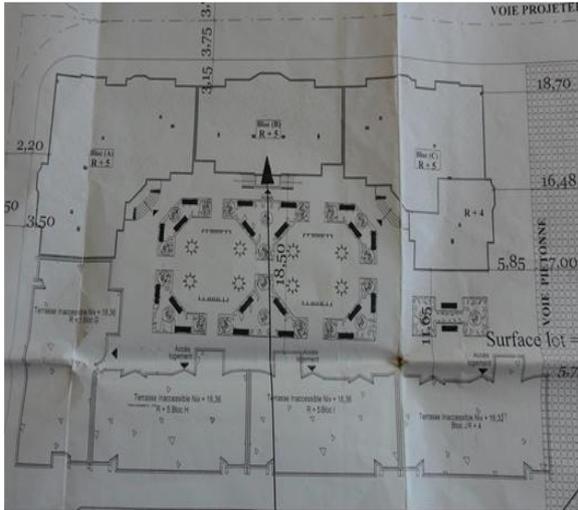
Projet : 120 logements LSL (BATIGEC)

ANNEXES



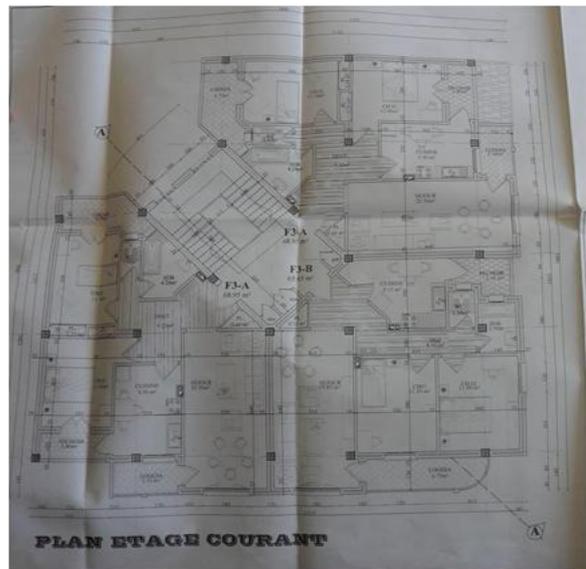
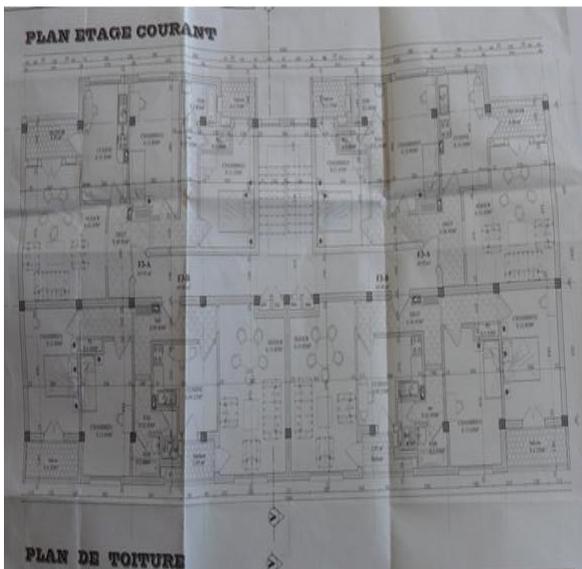
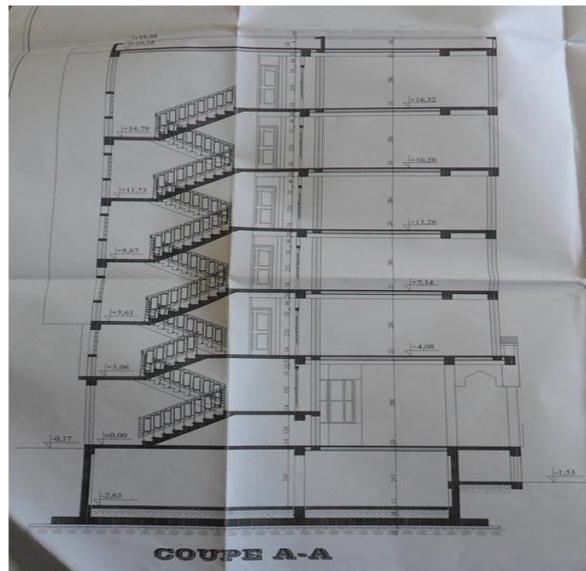
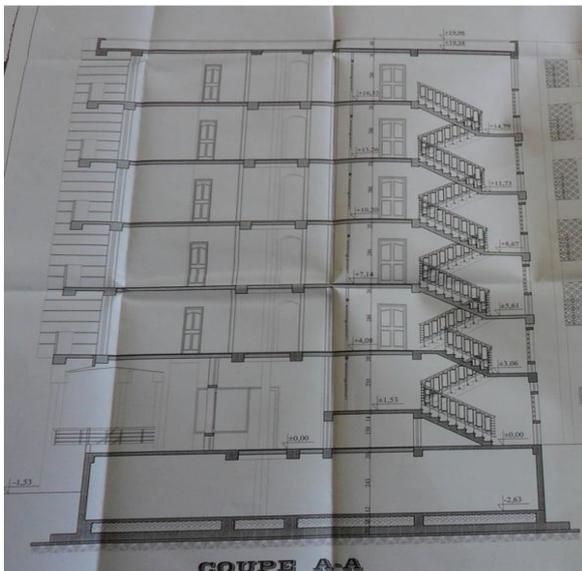
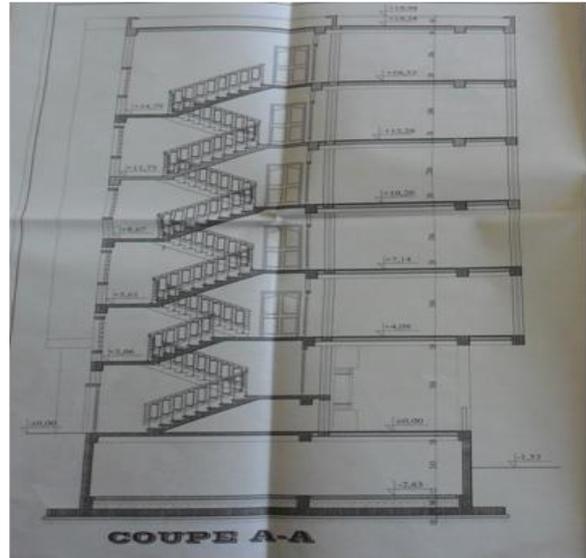
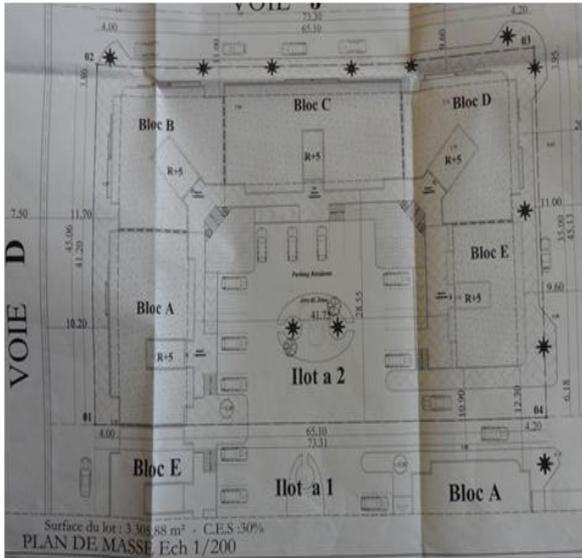
Projet : 175 logements LSP (AADL)

ANNEXES



Projet : 78 logements LSP (OPGI)

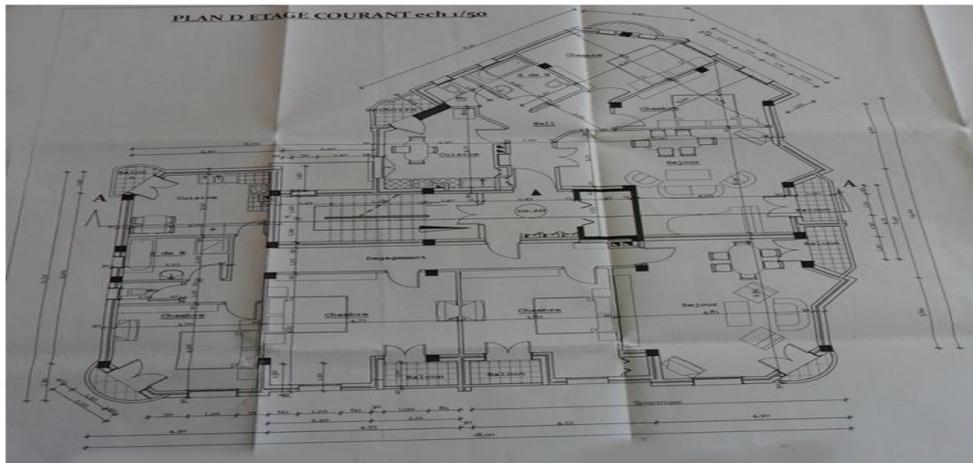
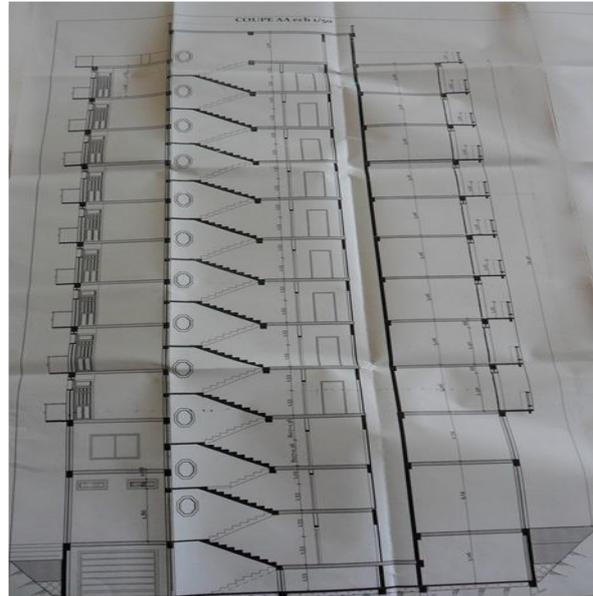
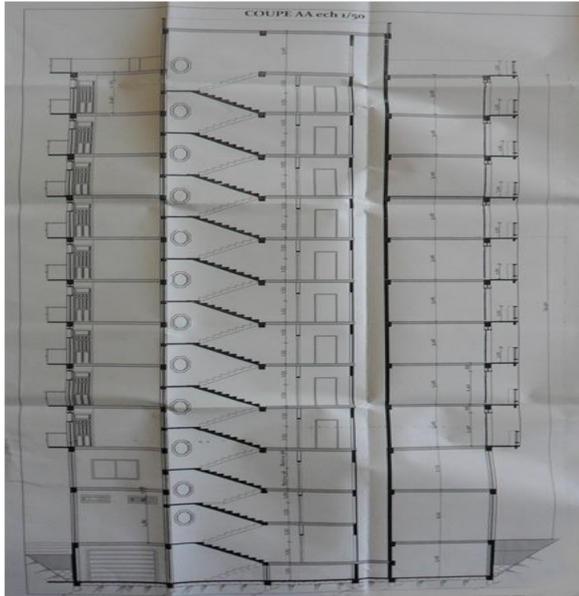
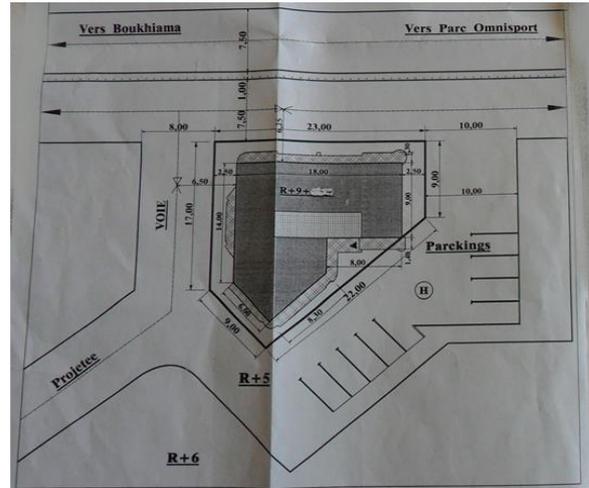
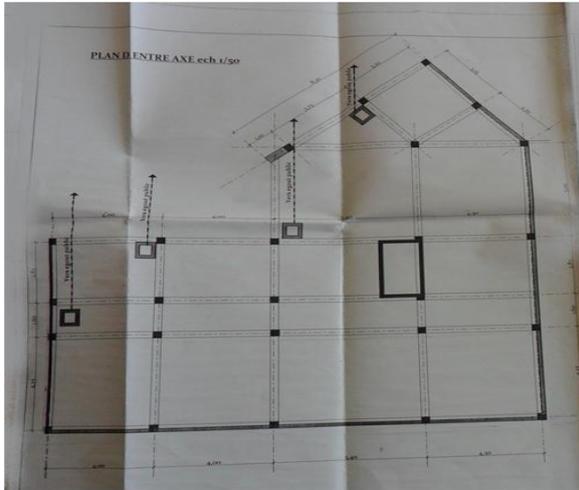
ANNEXES



Projet : 70 logements (REDOUANE BOUZID)

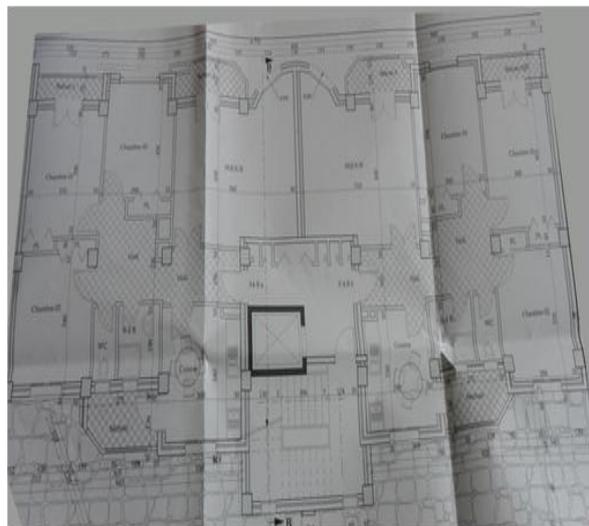
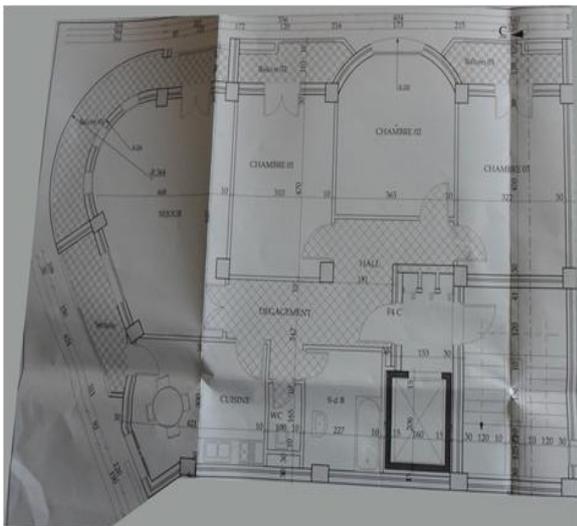
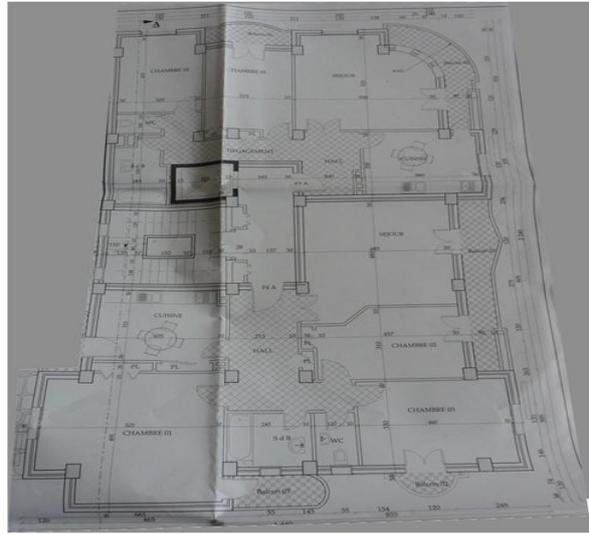
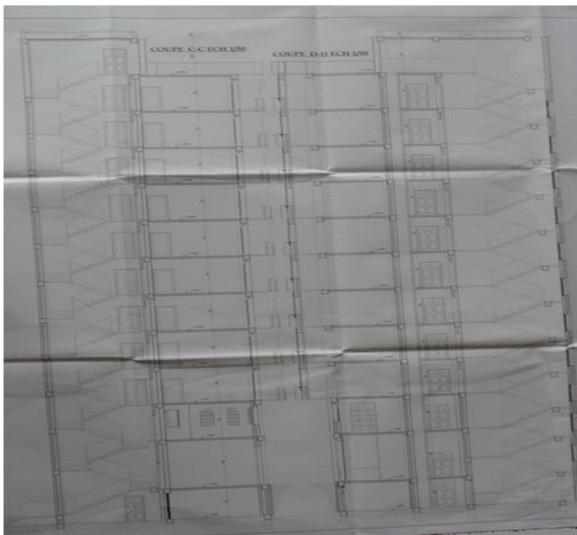
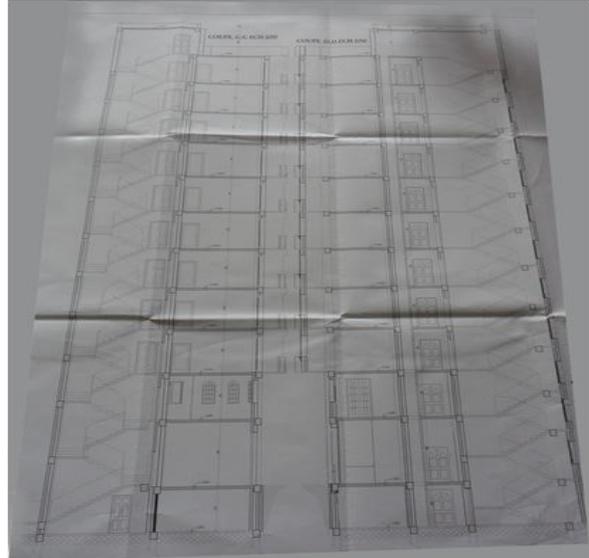
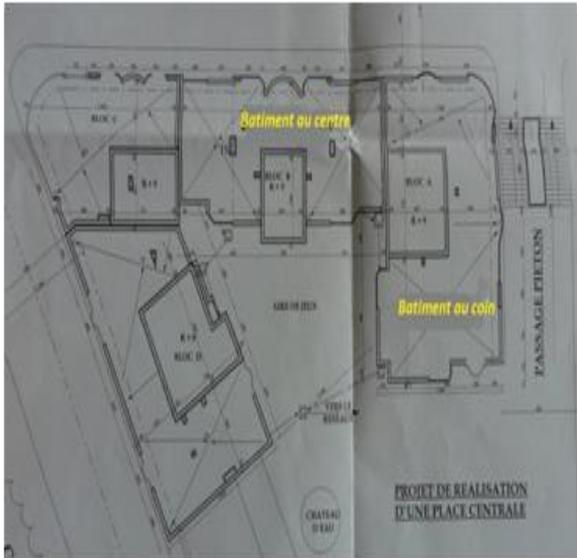
ANNEXES

PROJETS STADE (TARGA-OUZEMOUR)



Projet : 18 Logements collectifs+ locaux commerciaux
et services avec entresol

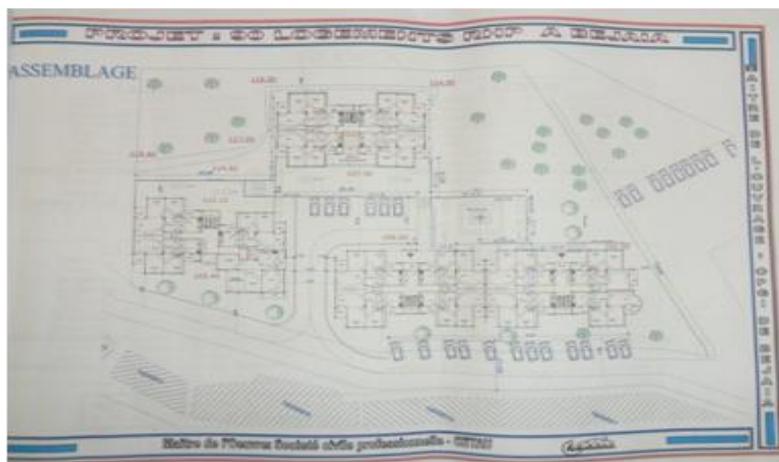
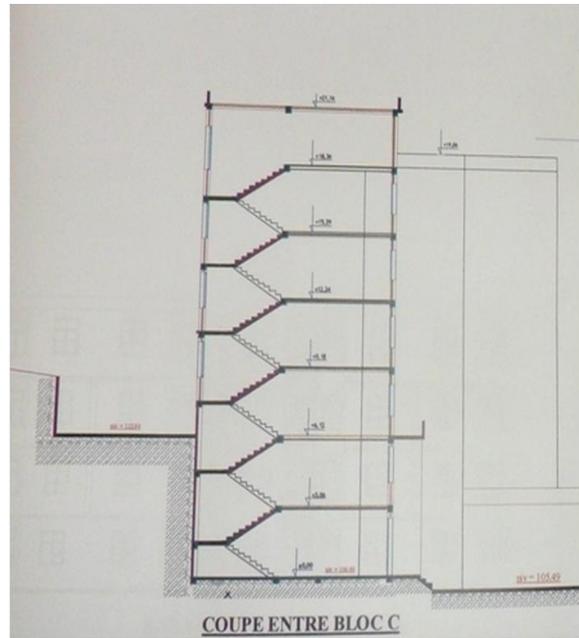
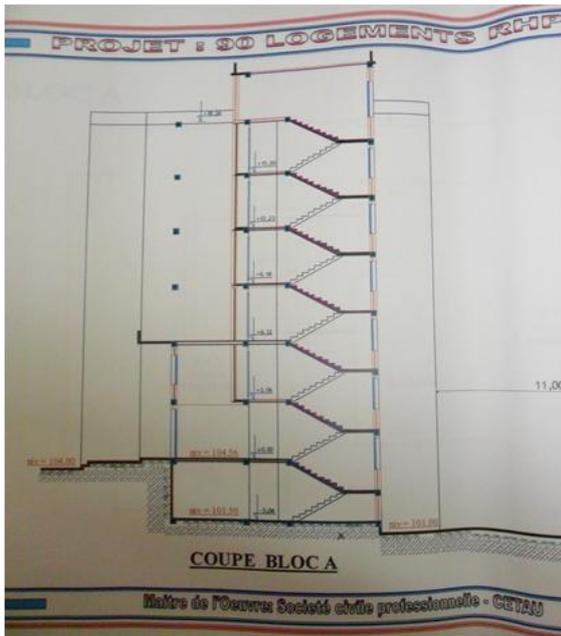
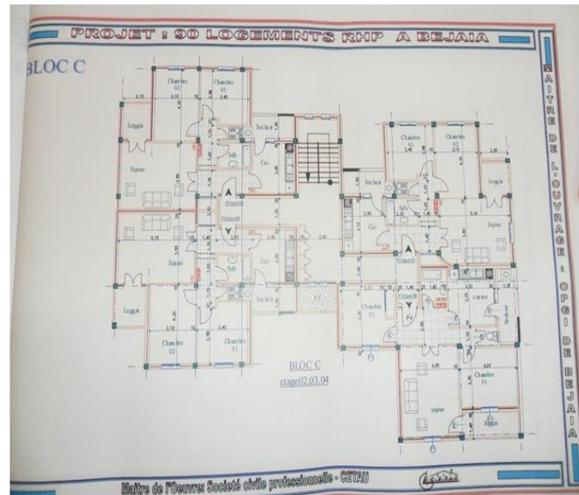
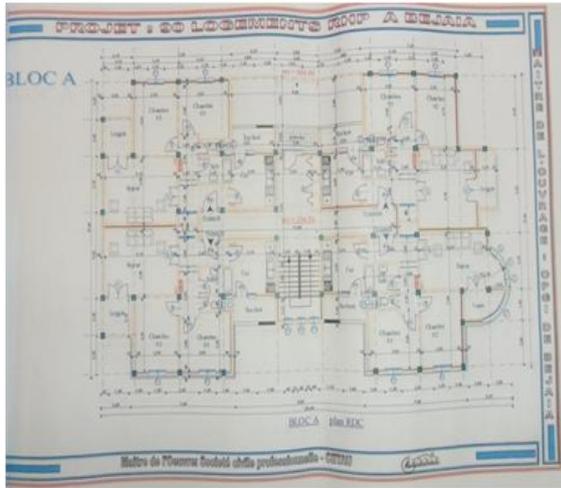
ANNEXES



Projet : 63 Logements plus locaux commerciaux et services avec entresol

ANNEXES

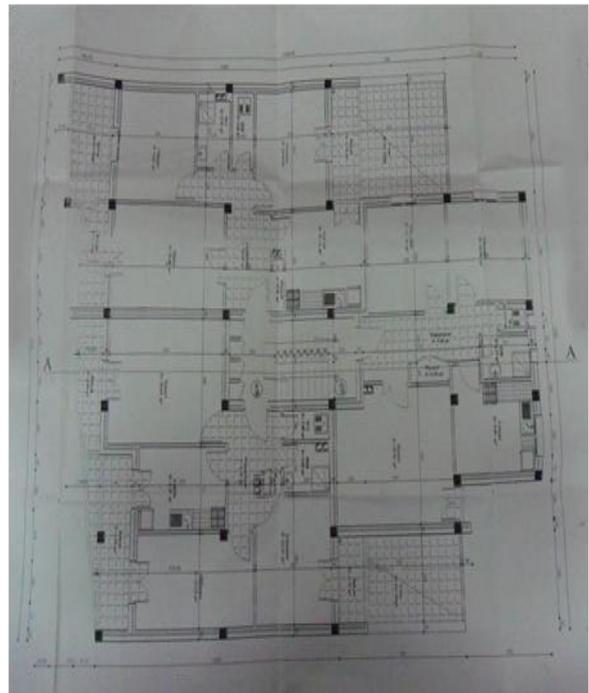
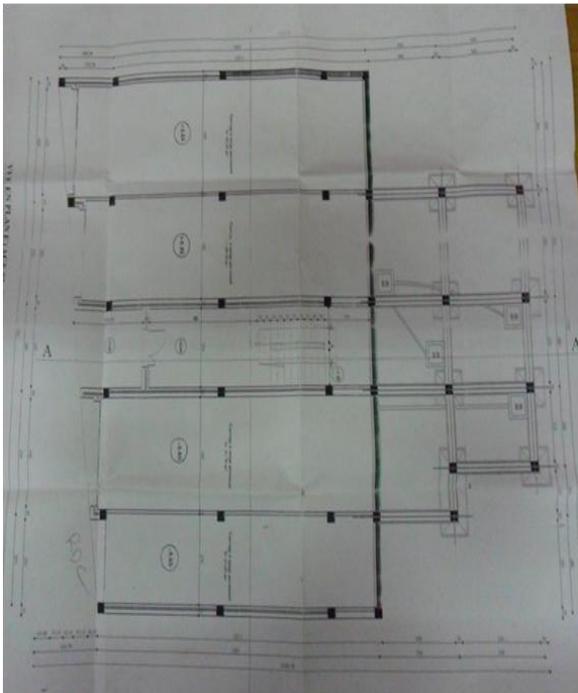
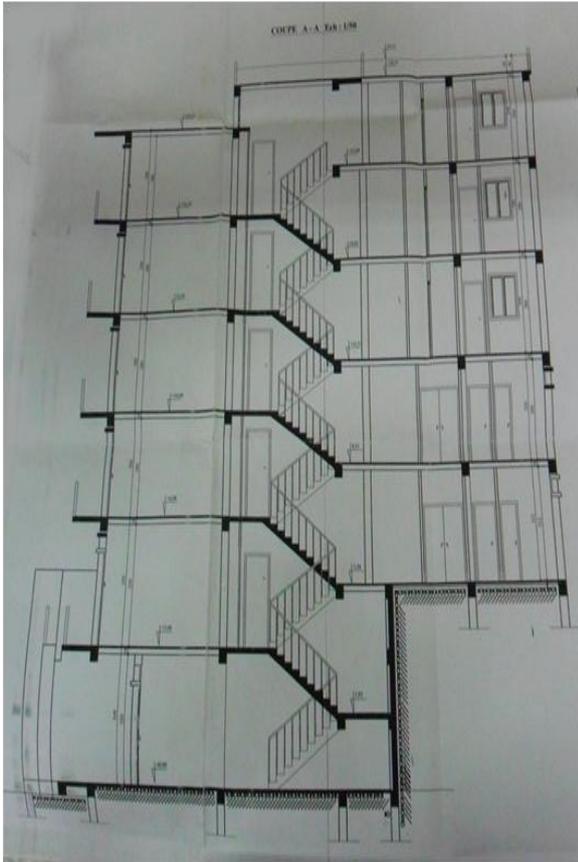
PROJET EL-QUDS



Projet : 18 Logements collectifs plus locaux

ANNEXES

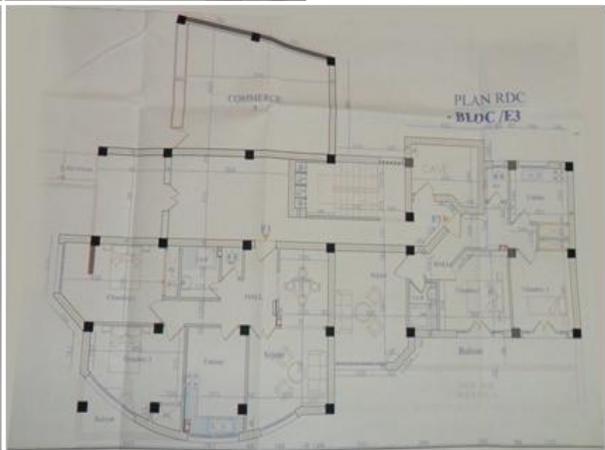
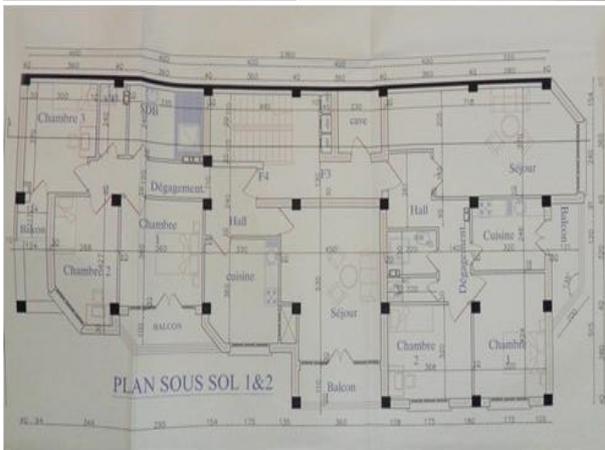
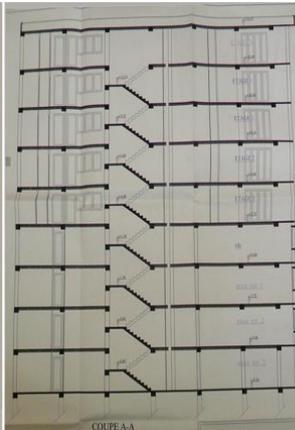
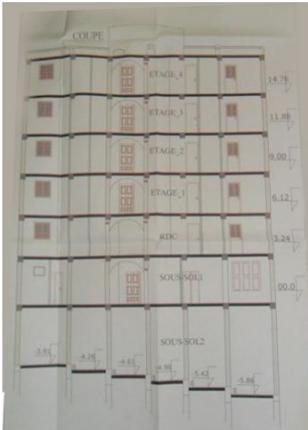
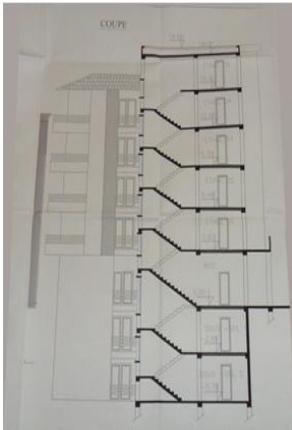
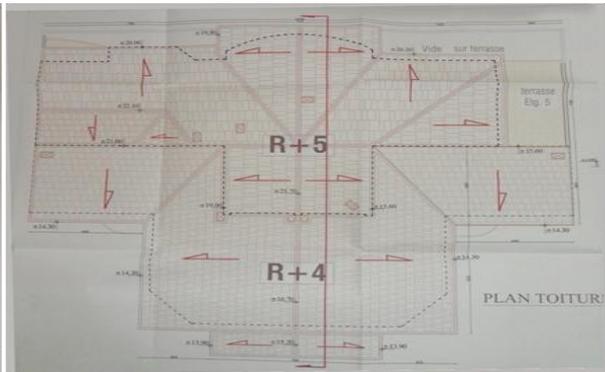
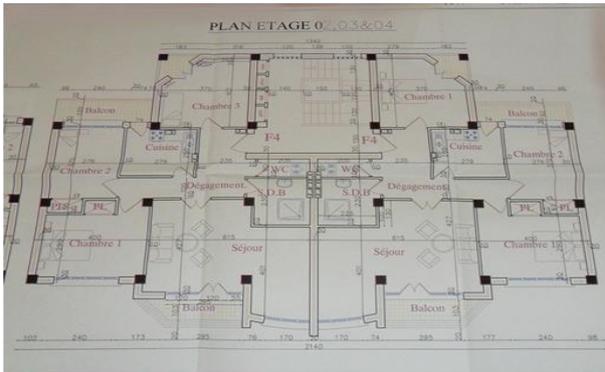
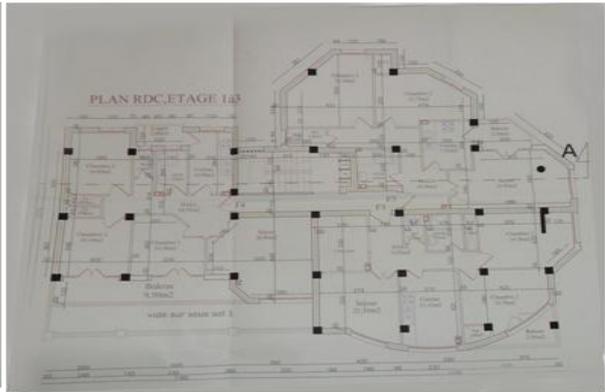
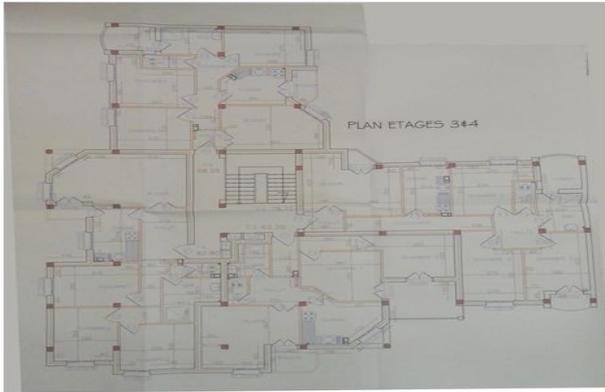
PROJET TALA OURIANE



Projet : Maison à usage habitation plus garages

ANNEXES

PROJETS SIDI AHMED



Projet : 100 logements (LSP)