

UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Science de l'Ingénieur

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Construction

ESTIMATION DE L'INDICE DE VULNERABILITE DE STRUCTURES

Par

YOUSFI Nacim

Devant le jury composé de

N. BOURAHLA	Professeur, U. de Blida	Président
M. HAMMOUTENE	Professeur, E.N.S.P., Alger	Examineur
M. ABED	Professeur, U. de Blida	Examineur
M. BENZAIBI	Maitre de conférences, U. de Blida	Rapporteur

Blida, Mars 2010

ملخص

معظم المدن بالجزائر متكونة من بنايات أنجزت في الفترة الاستعمارية. من بين هذه البنايات نجد البنايات المشتركة (اجر - معدن). هذه البنايات لم تخضع من قبل لدراسة خاصة، مما يجعل تحضير تعاملها مع الزلزال ذات أهمية.

الدراسة الحالية تركز على طريقة "مؤشر الهشاشة" لتقدير الهشاشة الزلزالية لهذا النوع من البنايات. هذه الطريقة تعتمد على تعيين عوامل بإمكانها التأثير على التعامل الزلزالي لبناية مشتركة و تكميمها لتعيين مؤشر الهشاشة الزلزالية لهذه الأخيرة.

تم تطوير برنامج باستعمال « DELPHI » , هذا البرنامج يسمح لنا بإعطاء تصنيف للبنايات المشتركة ذلك عبر مؤشر الهشاشة الذي يتم حسابه. هذا البرنامج سمي (VIP) «Vulnerability Index Program» يجمع أيضا الأنواع الأخرى من البنايات وهي البنايات ذات الأجر، ذات الخرسانة المسلحة و ذات المعدن.

RESUME

Les villes en Algérie sont constituées en grande partie de constructions datant de l'époque coloniale. Parmi ces constructions on y trouve les structures mixtes (maçonnerie – charpente métallique). Ces constructions n'ont pas fait l'objet d'étude spécifique, d'où l'intérêt de prévoir leurs comportement vis-à-vis de l'action sismique. La présente étude se base sur la méthode de « l'indice de vulnérabilité » pour estimer la vulnérabilité sismique de ce type de constructions. Cette méthode consiste à définir des paramètres pouvant influencer le comportement sismique d'une structure mixte et les quantifier afin de définir un indice de vulnérabilité sismique de cette dernière.

Un programme à été développé en utilisant l'environnement « DELPHI », ce programme nous permet de donner une classification des constructions mixtes en fonction de l'lv trouvé. Ce programme appelé « *Vulnerability Index Program* » (VIP) regroupe aussi les autres types de structures à savoir les structures en maçonnerie, en béton armé et en charpente métallique.

REMERCIEMENTS

Louange à DIEU le tout puissant qui nous a donné santé, courage, prospérité et nous avoir guidé vers le savoir.

Je tiens à remercier mes parents, pour leur soutien et leur disponibilité durant toutes ces années. Merci maman, Merci papa.

Je tiens aussi à remercier mon frère YACINE, et ma sœur YASMINE pour leurs encouragements durant mes études.

Je remercie mon encadreur Dr. BENSAIBI, pour sa disponibilité permanente, ses conseils et sa patience pour que je puisse arriver au terme de mon mémoire.

Une pensée particulière pour M. BOUKRI, Mme. BELHEOUENE et M. AMELLAL pour leurs disponibilités et serviabilités durant ce travail.

Je remercie aussi le président ainsi que les membres de jury, pour avoir acceptés de juger mon travail.

Une pensée pour mes collègues de la promotion à qui je souhaite bonne chance dans leurs carrières professionnelles.

Une pensée pour toute ma famille, mes amis et particulièrement AMINA.

Un grand merci à tous du fond du cœur.

NACIM YOUSFI

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1 Appareils utilisés pendant l'antiquité	16
Figure 1.2 Maçonnerie de moellons	18
Figure 1.3 Différents types de murs en moellons	18
Figure 1.4 Maçonnerie de briques	19
Figure 1.5 Maçonnerie de blocs en béton (agglomérés)	20
Figure 1.6 Exemples de maçonnerie composite	20
Figure 1.7 Montréal 1870, Great Scottish Life Insurance, fonte et murs porteurs en maçonnerie a 4 étages	22
Figure 1.8 Londres 1851, Cristal Palace	23
Figure 1.9 Montréal Canada Life Insurance Building Rue St Jacques 8 étages ossature d'acier avec murs de maçonnerie porteuse	25
Figure 1.10 Lausanne (1931-1932) La Tour Bel-Air Métropole	25
Figure 1.11 types de modes de rupture des bâtiments en maçonnerie porteuse	29
Figure 1.12 Fissuration et ruine des murs de contreventement sollicités perpendiculairement à leur plan	29
Figure 1.13 structures a contreventement centré	31
Figure 1.14 structures a contreventement excentré	32
Figure 2.1 Influence de la forme du bâtiment sur les effets dus: à la torsion : concentration de contraintes dans les angles rentrants	44
Figure 2.2 Régularité en élévation	45
Figure 2.3 Régularité en élévation. Niveau rez de chaussée flexible	45
Figure 2.4 Bâtiments avec niveaux transparents	46
Figure 3.1 Organigramme de calcul	57
Figure 3.2 Page d'Accueil	58
Figure 3.3 page d'accès aux différentes applications	59
Figure 3.4 Remplissage de la Fiche Technique 1/3	60

Figure 3.5	Remplissage de la Fiche Technique 2/3	60
Figure 3.6	Remplissage de la Fiche Technique 3/3	61
Figure 3.7	Affichage des coefficients et de l'indice de vulnérabilité	61
Figure 3.8	Affichage du rapport	62
Figure 3.9	02 impasse Mohamed Tounani (ex Isidore Tachet)	64
Figure 3.10	façade principale A	73
Figure 3.11	façade principale B	73
Figure 3.12	l'état du chaînage des murs	73
Figure 3.13	présence des fissures dans les planchers	74
Figure 3.14	présence des profilés métallique corrodés	74
Figure 3.15	les balcons et les garde corps	74
Figure 3.16	la terrasse	75
Figure 3.17	présence des fissures dans l'escalier	75
Figure 3.18	la partie postérieure du bâtiment expertisé ou il y avait le bâtiment démolis	76
Figure 3.19	exemples de remplissage d'une fiche technique pour les constructions en maçonnerie	77
Figure 3.20	Affectations des classes de vulnérabilités et calcul de l'lv	78
Figure 3.21	Affichage du rapport	78
Figure 3.22	exemples de remplissage d'une fiche technique pour les constructions en béton armé	79
Figure 3.23	Affectations des classes de vulnérabilités et calcul de l'lv	80
Figure 3.24	Affichage du rapport	80
Figure 3.25	exemple de remplissage d'une fiche technique pour les constructions en charpente métallique	81
Figure 3.26	Affectations des classes de vulnérabilités et calcul de l'lv	82
Figure 3.27	Affichage du rapport	82
Tableau 1.1	Les paramètres appliqués dans la méthode de l'indice de vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie en Algérie	34
Tableau 1.2	les facteurs « Ki » proposés pour chaque paramètre en fonction de la classe	35
Tableau 2.1	Valeurs du facteur Ki selon les classes de vulnérabilité	50
Tableau 3.1	Résultat de l'application de l'exemple 1	67

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	2
REMERCIEMENTS.....	5
TABLE DES MATIERES.....	6
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GEOGRAPHIQUES ET TABLEAUX.....	9
INTRODUCTION.....	12
1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	14
1.1 Introduction.....	14
1.2 Historique de la construction en maçonnerie.....	14
1.2.1. Les types de maçonnerie et d'appareil	15
1.2.1.1. Maçonnerie ancienne	15
1.2.1.1.1. Appareil grec	15
1.2.1.1.2. Appareil romaine	16
1.2.1.2. Maçonnerie de pierre de taille	17
1.2.1.3. Maçonnerie de moellons	17
1.2.1.4. Maçonnerie de briques	18
1.2.1.5. Maçonnerie de blocs béton	19
1.2.1.6. Maçonneries composites	19
1.2.2. Historique des constructions en charpente métallique	21
1.2.2.1. La fonte, un matériau de moulage	21
1.2.2.2. La poutre en fer forgé.....	22
1.2.2.3. Le rôle de l'acier.....	24
1.3. Comportement sismique des constructions en maçonnerie	26
1.3.1. Dommages et mécanismes de ruine après séisme.....	26
1.4. Comportement sismique des constructions en charpente métallique.....	30
1.4.1. Structures parasismiques à comportement non dissipatif.....	30
1.4.2. Structures parasismiques à comportement très dissipatif	30
1.4.2.1. Les structures à cadres.....	30
1.4.2.2. Les structures contreventées.....	30
1.4.2.2.1. Contreventement centré.....	31

1.4.2.2.2. Contreventement excentré.....	32
1.5. Objectifs d'une étude de la vulnérabilité sismique des constructions.....	32
1.5.1. Estimation de la vulnérabilité sismique des bâtiments.....	33
1.5.2. Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les constructions.....	33
en maçonnerie Appliquée en Algérie	
1.5.3. Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les constructions.....	35
en charpente métallique appliquée en Algérie	
1.6. Conclusion.....	36
2. METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE	37
2.1. Introduction.....	37
2.2Méthode développée.....	37
Etape 01 : Choix des paramètres	38
Etape 02 : Classement des paramètres	38
Etape 03 : Définition des classes de vulnérabilité	49
Etape 04 : Détermination de la valeur de K_i	49
2.3. Classification des structures.....	51
2.4. Elaboration de la fiche technique des constructions mixtes maçonnerie.....	51
charpente métallique	
2.5. Conclusion	55
3. VALIDATION ET APPLICATION.....	56
3.1. Introduction	56
3.2. Présentation du logiciel utilisé	56
3.3. Organigramme de calcul	56
3.4. Présentation du logiciel VIP	58
3.4.1. Partie interface utilisateurs.....	58
3.4.2. Partie programme.....	62
3.5. Validation.....	63
3.6. Application.....	68
3.7. Applications pour les différents types de structures.....	77
3.7.1. Structures en maçonnerie.....	77
3.7.2. Structures en béton armé.....	79
3.7.3. Structures en charpente métallique.....	81

3.8. Conclusion.....	83
CONCLUSION.....	84
ANNEXES.....	85
REFERENCES.....	91

ABSTRACT

Most buildings in Algeria cities are from french period. Among these buildings mixed structures (masonry – steel) have not been largely studied. So, the prediction of their behavior against seismic event is an important deal.

The present study is based on the « vulnerability index method » to estimate the seismic vulnerability of this kind of structures. This method define the parameters having an influence on the seismic behavior of a mixed structure and quantify them in order to evaluate the vulnerability index of this one.

Using the « DELPHI » environment, a program was developed allowing the classification of this kind of structure according the « Iv » fond.

This program called « Vulnerability Index Program » (VIP), includes also other kind of structures as masonry, reinforced concrete and steel structures.

INTRODUCTION

L'homme a toujours cherché à exploiter la terre, mais souvent il se retrouve face à des phénomènes naturels, tel que les volcans, les inondations, les cyclones, les raz de marée, les glissements des terrains et les séismes. Pour limiter leurs impacts sur les différentes infrastructures qui existent ainsi que sur les humains, l'homme a toujours cherché à prévoir des scénarios catastrophiques qui peuvent se produire.

Le séisme, est parmi les phénomènes les plus dévastateurs sur la planète, car son impact conduit généralement vers des pertes économiques et humaines considérables, on peut voir toute une ville se détruire seulement en quelques secondes. On peut citer par exemple le séisme du Chili en 1970, de la Chine en 2008...etc, et en Algérie, Chlef 1980 et Boumerdes en 2003.

Le tremblement de terre devient de plus en plus une préoccupation des pouvoirs publics et même des citoyens notamment dans les zones sismiques.

Afin de pouvoir réduire les pertes économiques et humaines, plusieurs méthodes de vulnérabilité sismique ont été élaborées, permettant d'évaluer les degrés de dommages des différentes infrastructures des agglomérations. Ces infrastructures on peut les classer en plusieurs catégories, telles que les actifs économiques, les réseaux vitaux et les bâtiments.

Dans le présent mémoire, nous nous sommes intéressés à la dernière catégorie, où nous avons étudiés les constructions mixtes maçonnerie – charpente métallique.

Nous avons divisés notre mémoire en trois chapitres, la première partie concerne l'étude bibliographique où nous allons présentés un bref historique des constructions mixtes en maçonnerie et charpente métallique, ainsi que leurs différents comportements sismiques.

Dans le deuxième chapitre, la méthode de l'indice de vulnérabilité sismique pour les constructions mixtes sera développée. Le principe consiste à choisir des paramètres

et les définir, ainsi que des classes de vulnérabilités, et affecter un coefficient pour chaque paramètre dans les différentes classes. Cela conduit à déterminer l'indice de vulnérabilité des structures mixtes et les classer.

Le chapitre de ce mémoire, sera consacré à la mise en oeuvre informatique, et testé sur un certain nombre d'exemples. Ce programme appelé « Vulnerability Index Program » (VIP), est conçu sous un environnement DELPHI. Les programmes conçus pour les constructions en maçonnerie, en béton armé et en charpente métallique, seront intégrés au programme développé afin d'avoir un seul outil permettant le calcul de l'indice de vulnérabilité des constructions.

Enfin une conclusion générale et des recommandations seront données.

CHAPITRE 1

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Introduction

Les catastrophes qui frappent l'homme découlent de la réalisation d'un risque, celui-ci résulte de la conjonction des aléas, des éléments à risque et de la vulnérabilité qui existe sur un territoire défini et pendant une période de temps donnée. Le risque n'est pas figé de la part de ses composants, il varie en fonction du temps et de l'espace. Afin de pouvoir diminuer le risque, l'analyse de l'élément à risque (constructions) est important voir nécessaire. Mais il est nécessaire aussi de connaître les systèmes structuraux qui composent ces constructions. L'analyse de l'état d'une construction passe donc par l'évaluation de son degré de dommages. L'évaluation des degrés de dommages de chaque partie d'une structure conduira alors à estimer l'état général de la construction. Cette analyse peut se faire après un séisme : c'est l'étude post –sismique, ou avant un séisme, elle est appelée alors étude pré-sismique.

Après avoir analysé une construction et estimer son état général, on pourra donc évaluer sa vulnérabilité vis-à-vis d'un séisme.

1.2. Historique de la construction en maçonnerie [1]

Par définition, la maçonnerie est un composé de briques de terre cuite ou d'agglomérés liés entre eux par un mortier. Tant dans le bâtiment que pour les ouvrages d'art, la maçonnerie fut l'une des techniques de construction prépondérantes jusqu'à l'apparition des structures métalliques et du béton armé. Actuellement, la maçonnerie s'utilise presque exclusivement pour des éléments verticaux tels que murs porteurs, ou cloisonnements, généralement pour des constructions de petites

dimensions. Si la maçonnerie garde encore un attrait certain dans la construction, c'est que la manutention sur chantier des briques peut être réalisée avec des moyens légers et que la mise en oeuvre ne nécessite aucun équipement lourd, il suffit d'une truelle, d'une caisse à mortier, d'un niveau et d'un fil à plomb. Il existe plusieurs types de maçonnerie et de murs utilisés dans les constructions, nous allons en présenter les plus connus.

1.2.1. Les types de maçonnerie et d'appareil [2]

Il existe une très grande variété de maçonnerie en raison du nombre de matériaux utilisés:

Pierres naturelles, briques crues ou en terre cuite trouées ou non trouées, blocs de béton (agglomérés), mortiers de chaux ou de ciments, ainsi que différentes dispositions possibles dans le plan des murs (appareils) ou dans l'épaisseur.

1.2.1.1. Maçonnerie ancienne

Cette dernière remonte à la période antique (Grec et Romaine), et peut être résumé comme suit :

1.2.1.1.1. Appareil grec [3]

- L'appareil polygonal : Les pierres sont taillées pour s'imbriquer les unes dans les autres et les espaces sont réduits au minimum. Elles ont néanmoins plusieurs côtés. (Il commence à être employé au VII^e siècle) (voir figure 1.1).
- L'appareil isodome et pseudo isodome (figure 1.1) : il est caractérisé par des assises de pierres de même hauteur disposées en quinconce. Les pierres sont obligatoirement rectangulaires. Ces pierres peuvent être décorées par la technique du bossage: on bombe la partie visible. [VI^e av. J-C]

Pour le pseudo isodome, les assises sont de même hauteur, mais les pierres n'ont pas les mêmes formes, ou le contraire, ou les deux.

Ces appareils ont été repris par les Romains qui les ont adapté ensuite. Mais chez les Romains, on privilégie la brique à la pierre, contrairement aux Grecs.

1.2.1.1.2. Appareil romaine [3]

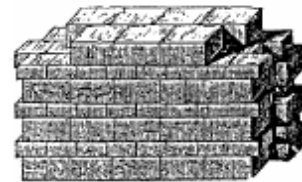
- L'opus incertum : assemblage de petits moellons, non taillés, disposés les uns au-dessus des autres pour former le mur. [III^e-I^{er} siècle av. J-C / Rome], (voir figure 1.1).
- L'opus reticulatum / quasi-reticulatum. Les moellons sont parallélépipédiques de forme apparente en damier. Les pierres s'imbriquent régulièrement. (I^{er} - ½ II^e a.p J-C). Le quasi, est une transition entre l'incertum et le reticulatum, (voir figure 1.1).
- L'opus Mixtum : c'est un mélange entre le pseudo isodome, le reticulatum et la construction en brique,(voir figure 1.1).



Appareil polygonal



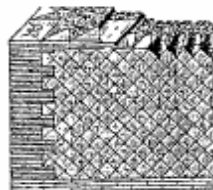
appareil isodomum



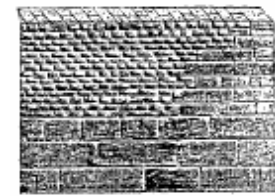
appareil pseudoisodomum



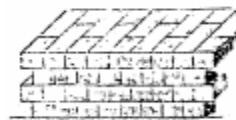
opus incertum



opus reticulatum, appareil réticulé



appareil mixte



Petit appareil en brique crue

Figure 1.1: Appareils utilisés pendant l'antiquité [2]

1.2.1.2. Maçonnerie de pierre de taille [2]

Les appareils de la maçonnerie de pierre de taille sont généralement réguliers (genre appareils "isodom" des grecs), l'esthétique résidant essentiellement dans la taille et la finition des parements.

1.2.1.3. Maçonnerie de moellons [2]

On distingue en gros quatre types d'appareils dont chacun peut comporter des variantes régionales liées soit à des habitudes locales, soit aux caractéristiques des matériaux disponibles.

Les maçonneries de moellons bruts peuvent comporter deux parements (Figure I.2) formés des moellons les plus réguliers, l'intérieur du mur contenant des pierres et matériaux de toutes dimensions (tout venant). On parle alors souvent de murs à double épaisseur ou murs doubles.

Le niveau de cohésion entre les deux parements dépend de la présence de pierres taillées (boutisses ou parpaings) dans l'épaisseur du mur. Les désordres se traduisent souvent par un bouffement consécutif à une désolidarisation des deux parements.

Les maçonneries de moellons assisés sont exécutées comme les maçonneries de moellons bruts mais par assises horizontales dont les hauteurs peuvent être régulières ou irrégulières.

En principe, dans ces maçonneries, l'épaisseur des joints doit être régulière et réduite de 1 ou 1.5 cm à 2 ou 3 cm selon la finesse de taille des moellons.

L'épaisseur des murs en moellons varie suivant le nombre d'appareils ou de couches dans l'épaisseur (Figure I.3). Généralement, pour des raisons d'isolation, les murs extérieurs sont formés de deux parements et leur épaisseur varie de 45 à 60 cm. Les murs intérieurs ou les murs des combles peuvent être des murs simples dont l'épaisseur est de l'ordre de 15 à 30 cm suivant les matériaux utilisés.

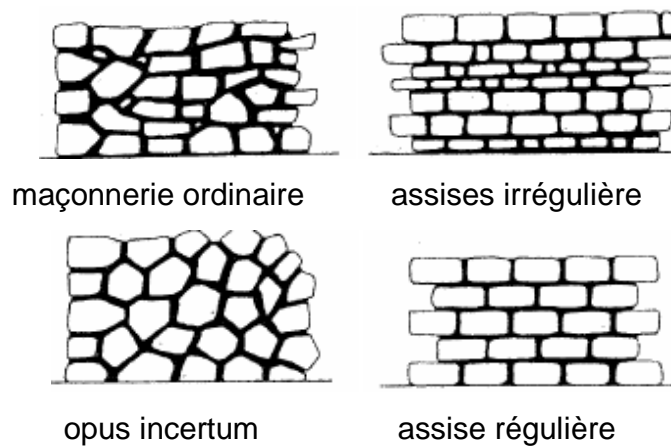


Figure 1.2: Maçonnerie de moellons [2]

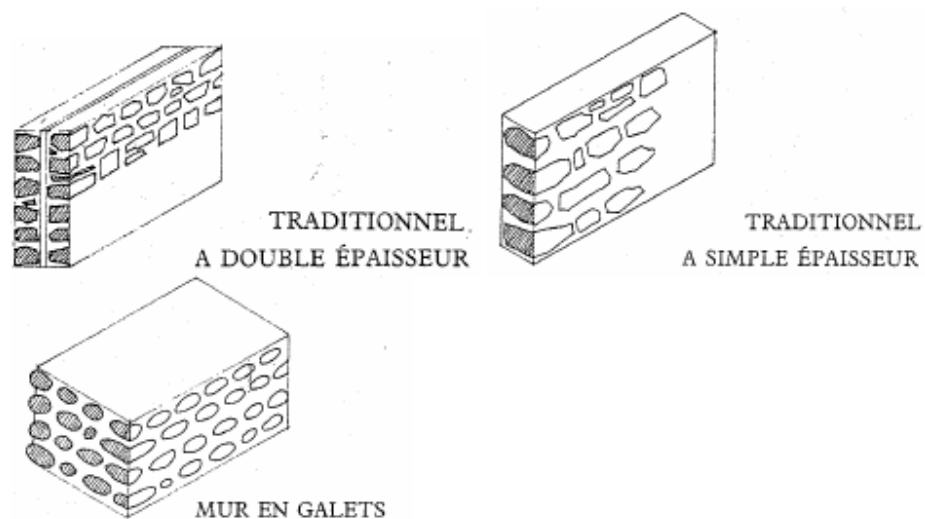


Figure 1.3: Différents types de murs en moellons [2]

1.2.1.4. Maçonnerie de briques [2]

Les appareils de briques sont extrêmement nombreux. Ils sont étudiés en fonction de l'épaisseur cherchée (6, 11, 22, 34, 45 cm, etc.), le croisement des joints verticaux devant toujours être au moins de 5 cm (voir figure 1.4).

1.2.1.5. Maçonnerie de blocs béton [2]

Des blocs béton (parpaings ou agglomérés) sont employés dans des murs simples de maisons individuelles ou immeubles contemporains de faibles hauteurs. L'isolation thermique est souvent assurée par un autre matériau n'ayant aucun rôle structurel (figure 1.5).

1.2.1.6. Maçonneries composites [2]

Ce sont des maçonneries de plusieurs sortes de matériaux dont la disposition relative peut avoir un but purement esthétique ou, plus généralement, être étudiée avec un souci de résistance de l'ensemble. Dans ce cas, les matériaux les plus résistants seront disposés en chaînages verticaux et/ou horizontaux assurant la liaison des matériaux moins nobles utilisés en remplissage. Cette liaison est réalisée par l'appareillage en harpe des chaînes qui présentent des redans dans lesquels s'engage la maçonnerie de remplissage (figure 1.6).

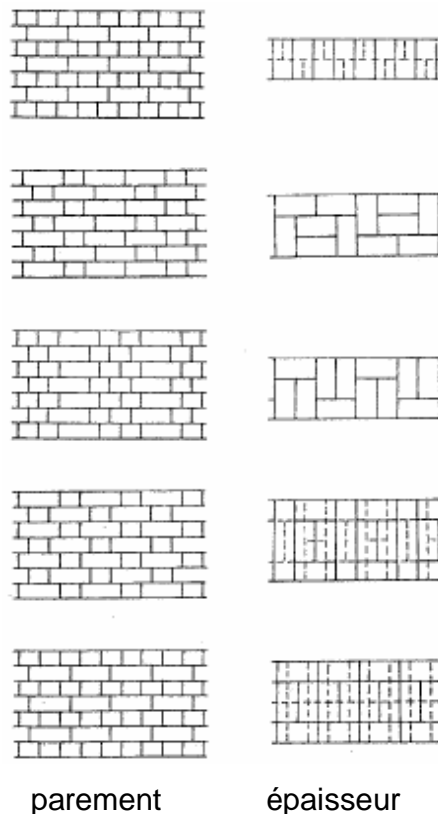


Figure 1.4 : Maçonnerie de briques [2]

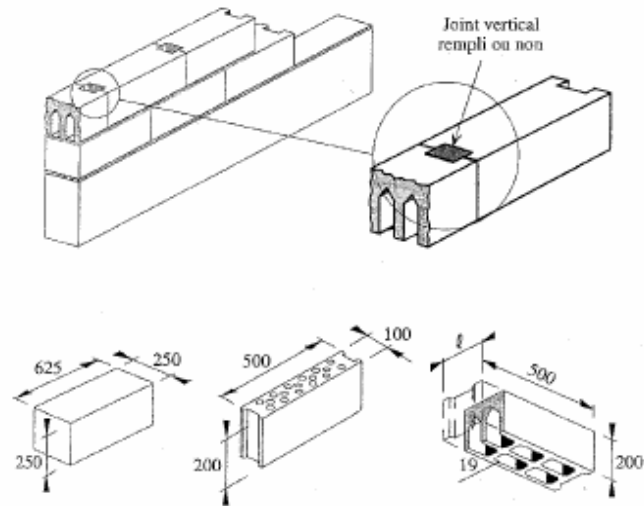


Figure 1.5: Maçonnerie de blocs en béton (agglomérés) [2]

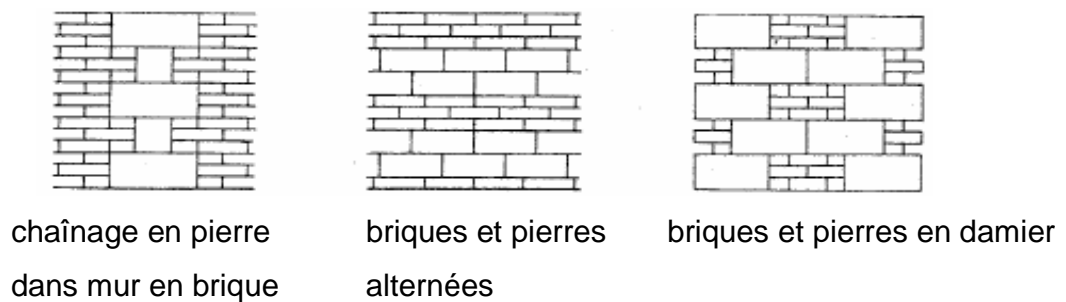


Figure 1.6: Exemples de maçonnerie composite [2]

La maçonnerie a toujours été utilisée et pendant plusieurs siècles dans la construction des ouvrages, mais vu les limites en terme de résistance et en hauteur des ouvrages construits en maçonnerie, on a commencé à chercher à introduire des matériaux, pour pouvoir aller plus loin dans les constructions : construire solide et grand.

1.2.2. Historique des constructions en charpente métallique [4]

Au cours du 19^{ème} siècle nous assistons à une diversification sans précédent des techniques de construction. Au sein de cet ensemble de transformations. Le développement de l'architecture métallique constitue le phénomène le plus marquant. Aux premiers édifices faisant appel à la fonte succèdent des constructions en fer puis en acier. Tandis que la fonte, qui résiste mal aux efforts de traction est principalement utilisée sous forme de colonnes et d'arcs. Le fer et l'acier vont conduire alors à des dispositions originales.

1.2.2.1. La fonte, un matériau de moulage [4]

La fonte, produit brut du haut fourneau (l'antique méthode du bas fourneau permettait d'obtenir directement le fer, mais en petites quantités), sort liquide du creuset; on peut la couler dans des moules; on en fait des éléments décoratifs, car on la moule facilement.

Au début du 19^{ème} siècle, la fonte sera considérée comme un matériau neuf et merveilleux qui sera employée universellement.

La colonne en fonte [4]

Grâce à sa grande résistance à la pression, soixante fois supérieure à celle d'un calcaire, elle est utilisable pour les supports: piliers, colonnes, poteaux.

Parmi les éléments constituant la nouvelle structure métallique, la colonne en fonte a été le premier élément à être employé sans problèmes étant donné qu'elle résiste bien à la compression. A partir de la moitié du 18^{ème} siècle. bien avant l'invention de la machine à vapeur. la charpenterie en bois des structures des anciens ateliers anglais de tissage va être remplacée par des éléments structuraux en fer de fonte pour répondre à la nécessité des grands espaces qu'exigeaient les nouvelles machines.

C'est ainsi que la fonte et le fer forgé vont être intégrés dans les constructions (voir figure 1.7) où ils constitueront les seuls éléments pouvant résister au feu permettre de grandes portées et faciliter l'érection de bâtiments à étages nécessaires à la production en masse ou au stockage de grande quantité de marchandise.



Figure 1.7: Montréal 1870, Great Scottish Life Insurance, fonte et murs porteurs en maçonnerie à 4 étages [5]

En 1970, Les incendies (Chicago) démontrent que la fonte est vulnérable et démontrent aussi un problème de stabilité au niveau des connexions poutres/colonnes.

On veut construire plus haut, mais on doit assurer la protection contre le feu et augmenter la rigidité : on enrobe les colonnes de fontes de briques ou terra-cotta. La production de poutres en fer forgé par laminage débute aux Etats Unis.

1.2.2.2. La poutre en fer forgé [4]

Le fer, obtenu par décarburation de la fonte au four à puddler, est malléable (peut être forgé) et résiste bien à la traction, il va donc remplacer le bois dans les charpentes ou les planchers.

La poutre est un élément important de la structure supportant des efforts différents de ceux du poteau. C'est pour cette raison que son emploi dépendra du développement de la recherche sur les matériaux et du procédé de laminage. Nous devons la première poutre en fer de fonte (33 cm d'épaisseur) aux efforts conjoints de Boulton et Watt elle sera employée pour la construction d'une manufacture de tissage à Salford près de Manchester en 1801, ce bâtiment est long de 42 mètres, large de 14 mètres et haut de

7 étages, chose exceptionnelle à l'époque. Pour la première fois des poutrelles de fer forgé sont employées en même temps que des colonnes en fonte. L'usage du fer comme matériau de construction s'accroîtra encore de plus en plus à la suite du perfectionnement du système de laminage et de l'invention des charnières en acier.

Le perfectionnement de la poutre métallique est lié directement au développement du rail du chemin de fer. C'est du rail de chemin de fer que proviendra la section typique de la poutre structurale normalisée de section en « I ». Le rail de Jessop (1789) sera d'abord remplacé par celui en fer forgé de section en « T » de Bikenshaw (1820). Ce dernier rail va conduire au premier rail américain en 1831 de section en « T », plus large à la base que le haut. Ce sera la section définitive qui sera adoptée universellement. Cette section en « I » sera de plus en plus employée mais ne sera utilisée à grande échelle qu'après 1854, lorsqu'il sera possible de laminier des poutres de cette section plus lourdes et plus longues, permettant une portée potentielle plus importante (voir figure 1.8).



Figure 1.8 Londres 1851, Cristal Palace [6]

Cet édifice construit en 1851 pour l'exposition internationale de Londres. Il est basé sur un module de revêtement en verre reposant sur une ossature métallique. La réalisation de ce bâtiment dura quatre mois, ce qui représentait un record pour une construction d'une telle envergure.

1.2.2.3. L'acier [4]

L'acier, obtenu par un affinage particulier, est plus homogène que le fer, et sa résistance à la traction est deux fois plus grande, trois fois pour l'acier fondu. Dans tous les cas où l'allégement des structures est nécessaire. L'acier prend à la fin du 19^{ème} siècle, peu à peu la place du fer.

L'assemblage des éléments en acier difficile à réaliser avec le fer forgé a pu être industrialisé au milieu du 19^{ème} siècle par le rivetage à chaud des tôles et des cornières laminées: cette technique sera remplacée plus tard par celle de la soudure.

Les ingénieurs tout au long du 19^{ème} siècle essayeront diverses méthodes dans le but d'augmenter la portée des éléments de support métalliques en construisant des membrures épaisses et en utilisant des cornières et des tôles avec le même matériau. Signalons que ce procédé était généralement employé dans la construction navale. Ainsi W. Fairbairn a jeté en grande partie les bases d'une nouvelle évolution. Comme constructeur de navires, de ponts et de bâtiments industriels, il entreprendra dans son laboratoire de Manchester des expériences avec des tubes et permettant ainsi la réalisation du Britania Tubular Bridge.

Dans un livre écrit par W. Fairbairn "*Applications de la fonte et du fer forgé à la construction*" (1854) il divulguera un système perfectionné pour la construction de manufactures à plusieurs étages où des poutres laminées en fer de 40.5 cm d'épaisseur supportaient des voûtes basses en tôles, le tout recouvert avec du béton. Dans ce même ouvrage, Fairbairn rapporte l'exemple d'une remarquable construction de quatre étages à la charpente métallique qui fut érigée par l'ingénieur Greene en 1860 dans le chantier navale de Sheerness en Grande-Bretagne. Dans son utilisation systématique de sections métalliques en fonte pour les poteaux et du fer forgé pour les poutres - ce hangar à navires de Sheerness anticipait à la fois la section normalisée et la méthode d'assemblage des constructions modernes à ossatures en acier (voir figure 1.9 et 1.10).



Figure 1.9: 1894, Montréal Canada Life Insurance Building Rue St Jacques 8 étages
Ossature murs de maçonnerie porteuse [5]

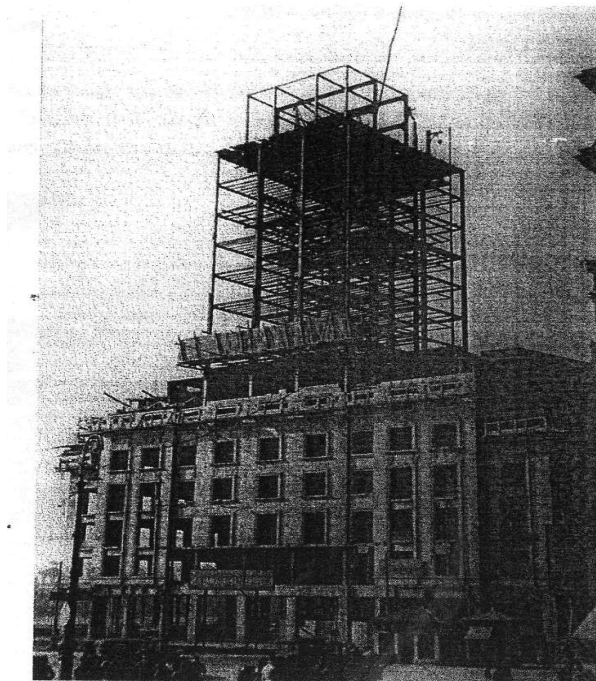


Figure 1.10 : Lausanne (1931-1932) La Tour Bel-Air Métropole [6]
Cette construction fut parmi les premières construites entièrement en acier.

Afin de pouvoir comprendre les causes des désordres qui peuvent apparaître dans les constructions mixtes maçonnerie-charpente métallique, il est évident de savoir comment se comporte chaque type de ses constructions vis-à-vis du séisme.

1.3. Comportement sismique des constructions en maçonnerie [2]

L'effet d'un séisme sur une maison ou un immeuble en maçonnerie peut être appréhendé en analysant les mécanismes de résistance de la structure soumise à des forces horizontales proportionnelles à la masse des différents éléments (planchers, toitures et planchers). Si les connexions sont suffisantes pour rendre solidaires les éléments de la structure et si les planchers et la toiture jouent leur rôle de diaphragme horizontal, les forces horizontales qui s'appliquent aux éléments les plus lourds (principalement les planchers, la toiture et les murs) sont transmises aux éléments horizontaux (planchers) puis aux éléments verticaux (murs de contreventement). Les murs cisailés dans leur plan transmettent alors ces efforts vers les fondations.

Une tenue correcte aux chargements sismiques exige:

- 1.** les éléments verticaux (contreventements) et horizontaux (planchers et toiture) soient solidaires entre eux. De bonnes connections entre planchers et murs porteurs ainsi qu'entre murs porteurs perpendiculaires permettent ainsi d'éviter le basculement des murs perpendiculairement à leur plan et de transmettre les forces d'inertie des planchers vers les murs de contreventement.
- 2.** les contreventements horizontaux (planchers et toiture) soient assez rigides et résistants pour assurer leur rôle de diaphragmes horizontaux et transmettre les efforts sismiques.
- 3.** les contreventements verticaux (murs porteurs, portiques, panneaux de remplissage rigides) soient suffisants dans les 2 directions. La qualité du contreventement dépend de la section des murs participant au contreventement dans chaque direction ainsi que de la qualité de la maçonnerie.

1.3.1. Dommages et mécanismes de ruine après séisme [2]

Les dégâts observés sur les éléments structuraux peuvent être classés en différentes catégories et niveaux :

- Première catégorie

Le mouvement des éléments de construction tels que les façades perpendiculairement à leur plan entraînent une fissuration verticale plus ou moins complète de l'angle entre la façade et le mur de refend. Ces fissures sont plus ouvertes vers le haut de la construction.

Ces dommages sont causés principalement par la flexion hors plan des murs et mettent en évidence les défauts suivants :

- Absence de diaphragmes horizontaux
- Absence de liaisons des murs aux diaphragmes horizontaux
- Murs de portée importante entre les éléments transversaux tant horizontaux que verticaux
- Faiblesse des liaisons de la façade d'une maison à un mur mitoyen construit antérieurement

- Deuxième catégorie

Le mouvement des éléments de contreventement parallèlement à leur plan provoque la fissuration de ces éléments. On peut observer des fissures inclinées à 45 degrés partant des angles des ouvertures, portes ou fenêtres et/ou des fissurations horizontales dans les joints.

Ces dommages sont causés principalement par :

- des efforts de traction dus à la flexion des murs (fissures horizontales)
- des efforts de cisaillement dans le plan des murs (fissures en croix)
- désolidarisation des 2 parements des murs doubles

Ils mettent en évidence les défauts suivants :

- dimensions insuffisantes des trumeaux ou dimensions exagérées des ouvertures
- absence de chaînages et d'encadrement des ouvertures
- absence de liens entre les 2 parements assurant la cohésion des murs

- Troisième catégorie

Effondrement de la toiture causé par :

- les forces d'inertie engendrées dans la toiture
- des déformations importantes des murs perpendiculairement à leur plan

Ces dommages mettent en évidence les défauts suivants :

- Absence de liaison efficace des murs à la toiture et aux diaphragmes des planchers
- toiture trop lourde
- toiture incorrectement contreventée
- ancrage de charpente insuffisant

- Quatrième catégorie

Les 3 familles de dommage précédentes peuvent évidemment apparaître simultanément et entraîner l'effondrement complet de la structures en raison de :

- une action sismique très importante
- la rupture des maçonnerie par traction ou cisaillement
- l'arrachements des solives et charpentes
- l'absence ou la faiblesse des éléments horizontaux et verticaux
- l'absence de diaphragme rigide
- la toiture lourde et insuffisamment contreventée
- l'exécution médiocre
- le délabrement de la construction

- Cinquième catégorie

Interaction entre les bâtiments mitoyens d'un îlot.

La juxtaposition de plusieurs bâtiments au sein d'un îlot rend le comportement sismique de chaque bâtiment plus complexe et peut être à l'origine de dégâts supplémentaires causés par:

- les chocs entre 2 maisons en raison l'une largeur de joint insuffisante ou d'un joint rempli de matériaux
- une différence de dimensions (hauteur, largeur) de 2 bâtiments ayant un mur mitoyen unique
- une inhomogénéité de matériaux et de comportements structurels en raison, par exemple, de phases de construction successives.

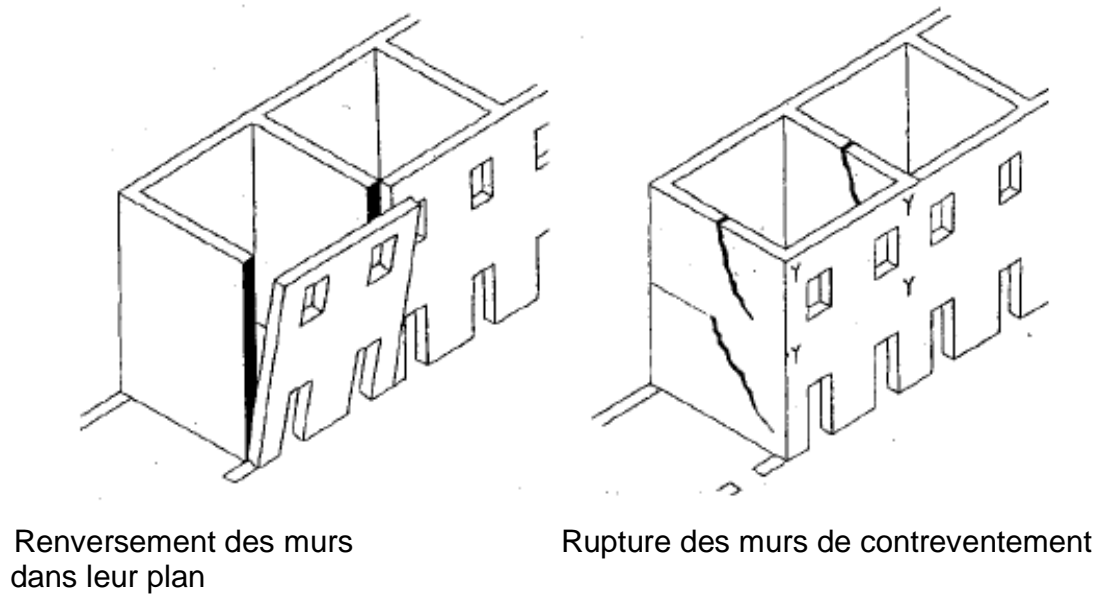


Figure 1.11 : types de modes de rupture des bâtiments en maçonnerie porteuse [2]

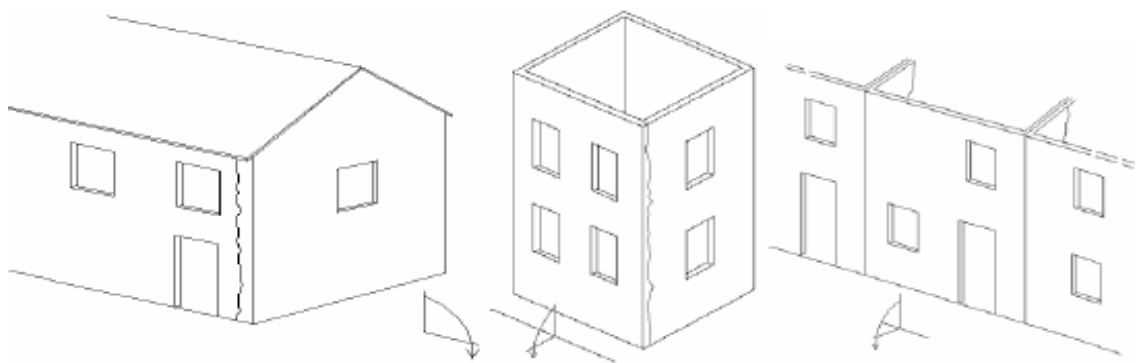


Figure 1.12 : Fissuration et ruine des murs de contreventement sollicités perpendiculairement à leur plan [2]

Dans les figure 1.11 et 1.12, on peut remarqué les désordres qui peuvent se produire au niveau d'intersection des murs, ce qui remet en cause généralement les liaisons entre ces derniers.

1.4. Comportement sismique des constructions en charpente métallique [7]

Les structures sont classées en différents types en tenant compte à la fois de leur rigidité et de leur résistance plastique (Ductilité) vis-à-vis l'action sismique. Ce classement se traduit dans les valeurs affectées au coefficient de comportement global d'une structure « R » qui peut être utilisé dans l'analyse de la structure. Le détail sur la classification des structures selon leurs coefficient de comportement est présenté dans le chapitre 2.

1.4.1. Structures parasismiques à comportement non dissipatif [7]

Ces structures ne relèvent d'aucune classification particulière en terme de conception parasismique.

Le coefficient de comportement R à adopter dans les calculs doit être égal à 1, comme pour les contreventements en K.

Un contreventement en K ne peut pas être considéré comme dissipatif parce qu'il exigerait la coopération du poteau au mécanisme plastique ; en effet, ce mécanisme tend à former une rotule plastique dans le poteau dès que la résistance en compression de la diagonale du contreventement est dépassée (voir figure 1.13).

1.4.2. Structures parasismiques à comportement très dissipatif [7]

Dans cette catégorie, on trouve les structures dont les déformations plastiques sont très importantes sans atteindre la rupture. On distingue:

1.4.2.1. Les structures à cadres

Ces structures résistent aux efforts sismiques essentiellement par la résistance en flexion des barres et la résistance des assemblages dits rigides.

1.4.2.2. Les structures contreventées

Vis-à-vis du comportement dissipatif de ces structures, le système de contreventement peut être conçu de deux manières différentes : soit de manière « centrée », soit de manière « excentrée ».

1.4.2.2.1. Contreventement centré

Il s'agit de structures classiques en treillis pour lesquelles les lignes d'épure du système de contreventement (les lignes des centres de gravité) ne présentent aucun excentrement par rapport à l'intersection des lignes moyennes des barres.

Les systèmes de contreventement centré se classent comme suit :

a) Contreventement en croix de Saint-André

Dans ce système, il est admis de considérer que seules les barres de contreventement en traction, pour un sens donné de l'action sismique horizontale, interviennent avec efficacité dans la résistance dissipative de la structure (voir figure 1.13).

b) - Contreventement en V

Dans ce système, le point d'intersection des diagonales de contreventement se trouve sur la barre horizontale qui doit être continue. La résistance à l'action sismique horizontale ne peut être procurée qu'en considérant la participation conjointe des diagonales tendues et comprimées.

Dans la mesure où les diagonales de contreventement comprimées doivent intervenir dans la stabilité de la structure, le comportement global dissipatif de ce type de structure est moins efficace que le précédent comme il est indiqué sur la figure 1.13.

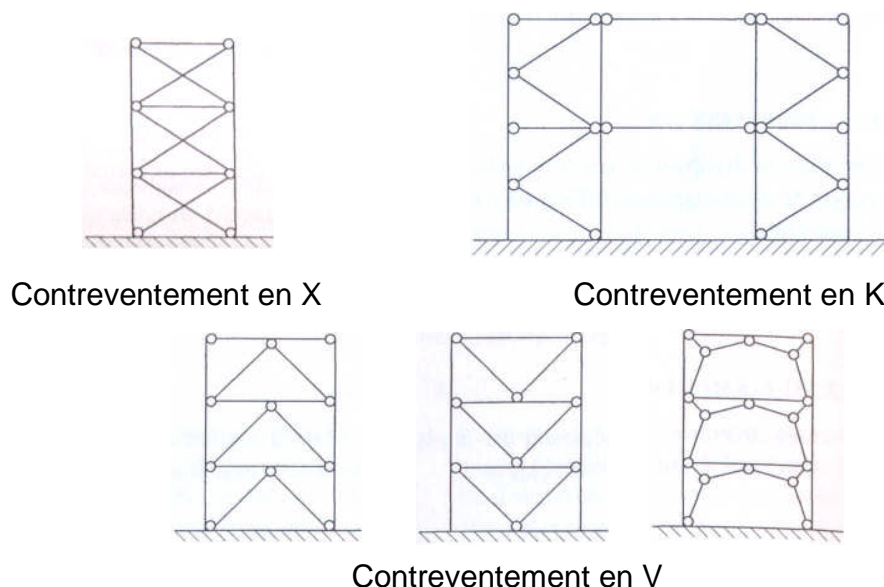


Figure 1.13: structures à contreventement centré [7]

1.4.2.2.2. Contreventement excentré

Il s'agit d'un système où les lignes d'épure des barres de contreventement ne passent pas par les intersections des lignes moyennes des poutres et poteaux, la figure 1.14 montre les différents systèmes qui existent.

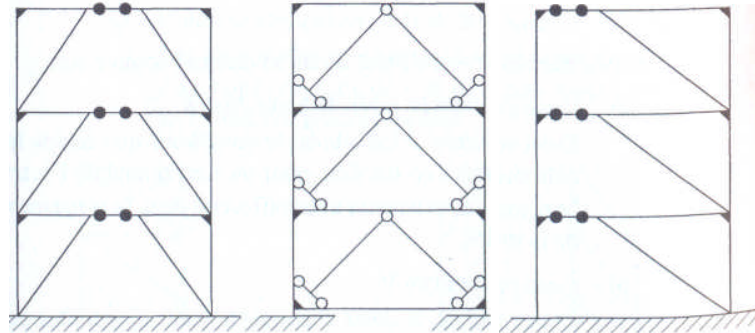


Figure 1.14: structures à contreventement excentré [7]

1.5 Objectifs d'une étude de la vulnérabilité sismique des constructions [9]

Les études de vulnérabilité peuvent avoir deux objectifs :

1. Estimer les dommages prévisibles aux personnes et aux biens, juste après le séisme pour décider des moyens de secours à mettre en place. En effet, les zones touchées par un séisme majeur sont généralement isolées dans les heures qui suivent un séisme en raison des dommages matériels et de la désorganisation engendrée par la catastrophe.

2. Identifier les bâtiments les plus vulnérables aux séismes de façon à planifier et organiser une politique de renforcement du bâti existant. Cette approche, sans aucune évaluation des dommages et des pertes, a l'avantage de pouvoir hiérarchiser les priorités en termes d'aménagement et d'identifier les secteurs les plus sensibles aux secousses sismiques.

Purement relatif, cet objectif, une fois atteint, améliore la connaissance du bâti de la zone étudiée, et donne les bases d'une étude de vulnérabilité exhaustive. L'échelle étudiée peut être celle d'un pays, d'une région, d'une commune ou d'un parc

immobilier (par exemple, l'ensemble des écoles ou des bâtiments stratégiques d'une région).

Ce type d'estimation peut intéresser les propriétaires d'un parc immobilier au sens large (Etat, villes...) ainsi que les assureurs.

Une étude de vulnérabilité sismique est donc le premier pas vers la détermination des bâtiments nécessitant un diagnostic approfondi et des confortements éventuels.

Pour remplir ces objectifs, il existe différentes méthodes permettant l'estimation de la vulnérabilité sismique des structures.

1.5.1. Estimation de la vulnérabilité sismique des bâtiments

Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité sismique des bâtiments sont nombreuses et sont fonction de plusieurs facteurs tel que le système constructif.

Il y a plusieurs sources de fonction de vulnérabilité dans la littérature pour différentes classes de structure se basant sur l'observation des séismes passés et/ou sur l'estimation théorique et expérimentale. On peut citer les méthodes :

IZIIS, EPM, GNDT (level 1), GNDT (level 2), EMS, ainsi que les méthodes de l'indice de vulnérabilité [8].

1.5.2. Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie Appliquée en Algérie [10]

Inspirée des travaux de Benedetti et Petrini, cette méthode permet d'évaluer la vulnérabilité sismique des constructions en maçonnerie, en tenant compte de l'influence des éléments structuraux et non structuraux sur la réponse sismique de la construction qui ne peuvent être pris en compte dans les classifications typologiques qui se basent sur la nature du matériau de construction.

La méthode de l'indice de vulnérabilité consiste à attribuer une valeur numérique à chaque bâtiment dite « Indice de vulnérabilité » ou « Iv », qui est une représentation de sa qualité sismique. Cette valeur numérique représente la somme pondérée des valeurs numériques exprimant la qualité sismique des éléments structuraux et non structuraux.

Pour le calcul de l'indice de vulnérabilité des bâtiments, les paramètres considérés sont regroupés avec leurs classes dans le tableau suivant :

Tableau 1.1 : Les paramètres appliqués dans la méthode de l'indice de vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie en Algérie [10]

Elements	Classes				Facteur de pondération
	A	B	C	D	
Résistance totale au cisaillement	0	5	25	45	1.50
Régularité en plan	0	5	25	45	0.50
Régularité en élévation	0	5	25	45	0.50
Connexion des murs	0	5	25	45	1.00
Type de murs	0	5	25	45	0.25
Planchers	0	5	25	45	0.25
Toiture	0	15	25	45	0.25
Conditions du sol	0	5	25	45	0.75
Details	0	0	25	45	0.25
Maintenance	0	5	25	45	1.00
Socioculturel	0	5	25	45	0.50

Il est à noter que l'élément détail, dans cette méthodologie, regroupe plusieurs facteurs qui sont :

Etat du remplissage, du bardage, des cloisons, des balcons, du garde-corps, des corniches, acrotère, des cheminées, vide sanitaire (murs porteurs), vide sanitaire (poteaux), état du réseau électrique, du réseau gaz, du réseau eau, du réseau d'assainissement et du réseau téléphonique.

Dans cette méthode, une classification des bâtiments est proposée en fonction de leur Iv. Ainsi quatre classes de vulnérabilité sont distinguées.

1.5.3. Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les constructions en charpente métallique Appliquée en Algérie

De même que pour les structures en maçonnerie [10], la méthode de l'indice de vulnérabilité « Iv » a été adaptée pour les structures en charpente métallique [12].

Pour le calcul de l'indice de vulnérabilité des constructions en charpente métallique, les paramètres considérés sont regroupés avec leurs classes dans le tableau suivant :

Tableau 1.2 : les facteurs « Ki » proposés pour chaque paramètre en fonction de la classe [12]

Elements	Classes/ Ki		
	A	B	C
Ductilité	0.00	1.5	2.5
Capacité sismique	0.25	1.25	2.00
Qualité des assemblages	0.25	1.5	2.5
Maintenance	0.25	1.00	1.5
Type de sols	0.50	0.75	1.00
Diaphragme horizontal	0.50	0.75	1.00
Flambement de la structure	0.50	1.00	1.5
Régularité en plan	0.50	0.75	1.00
Modification	0.50	0.75	1.00
Régularité en élévation	0.50	0.75	1.00
Entrechoquement	0.50	0.75	1.00
Implantation de l'ouvrage	0.50	0.75	1.00
toiture	0.50	0.75	1.00
details	0.50	0.75	1.00

Le choix des paramètres pour cette méthode tient compte des phénomènes qui peuvent être observés dans les constructions métalliques, tel que le flambement des structures, ou bien la qualité des nœuds c'est-à-dire. Trois classes de vulnérabilité ont été définies (A, B et C). Dans la classe A, la décroissance des coefficients « Ki », diminue selon l'importance des paramètres, c'est-à-dire que le paramètre le plus important (ductilité) aura la plus petite des valeurs zéro (0) comme l'indique la figure 1.16.

Dans les classes B et C, la croissance des coefficients augmente selon l'importance des paramètres, car dans ces deux classes les états de ces derniers sont jugés respectivement du moins au plus sévère.

1.6. Conclusion

Afin de réduire les pertes et les dommages dus aux séismes dans les constructions, l'étude de leur vulnérabilité sismique est nécessaire.

Nous avons abordés l'évolution des constructions en maçonnerie et en charpente métallique, ainsi que les systèmes structuraux qui composaient ces dernières.

Nous avons aussi présentés le comportement sismique des constructions en acier et en maçonnerie, afin de comprendre les degrés des désordres qui peuvent apparaître dans ce type de constructions et qui peuvent les rendre vulnérables vis-à-vis d'un séisme.

Il existe plusieurs méthodes d'estimation de la vulnérabilité des constructions. La méthode de l'indice de vulnérabilité a fait l'objet de développement en Algérie, pour les structures en maçonnerie, béton armé et charpente métallique.

Nous nous proposons de continuer sur cette lancée et de traiter les constructions mixte maçonnerie – charpente métallique.

CHAPITRE 2

METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE

2.1 Introduction

Le degré d'endommagement que peut subir une construction lors d'un tremblement de terre est fonction des éléments qui constituent cette dernière, tel que les éléments structuraux (murs porteurs, poteaux...etc.), et les éléments non structuraux tel que (toiture, balcon, cloisons de séparations ...etc.), mais aussi des éléments qui peuvent influencer la construction et qui n'en font pas partie (nature du sol, zone d'implantation ...etc.).

Afin d'évaluer les dommages d'une construction, il faut tenir compte de l'état de ces éléments.

La méthode de l'indice de vulnérabilité a été déjà utilisée dans différentes régions du monde (Italie, Suisse, Espagne, ... etc.), et notamment en Algérie où elle a été adaptée au contexte algérien pour les constructions en maçonnerie [10], en béton armé [11] et en charpente métallique [12].

Les constructions mixtes (acier - maçonnerie) n'ont pas fait l'objet d'études auparavant, aussi nous proposons à travers ce chapitre de développer une approche permettant d'appréhender ce type de structure.

2.2 Méthode développée

La méthode développée pour les constructions mixtes maçonnerie – charpente métallique, est inspirée des méthodes développées auparavant et utilisant le principe de l'indice de vulnérabilité [10,11 et 12].

Pour ce faire, les étapes suivantes ont été suivies :

1. Choisir les paramètres influant sur le comportement sismique des constructions mixtes.

2. Classer ces paramètres selon l'ordre d'importance des uns par rapport aux autres.
3. définir des classes de vulnérabilité.
4. Attribuer à chaque paramètre un coefficient « Ki » dans chaque classe de vulnérabilité.

Nous allons voir en détail dans ce qui suit, chacune de ces étapes.

➤ Etape 01 : Choix des paramètres

En se basant sur les études effectuées sur la maçonnerie [10] et celle effectuée sur la charpente métallique [12], nous avons défini un certain nombre de paramètres ayant une influence sur la vulnérabilité des constructions mixtes (maçonnerie-acier). Ces paramètres se déclinent comme suit :

1. Capacité sismique
2. Connexions des murs
3. Type de sol
4. Ductilité
5. Qualité des assemblages
6. Diaphragme horizontal
7. Régularité en plan
8. Régularité en élévation
9. Maintenance
10. Implantation de l'ouvrage
11. Entrechoquement
12. Toiture
13. Détails

Après avoir choisis les paramètres cités ci-dessus, nous avons procédé à l'étape de définition. Cette étape consiste à justifier le choix de chaque paramètre, ainsi que d'expliquer leurs classifications dans notre méthode.

➤ Etape 02 : Classement des paramètres

✓ Connexions des murs

Les connexions des murs sont définies comme la liaison entre les murs porteurs, c'est le chaînage au niveau des angles entre les murs. Les types de chaînages existant ainsi que les dégradations possibles qui peuvent apparaître lors d'un chargement sismique sont présentés en Annexe 2.

Ce paramètre et un paramètre observatoire, la classification de ce dernier est fonction de l'état du chaînage des murs porteurs.

- Classe A :

Dans cette classe on trouve les structures dont les connexions entre les murs sont bonnes.

- Classe B :

Dans cette classe on trouve les structures dont les connexions entre les murs présentent un risque, l'état du chaînage est moyen.

- Classe C :

Tandis que dans cette classe, sont classées les structures dont les connexions sont très mauvaise, ou celle qui se caractérise par une absence du chaînage.

✓ La capacité sismique

La capacité sismique est définie comme la résistance au cisaillement à la base de la structure, le calcul de la capacité sismique est présentée en Annexe 1.

La classification de ce facteur se fait en fonction d'un coefficient « α » voir Annexe 1.

La classification de ce paramètre, se fait comme suit:

- Classe A :

Dans cette classe, la capacité sismique de la structure est plus importante que la force sismique.

- Classe B :

On y trouve, les constructions dont la capacité sismique de la structure est proche de la force sismique.

- Classe C :

Quand à cette classe, on trouve les structures dont la capacité sismique est inférieure à la force sismique.

✓ Type de sol

Ce paramètre repose sur les caractéristiques du sol, décrites dans le règlement parasismique algérien RPA99 modifié 2003, les types des sols sont :

S1- Sol rocheux

S2- Sol ferme

S3- Sol meuble

S4- Sol très meuble

La classification dans notre cas, se fait comme suit :

- Classe A :

On trouve, dans cette classe, la catégorie S1 (Sol rocheux) dont la vitesse moyenne de l'onde de cisaillement est $V_s \geq 800 \text{ m/s}$.

- Classe B :

Cette catégorie regroupe le type du sol S2 (sol ferme), c'est à dire les dépôts, très denses, de sables ou de graviers et/ou d'argile surconsolidée sur 10 à 20 m avec une vitesse moyenne de l'onde de cisaillement : $V_s \geq 400 \text{ m/s}$

- Classe C :

On y trouve les sols de catégorie S3 (Sol meuble) et de catégorie S4 (Sol très meuble). On trouve dans cette classe les dépôts de sables et de graviers moyennement denses ou lâches ainsi que les dépôts d'argile moyennement raide ou molle.

✓ Ductilité

On dit "ductile" une structure qui peut subir sans perte de résistance des déformations plastiques alternées. La ductilité peut avoir une influence positive sur l'économie d'un projet, car :

- la structure ductile est capable de subir avec succès le même déplacement qu'une structure qui répondrait de façon purement élastique, mais elle atteint ce résultat avec des éléments structuraux de section moindre ;
- les sollicitations à la fondation sont réduites.

Cette capacité à se déformer plastiquement sans perte de résistance est traduite par l'attribution d'un "coefficient de comportement" R dont la valeur dépend du type de structure résistante. La valeur du coefficient R est comprise entre 1,5 pour les structures peu ou non dissipatives et 6 pour les structures très dissipatives [13].

Etablissement du coefficient de comportement R d'une structure

Diverses méthodes ont été utilisées dans le but d'établir la valeur de "coefficients de comportement" R caractéristiques de divers types d'ossature et permettant une prise en compte forfaitaire globale de leur capacité de dissipation

d'énergie par des déformations plastiques. Ces méthodes se différencient par le type d'analyse de structure effectué et par le critère considéré pour associer réponse purement élastique et réponse élasto-plastique.

Des valeurs normatives maximales de R sont fournies pour chaque « type » structural dans les codes de calcul parasismiques. Ces valeurs sont des bornes inférieures des résultats établis dans des recherches.

Elles placent dans la sécurité les projets de constructions nouvelles, mais le niveau de sécurité atteint est en fait variable, de sorte que ces valeurs ne permettent pas une évaluation très précise de structures existantes. Les ordres de grandeur des valeurs normatives de R sont :

- R = 5 à 6 pour les structures a comportement dissipatif.
- R = 3 à 4 pour les structures a comportement moyennement dissipatif.
- R = 1,5 à 2 pour les structures non ou peu dissipatives. [14]

On peut classer ce paramètre comme suit:

- Classe A :

Dans cette classe, on y trouve les portiques autostables ductiles avec un coefficient de comportement $R > 4$;

- Classe B :

Dans cette classe, on y trouve les portiques autostables ordinaires avec un coefficient de comportement $2 < R \leq 4$;

- Classe C :

On y trouve les ossatures métalliques avec contreventement par diaphragme, le coefficient de comportement dans ce cas est égal à $R \leq 2$.

- ✓ Qualité des assemblages

Le rôle d'un assemblage est d'assurer la transmission des efforts entre les éléments en charpente métallique (poteau poutre), une défaillance dans un assemblage met en cause la stabilité et le comportement de ces derniers.

La classification de ce paramètre est donnée comme suit :

- Classe A :

Dans cette classe, on trouve les structures dont les assemblages sont en bon état;

- Classe B :

Dans cette classe, sont classés les cas qui n'appartiennent ni à la classe A ni à la classe C;

- Classe C :

On y trouve les assemblages qui sont dans un mauvais état.

✓ Diaphragme horizontal [16]

Les diaphragmes d'un bâtiment sont les structures horizontales qui reportent l'action horizontale vers les structures verticales de contreventement. Ils doivent être peu déformables dans leur plan. Idéalement, ils assurent à chaque niveau où ils sont présents une absence de déplacement horizontal relatif entre les structures verticales. Le rôle de diaphragme est joué par la toiture et par les planchers. Les liaisons d'un diaphragme aux contreventements verticaux assurent le transfert de l'action horizontale du niveau considéré. La classification de ce paramètre est fonction de :

1. L'état du plancher.
2. L'état des liaisons aux systèmes de contreventements.

- Classe A :

Cette classe regroupe les planchers qui satisfont les critères cités ci-dessus.

- Classe B :

Dans ce groupe, sont classés les planchers qui ne se trouvent ni dans la classe A ni dans la classe C.

- Classe C :

On y trouve les planchers qui ne satisfont aucune condition.

✓ Modifications

Tout changement apporté à une structure peut influencer sur le comportement de la structure vis-à-vis de l'action sismique. Un changement d'usage dans un bâtiment remet en cause la distribution des masses au niveau des étages, ainsi que les changements dans le système structural.

On entend par modifications importantes, les modifications qui touchent les éléments structuraux, donc, qui provoquent un changement dans le centre de masse et/ou le centre de rigidité.

La classification de ce paramètre est comme suit:

- Classe A :

Dans cette classe, on regroupe les structures qui n'ont subi aucune modification ou changement

- Classe B :

Sont regroupées, dans cette classe, les structures dont des changements ou des modifications sont moyennement observées

- Classe C :

Dans ce groupe, on trouve les constructions qui ont subi des modifications importantes.

- ✓ Régularité en plan [17]

Le mouvement sismique horizontal est un phénomène bidirectionnel. La structure du bâtiment doit être capable de résister à des actions horizontales suivant toutes les directions et les éléments structuraux doivent avoir des caractéristiques de résistance et de rigidité similaires dans les deux directions principales, ce qui se traduit par le choix de formes symétriques. La forme idéale n'est pas seulement symétrique suivant deux axes, mais se rapproche de l'axisymétrie car des dégâts importants ont souvent été observés à la jonction des pans dans des structures composées de plusieurs pans perpendiculaires.

Des considérations purement flexionnelles expliquent ce phénomène : les raideurs flexionnelles suivant les directions principales sont très différentes dans un bâtiment rectangulaire. Il en résulte des périodes propres différentes de 2 ailes perpendiculaires soumises à une action sismique d'orientation donnée, d'où une réponse (fonction du temps) différente et une concentration de problèmes à la jonction des ailes perpendiculaires. Ce fait était particulièrement remarquable à Bucarest après le séisme de 1977 où tous les immeubles formant coin (voir figure 2.1) de rue étaient effondrés ou nettement plus dégradés que les autres. Cette observation s'applique aussi aux bâtiments en H, pourtant deux fois symétriques.

Ce qui est vrai pour la flexion d'ensemble l'est aussi pour la torsion: les éléments reprenant la torsion doivent être distribués assez symétriquement. Le non respect de ce principe peut conduire à une déformation permanente gauchie de la structure

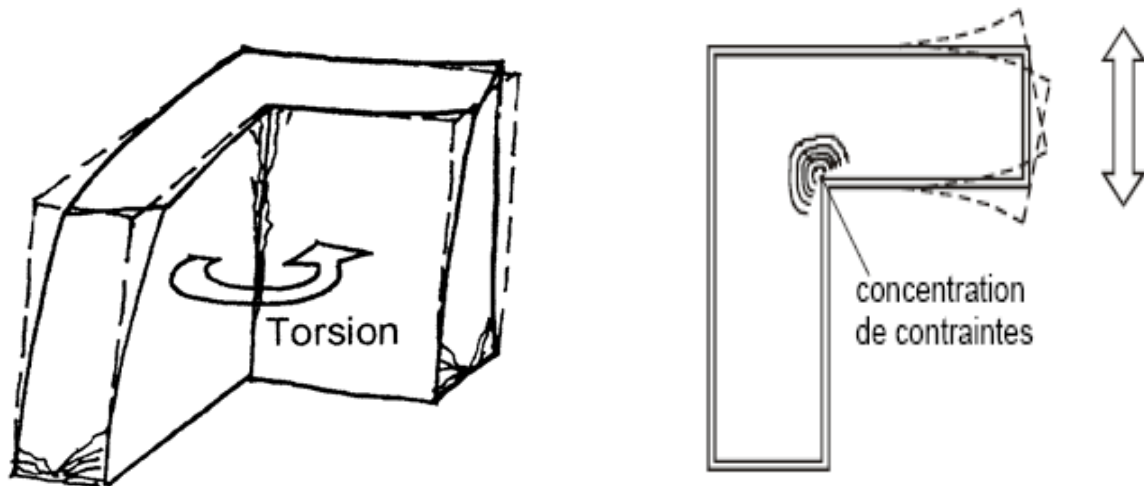


Figure 2.1 : Influence de la forme du bâtiment sur les effets dus à la torsion
concentration de contraintes dans les angles rentrants [17]

Donc ce phénomène d'irrégularité a un lien direct avec la distribution des rigidités et des masses.

La définition de la régularité en plan est fonction de :

- La distribution de la masse et de la rigidité.
- La forme géométrique en plan.

Selon le RPA 99.v 2003, la régularité en plan est assurée par des critères (voir Annexe 3).

Pour notre méthode, nous allons définir trois classes qui sont :

- Classe A : Forme régulière

Dans cette classe, on trouve les structures qui respectent tous les critères cités en Annexe 3.

- Classe B : Forme faiblement irrégulière

Sont classées, dans cette catégorie, les constructions partiellement irrégulières. C'est à dire les structures qui n'appartiennent ni à la classe A ni à la classe C.

- Classe C : Forme irrégulière

Dans cette classe, sont regroupés les bâtiments irréguliers en plan, donc, qui ne respectent aucun critère cité en Annexe 3.

✓ Régularité en élévation [17]

Dans la vue en élévation, les principes de simplicité et de continuité se traduisent par un aspect régulier de la structure primaire, sans variation brutale de raideur. De telles variations entraînent des sollicitations locales élevées comme l'indique la figure suivante :

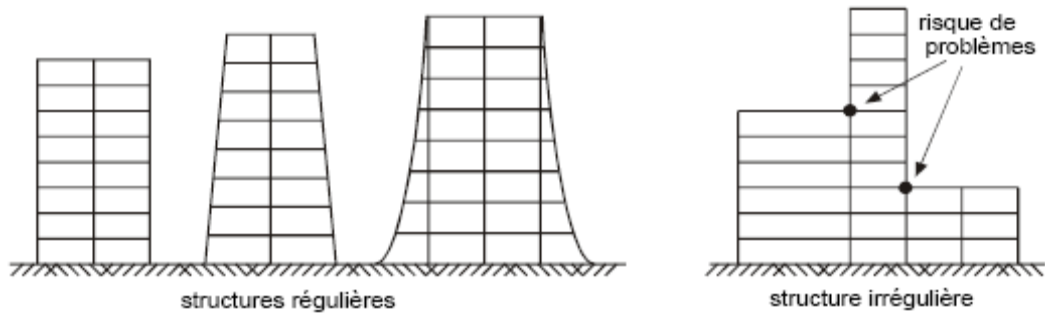


Figure 2.2 : Régularité en élévation [17]

Le principe de distribution continue et uniforme des éléments résistants de la structure primaire demande d'assurer une continuité des colonnes et des murs structurels, sous peine de créer la situation de l'étage souple ou transparent (voir figure 2.3)

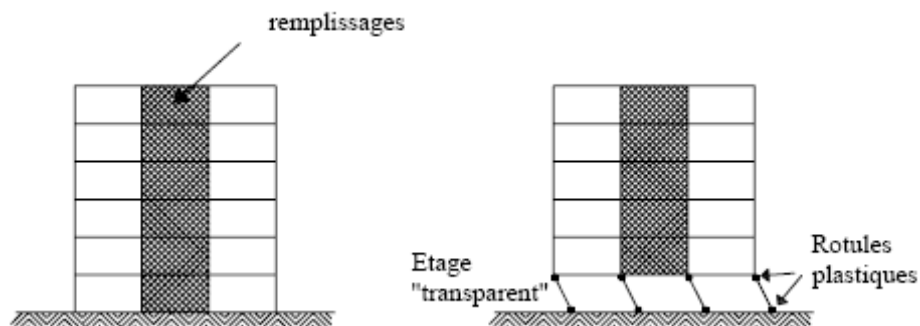


Figure 2.3 : A gauche : régularité en élévation. A droite : niveau rez de chaussée flexible [17]

Les niveaux transparents sont très courants dans les bâtiments parce qu'on laisse le rez de chaussée ouvert en raison de l'usage : commerces, bureaux, réception dans les hôtels, parkings. Les niveaux transparents sont fortement déconseillés dans les zones sismiques car ils peuvent constituer des niveaux flexibles, dans lesquels se concentrent toutes les déformations de la structure. Lorsque les niveaux transparents sont plus flexibles que les autres niveaux, les poteaux de ces niveaux subissent de grandes déformations qui peuvent provoquer la ruine du bâtiment (voir figure 2.

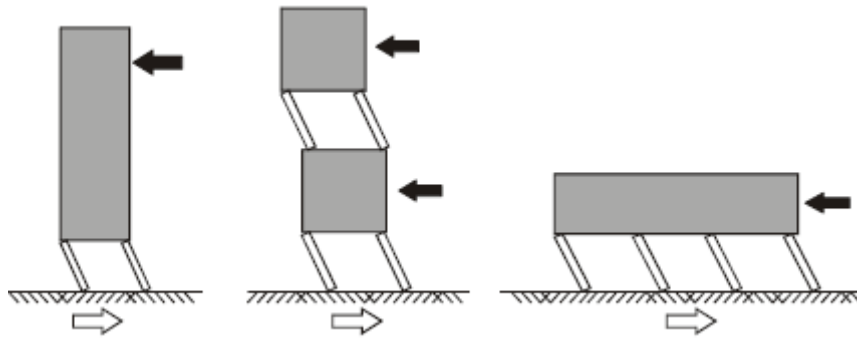


Figure 2.4 : Bâtiments avec niveaux transparents [17].

L'importance de ce paramètre, dans la méthode de l'index de vulnérabilité, réside dans le fait que l'étude de ce facteur touche deux aspects essentiels :

- La variation de la distribution de la masse entre deux niveaux successifs.
- La variation de la résistance du système résistant, entre deux étages successifs.

Pour ce facteur, nous nous sommes basés sur les critères du règlement parasismique algérien RPA99.v.2003 (Annexe 3).

Ce paramètre sera classé comme suit :

- Classe A : Forme régulière.

La structure est classée, dans ce groupe, si tous les critères de classification pour la régularité en élévation sont respectés.

- Classe B : Forme faiblement irrégulière

Dans cette catégorie, on trouve les constructions partiellement irrégulières en élévation, donc les structures qui n'appartiennent ni à la classe A, ni à la classe C.

- Classe C : Forme irrégulière

Dans cette classe, sont regroupés les bâtiments irréguliers en élévation, c'est-à-dire ceux qui ne respectent pas les critères cités auparavant.

- ✓ Maintenance

L'entretien du bâtiment est important voir nécessaire, car les dégradations qui apparaissent dans les éléments structuraux ou non structuraux peuvent influencer sur leurs tenue vis-à-vis de l'action sismique.

Ce paramètre est classé comme suit:

- Classe A :

Dans cette classe, on retrouve les structures qui sont entretenues régulièrement.

- Classe B :

Sont classées, les structures qui ne sont entretenues qu'occasionnellement.

- Classe C :

Cette classe regroupe les structures abandonnées ou délaissées.

✓ Implantation de l'ouvrage

Ce sont les implantations susceptibles de déstabiliser les constructions sous l'action sismique. Ces implantations peuvent se situer :

1. Sur un terrain instable
2. A l'extrémité d'une falaise
3. En haut ou en bas d'une colline
4. Sur les abords d'une rivière
5. Sur un terrain accidenté, avec changement de pente

- Classe A :

On trouve, dans cette classe, les structures qui sont implantées dans des sites qui ne présentent aucun risque. C'est-à-dire qui ne sont pas implantées sur des sites cités ci-dessus.

- Classe B :

Pour cette catégorie, sont regroupées les constructions qui n'appartiennent ni à la classe A ni à la classe C.

- Classe C :

Dans ce groupe on trouve les structures implantées dans des sites à risque cités auparavant.

✓ Entrechoquement

L'interaction de deux structures voisines est un phénomène fréquent, car on a remarqué qu'au niveau des planchers ces derniers s'entrechoquaient, ce qui a causé des dégâts parfois l'effondrement des étages. La présence d'un joint entre deux constructions mitoyenne est donc nécessaire.

Les trois classes de classification pour ce paramètre selon le règlement parasismique algérien RPA99.v2003 sont :

- Classe A :

C'est la classe où les bâtiments ne représentent pas de risque d'entrechoquement. En effet, ces structures sont soit isolées, soit séparées par des joints de rupture d'une épaisseur suffisante : $d > 40$ mm ;

- Classe B :

Sont regroupées, dans cette classe, les structures dont le risque d'interaction entre les structures adjacentes est moyen ou l'épaisseur du joint de rupture est insuffisante :

$$0 < d \leq 40 \text{ mm ;}$$

- Classe C :

Dans ce groupe, on trouve les constructions où le risque de l'entrechoquement est fort, donc les structures ne possédant pas de joint de rupture.

- ✓ Toiture

La toiture, constitue la partie supérieure de la structure et sa fonction est d'une part d'assurer la reprise des charges et d'autre part, d'assurer la fermeture du bâtiment

Ce paramètre sera classé comme suit :

- Classe A :

La toiture est classée en classe A, Si elle est bon état.

- Classe B :

Dans cette classe, on retrouve les toitures qui ne sont ni dans la classe A, ni dans la classe C.

- Classe C :

La toiture est classée en classe C, si la toiture est en mauvais état.

- ✓ Détails

On entend par le paramètre détail, l'état et la qualité des éléments non structuraux qui peuvent influencer sur le comportement de la structure lors d'un séisme, ainsi que l'état des divers réseaux qui influent sur la fonctionnalité de la structure.

Les éléments, à prendre en considération, s'ils existent, sont :

Les cloisons, les balcons, les gardes corps, les escaliers, l'acrotère, le réseau électrique, le réseau gaz, le réseau d'assainissement, le réseau téléphonique et les ascenseurs.

Les trois groupes de classification pour ce paramètre sont :

- Classe A : Satisfaisant

C'est la classe où plus de trois quarts des éléments qui existent sont en bon état.

- Classe B : Partiellement satisfaisant

Le paramètre est classé dans cette catégorie, si plus de la moitié et moins de trois quarts des éléments qui existent sont en bon état.

- Classe C : Insatisfaisant

Dans ce groupe, moins de la moitié des éléments existant sont en bon état.

➤ Etape 03 : Définition des classes de vulnérabilité

La méthode que nous avons développée, consiste à classer des constructions selon l'état de ces dernières, de ce fait trois classes de vulnérabilité ont été définies : VERT, ORANGE et ROUGE (A, B et C).

Si la construction expertisée se situe dans la classe verte, cela veut dire que la construction aura un bon comportement au séisme, et qu'elle ne nécessite pas un confortement pour le moment.

Si la construction expertisée se situe dans la classe orange, cela veut dire que la construction est moyennement vulnérable, un confortement est donc nécessaire ou souhaitable.

Si la construction se situe dans la classe rouge, la structure devra être démolie, sauf si elle appartient à un patrimoine préservé, dans ce cas une étude particulière devra être faite.

Des coefficients ont été affectés dans chacune de ces classes et pour chaque paramètre, afin de déterminer l'indice « I_v » des structures, et juger de leurs états généraux.

➤ Etape 04 : Détermination de la valeur K_i

Les états des paramètres définis précédemment sont représentés par des coefficients K_i , chaque paramètre prendra une valeur dans l'une des classes A, B ou C.

Les coefficients que nous avons choisis, ont été listés selon l'ordre d'importance. Dans la classe A, les paramètres les plus importants prendront la plus petite des

valeurs (0), c'est-à-dire que dans cette classe les paramètres les plus importants ont un comportement bon vis-à-vis de l'action sismique. Pour les classes B et C, la croissance des coefficients augmentera selon l'importance des paramètres, car dans ces deux classes (B, C), les états des paramètres sont jugés respectivement moyens et mauvais.

Le tableau suivant (tableau 2.1) représente les coefficients affectés pour chaque paramètre.

Tableau 2.1 : valeurs des coefficients K_i ($i = 1$ à 14) en fonction de paramètres de données

N°	Paramètres de données	Classes		
		Classe A	Classe B	Classe C
1	Connexions des murs	0	1.75	2.50
2	Capacité sismique	0	1.65	2.00
3	Type de sol	0.15	1.45	1.55
4	Ductilité	0.20	1.00	1.25
5	Qualité des assemblages	0.20	0.75	1.00
6	Diaphragme horizontale	0.20	0.70	0.95
7	Modification	0.20	0.70	0.95
8	Régularité en plan	0.20	0.70	0.95
9	Régularité en élévation	0.20	0.70	0.95
10	Maintenance	0.20	0.70	0.95
11	Implantation de l'ouvrage	0.20	0.70	0.95
12	Entrechoquement	0.20	0.70	0.90
13	Toiture	0.20	0.70	0.80
14	Détails	0.20	0.60	0.75

Après avoir classé chaque paramètre en lui affectant un coefficient « Ki », nous pouvons calculer l'indice de vulnérabilité d'une structure « Iv » et la classer.

2.3. Classification des structures

La classification des constructions passe par la détermination de la valeur de l'indice de vulnérabilité « Iv », car ce dernier nous permet de savoir si la structure aura une bonne, moyenne ou mauvaise tenue globale au séisme.

La valeur de l'indice de vulnérabilité est calculée comme suit :

$$Iv = \sum_1^{14} K_i$$

Une fois l'indice de vulnérabilité calculé nous pouvons classer la construction expertisée.

Les trois classes de vulnérabilité proposées sont :

classe	VERT	ORANGE	ROUGE
Iv	2.35-7.55	7.55-14.75	14.75-16.75

L'indice de vulnérabilité « Iv » d'une structure, est calculé à partir d'une fiche technique, dans laquelle les données nécessaires sont consignées.

2.4. Elaboration de la fiche technique des constructions mixtes maçonnerie charpente métallique

La fiche technique permet de regrouper l'ensemble des informations nécessaires pour déterminer l'indice de vulnérabilité des constructions. La fiche contient six parties.

PARTIE I: indentification de la structure

Cette partie contient des informations générales sur la structure.

On y trouve : adresse, age, usage, nombre de niveaux, sous sol, autres.

PARTIE II: caractéristiques géométrique

On trouve les dimensions du bâtiment.

Longueur, largeur, hauteur, forme en plan, en élévation.

PARTIE III: système structural

Cette partie désigne le type et la qualité du système structural.

PARTIE IV: sol et implantation

On trouve le type de sol, la zone d'implantation.

PARTIE V: éléments non structuraux

Dans cette partie on trouve les détails.

PARTIE VI: maintenance et modifications

On trouve les informations générales sur l'état de la structure, ainsi que sur les changements apportés à la structure.

Fiche Technique d'Expertise Pour Les Constructions
Mixtes Maçonnerie - Charpente Métallique

Fiche N°:

Date : / /

Code de l'ingénieur :

Identification

Wilaya :

Commune :

Adresse :

Type de construction

Bâtiment maison individuelle hangar
Usine précaire autre (à préciser)...

Usage de la construction

Habitation scolaire sportif
Administratif hospitalier socio culturel
Commercial industriel bâtiment agricole

Autre (à préciser)

Description sommaire

Age approximatif :

Période coloniale après 1983 après 1988 après 1999 après 2003

nombres de niveau :

Longueur

Largeur :

Epaisseur moyenne des murs porteurs :

Sous sol :

Vide sanitaire :

Autres :

Régularité en plan

Régulière faiblement irrégulière irrégulière

Régularité en élévation

Régulière faiblement irrégulière irrégulière

Système structuralMaçonnerie

Murs porteurs en pierre avec mortier de terre

Murs porteurs en pierre avec mortier de ciment

Murs porteurs en brique

Murs porteurs en parpaing

Autres (à préciser).....

Acier

Poteaux

Poutres

Autres (à préciser).....

Contreventement

Murs en maçonnerie chaînée

Murs en maçonnerie non chaînée

Portique métallique ductile

Portique métallique ordinaire

Palées triangulées

Autres (à préciser).....

Type d'assemblage

Boulonnage rivetage soudage

Etat général d'assemblage :

Bon moyen mauvais

Planchers

Bois béton armé voûtains collaborant acier

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

Type de sol

Rocheux ferme meuble très meuble

Implantation de l'ouvrage

- Sur un terrain instable (tassant) Oui Non
- Au bord d'une falaise Oui Non
- En haut ou en bas d'une colline Oui Non
- Au bord d'une rivière ou d'un oued Oui Non
- Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante Oui Non

Structure

- Possède une construction mitoyenne Oui Non
- Si oui, présence du joint Oui Non
- Si oui, épaisseur du joint : (mm)

Toiture

- Béton armé métallique mixte Bois
- Voûtains ternet tuile Autres (à préciser).....

Etat général de la toiture :

- Bon moyen mauvais

Détail

- | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Etat des cloisons | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat des balcons | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat du garde corps | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat de l'escalier | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat de l'acrotère | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat du réseau électrique | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat du réseau gaz | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat du réseau eau | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat du réseau d'assainissement | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| Etat du réseau téléphonique | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |

Maintenance

La construction est :

- Entretenu périodiquement Entretenu occasionnellement jamais Entretenu

Modification

- Changement d'usage : Oui Non
- Ajouts/Suppression dans le système structural : Oui Non

Remarques générales

2.5. Conclusion

La méthode que nous avons développée, est basée sur le principe de l'indice de vulnérabilité. Cet indice, a été calculé à partir de différents paramètres, qui ont été choisis en se basant sur les différentes études faites auparavant sur les constructions en maçonnerie et sur la charpente métallique. Ces paramètres, ont été définis selon l'influence de chacun de ces derniers sur le comportement sismique d'une structure.

Nous avons définis trois classe de vulnérabilité, et affecter à chaque paramètres un coefficient dans chacune de ces classes. Le choix des coefficients a été fait selon l'importance des paramètres les uns par rapport aux autres c'est-à-dire le degré d'influence sur la réponse sismique d'une structure.

L'évaluation de l'état de ces paramètres se fera à partir d'une fiche technique. Les informations contenu dans cette fiche, seront traduite par un programme que nous avons développés afin d'affecter un coefficient K_i à chaque paramètre, puis de calculer l'lv de la structure à étudier.

CHAPITRE 3

VALIDATION ET APPLICATION

3.1. Introduction

La fiche technique d'expertise sert de base de données qui permet d'affecter pour chaque paramètre une valeur au coefficient K_i ($i = 1$ à 14) correspondant conformément à ce qui est indiqué sur le tableau 2.1 (page 50).

Un programme utilisant le langage DELPHI sera développé à cet effet. Ainsi, il sera possible de classer de manière automatique chaque structure mixte en fonction de la base de données qui le caractérise (c-à-d de la fiche technique d'expertise qui lui est nécessaire).

La validation de notre méthode va se faire sur la base d'études de cas (au nombre de 21) déjà expertisées par le centre de génie parasismique (CGS).

Les programmes conçus respectivement pour les constructions en maçonnerie [10], en béton armé [11] et en charpente métallique [12], seront ajoutés au programme développé pour en arriver à un seul programme qui permet le calcul de l'indice de vulnérabilité sismique des structures. Le programme est appelé, « Vulnerability Index Program » (VIP).

3.2. Présentation du logiciel utilisé [19]

DELPHI est un environnement de programmation visuel orienté objet pour le développement rapide d'application. Il permet de créer des interfaces graphiques tout en disposant d'un puissant langage de programmation.

Avec DELPHI on peut créer des applications performantes sous l'environnement windows 95, 98, 2000...etc.

3.3. Organigramme de calcul

Le programme développé « vulnerability index program », suit les étapes du traitement présentées sous forme d'organigramme dans la figure 3.1.

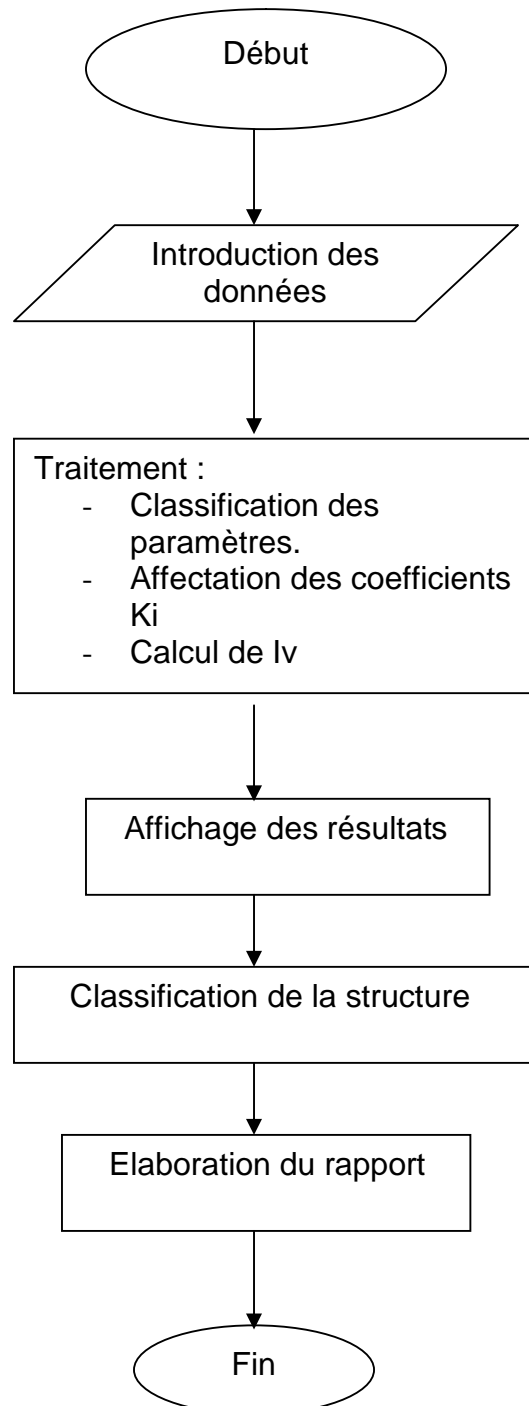


Figure 3.1 : organigramme de calcul

3.4. Présentation du logiciel VIP

Le logiciel développé « VIP » développé avec le langage DELPHI [21] se compose de deux parties :

1. la partie interface utilisateurs : qui sert à recueillir les données consignées dans la fiche technique.
2. la partie programme.

3.4.1. Partie interface utilisateurs

C'est la partie visuelle, elle nous permet de manipuler les applications afin de pouvoir calculer l'indice de vulnérabilité.

- Page d'accueil

Cette page nous permet d'accéder aux pages d'applications, comme l'indique la figure suivante :



Figure 3.2 : Page d'Accueil

- Page d'accès aux différents programmes

Cette page nous permet de choisir le type de structure à étudier (maçonnerie, béton armé, charpente métallique ou mixtes maçonnerie – charpente métallique), comme le montre la figure suivante :

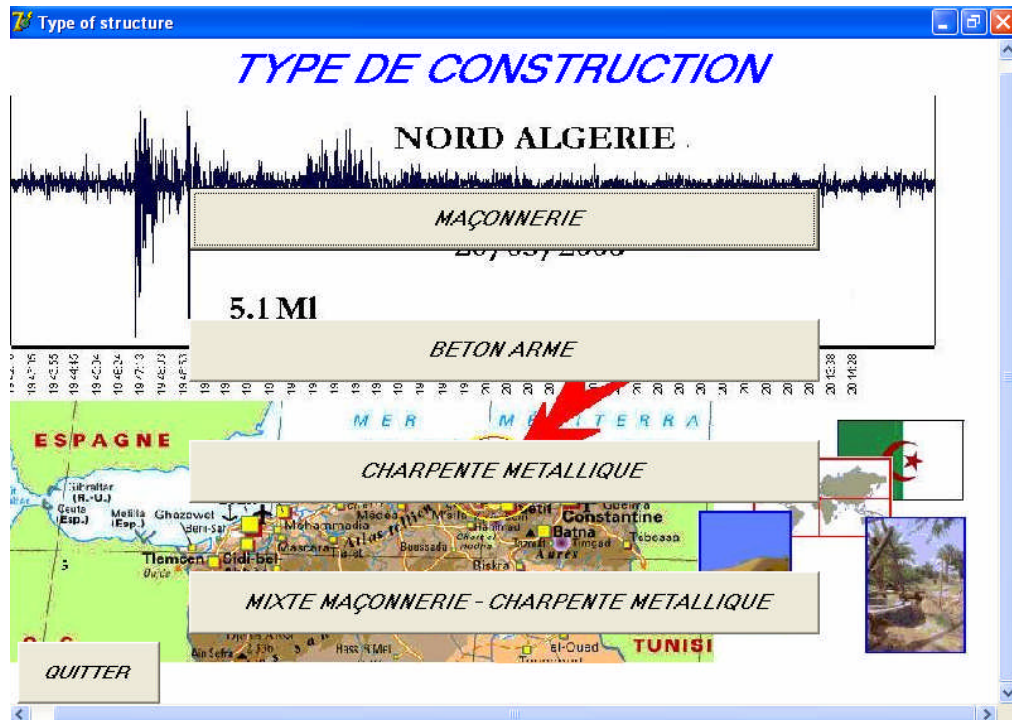


Figure 3.3: page d'accès aux différentes applications

- Page des manipulations

Chaque type de structures a sa propre fiche technique. Nous allons présentés dans ce qui suit les étapes d'étude pour les constructions mixtes [19], [20], et [21].

La page manipulations contient cinq anglets :

1. Onglet fiche technique 1/3 ;
2. Onglet fiche technique 2/3 ;
3. Onglet fiche technique 3/3 ;
4. Onglet paramètre ;
5. Onglet rapport.

L'onglet fiche technique nous permet de remplir la fiche technique comme l'indique la figure 3.4, la figure 3.5 et la figure 3.6.

Vulnerability Index Program (mixed structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

WILAYA: ALGER ADRESSE : 4 rue Md tounani

COMMUNE: ALGER

ZONE SISMIQUE: 3 TYPE DE CONSTRUCTION: batiment USAGE: habitation

AGE APPROXIMATIF (ans): 70 LONGUEUR (m): 21 LARGEUR (m): 14 NOMBRE DE NIVEAUX: 3

NOMBRE DES MURS DANS LE SENS LOGITUDINAL: 4 NOMBRE DES MURS DANS LE SENS TRANSVERSAL: 5

HAUTEUR MOYENNE DES MURS (m): 3,8 EPAISSEUR MOYEN DES MURS (m): 0,60

CALCUL DE LA CAPACITE SISMIQUE

L'ETAT DU CHAINAGE DES MURS EN MACONNERIE: Murs en maçonnerie chaînée

DUCTILITE: Portique auto stable ductile TYPE DE SOL: Rocheux

TYPE D'ASSEMBLAGE: ETAT D'ASSEMBLAGE: Moyen

TYPE DES PLANCHERS: Voutains ETAT DES PLANCHERS: Bon

ETAT DES LIAISONS PLANCHERS/SYSTEME DE CONTREVENTEMENT: Bon

Figure 3.4: Remplissage de la Fiche Technique 1/3

Vulnerability Index Program (mixed structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

FICHE TECHNIQUE 1/3 FICHE TECHNIQUE 2/3 FICHE TECHNIQUE 3/3 PARAMETRES RAPPORT

REGULARITE EN PLAN: faiblement irrégulière REGULARITE EN ELEVATION: faiblement irrégulière

L'USAGE DE LA CONSTRUCTION EST IL CHANGE ? OUI NON

IMPLANTATION DE L'OUVRAGE: sur un terrain accidenté avec un changement de pe

LE SYSTEME STRUCTURAL EST IL MODIFIE ? OUI NON

MAINTENANCE: entretenue périodiquement

LA CONSTRUCTION POSSEDE-ELLE UNE CONSTRUCTION MITOYENNE ? OUI NON

EXISTE IL UN JOINT ? OUI NON

DONNER L'EPAISSEUR DU JOINT (mm):

COMPARER L'EPAISSEUR DU JOINT AVEC CELLE EXIGE PAR LE RPA99.V2003

Figure 3.5: Remplissage de la Fiche Technique 2/3

Vulnerability Index Program (mixed structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

FICHE TECHNIQUE 1/3 | FICHE TECHNIQUE 2/3 | FICHE TECHNIQUE 3/3 | PARAMETRES | RAPPORT

TYPE DE TOITURE ETAT DE TOITURE

DETAIL: **COCHER L'ELEMENT EXISTANT PAR OUI**

LES CLOISONS OUI NON

LES BALCONS OUI NON

GARDES CORPS OUI NON

L'ESCALIER OUI NON

L'ACROTÈRE OUI NON

ETAT bon moyen mauvais

ETAT bon moyen mauvais

ETAT bon moyen mauvais

ETAT bon moyen mauvais

ETAT bon moyen mauvais

Figure 3.6: Remplissage de la Fiche Technique 3/3

L'Anglet parametre nous permet de voir les differents coefficients ainsi que les classes de vulnérabilités affectés aux paramètres choisis précédemment et de calculer l'indice de vulnérabilité comme l'indique la figure suivante :

Paramètre	Coefficient	Classe
CAPACITE SISMIQUE	0	CLASSE A
CONNEXIONS DES MURS	0	CLASSE A
TYPE DE SOL	0,15	CLASSE A
DUCTILITE	0,2	CLASSE A
QUALITE DES ASSEMBLAGES	0,75	CLASSE B
DIAPHRAGME HORIZONTAL	0,2	CLASSE A
REGULARITE EN PLAN	0,7	CLASSE B
REGULARITE EN ELEVATION	0,7	CLASSE B
MODIFICATION	0,7	CLASSE B
IMPLANTATION DE L'OUVRAGE	0,95	CLASSE C
MAINTENANCE	0,2	CLASSE A
ENTRECHOQUEMENT	0,9	CLASSE C

RESULTAT

6,4

VERT

SUIVANT >>

Figure 3.7: Affichage des coefficients et de l'indice de vulnérabilité

L'anglet rapport affiche une récapitulation des coordonnées de la bâtisse expertisée et le résultat de cette expertise comme le montre la figure suivante :

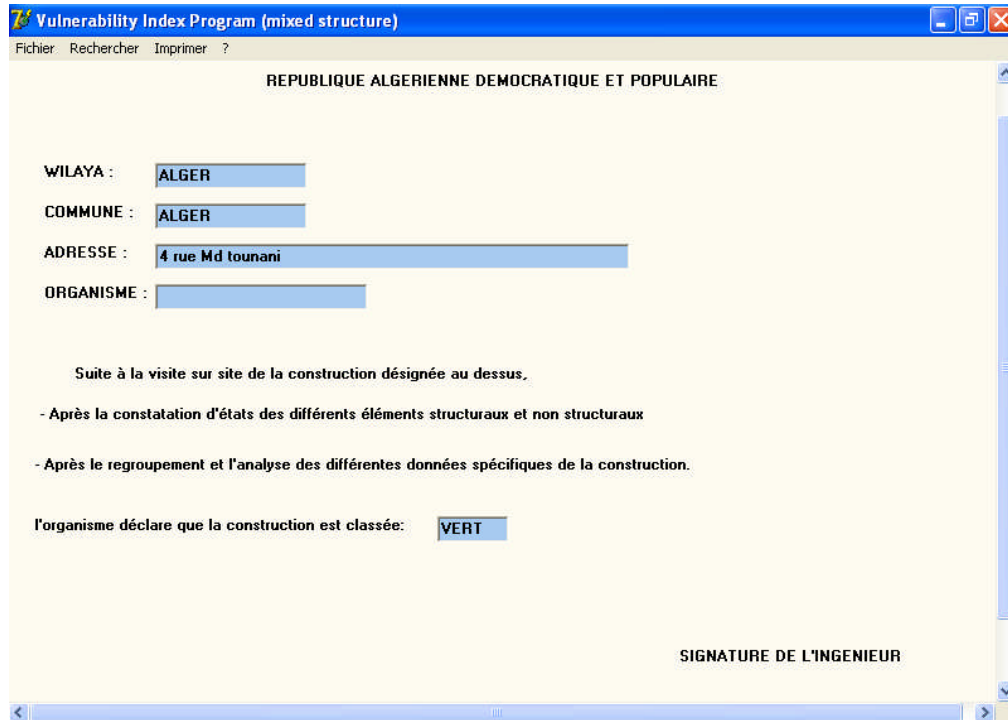


Figure 3.8: Affichage du rapport

3.4.2. Partie programme

Cette partie a pour rôle de traiter et d'exécuter les différentes opérations pour chacun des paramètres choisis (chapitre 2). On peut partager en deux types de paramètres, les paramètres à quantifier, et les paramètres à observer. Pour les paramètres quantifiables, tel que la force sismique à la base, détail ...etc, le programme fera des calculs avant d'affecter un coefficient donné. Pour les paramètres observatoire, tel que ductilité, modification ...etc, le programme affectera directement un coefficient selon le choix fait en remplissant la fiche technique. L'affichage des coefficients affectés est visible sur l'onglet « PARAMETRE » (figure 3.7).

Après avoir affecté des coefficients à chacun de ces paramètres, le programme nous permet de calculer l'indice de vulnérabilité « Iv ». L'affichage du résultat est visible sur l'onglet « PARAMETRE » (figure3.7).

Enfin, la dernière opération sera de classer (VERT, ORANGE, ou ROUGE) la construction analysée, selon son indice de vulnérabilité « Iv ». Le résultat est visible sur l'onglet « PARAMETRE » et « RAPPORT » voir figure 3.7 et 3.8.

3.5. Validation

Pour la validation de la théorie de l'indice de vulnérabilité des constructions mixtes maçonnerie-charpente métallique, nous nous sommes basés sur des expertises faite par un organisme qualifié.

Nous allons présentés dans ce qui suit un exemple de validation :

3.5.1 Exemple 1

Il s'agit d'une maison individuelle datant de l'époque coloniale dont la base est de forme rectangulaire comprenant un RDC et 2 autres niveaux (02 impasse Mohamed Tounani (ex Isidore Tachet), Alger centre.

Cette construction est implantée sur un terrain en pente dans le sens transversal et longitudinal. Elle possède une construction mitoyenne à gauche.

La construction est constituée de :

- Murs porteurs périphériques et intermédiaires en pierres et d'un système portique (poteaux poutres) en acier.
- Planchers du type mixte (solives métalliques supportant des voûtains en briques et un remplissage en mortier de ciment plus terre et un revêtement en bois en carreaux de carrelage).
- Escaliers balancés, formés de deux limons en bois supportant un paillassé en forme voûtain longitudinal en brique surmonté d'un remplissage de mortier et de terre sur lequel sont posées les marches et les contres marches en marbres.



Figure 3.9 : 02 impasse Mohamed Tounani (ex Isidore Tachet)

a. Remplissage de la fiche technique

La fiche technique présentée pour l'expertise de cette construction par notre méthode a été remplie comme suit :

Fiche N 1

Identification :

Wilaya : Alger

Commune : Alger centre

Adresse : 02 impasse Mohamed Tounani (ex isidore Tachet)

Type de construction :

Bâtiment maison individuelle hangar
 Usine précaire autre (à préciser)...

Usage de la construction :

Habitation scolaire sportif
 Administratif hospitalier socio culturel
 Commercial industriel bâtiment agricole

Autre (à préciser)

Description sommaire :

Age approximatif : 60 ans

Période coloniale après 1983 après 1988 après 1999 après 2003

nombres de niveau : 3

Longueur : 19 m

Largeur : 14.30 m

Épaisseur moyen des murs porteurs : 60 cm

Sous sol

Vide sanitaire

Autres :

Régularité en plan :

Régulière faiblement irrégulière irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière faiblement irrégulière irrégulière

Système structural :

Maçonnerie :

Murs porteurs en pierre

Murs porteurs en brique

Murs porteurs en parpaing

Autres (à préciser).....

Acier :

Poteaux

Poutres

Autres (à préciser).....

Contreventement :

Murs en maçonnerie chaînée

Murs en maçonnerie non chaînée

Portique métallique

Palées triangulées

Autres (à préciser).....

Type d'assemblage :

Boulonnage rivetage soudage

Etat général d'assemblage :

Bon moyen mauvais

Planchers :

Bois béton armé voûtains collaborant acier

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

Type de sol :

Rocheux ferme meuble très meuble

Implantation de l'ouvrage :

Sur un terrain instable (tassant) Oui Non Au bord d'une falaise Oui Non En haut ou en bas d'une colline Oui Non Au bord d'une rivière ou d'un oued Oui Non Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante Oui Non

Structure :

Possède une construction mitoyenne Oui Non Si oui, présence du joint Oui Non

Si oui, épaisseur du joint : (mm)

Toiture :

Béton armé métallique mixte Bois Voûtain ternet tuile Autres (à préciser).....

Etat général de la toiture :

Bon moyen mauvais

Détail :

Etat des cloisons Bon Moyen Mauvais Etat des balcons Bon Moyen Mauvais Etat du garde corps Bon Moyen Mauvais Etat de l'escalier Bon Moyen Mauvais Etat de l'acrotère Bon Moyen Mauvais Etat du réseau électrique Bon Moyen Mauvais Etat du réseau gaz Bon Moyen Mauvais Etat du réseau eau Bon Moyen Mauvais Etat du réseau d'assainissement Bon Moyen Mauvais Etat du réseau téléphonique Bon Moyen Mauvais

Maintenance :

La construction est :

Entretenu périodiquement Entretenu occasionnellement jamais Entretenu

Modification :

Changement d'usage : Oui Non

Ajouts/Suppression dans le système structural : Oui Non

b. Résultat de calcul de l'indice de vulnérabilité

Après avoir introduit la fiche technique précédemment remplie dans le programme « VIP », nous avons obtenus les résultats donnés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1: Résultat de l'application de l'exemple 1

Paramètre	Classe	Coefficient Ki
Connexions des murs.	A	0
Capacité sismique	A	0
Type de sol	A	0.15
Ductilité	A	0.20
Qualité des assemblages	B	0.75
Diaphragme horizontale	A	0.20
Modification	A	0.20
Régularité en plan	B	0.70
Régularité en élévation	B	0.70
Maintenance	A	0.20
Implantation de l'ouvrage	C	0.95
Entrechoquement.	A	0.20
Toiture	A	0.20
Détails	A	0.20

Le calcul donne un indice de vulnérabilité pour cette construction ayant une valeur de 4.65, il appartient à la première classe car il appartient à l'intervalle des valeurs $[(2.35); (7.55)]$, donc la construction est classée VERT (voir page 51).

Le rapport d'expertise effectué par un organisme qualifié (voir annexe 4), à pour conclusion : « Les observations qu'on a pu tirer est que la bâtisse est bien entretenue et présente un bon état. La bâtisse est jugée récupérable, elle est classée Vert NIV I ».

Le résultat que nous avons obtenu concorde avec celui donné par le rapport d'expertise.

D'autres exemples ont été traités, ces derniers sont donnés dans l'Annexe 5.

3.6. Application

Nous avons appliqué notre programme pour d'autres structures, que nous avons expertisées. Ces derniers se trouvent dans la wilaya d'Alger. Nous en présentons un ci-dessous.

a. Exemple d'application N 1

La construction expertisée se situe au 5 Rue des Frères Bellagoune (ex Rue Lulli). Il s'agit d'un immeuble datant de l'époque coloniale dont la base est de forme rectangulaire comportant un vide sanitaire, un RDC et 5 autres niveaux à usage d'habitation, un des logements au RDC est un bureau.

La construction est constituée de :

- Murs porteurs périphériques et intermédiaires en pierres
- Portiques métalliques.
- Planchers du type : voûtains.
- Escalier est du type balancé.
- La terrasse est accessible.

b. Remplissage de la fiche technique

Les renseignements donnés dans la fiche technique sont comme suit :

Fiche N 1

Identification :

Wilaya : Alger

Commune : Alger centre

Adresse : 5 Rue des Frères Bellagoune (ex Rue Lulli)

Type de construction :

Bâtiment maison individuelle hangar
 Usine précaire autre (à préciser)...

Usage de la construction :

Habitation scolaire sportif
 Administratif hospitalier socio culturel
 Commercial industriel bâtiment agricole

Autre (à préciser)

Description sommaire :

Age approximatif : 104 ans

Période coloniale après 1983 après 1988 après 1999 après 2003

Nombres de niveau : 6

Longueur : 17 m

Largeur : 14 m

Epaisseur moyen des murs porteurs : 60 cm

Sous sol :

Vide sanitaire :

Autres :

Régularité en plan :

Régulière faiblement irrégulière irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière faiblement irrégulière irrégulière

Système structural :

Maçonnerie :

Murs porteurs en pierre

Murs porteurs en brique

Murs porteurs en parpaing

Autres (à préciser).....

Acier :

Poteaux

Poutres

Autres (à préciser).....

Contreventement :

Murs en maçonnerie chaînée

Murs en maçonnerie non chaînée

Portique métallique

Palées triangulées

Autres (à préciser).....

Type d'assemblage :

Boulonnage rivetage soudage

Etat général d'assemblage :

Bon moyen mauvais

Planchers :

Bois béton armé voûtains collaborant acier

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

Type de sol :

Rocheux ferme meuble très meuble

Implantation de l'ouvrage :

Sur un terrain instable (tassant) Oui Non

Au bord d'une falaise Oui Non

En haut ou en bas d'une colline Oui Non

Au bord d'une rivière ou d'un oued Oui Non

Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante Oui Non

Structure :

Possède une construction mitoyenne Oui Non

Si oui, présence du joint Oui Non

Si oui, épaisseur du joint : (mm).

Toiture :

Béton armé métallique mixte Bois

Voûtains ternet tuile Autres (à préciser).....

Etat général de la toiture :

Tableau 3.2 : Résultat de l'application de l'exemple d'application 1

Paramètre	Classe	Coefficient Ki
Connexions des murs.	B	1.75
Capacité sismique	A	0
Type de sol	A	0.15
Ductilité	A	0.20
Qualité des assemblages	B	0.75
Diaphragme horizontale	B	0.70
Modification	B	0.70
Régularité en plan	B	0.70
Régularité en élévation	B	0.70
Maintenance	B	0.70
Implantation de l'ouvrage	A	0.20
Entrechoquement.	A	0.20
Toiture	B	0.70
Détails	A	0.20

Le calcul donne un indice de vulnérabilité pour cette construction de 7.65, il appartient à la deuxième classe, c-à-d : $](7.55) ; (14.60)]$, donc cette construction est classé ORANGE.

d. Remarques générales

Il faut noter que le bâtiment a été expertisé à la demande des habitants, car la démolition du bâtiment mitoyen a provoqué des dégâts dans les murs et planchers. On peut voir les différents états de chaque partie dans les photos ci-après.



Figure 3.10 : façade principale A



Figure 3.11 : façade principale B



Figure 3.12 : l'état du chaînage des murs



Figure 3.13 : présence des fissures dans les planchers

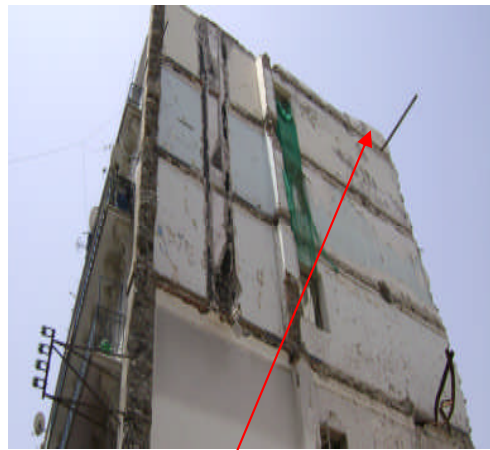


Figure 3.14 : présence des profilés métallique corrodés



Figure 3.15 : les balcons et les gardes corps



Figure 3.16 : la terrasse

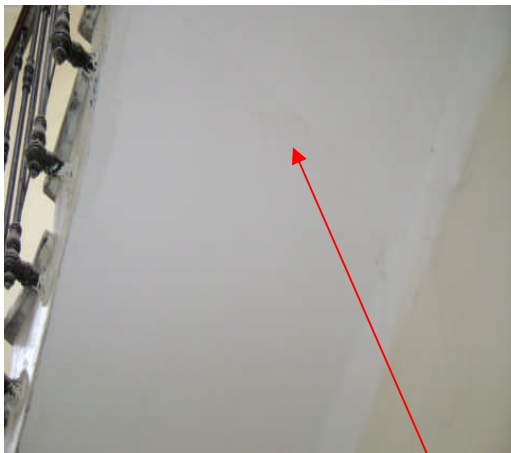


Figure 3.17 : présence des fissures dans l'escalier



Figure 3.18 : la partie postérieure du bâtiment expertisé où il y avait le bâtiment démolis

e. Commentaires

Nous avons constatés quelques dégâts sur la construction expertisée, où nous avons remarqués des fissures sur les planchers (figure 3.15, ainsi que sur les murs et des fissures transversales au niveau des escaliers (figure 3.19).

Nous remarquons l'état du chaînage qui est aussi dégradé (figure 3.14) et la présence des profilés métallique corrodés. Il faut rappeler que la construction date du début du 20^{ème} siècle.

Les différentes fissures que nous avons constatées, sont dues à la démolition du bâtiment mitoyen, comme le montre la figure 3.20.

Concernant l'ossature du bâtiment, il n'y a pas eu de changements au niveau du système structural, par contre le rez de chaussée a été aménagé en bureaux.

A la suite de ces remarques, nous pouvons dire que les résultats donnés par le programme développé corroborent les faits observés.

3.7. Applications pour les différents types de structures

Les différents programmes développés précédemment respectivement pour les constructions en maçonnerie, béton armé et charpente métallique, sont utilisés dans le « VIP » nous allons présentés dans ce qui suit trois exemples à partir du « VIP ».

3.7.1. Structures en maçonnerie

La construction expertisée se situe au 2, Rue Sidi Hellel. Il s'agit d'un immeuble datant de l'époque coloniale, comporte un RDC et 2 autres niveaux à usage d'habitation.

Les résultats trouvés par notre programme sont illustrés dans la figure 3.21, la figure 3.22 et la figure 3.23.

The screenshot shows the 'Vulnerability Index Program (masonry structure)' interface. The form is filled with the following data:

- WILAYA:** ALGER
- ADRESSE:** 2, Rue Sidi Hellel
- TYPE DE LA CONSTRUCTION:** bâtiment
- COMMUNE:** ALGER
- AGE APPROXIMATIF (AN):** 80
- USAGE:** habitation
- ZONE SISMIQUE:** 3
- CONSTRUCTION CALCULEE AU SEISME:** NON (selected)
- CONSTRUCTION CONTROLEE AU SEISME:** NON (selected)
- SYTEME CONSTRUCTIF:** maçonnerie chaînée
- HAUTEUR (m):** 9
- HAUTEUR INTER ETAGE (m):** 3
- LONGUEUR (m):** 11,5
- LARGEUR (m):** 11,2
- NOMBRE DE NIVEAU (m):** 3
- EXIST IL UNE CONSTRUCTION MITOYENNE ?** NON (selected)
- EXST IL UN JOINT ?** NON (selected)
- DONNER LE NOMBRE DE JOINT:** (empty field)
- DONNER L'EPAISSEUR DU JOINT (mm):** (empty field)

At the bottom, there is a button labeled 'COMPARER L'EPAISSEUR DU JOINT AVEC CELLE EXIGE PAR LE RPA 99 V.2003' and a 'SUIVANT >>' button.

Figure 3.19 : exemple de remplissage d'une fiche technique pour les constructions en maçonnerie

Vulnerability Index Program (masonry structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

<i>RESISTANCE TOTALE AU CISAILLEMENT</i>	0	CLASSE 1	
<i>REGULARITE EN PLAN</i>	0,07	CLASSE 4	
<i>REGULARITE EN ELEVATION</i>	0,01	CLASSE 2	
<i>CONNEXIONS DE MURS</i>	0,07	CLASSE 3	
<i>TYPES DE MURS</i>	0,03	CLASSE 3	
<i>PLANCHERS</i>	0,05	CLASSE 4	
<i>TOITURE</i>	0,05	CLASSE 4	
<i>CONDITIONS DU SOL</i>	0,02	CLASSE 2	
<i>ENTRECHOQUEMENT</i>	0	CLASSE 1	
<i>MODIFICATIONS</i>	0,04	CLASSE 3	
<i>DETAILS</i>	0	CLASSE 1	
<i>MAINTENANCE</i>	0,08	CLASSE 3	
			RESULTAT: 0,42 ORANGE

<< PRECEDENT

SUIVANT >>

Figure 3.20 : Affectations des classes de vulnérabilités et calcul de l'lv 1

Vulnerability Index Program (masonry structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

WILAYA : ALGER

COMMUNE : ALGER

ADRESSE : 2, Rue Sidi Hellel

ORGANISME :

Suite à la visite sur site de la construction désignée au dessus.

- Après la constatation d'états des différents éléments structuraux et non structuraux
- Après le regroupement et l'analyse des différentes données spécifiques de la construction.

l'organisme déclare que la construction est classée: ORANGE

SIGNATURE DE L'INGENIEUR

Figure 3.21 : Affichage du rapport 1

3.7.2. Structures en béton armé

La construction expertisée se situe au 13 cité du stade boufarik (Blida). Il s'agit d'un immeuble datant comportant un vide un RDC et 4 autres niveaux à usage d'habitation.

Les résultats trouvés par notre programme sont illustrés dans la figure 3.24, la figure 3.25 et la figure 3.26.

Vulnerability Index Program (reinforced concrete structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

WILAYA: **BLIDA** ADRESSE: **Cité du stade, Bloc 13**

COMMUNE: **BOUFARIK** ZONE SISMIQUE: **3** TYPE DE LA CONSTRUCTION: **bâtiment**

NATURE DU SOL: **Meuble** AGE APPROXIMATIF (ANS): **20** USAGE: **habitation**

IMPLANTATION DE L'OUVRAGE: **sur un terrain accidenté avec un changement de pente**

SYSTEME DE CONTREVENTEMENT: **portique A-S avec maçonnerie** TYPE DE PLANCHER: **béton armé**

TYPE DE TOITURE: **inaccessible** TOITURE EN: **béton armé**

REGULARITE EN PLAN: **régulière** REGULARITE EN ELEVATION: **régulière**

LA CONSTRUCTION POSSEDE ELLE UNE CONSTRUCTION MITOYENNE ?
 OUI
 NON

EXIST IL UN JOINT ?
 OUI
 NON

DONNER L'EPAISSEUR DU JOINT (mm)

COMPARER L'EPAISSEUR DU JOINT AVEC CELLE EXIGE PAR LE RPA 99 V.2003

SUIVANT >>

Figure 3.22 : exemple de remplissage d'une fiche technique pour les constructions en béton armé

Vulnerability Index Program (reinforced concrete structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

<i>SYSTEME DE CONTREVENTEMENT</i>	0	CLASSE A	
<i>QUALITE DU SYSTEME DE CONTREVENTEMENT</i>	0,01	CLASSE A	
<i>CAPACITE SISMIQUE</i>	0	CLASSE A	
<i>TYPE DE SOL</i>	0,06	CLASSE C	
<i>DIAPHRAGME HORIZONTAL</i>	0,01	CLASSE A	
<i>REGULARITE EN PLAN</i>	0,01	CLASSE A	
<i>REGULARITE EN ELEVATION</i>	0	CLASSE A	
<i>QUALITE DES NOEUDS</i>	0,06	CLASSE C	
<i>PHENOMENE DU POTEAU COURT</i>	0,01	CLASSE A	
<i>DETAILS</i>	0,03	CLASSE B	
<i>MAINTENANCE</i>	0,09	CLASSE C	
<i>MODIFICATIONS</i>	0,03	CLASSE B	
<i>ENTRECHOQUIMENT</i>	0,06	CLASSE C	
<i>IMPLANTATION DE L'OUVRAGE</i>	0,06	CLASSE C	

RESULTAT 0,43
ORANGE

<< PRECEDENT SUIVANT >>

Figure 3.23 : Affectations des classes de vulnérabilités et calcul de l'lv 2

Vulnerability Index Program (reinforced concrete structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

WILAYA : BLIDA

COMMUNE : BOUFARIK

ADRESSE : Cité du stade, Bloc 13

ORGANISME :

Suite à la visite sur site de la construction désignée en dessus

- Après la constatation d'états des différents éléments structuraux et non structuraux
- Après le regroupement et l'analyse des différentes données de la construction .

L'organisme déclare que la construction est classée : ORANGE

SIGNATURE DE L'INGENIEUR

Figure 3.24 : Affichage du rapport 2

3.7.3. Structures en charpente métallique

La construction expertisée se situe dans la zone industrielle SNVI. Il s'agit d'une usine se trouvant dans la commune de chetouane (Tlemcen), comporte un RDC seulement.

Les résultats trouvés par notre programme sont illustrés dans la figure 3.27, la figure 3.28 et la figure 3.29.

Vulnerability Index Program (steel structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

WILAYA TLEMEN USAGE industriel TYPE DE LA CONSTRUCTION usine

COMMUNE CHETOUANE ADRESSE SNVI Zone Industrielle

ZONE SISMIQUE 1

PERIODE DE LA CONSTRUCTION après 1983 TYPE DE SOL ferme

LA CONSTRUCTION POSSEDE ELLE UNE CONSTRUCTION MITOYENNE ? OUI NON

EXIST IL UN JOINT ? OUI NON

DONNER L'EPAISSEUR DU JOINT (mm)

COMPARER L'EPAISSEUR DU JOINT AVEC CELLE EXIGE PAR LE RPA 99 V.2003

REGULARITE EN PLAN irrégulière REGULARITE EN ELEVATION irrégulière

SUIVANT >>

Figure 3.25 : exemple de remplissage d'une fiche technique pour les constructions en charpente métallique

Vulnerability Index Program (steel structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

<i>DUCTILITE</i>	0,08	CLASSE B	<p>◀ ▶ + - ↶ ↷ ↺ ↻</p> <p>RESULTAT</p> <p>0,63</p> <p>ORANGE</p>
<i>CAPACITE SISMIQUE</i>	0,09	CLASSE C	
<i>QUALITE DES ASSEMBLAGES</i>	0,02	CLASSE A	
<i>MAINTENANCE</i>	0,06	CLASSE B	
<i>TYPE DE SOL</i>	0,04	CLASSE B	
<i>DIAPHRAGME HORIZONTAL</i>	0,05	CLASSE C	
<i>FLAMBEMENT DE LA STRUCTURE</i>	0,03	CLASSE A	
<i>REGULARITE EN PLAN</i>	0,05	CLASSE C	
<i>MODIFICATION</i>	0,03	CLASSE A	
<i>REGULARITE EN ELEVATION</i>	0,05	CLASSE C	
<i>ENTRECHOQUEMENT</i>	0,03	CLASSE A	
<i>IMPLANTATION DE L'OUVRAGE</i>	0,04	CLASSE B	
<i>TOITURE</i>	0,03	CLASSE A	
<i>DETAILS</i>	0,03	CLASSE A	

<< PRECEDENT

SUIVANT >>

Figure 3.26 : Affectations des classes de vulnérabilités et calcul de l'lv 3

Vulnerability Index Program (steel structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

WILAYA : TLEMCCEN

COMMUNE : CHETOUANE

ADRESSE : SNVI Zone Industrielle

ORGANISME :

Suite à la visite sur site de la construction désignée en dessus

- Après la constatation d'états des différents éléments structuraux et non structuraux
- Après le regroupement et l'analyse des différentes données de la construction .

L'organisme déclare que la construction est classée : ORANGE

SIGNATURE DE L'INGENIEUR

Figure 3.27 : Affichage du rapport 3

3.8. Conclusion

Nous avons développés un programme à partir d'un langage de programmation appelé « DELPHI ». Ce programme appelé « Vulnerability Index Program » (VIP), calcule l'indice de vulnérabilité des structures mixtes (Acier – maçonnerie), à partir d'une fiche technique présentée dans le chapitre 2. Cette fiche est traitée d'une façon à convertir les mots en des expressions logiques auxquelles sont affectés des coefficients.

La validation de notre programme est faite sur sur vingt et un exemples dont on dispose de l'expertise. La comparaison des résultats de ces expertises avec les résultats donnés par notre programme montre un écart de 23% entre les deux.

Cet écart est du aux méthodes d'investigation. En effet, les expertises faites se basent sur l'observation uniquement, alors que notre méthode, des calculs pour estimer le comportement de certains paramètres sont effectuées.

Nous avons aussi appliqué notre méthode sur quelque exemples. Les résultats trouvés sont en bonne adéquation avec les observations in – situ.

Enfin nous avons procédé au regroupement des différents programmes développés auparavant sur l'indice de vulnérabilité. Nous disposons donc d'un programme uniquement permettant le traitement des constructions en maçonnerie, en béton armé, en charpente métallique et les structures mixtes.

CONCLUSION

Différents types de structures caractérisent le parc immobilier Algérien. On y trouve des constructions en maçonnerie, en béton armé, en charpente métallique et mixtes (maçonnerie – charpente métallique).

Ce dernier type de structure a fait l'objet de peu d'études d'où l'intérêt de prévoir son comportement lors d'un tremblement de terre.

Cette thèse s'inscrit dans ce cadre et vise à doter d'un outil permettant d'appréhender la vulnérabilité sismique des constructions.

Pour ce faire la méthode de l'IV a été utilisée. Les paramètres pouvant avoir une influence sur la vulnérabilité de ces structures ont été déterminés. Par la suite une classification de ces derniers ainsi que des coefficients de pondération pour chaque paramètre ont été formulés.

Sur cette base une classification de la vulnérabilité d'une structure mixte a été proposée.

Une fiche technique permettant de recueillir l'ensemble de l'information nécessaire pour établir cette classification a été élaborée.

Par la suite nous avons élaboré sous un environnement DELPHI un programme permettant le traitement des fiches techniques rempli in-situ. Ce traitement nous donne directement la classification de la construction en fonction de sa vulnérabilité sismique. Ce programme a été validé et testé sur plusieurs exemples.

Nous avons aussi regroupé des structures en maçonnerie, béton armé et charpente métallique sous le même programme (VIP), permettant ainsi à l'utilisateur de disposer d'un outil unique afin d'appréhender le calcul de l'indice de vulnérabilité de ces types de structures.

Les développements ne sont pas pour autant terminés, d'autres types de structures ou infrastructures peuvent être incorporés dans le programme. Les courbes de vulnérabilités de ces types de structures pourraient permettre l'estimation des taux de dommages que subiraient ces structures en cas de séisme.

REFERENCES

- [1] : Burdet.O «notes de cours, maçonnerie », www.lmc.epfl.ch, Lausanne, Suisse, 28 Février 2008.
- [2] : Groupe AFPS, « Définition et étude des typologies maçonnerie: Notions sur le comportement et la modélisation des bâtiments en maçonnerie soumis à un chargement sismique », France, 2005.
- [3] : Wheeler. P, « L'architecture gréco-romaine de l'époque classique à l'empire », université de Savoie, France, 19 juillet 1999.
- [4] : Foura .M, « histoire critique de l'architecture », Offices des publications universitaires, Algérie, 2005.
- [5]: Nollet. M.J, « évolution bâtiment », Université Du Québec, 2007.
- [6]: Hirt.M.A, Crisinel.M, « Conception Des Charpentes Métalliques », Lausanne, Janvier 2002.
- [7]: « Règles PS Applicable Aux Bâtiments », Afnor, France, 2001.
- [8] : Bensaïbi. M « notes de cours, vulnérabilité des structures », Université de Blida, Algérie, 2007.
- [9] : Groupe AFPS « Vulnérabilité Sismique du Bâtis Existant : approche d'ensemble ». Document de travail version 2.2, France, Mai 2005.
- [10]: Boukri. M, « Détermination de l'Indice de Vulnérabilité des Constructions en Maçonnerie », Thèse de magister, Université de Blida, Algérie, 2003.
- [11] : Belhouane. F. I, « Détermination de l'Indice de Vulnérabilité des Constructions en Béton Armé », Thèse de magister, Université de Blida, Algérie, 2006.
- [12]: Amellal .O, « Détermination de l'Indice de Vulnérabilité des Constructions en Charpente Métallique », Thèse de magister, Université de Blida, Algérie, 2008.
- [13] : Plumier.A, « Cours sur les réponses élastiques des structures aux séismes », Belgique, 2007.
- [14] : Plumier.A, « Cours sur les réponses inélastique des structures aux séismes », Belgique, 2007.

- [15] :« Règles parasismiques algériennes RPA 99 modifiées en 2003 », CGS, Algérie, 2003.
- [16] : Plumier.A, Camelbeeck.T, Barszez .A.M, « le risque sismique et sa prévention en région wallonne », Belgique, 2008.
- [17] : Plumier.A, « Cours sur la conception parasismique des bâtiments », Belgique 2007.
- [18] : Belaid.M.C, « DELPHI, programmer les bases de données », Ed Pages bleus, mars 2005.
- [19] : Graine.S « Delphi 7 ». Concepts De Base, Bases De Données, Ed l'Abeille, 2006.
- [20]: Dick .L « DELPHI 3 », Ed Borland, 2000.
- [21]: Bardon.M, Belaid.M.C, « DEPLHI 5, cours, exercices corrigés et études de cas », Ed Berti, 2001.

ANNEXE 1

Méthode utilisée pour calculer la force sismique à la base [10]

La capacité sismique de la structure, R, peut être exprimée par la relation :

$$R = C \cdot W$$

Où **C** est le facteur de résistance et W le poids de la construction.

Le facteur C est donné par la relation suivante :

$$C = \frac{a_0 t_k}{q \cdot N} \left[1 + \frac{q \cdot N}{1.5 a_0 t_k (1 + \gamma)} \right]$$

Où

t_k est la résistance au cisaillement,

N est le nombre de niveau de la structure

q est la masse par unité de surface $q = \frac{W}{At}$

At est la section transversale totale à la base du bâtiment.

A = Min (Ax, Ay), B = Max (Ax, Ay)

$$a_0 = \frac{A}{A_t} \qquad \gamma = \frac{B}{A}$$

Ax et Ay représente respectivement la section transversale dans le sens transversal et dans le sens longitudinal.

A est la section minimale entre Ax et Ay, B représente la section maximale entre Ax et Ay.

On définit Alpha : $\frac{C}{C^-}$ avec $C^- = \frac{ADQ}{R}$

Les paramètres A, D, Q et R donnés par le règlement parasismique Algérien (RPA 99 version 2003)

A : Coefficient d'accélération de zone.

D : Facteur d'amplification.

Q : Facteur de qualité.

R : Coefficient de comportement globale de la structure.

Ainsi, la construction est classée en A, B ou C selon le paramètre Alpha.

La construction appartient à la:

- Classe A si $\alpha > 1$
- Classe B si $0.4 < \alpha \leq 1$
- Classe D si $\alpha \leq 0.4$

ANNEXE 2

Les liaisons entre murs [2]

Deux murs perpendiculaires peuvent être liaisonnés:

- par harpement ou déharpement en laissant des assises en attentes (Figure 1),
- en pratiquant des arrachements, c'est-à-dire en laissant des vides dans lesquels viendront se raccorder des moellons du mur perpendiculaire (Figure 1).

L'intersection de deux murs est souvent – mais pas toujours – mieux appareillée qu'en partie courante (présence de maçonnerie de pierres taillées pour les murs en maçonnerie, par exemple). La maçonnerie présente alors des chaînages aux angles (chaîne d'angle) ou à l'intersection de deux murs comme la façade et un mur de refend (jambe) (Figures 2 et 3).

Les désordres généraux qui affectent les murs se traduisent généralement par des fissures au niveau des intersections. En l'absence de harpage, des fissures verticales peuvent se former directement à la jonction des deux murs. Les fissures verticales peuvent aussi se former dans un des deux murs à la limite du harpage (Figure 4).



Figure 1: Techniques utilisées pour la jonction de deux murs de maçonnerie de moellons [2]

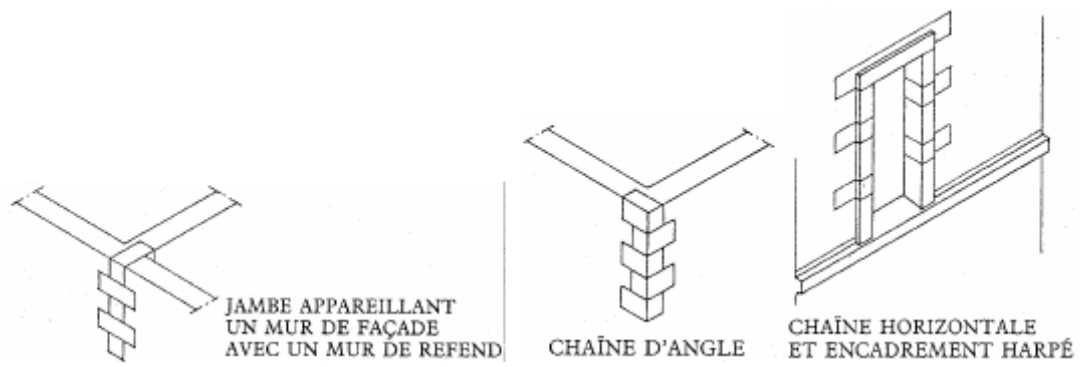


Figure 2: Maçonnerie appareillée formant un chaînage à l'intersection de deux murs et autour d'une ouverture [2]

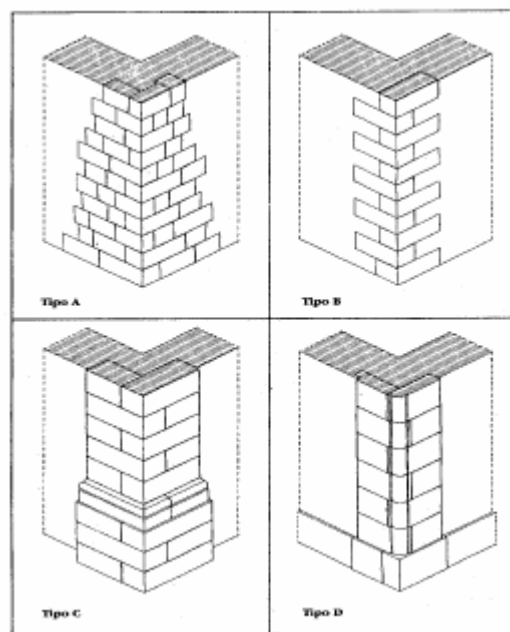
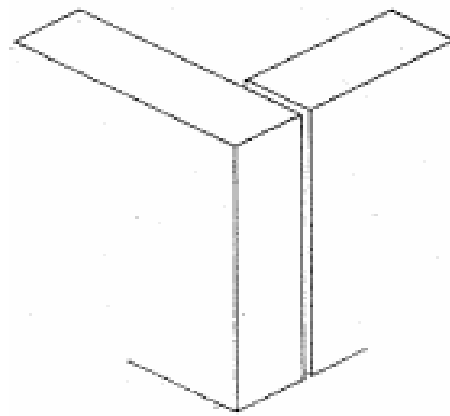
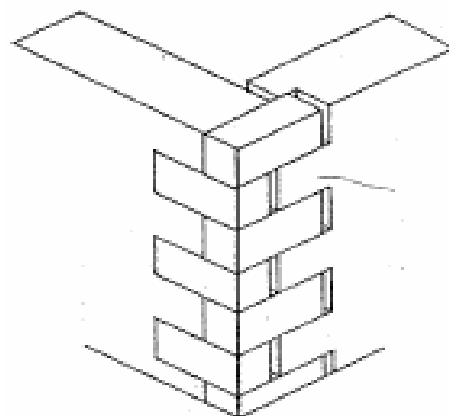


Figure 3: Exemples de chaînes d'angle en maçonnerie et pierres taillées [2]



FISSURE D'ANGLE
SANS HARPAGE



FISSURE D'ANGLE
AVEC HARPAGE

Figure 4 : Désordres possibles aux intersections de deux murs [2]

ANNEXE 3

Les critères de régularité imposée par le règlement algérien

1 Régularité en plan [15]

a1 : Le bâtiment doit représenter une configuration sensiblement symétrique dans les deux directions, aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses.

a2 : A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment, mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique.

a3 : La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur / largeur du plancher inférieur ou égal à 4.

a4 : Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante, vis-à-vis de celle des contreventements verticaux, pour être considérés comme indéformables dans leurs plans.

La surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de la surface totale du plancher.

2 Régularité en élévation [15]

b1) : Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu dont la charge ne se transmet pas directement à la fondation.

b2) : La raideur et la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment.

b3) : Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment, entre deux niveaux successifs, ne doit pas dépasser 20% dans les deux directions.

La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension