

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Génie Civil

MEMOIR DE MAGISTERE

Spécialité : Construction

EVALUATION DE L'INDICE DE VULNERABILITE POUR LES STRUCTURES EN CHARPENTE METALLIQUE

Par :

AMELLAL OMAR

Devant le jury composé de :

A. ATTAR : Maître de conférences, USD Blida	Président
M. HAMMOUTENE : Professeur, ENP Alger	Examineur
A. SETHI : Maître assistant chargé de cours, USD Blida	Examineur
A. BOURAHLA : Professeur, USD Blida	Examineur
M. BENZAIBI : Maître de conférences, USD Blida	Rapporteur
B. KDROUSSI : Ingénieur, U Tlemcen	Invité

Blida, 2008

ملخص

في الجزائر، النسيج العمراني في أغلبيته متكون من البنايات المعدنية النشطة الزلزالي لهذه البنايات ليس معروف بصفة دقيقة و هشاشة البنايات لم تكن محل بحث دقيق.

لتقييم هشاشة هذا النوع من الهياكل نقتراح وذلك من خلال استعمال طريقة "عامل الهشاشة الزلزالية". و عليه، فقد حددنا العوامل التي تأثر علي جواب الزلزالي للهياكل و البنايات المعدنية ثم قمنا بتحديد عامل الثقل لكل منهم.

مما سمح لنا بإعداد تصنيف هشاشة هذه الهياكل. لذلك قمنا بتطوير بطاقة تقنية تحتوي على المعلومات الضرورية لتقييم البنايات المعدنية. معالجة هذه الأخيرة زيادة على تصنيف البنايات قد تم بواسطة برنامج

منجز بواسطة « DELFI » و المسمى « VIP » (Vulnerability Index Program)

و قد تم معالجة أمثلة المصادقة و التطبيق و كانت النتائج المتحصل عليها مرضية.

مفاتيح : الهشاشة، الزلزال، الهشاشة الزلزالية، البنايات المعدنية، فهرس الهشاش

SUMMARY

In Algeria, the industrial parks are generally made of steel frame. Few studies dealing with the vulnerability of such structures to seismic risk are refereed in the literature.

The aim of this study is to asses the vulnerability of such structures using the vulnerability index method.

Technical data sheets including all the information to asses these structures have been established. These were done as results of determination and the quantification of parameters having on influence up on these structures as regard to the seismic risk.

A software named “VIP” (Vulnerability Index Program) has been used to validate the result
The examples of validation and application have been treated the results obtained are satisfactory.

Keywords: Vulnerability, Seismic, Seismic vulnerability, Steel structures, Vulnerability Index.

RESUME

En Algérie, le parc industriel est généralement constitué de structures en charpente métallique. Le comportement sismique de cet ensemble de structures, est peu connu et sa vulnérabilité n'a pas fait l'objet d'études détaillées.

À travers l'utilisation de la méthode de l'indice de vulnérabilité, nous nous proposons d'estimer la vulnérabilité de ce type de structure.

A cet effet, nous avons déterminé les paramètres ayant une influence sur la réponse sismique des structures en charpente métallique, puis nous les avons quantifiés.

Ceci nous a permis d'établir, une classification de la vulnérabilité de ces structures. Pour ce faire, une fiche technique a été développée, cette dernière regroupe les informations nécessaires à l'évaluation des constructions métalliques. Le traitement de cette dernière ainsi que la classification des constructions ont été réalisés, par un logiciel élaboré avec « Delphi », appelé « VIP » : (Vulnerability Index Program).

Des exemples de validation et d'application ont été traités, les résultats obtenus sont satisfaisants.

Mots clés : vulnérabilité, séisme, vulnérabilité sismique, structure métallique, indice de vulnérabilité

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie le bon Dieu de m'avoir donné la force et la volonté d'avoir mené à terme mon travail.

Mes pensées vont également à mes parents qui m'ont apporté le soutien moral.

A mon frère Yacine et Sœur Amina, qui m'ont soutenu par leur contribution logistique.

Mes remerciements s'adressent également à mon promoteur ; M Bensaïbi qui m'a apporté une précieuse collaboration, à travers un suivi continu et des conseils utiles, pour la teneur et la rédaction du présent mémoire.

A Mr Kdroussi Directeur d'agence CTC/OUEST pour son aide précieuse et combien utile à travers son expérience et les expertises mises à ma disposition, et à sa famille pour leur hospitalité et l'accueil chaleureux.

Aux membres du jury, pour avoir accepté d'examiner ma thèse.

A Mlle Rahem Amina, pour son aide utile à l'élaboration du programme.

Je suis convaincu que ce travail n'aurait pas pu être finalisé sans la contribution des personnes citées ci-dessus, que je remercie du fond du cœur.

O. AMELLAL

TABLES DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION	12
CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	14
2. Introduction :.....	14
2 Réglementation parasismique :.....	15
2.1 Evolution de la réglementation parasismique :.....	15
2.1.1 Premières tentatives :.....	15
2.1.2 Codes parasismiques de deuxième génération :.....	15
2.1.3 Codes parasismiques de troisième génération :	16
2.2 Evolution de la réglementation en Algérie :	17
3. Construction en charpente métallique :.....	18
3.1 Historique de la construction en charpente métallique :	18
3.2 Structures Métalliques en Algérie :.....	19
3.3 Types de Structure Métallique :.....	20
3.3.1 Les structures métalliques à comportement non dissipatif :.....	20
3.3.1.1 Contreventement en croix de Saint-André et par tirant :.....	21
3.3.1.2 Contreventement en K :.....	22
3.3.2 Structure parasismique à comportement dissipatif :.....	22
3.3.2.1 structures à cadres :.....	22
3.3.2.2 Les structures contreventées :.....	23
3.3.2.2.1 Contreventement centré :.....	23
3.3.2.2.2 Structure à Contreventement excentré :.....	24
3.3.2.3 Structures à cadres et contreventées :.....	25
3.3.2.4 Structures avec diaphragmes :.....	26
3.3.2.5 Structures fonctionnant en console verticale :.....	26

4. Vulnérabilité sismique :.....	26
4.1 Définition de la vulnérabilité sismique :.....	28
4.2 Méthodes disponibles pour une analyse de vulnérabilité :.....	28
4.2.1 Méthodes suivant les échelles d'analyse :.....	30
4.2.2 Méthodes suivant l'approche d'analyse :.....	30
4.3 Choix d'une méthode de vulnérabilité :.....	32
4.4.1 Systèmes de pointage ou indice de vulnérabilité :.....	34
4.4.2 Analyses détaillées :.....	34
4.4.3 Procédure rapide d'évaluation sismique visuelle (FEMA-154) :.....	35
4.4.4 Méthodologie de RISK-UE :.....	37
4.4.5 Description de l'EMS-98 :.....	40
5. Conclusion :.....	41
CHAPITRE 2 : METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE.....	43
1. Introduction :.....	43
2. Méthode indice de vulnérabilité :.....	44
3. Méthode de l'indice de Vulnérabilité développé pour les structures en charpente métallique :.....	44
3.1 Définition des paramètres et classification :.....	45
3.1.2 Ductilité :.....	45
3.1.2.1 Ductilité en chargement statique :.....	46
3.1.2.2 Ductilité en chargement alterné :.....	47
3.1.2.3 Facteur de ductilité :.....	48
3.1.2.4 Définition du facteur de comportement :.....	48
3.1.3 Capacité portante :.....	50
3.1.5 Etat d'entretien maintenance :.....	50
3.1.4 Assemblage :.....	50
3.1.6 Type de sol :.....	51
3.1.7 Diaphragme horizontal :.....	51
3.1.8 Flambement de la structure :.....	52
3.1.9 Régularité en plan :.....	52
3.1.10 Modifications :.....	53
3.1.11 Régularité en élévation :.....	53
3.1.12 Entrechoquement :.....	54

3.1.13 Implantation de l'ouvrage :	55
3.1.14 Toiture :	55
3.1.15 Détails :	56
3.2 Quantification de chaque paramètre :	57
3.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité « Iv » :	58
4. Elaboration de la fiche technique :	59
5. Conclusion :	59
CHAPITRE 3 : MISE EN ŒUVRE NUMERIQUE	61
1. Introduction :	61
2. Logiciel développé sous Delphi :	61
2.1 présentation de Delphi :	61
2.2 Programme développé :	62
2.3 Description du logiciel :	64
2.3.1 Partie visuelle « interface utilisateurs » :	64
2.3.2 Partie programme :	68
3. Validation :	68
3.1 validation 1 :	68
3.2 Validation 2 :	77
3.3 Validation 3 :	85
3.4 Validation 4 :	90
3.5 Validation 5 :	96
4 Exemple d'application :	106
4.1 Application 01 :	106
4.2 Application 02 :	113
4.3 Application 03 :	121
5. Conclusion :	132
CONCLUSION :	133
REFERENCES :	136
ANNEXES	

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAU

Figure 1.1 : Ossature à contreventement en croix de Saint-André et par tirant	21
Figure 1.2 : Ossature à contreventement en K et double K	22
Figure 1.3 : Ossature en portiques croisés	23
Figure 1.4 : Ossatures contreventées a nœuds rigides.....	23
Figure 1.5 : Ossature à contreventement en V	24
Figure 1.6 : Ossature à contreventement excentré	24
Figure 1.7 : Contreventeme excentré : détail du tronçon court	25
Figure 1.8 : Structures à cadres et contreventées.....	25
Figure 1.9 : Structures fonctionnant en console verticale	26
Figure 1.10 : Un risque est une corrélation entre Aléa sur un site, et la vulnérabilité de l'élément exposé.....	27
Figure 1.11 : Schéma des différentes méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique.....	31
Figure 1.12 : Types d'analyses détaillées.....	35
Figure 2.1 : Comportement élasto-plastique.....	46
Figure 2.2 : Comportement élasto-plastique en dynamique.....	47
Figure3.1 : Interface utilisateurs.....	62
Figure 3.2 : Organigramme de calcul.....	63
Figure 3.3 : Page d'accueil.....	64
Figure 3.4 : Visualisation des résultats de calcul de la force sismique totale.....	65
Figure 3.5 : Calcul des paramètres et classification de la structure.....	66
Figure 3.6 : Pages d'introductions des données.....	67
Figure 3.7 : Exemple de calcul de paramètres observables.....	67
Figure 3.8 : Vue extérieure de la structure.....	69
Figure 3.9 : Phénomène d'instabilité sur les barres des contreventements.....	69
Figure 3.10 : Autres phénomènes d'instabilité sur les barres des contreventements.....	70

Figure 3.12 : Affaissement du terrain.....	70
Figure 3.11 : Ouverture des joints de revêtements et fissures à la base des murs.....	70
Figure 3.13 : Décalage de la fenêtre dû à l'affaissement du terrain.....	71
Figure 3.14 : Fissuration importante dans les murs.....	71
Figure 3.15 : Présence de fissurations dans les dallages.....	71
Figure 3.16 : Vue de l'extérieur de la salle de sports.....	77
Figure 3.17 : Vue de l'intérieur de la charpente de la toiture	78
Figure 3.18 : Corrosion avancée des éléments porteurs.....	78
Figure 3.19 : Corrosion avancée des assemblages.....	78
Figure 3.20 : Présence de fissurations dans les murs.....	79
Figure 3.21 : Présence de fissurations dans les dallages.....	79
Figure 3.22 : Dégradation des descentes d'eaux pluviales.....	79
Figure 3.23: Vue de l'extérieur de l'usine.....	96
Figure 3.24 : Les extensions : vue de l'extérieur.....	96
Figure 3.25 : Dégradations subies : système de contreventement.....	97
Figure 3.26 : Forte dégradation et corrosion très avancée des pieds de poteaux.....	97
Figure 3.27 : Manque de boulons et endommagement des assemblages.....	97
Figure 3.28: Altération profonde des poutres et des planchers.....	98
Figure 3.29: Autres dégradations dans les planchers et les poutres.....	98
Figure 3.30: Effondrement de la dalle de plancher et réparations archaïques.....	98
Figure 3.31: Très mauvais état du bardage et de la toiture.....	99
Figure 3.32: Escalier et garde corps en piteux état.....	99
Figure 3.33: Tirants de cuves de stockage : Corrosion très avancée avec dégradations.....	99
Figure 3.34: Classification de la structure.....	106
Figure 3.35 : Vue de l'extérieur de la structure.....	107
Figure 3.36 : Vue de l'intérieur de la structure.....	107
Figure 3.37 : Malfaçons dans les assemblages.....	107
Figure 3.38: Autres malfaçons dans les assemblages boulons pas bien serrés et sans Rondelles de serrage	108
Figure 3.40 : Fissure dans les dallages.....	108
Figure 3.39: Manque d'une diagonale dans la toiture.....	108
Figure 3.41 : Marché : vu de l'extérieur.....	114
Figure 3.43: État de l'escalier et du garde corps.....	114
Figure 3.42 : Marché : vu de l'intérieur, absence totale du bardage.....	114

Figure 3.44: Marché construit sur un terrain en pente.....	115
Figure 3.46 : Présence de fissuration dans les murs.....	115
Figure 3.45 : Affaissement du dallage.....	115
Figure 3.47 : Rajout d'une vitrine d'exposition.....	116
Figure 3.48 : La structure a subi un feu durant sa vie.....	116
Figure 3.49 : Déformation des contreventements.....	122
Figure 3.50 : Absence des contreventements.....	122
Figure 3.51 : Manque de boulons dans les assemblages.....	122
Figure 3.52 : Altération des pieds de poteaux.....	123
Figure 3.53 : Flambement des poteaux.....	123
Figure 3.54 : Joint sismique vu de l'extérieur.....	124
Figure 3.56 : Fissures à 45 degré à deux sens de par et d'autre du joint.....	124
Figure 3.55 : Joint sismique vu de l'intérieur.....	124
Figure 3.57 : Dégradation du bardage.....	125
Figure 3.58 : La structure se trouve au bas d'une falaise.....	125
Figure 3.59 : Détachement de la poutre de son appui.....	125
Figure 3.60 : Les dégradations dues au H ₂ SO ₄	126
Tableau 1.1 : Classification des méthodes et positionnement des références.....	29
Tableau 1.2 : Classification selon le temps et la difficulté de calcul.....	32
Tableau 1.3 : Les différentes échelles d'analyse et leur applicabilité (2005).....	33
Tableau 1.4 : Les différentes échelles d'analyse et leur applicabilité.....	33
Tableau 1.5 : Classification typologique et cotes structurales de base du FEMA-154 2002.....	36
Tableau 1.6 : Sismicité définie dans le FEMA-154 2002.....	36
Tableau 1-7 : Typologie RISK-UE et valeurs représentatives de Iv.....	39
Tableau 1-8 : Critères structuraux de vulnérabilité et leurs coefficients associés.....	39
Tableau 1.9 : Classes de vulnérabilité de l'E.M.S 98.....	40
Tableau 2.1 : Valeur des facteurs du comportement dans le RPA 99 pour les structures en acier.....	49
Tableau 2.2 : Ductilité suivant le facteur de comportement pour les structures en charpente métallique.....	49
Tableau 2.3 : Les facteur « Ki » proposés pour chaque paramètre en fonction de la classe....	58
Tableau 2.4 : Classification des structures en fonction de leur « Iv ».....	59

Tableau 3.1 : Résultat de l'application de la structure SNVI.....	76
Tableau 3.2 : Résultat de calcul des paramètres de la classe de vulnérabilité de la salle de sports.....	84
Tableau 3.3 : Résultat de l'application de la structure.....	90
Tableau 3.4 : Résultat de l'application de la structure	95
Tableau 3.5: Résultat de l'application de l'usine activation filtration.....	105
Tableau 3.6 : Résultat de l'application.....	113
Tableau 3.7 : Résultats de l'application du marché.....	121
Tableau 3.8 : Résultats de l'application de l'usine de fabrication de zinc.....	131

INTRODUCTION

Les tremblements de terre ont souvent été meurtriers. Les sources historiques et l'actualité en témoignent. Le nombre en victimes parfois difficile à évaluer, se chiffre par milliers, en plus la destruction du patrimoine immobilier et des moyens de production, affectent l'activité économique de la région touchée. Ces effets sont dus principalement à l'effondrement des constructions, il est donc essentiel de prévenir les dommages sismiques.

En effet les séismes sont des événements imprévisibles, qui affectent la surface de la terre. Parmi les événements classés catastrophes naturelles, les secousses sismiques sont parmi les catastrophes, qui ont le plus d'effets destructeurs dans les zones urbanisées.

Les préjudices causés sont inestimables, comparés aux souffrances physiques et psychiques, auxquelles s'ajoutent les dommages matériels considérables, subis par la société, la collectivité et les particuliers. A tout cela viendra s'ajouter l'arrêt de la production industrielle, qui produit un impact négatif sur la production et le pouvoir d'achat.

En Algérie le parc industriel, est en général essentiellement constitué de structures métalliques (usines, et hangars industriels). Il paraît donc évident, voir important de quantifier la vulnérabilité sismique de ces constructions, afin que les pouvoirs publics puissent avoir une hiérarchisation des constructions les plus à risques, et à partir de là, définir les ordres de priorité, pour pouvoir intervenir rapidement et efficacement, afin de limiter et réduire les pertes.

C'est pourquoi dans le cadre de ce travail, nous avons proposé d'estimer la vulnérabilité sismique des structures à ossature métallique, en utilisant la méthode de «l'indice de vulnérabilité».

Cette dernière, nous permettra de classifier ces bâtiments suivant leurs résistances aux séismes. Cette étude a été exposée à travers les trois chapitres.

Après une introduction du présent travail, nous avons dans le premier chapitre abordé, l'étude bibliographique dans laquelle, nous évoquerons l'évolution de la réglementation parasismique pour les structures en charpente métallique, à travers le monde et en Algérie. Puis nous donnerons un descriptif des structures métalliques, ensuite nous exposerons les méthodologies existantes, traitant de la vulnérabilité sismique de ces dernières.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté la méthode de « l'indice de vulnérabilité » et les développements que nous avons effectués. Ces derniers ont été programmés dans un code de calcul dénommé « VIP » : Vulnerability Index Program en utilisant le logiciel « Delphi ». La mise en œuvre de cette méthode a nécessité le développement d'une fiche technique, permettant d'obtenir les données nécessaires au traitement des structures métalliques. Cette fiche a été aussi introduite dans le code de calcul, permettant ainsi l'obtention de la classification de l'ouvrage étudié.

Enfin dans le chapitre trois, nous avons validé la méthode de l'indice de vulnérabilité pour les structures en charpente métallique, sur quelques exemples. Nous avons aussi effectué quelques applications, sur des cas de structures métalliques, les résultats obtenus sont représentés et discutés dans le corps du texte.

Nous avons fini notre thèse, par une conclusion présentant l'essentiel des enseignements tirés de l'étude, ainsi que les perspectives de développement

CHAPITRE 1

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction :

Depuis l'antiquité, l'histoire de l'Algérie a été et reste jalonnée d'événements sismiques, de plus ou moins grande importance, inhérents à un hasard sismique lié à sa position géographique [1].

Les séismes sont inévitables, ils se sont produits dans le passé, il s'en produira à l'avenir. Faute de pouvoir les éviter, on doit s'efforcer de prévenir, ou du moins, limiter les dommages qu'ils occasionnent, autrement dit, réduire le risque sismique [2].

Le risque sismique, peut être évalué pour une construction, pour une ville ou pour une région spécifique. Il est défini par aléa de probabilité de pertes en biens, en activités productives et en vies humaines, dans un laps de temps donné. Il augmente constamment avec la densité de la population et avec le potentiel économique du pays, s'ils sont situés en zone sismique. Paradoxalement, le développement des sociétés pour les pays sismiques, entraîne donc un accroissement de leur propre vulnérabilité, face aux tremblements de terre. En contre partie, les sociétés avancées, disposent généralement de connaissances scientifiques poussées des processus géophysiques, ainsi que de moyens techniques de protection des constructions contre les effets des séismes. Il est donc souhaitable, que ces connaissances et ces moyens, soient effectivement utilisés, pour ramener le risque sismique, à un niveau acceptable pour la collectivité [2].

Le risque sismique dépend d'une part de la probabilité d'occurrence des séismes, donc de l'aléa sismique et d'autre part de la vulnérabilité des constructions menacées. En l'absence de constructions et de personnes, il est nul [2].

La prédiction sure et précise des tremblements de terre, si elle était possible, pourrait éviter les pertes de vie humaines, mais ne saurait sauvegarder le patrimoine bâti. La seule protection efficace, est le confortement préventif des constructions existantes, et la construction parasismique pour les bâtiments neufs, c'est à dire l'art de construire de manière telle, que les

bâtiments, même endommagés ne s'effondrent pas. Ceci passe par le respect des règles de conception, de calcul et d'exécution [3].

La construction parasismique, est incontestablement le moyen le plus sûr de prévention du risque sismique. Elle exige le respect préalable des règles normales de bonne construction, mais repose également sur des principes spécifiques, dus à la nature particulière des charges sismiques. Ces principes et leur mode d'application, sont généralement réunis, avec plus ou moins de détails, dans les codes parasismiques.

2. Réglementation parasismique :

2.1. Evolution de la réglementation parasismique :

2.1.1 Premières tentatives :

C'est au début du XX^e siècle, après les séismes de San Francisco (18 avril 1906) et de Messine

(28 décembre 1908) que les premières règles de calcul parasismique furent proposées. Elles visaient simplement, à imposer une certaine résistance des structures vis à vis des efforts horizontaux, au moyen d'un coefficient sismique forfaitaire (de l'ordre de 0.1), éventuellement modulé en fonction de la cote (coefficient sismique plus élevé pour les étages supérieurs).

à cette époque, on ne disposait d'aucune donnée d'enregistrement de mouvements forts, et les valeurs d'accélération du sol, étaient l'objet de conjectures (fondées, par exemple, sur le renversement, ou le maintien en place des statues) qui s'accordaient en général, pour prédire des valeurs assez faibles (de l'ordre de 1 à 2m/s²) et justifiaient les coefficients sismiques choisis.

En parallèle avec ces premières tentatives de calcul, l'importance des dispositions de constructions et particulièrement des « choses à ne pas faire », a été rapidement reconnue et les premiers codes parasismiques, ont introduit des recommandations sur la nature des contreventements et la mise en œuvre des matériaux [4].

2.1.2 Codes parasismiques de deuxième génération :

Le premier enregistrement de mouvements forts, fut obtenu à Long Beach en 1933 et, jusqu'en 1970, le nombre de tels enregistrements est resté très limité. Le plus célèbre, qui a été utilisé par des générations de calculateurs, est celui d'El Centro en Californie (18 mai 1940) dont une composante horizontale a atteint l'accélération de 3.4 m/s². Cette valeur

paraissait très élevée d'après l'opinion la plus répandue à l'époque, et beaucoup d'experts pensaient qu'elle était proche du maximum, concevable qui était considéré comme étant de l'ordre de 5 m/s^2 .

En 1971, le séisme de San Fernando également en Californie, fournit un très grand nombre d'enregistrements dont un, celui de Pacoima Dam, dépassait l'accélération de la pesanteur. Les ingénieurs de génie parasismique, dont certains avaient déjà pressenti que les spéculations alors en vigueur, sur la limitation des mouvements sismiques n'étaient guère fondées, pensaient que le mouvement sismique pouvait être beaucoup plus intense que ce que l'on croyait.

Corrélativement, la compréhension du comportement des structures sous charges dynamiques, progressait rapidement, suite au développement des études expérimentales, notamment celles sur table vibrante, et à l'apparition du calcul informatique. Le rôle fondamental de la dissipation d'énergie, lors des cycles de déformation inélastique, fut mis en évidence. Il permit de comprendre le bon comportement, de certaines structures non calculées au séisme, ou calculées avec des coefficients sismiques modérés, ainsi que la ruine de certaines autres, dont la capacité de dissipation d'énergie étaient insuffisantes.

Ces progrès ont été concrétisés, dans les codes dits de deuxième génération dans lesquels :

- le caractère dynamique de la réponse, est explicité par un coefficient dépendant de la période fondamentale de la structure [4].

- le rôle de la ductilité est reconnue implicitement, par le fait que les coefficients sismiques, restent modérés (alors que les nouvelles données d'enregistrement auraient du conduire, à une augmentation sensible) et par l'accent qui est mis sur les dispositions constructives (notamment les chaînages dans les constructions en maçonneries et les armatures de confinement, dans les constructions en béton armé) nécessaires, pour l'obtention de la ductilité.

Les règles PS 69 ont pris, en France et en Algérie, la suite des recommandations AS 55, règles de première urgence, édictées pour l'Algérie après le séisme d'Orléanville (1954), élaborées pour l'essentiel en 1962, retouchées en 1964, elles ont été publiées en octobre 1970 sous forme d'un D.T.U (Document Technique Unifié). Après le séisme de 1980 à El Asnam (ex-Orléanville), la nécessité de certaines révisions, a conduit la rédaction des addendas de 1982.

Dans ces règles, le coefficient sismique horizontal σ_x [4] est donnée par la formule :

$$\sigma_x = \alpha \beta \gamma \sigma \quad 1.1$$

avec :

α : coefficient d'intensité, caractérisant l'aléa sismique.

β : coefficient de réponse, fonction de la période fondamentale et du niveau d'amortissement dit normal.

γ : coefficient de distribution suivant les étages.

σ : coefficient de fondation, destiné à traduire le fait que les constructions sont plus vulnérables sur sol médiocre.

2.1.3 Codes parasismiques de troisième génération :

Le défaut principal des codes de deuxième génération, est que la prise en compte de la ductilité n'est pas explicite, et qu'il n'est donc pas possible de représenter les différences de comportement, entre les structures véritablement ductiles et celles qui le sont peu. Il en résulte, une disparité, dans la sécurité effectivement obtenue avec ces codes.

C'est pourquoi les codes parasismiques modernes, dit de troisième génération, ont choisi d'explicitier le coefficient de comportement.

Outre l'introduction du coefficient de comportement, d'autres paramètres ont été introduits tels que :

- définition du mouvement sismique par des spectres de réponse élastique, différents suivant la nature du sol, et modulés en sévérité par un facteur multiplicatif (accélération nominale). Ce facteur est fonction de la zone de sismicité et du niveau de sécurité visé ;
- extension considérable du champ d'application. Des chapitres entièrement nouveaux ont été rédigés, par exemple, sur les sols, etc...
- élargissement de l'éventail des méthodes de calcul (possibilité de faire des calculs temporels ou stochastiques, indication sur le traitement de l'interaction sol structures) ;
- harmonisation des critères de vérification de la sécurité [4].

2.2 Evolution de la réglementation en Algérie :

En Algérie, le problème sismique n'était pas pris en compte jusqu'à l'indépendance car, il n'y avait aucune obligation vis-à-vis du calcul sismique, du fait de la non disponibilité de règles parasismiques Algériennes. Sauf pour la ville de Chlef qui a été victime d'un séisme destructeur en 1954, qui a causé de gros dégâts aux constructions. Les Français ont alors élaboré un règlement propre « les règles A.S 55 ». Ces règles ainsi que les règles PS69 ont servis de documents de référence pour le calcul des structures de 1962 à 1980.

En 1975 un ingénieur américain a suggéré aux Algériens de contacter l'université de Stanford (Californie), dont les recherches étaient très avancées dans le domaine sismique, afin de les aider à établir un règlement parasismique spécifique à l'Algérie. L'aléa sismique a été introduit pour la première fois, et le territoire Algérien a été découpé, en différentes zones sismiques.

Après le séisme de Chlef en 1980, les règles de calcul sismique ont été rendues obligatoires.

En 1981, est apparu le premier règlement parasismique intitulé RPA 81.

Par la suite, en 1983, une nouvelle version a été publiée (RPA 83), avec l'introduction des chapitres sur le dimensionnement, et la vérification des éléments de la structure en béton armé.

En 1988 arrive le RPA 88 avec tentative de réduction des coefficients, ainsi que la méthode d'analyse spectrale.

Le RPA 99 paru en 2000, est certes une continuité des documents précédents, mais il a l'avantage de donner une mise à jour actualisée des règles Techniques, en ayant essayé de tirer des leçons des séismes, survenus entre temps en Algérie [5] et [6].

Le RPA a concerné essentiellement les constructions en maçonneries et en béton armé. Les structures en charpente métallique sont concernées par une autre réglementation.

3. Construction en charpente métallique :

Comparativement aux autres types de construction, la charpente métallique a ses avantages et ses inconvénients. On donne dans ce qui suit, un historique et une description sur ce type de construction :

3.1 Historique de la construction en charpente métallique :

Le fer a fait son apparition comme matériau de construction au milieu du XVIII^e siècle. Ses fonctions principales, étaient essentiellement l'ornementation et le renforcement des ossatures. Le rôle de nombreuses pièces métalliques, était aussi de maintenir les pierres dans leur position initiale par agrafage. A la fin du XVIII^e siècle, les pièces métalliques n'étaient plus cachées dans les murs de pierre. Mais composaient l'ossature principale des constructions, contribuant ainsi à une nouvelle forme de construction.

Avec le fer, les schémas ou méthodes de conception furent bouleversés. En effet, le concepteur ne travailla plus avec des éléments singuliers en fonte moulés en ateliers, mais avec des profilés standard (I, T, L), dont l'assemblage permettait d'aboutir aux solutions recherchées. Ce passage d'éléments uniques à des produits normalisés, fut possible grâce aux

nombreux développements effectués dans le domaine des chemins de fer. C'est ainsi qu'apparurent au début du XIX siècle les premières poutrelles en fer forgé en I, en T ou en L [7].

Le succès de cette standardisation et préfabrication des éléments métalliques n'aurait pas pu être possible sans rivets. Ce moyen d'assemblage permit en effet une combinaison presque illimitée, des profilés standards donnant lieu ainsi à des structures très différentes répondant aux divers problèmes.

Ces nouveaux moyens d'assemblage et les nombreux produits standards, conduisirent à une architecture révolutionnaire, où apparut le premier mouvement architectural de Joseph Paxton, ce dernier développa dans les années 1850, un ensemble de règles se rapportant à la construction métallique.

Les progrès techniques réalisés dans le domaine de la production métallique, contribuèrent à l'apparition d'un nouveau matériau, appelé acier, ce dernier, dérivant directement du fer apparut à la fin du XIX siècle, modifiant l'environnement de la construction.

Les performances de ce nouveau matériau, entraînèrent la modification des procédés d'assemblage, des techniques de laminage et des modèles de calcul. En effet, avec la soudure, on passe d'un assemblage riveté ponctuel, à une liaison linéaire, c'est également à l'apparition de l'acier que les dimensions des produits fabriqués en deviennent importantes. Il est alors possible d'obtenir des profilés d'une longueur supérieure à 6 m. L'utilisation de l'acier devient ainsi de plus en plus massive à la fin du XIX siècle [7] et [8].

3.2 Structures Métalliques en Algérie :

En ce qui concerne, les structures en acier conçues et réalisées dans les règles de l'art, ces structures ont généralement un meilleur comportement vis-à-vis du séisme, que les structures en béton armé ou en maçonnerie, même si elles n'ont pas été spécialement conçues pour être parasismiques à la base.

Ces structures doivent obéir à la réglementation algérienne, qui est le CM66, ce dernier a été modifié et amélioré dix ans après par un règlement CM97, mais ce dernier ne traite pas des exigences relatives à la sécurité parasismique.

Les enquêtes effectuées sur les lieux de séismes, ont révélé que les raisons principales de ruines sont l'instabilité élastique (flambage, voilement.....) ; et le degré de dommages subis par les éléments non structuraux (cloisons, façades,etc) a été parfois élevé. En effet la flexibilité des ossatures métalliques, est incompatible avec la faible déformabilité des éléments rigides utilisés pour le second œuvre. Par conséquent, les fixations des éléments non

structuraux, devraient être conçus de manière à tolérer les dommages des mouvements de l'ossature [9].

Le bon comportement des structures en acier, lors des tremblements de terre est du avant tout, aux nombreuses qualités « parasismiques » du matériau acier. Homogène et résistant, il résiste aussi bien à la traction qu'à la compression, et ainsi supporte mieux que les autres matériaux de structure, l'alternance de ces deux efforts. Sa résistance au cisaillement est également bonne, ce qui est une propriété importante, pour résister aux séismes ; son rapport élevé résistance/masse volumique, permet la réalisation de structures légères, qui mobilisent des charges sismiques relativement modérées [7].

L'acier est très résilient et peut donc absorber beaucoup d'énergie cinétique, au cours de ses déformations élastiques. Il a aussi une excellente ductilité et dissipe par conséquent bien l'énergie, à travers ses déformations plastiques.

Toutes ces propriétés rendent possible la réalisation d'édifices parasismiques très performants, offrant une grande résistance pour un poids total relativement faible. Il faut cependant veiller à ce que les propriétés parasismiques de l'acier, notamment la résilience et la ductilité, soient conservées au niveau des éléments de structure, de leurs assemblages et des structures entières. Le principal inconvénient des constructions en acier, est leur corrodabilité qui rend nécessaire une protection par la peinture ou par tout autre procédé [2].

3.3 Types de Structure Métallique :

Les structures métalliques de bâtiments en zones sismiques doivent préalablement à toute vérification parasismique, satisfaire aux règlements de construction métallique et aux normes en vigueur.

En complément de ces règles, les structures métalliques devant résister à l'action sismique, doivent en outre satisfaire aux conditions particulières de conception et de résistance de la réglementation parasismique.

L'énergie sismique externe, à la quelle les structures seront soumises, est dissipée essentiellement sous forme hystérétique par travail de déformation plastique dans les éléments de structure ou dans les zones localisées de ces éléments.

Les structures sont classées en différents types, en tenant compte à la fois de leur rigidité et de leur résistance plastique (au sens dissipatif) vis à vis de l'action sismique. Ce classement se traduit dans les valeurs affectées, au coefficient de comportement, qui peut être utilisé dans l'analyse de la structure [10].

La structure métallique peut être conçue :

- Soit avec un comportement non dissipatif.
- Soit avec un comportement dissipatif

3.3.1 Les structures métalliques à comportement non dissipatif :

Ces structures, qui ne relèvent d'aucune classification particulière en terme de conception parasismique, sont dimensionnées de manière à devoir résister à l'action sismique de calcul, en restant dans le domaine du comportement élastique, et doivent satisfaire les règles en vigueur pour la vérification des constructions métalliques.

Dans ces structures, les zones dissipatives se produisent essentiellement, au voisinage des nœuds d'assemblage poutre poteaux, et de préférence dans les poutres, la dissipation d'énergie se fait par déformation plastique, localisée sous forme de rotules plastiques.

L'action sismique est reprise essentiellement dans les zones dissipatives. Elles se produisent essentiellement au niveau des barres composant le système de contreventement par des sollicitations axiales (traction et de compression). En réalité, la majeure partie de l'énergie dissipative, est due au comportement ductile des barres en traction. Toute fois sous réserve d'une limitation de l'effet de dégradation, par flambement et de contrôle des conditions de rigidité des nœuds, les barres de contreventement en compression, peuvent contribuer partiellement au comportement dissipatif de la structure.

Nous rappelons ci-après les structures qui sont considérées comme non dissipatif :

3.3.1.1 Contreventement en croix de Saint-André et par tirant:

Les diagonales en compression, constituent des éléments faiblement dissipatifs, par leur dégradation rapide sous l'effet des compressions et des tractions alternées sous sollicitations axiales répétées (Fig 1.1).

La dissipation d'énergie doit s'effectuer, par plastification des tirants, avant que des rotules plastiques, ne puissent apparaître dans les autres éléments de l'ossature, ou dans les assembla

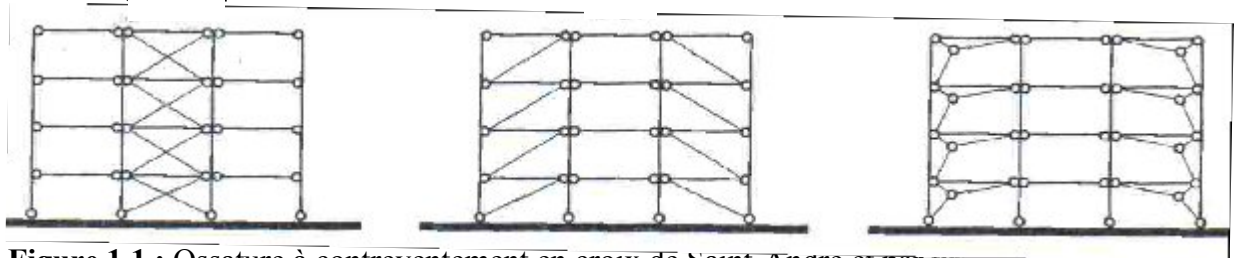


Figure 1.1 : Ossature à contreventement en croix de Saint-André et par tirant [10].

3.3.1.2 Contreventement en K :

Il est à éviter dans la construction parasismique, il est interdit par le code (U.B.C Uniform Building Code 1994, (règlement parasismique des états unis d'Amérique) pour les bâtiments de plus de 2 niveaux) (Fig 1.2). Il ne dissipe pas l'action sismique et sollicite les poteaux à mi-portée, ce qui peut entraîner un effet de poteau court. Toute rotule plastique que les barres de contreventement induiraient dans les poteaux, pourrait conduire à l'effondrement de l'ossature [2].

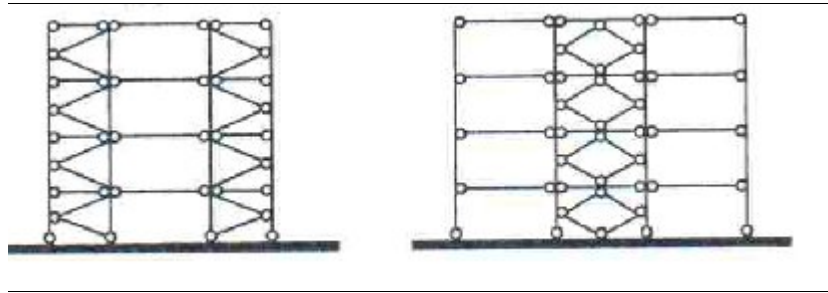


Figure 1.2 : Ossature à contreventement en K et double K [10].

Dans ce système de contreventement, le point d'intersection des lignes d'épure des diagonales de contreventement, se trouvent sur l'axe des poteaux.

3.3.2 Structure parasismique à comportement dissipatif :

Ces structures, sont dimensionnées de telle façon que, lors d'un événement sismique certains de ses éléments, sont le siège de déformations plastiques, dont la localisation et l'efficacité doivent être parfaitement contrôlées.

On distingue :

3.3.2.1 Structures à cadres :

Ces structures en portique très dissipatives, sont relativement flexibles et conviennent pour les sols durs et fermes. Leur degré d'hyperstaticité est élevé et elles ont donc une grande réserve de résistance, essentiellement par la résistance en flexion des barres, et la résistance des assemblages dites rigides, de nombreuses rotules plastiques pouvant se former avant leur ruine (Fig 1.3).Celles-ci doivent apparaître dans les poutres, et non pas dans les poteaux ou les nœuds (principes poteau fort- poutre faible) par conséquent, la résistance ultime des nœuds et des poteaux doit être supérieure à celle des poutres [2].

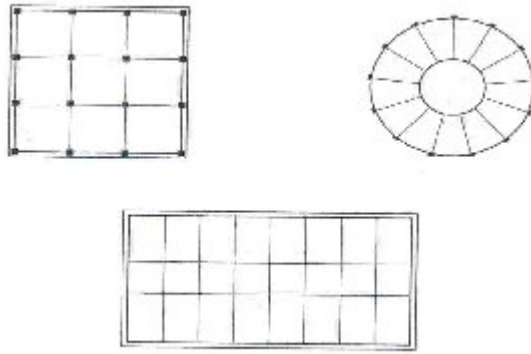


Figure 1.3 : Ossature en portiques croisés [2].

3.3.2.2 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 centré soit de manière excentré.

3.3.2.2.1 Contreventement centré :

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

Les systèmes de contreventement centré se classe comme suit :

- 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 (Fig 1.4).

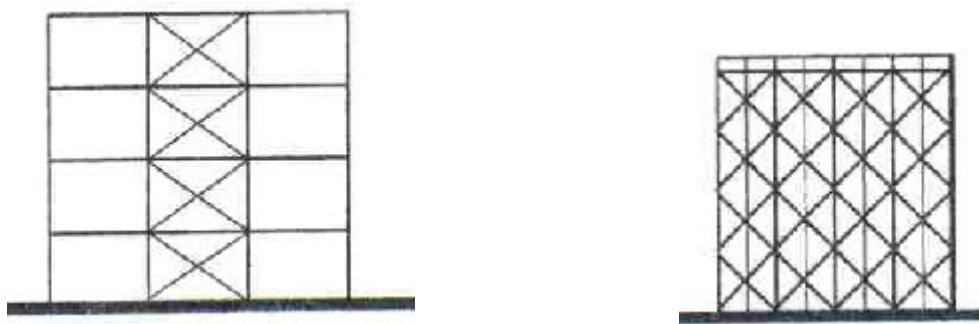


Figure 1.4 : Ossatures contreventées a nœuds rigides [10].

- Contreventement en V :

Ce système, est constitué de barres rigides, il dissipe donc l'énergie en traction et en compression, obligatoirement avant la plastification des autres parties de l'ossature (Fig 1.5). Le point d'intersection des diagonales de contreventement, se trouve sur la barre horizontale qui doit être continue. La résistance de l'action sismique horizontale, ne peut être procurée que dans la mesure, où les diagonales de contreventement comprimées, doivent intervenir dans la stabilité de la structure. Les assemblages sont en général articulés, toutefois les liaisons rigides du contreventement avec l'ossature, présentent un meilleur comportement sous séisme et deviennent quasi inévitables, dans le cas de bâtiments tours [10].

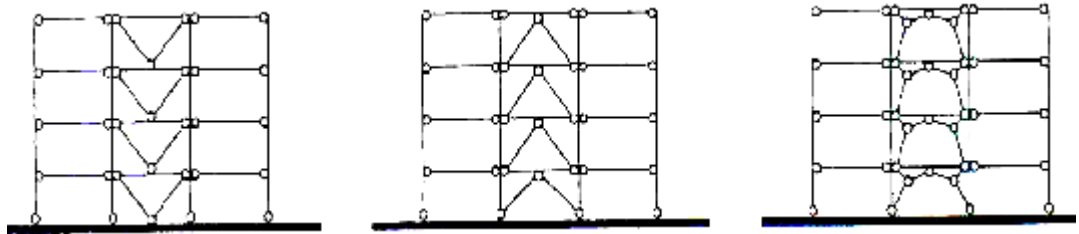


Figure 1.5 : Ossature à contreventement en V [10].

3.3.2.2.2 Structure à Contreventement excentré :

Solution relativement récente, confèrent à l'ossature une excellente capacité à dissiper l'énergie. Il s'agit d'un système où les lignes d'épure des barres de contreventement, ne passent pas par les lignes moyennes des poutres et poteaux. Le but est que les barres de contreventement aboutissent en dehors des nœuds des exemples de ce système sont données dans la figure 1.6.

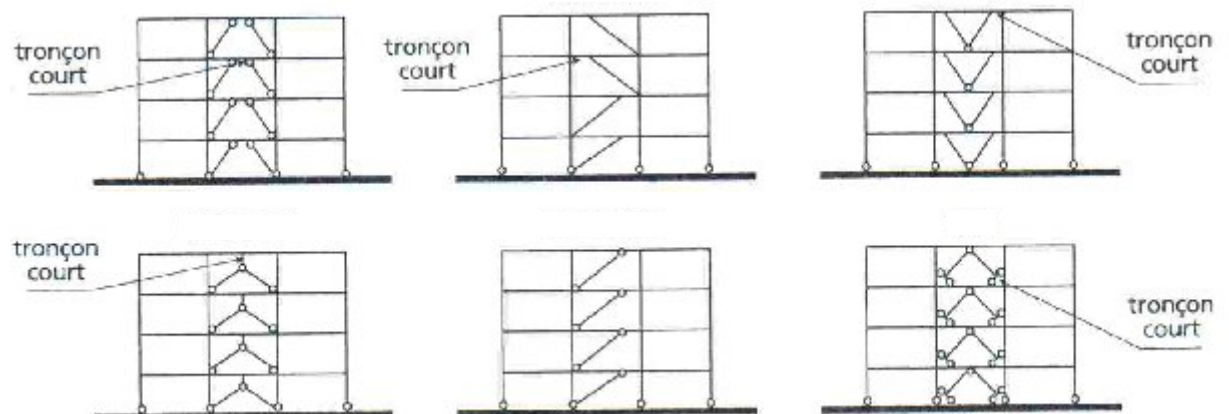
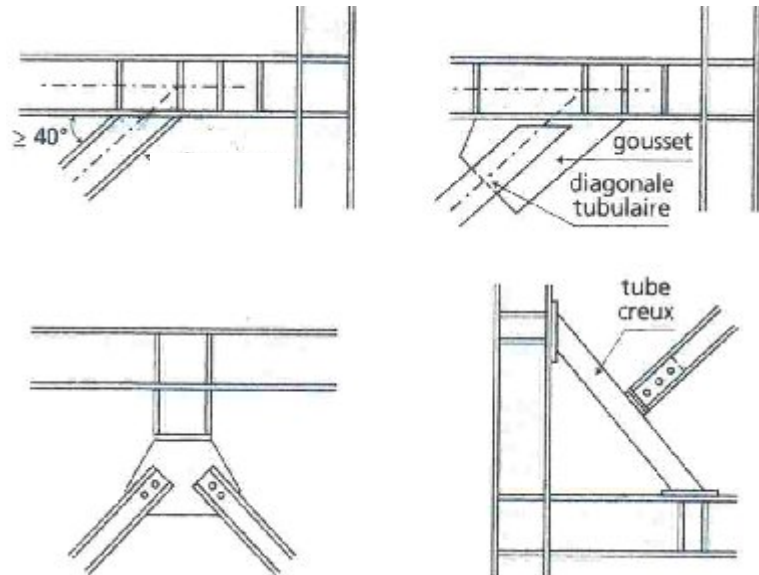


Figure 1.6 : Ossature à contreventement excentré [2]

Les excentrement introduisent dans la structure des zones (rotules plastiques) où se localisent les dissipations d'énergie par déformation plastique. La plastification se produit dans les tronçons courts; elle permet de réduire les efforts engendrés, dans les autres membrures. Différentes dispositions de barres sont possibles, comme le montre la figure (Fig 1.7) ci après [2].

Figure 1.7 : Contreventement excentré : détail du tronçon court [2].



3.3.2.3 Structures à cadres et contreventées :

Ce type de structure, combine les comportements des deux types de structure décrite précédemment. Les structures à cadres et contreventées, présentent un très bon comportement parasismique (Fig 1.8).

La dissipation de l'énergie apportée par l'action sismique, se fait à la fois par la formation de rotules plastiques dans les poutres, et par déformation plastique axiale dans les barres de contreventement. Ces barres interviennent également pour limiter les déplacements relatifs entre planchers consécutifs [10].

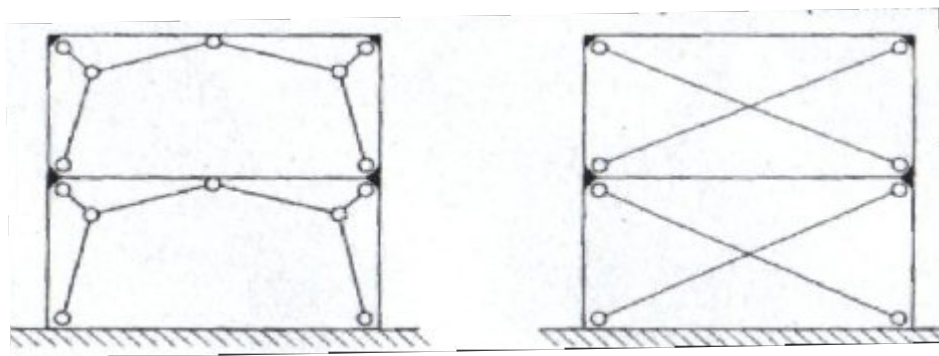


Figure 1.8 : Structures à cadres et contreventées [10]

3.3.2.4 Structures avec diaphragmes :

Ces structures résistent vis à vis de l'action sismique, par l'effet de diaphragme des parois verticales (murs) et ou horizontales (planchers). Le niveau de comportement dissipatif de ces structures est fonction de la capacité de résistance ductile au cisaillement des parois, celles ci pouvant être réalisées à partir des techniques et des matériaux très divers. Les parois doivent être fixées au cadre de l'ossature métallique, de manière à pouvoir considérer la liaison comme rigide [10].

3.3.2.5 Structures fonctionnant en console verticale :

Ces structures particulières, se traduisent par un comportement dissipatif localisé uniquement aux extrémités de poteaux. Ce type de structure, de faible degré d'hyperstaticité concerne aussi bien les portiques classiques à un seul niveau, avec une traverse rigide, que des structures élancées de type « tube » où les éléments résistants, sont essentiellement des poteaux situés en périphérie de la structure (Fig 1.9).

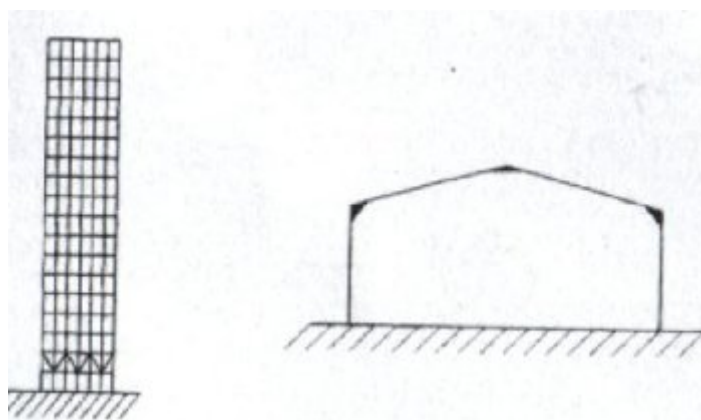


Figure 1.9 : Structures fonctionnant en console verticale [10]

Néanmoins toutes ces structures « dissipatif et non dissipatif », bien qu'elles soient conçues et réalisées pour être parasismiques, différents facteurs peuvent cependant endommager ces structures, et ce pour différentes raisons qu'elles soient conceptuelles (régularité en plan ou en élévation, joint sismique...), ou pour des raisons d'usage (changement apporté à la structures) ou de phénomènes naturels (séisme, inondation...) qui peuvent affaiblir les structures et les rendre plus vulnérables.

4. Vulnérabilité sismique :

La vulnérabilité des bâtiments est définie comme étant le degré d'endommagement qu'infligerait un séisme de paramètres X à une construction donnée ainsi qu'à l'assise, ou le

degré de perte occasionné à un éléments ou à un ensemble d'éléments soumis à une probabilité donnée d'occurrence d'un phénomène naturel (séisme) de magnitude donnée. [5] et [6]

Afin d'exprimé la vulnérabilité d'une construction il faut tenir compte de :

- Des caractéristiques intrinsèque de la construction (hauteur, sols,...etc.)
- caractéristique d'un séisme (intensité, contenu fréquentiel... etc.).

Mais lorsqu'on traite de l'évaluation de la vulnérabilité, on fait appel a plusieurs notions de base qui sont : risque, aléa, site, exposition qui se doivent d'être bien définies, afin d'avoir une compréhension juste [6].

La vulnérabilité ne peut être dissociée du risque et de l'aléa. Le risque R est par définition : La convolution de l'aléa A, de la vulnérabilité à cet aléa V, et de la valeur de l'élément exposé E.

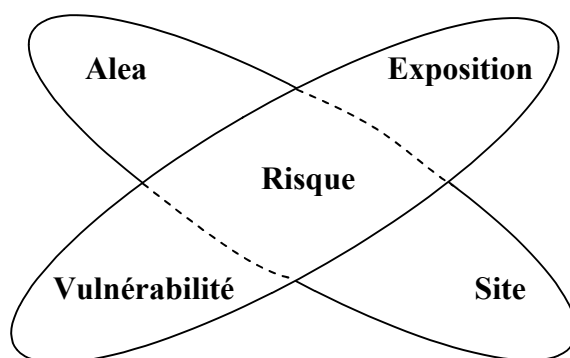


Figure 1.10 : Un risque est une corrélation entre Aléa sur un site, et la vulnérabilité de l'élément exposé

Risque : espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence, dans une région donnée, pour un aléa particulier.

Aléa : événement menaçant ou probabilité d'occurrence, dans une région et au cours d'une période donnée, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages. Un aléa, est ce qu'il est on ne peut ni le réduire, ni le contrer.

Eléments exposés : ce sont l'ensemble des infrastructures et des structures présentes, à un site donné et soumises à un aléa donné. Un site peut être soumis à plusieurs aléas.

Vulnérabilité : degré de perte d'un élément à risque, résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer, des victimes et des dommages matériels [11].

En ce qui nous concerne nous nous intéresserons seulement à l'aléa sismique, avec comme éléments exposés les structures en charpente métallique.

4.1 Définition de la vulnérabilité sismique :

L'analyse de la vulnérabilité sismique, est l'estimation de la consistance en terme qualitatif et quantitatif de l'élément à risque, en d'autres termes c'est l'estimation de son degré d'endommagement par événement sismique [14].

Le terme vulnérabilité exprime aussi les différences de réaction des bâtiments, aux secousses sismiques. Si deux bâtiments sont soumis exactement à la même agression sismique et qu'un bâtiment a été moins endommagé, il a une vulnérabilité plus faible aux tremblements de terre et vice versa [11].

De la on peut déduire que les objectifs d'une étude de vulnérabilité sismique est :

- d'estimer les dommages prévisibles aux personnes et aux biens
- d'identifier les bâtiments les plus vulnérables au séisme

4.2 méthodes disponibles pour une analyse de vulnérabilité :

Les méthodes sont nombreuses, elles sont fonction du système constructif, de l'usage...etc. Il y a plusieurs sources de fonction de vulnérabilité dans la littérature pour différente classe de structure qui se basent sur l'observation des séismes passés et sur l'estimation théorique et expérimental de charge pouvant être supporté [14].

Le tableau 1.1 ci-dessous fait la synthèse du positionnement des différentes méthodes et reflète la plus parts des approches qui concernent la vulnérabilité sismique ces dernières peuvent être classées suivant leur l'échelles d'analyse ou suivant l'approches de l'analyse :

Tableau 1.1 : Classification des méthodes et positionnement des références. [12]

	Observation de la vulnérabilité résultant de séismes passés	Jugement expert	Modèles analytiques simples	Attribution de pointage	Analyses détaillées
Méthodes hybrides	<p>DPM élaborées à partir des statistiques des séismes passés</p> <p>Fonctions de vulnérabilité pour différents types de bâtiments</p>	<p>DPM développées en se basant sur le jugement d'experts de plusieurs classes de bâtiments.</p>	<p>Modèles simples servant à identifier les mécanismes de ruptures potentiels et le degré de dommages résultant</p>	<p>Attribution de cotes aux bâtiments dans le but de les classer dans un inventaire</p>	<p>Procédure statique linéaire</p> <p>Dynamique linéaire</p> <p>Statique non linéaire</p> <p>Dynamique non linéaire</p>
Références	<p>Whitman, Reed et al. (1971)</p> <p>Coburn & Spence (1992)</p>	<p>ATC-13 (1985):</p> <p>HAZUS[®] (1997, 1999)</p>	<p>Portugal : (D'Ayala et al., 1997)</p> <p>Italie: (Faccioli et al., 1999), (Augusti et Ciampi, 2000; Augusti et al., 2001; Augusti et al., 2002)</p>	<p>Canada : Manuel de sélection (1993)</p> <p>É.U. : FEMA 154-155 (1988, 2002) :</p> <p>Suisse : grille d'évaluation</p> <p>Italie: Méthode GNDT</p>	<p>FEMA-178 (1992),</p> <p>FEMA-310 (1998) et</p> <p>ASCE 31-03 (2003)</p> <p>CNRC (1992)</p> <p>FEMA-273 (1997) et</p> <p>FEMA-356 (2000)</p>
	<p>EMS (1992 et 1998) : fonctions de vulnérabilité basées sur les vulnérabilités observées et sur le jugement d'experts</p>	<p>Hong (2003) : FEMA-178 et système d'inférence floue (basé sur le jugement d'experts) pour tenir compte des incertitudes. Résultat : INDEX DE PERFORMANCE</p> <p>Fisher, Alvarez et al. (2002) : Macro-éléments inélastiques avec le logiciel HAZUS[®] pour un nombre limité d'édifices</p>	<p>Kanda, Iwaki et al. (1997) : Analyses statiques non linéaires avec l'intégration de notions de fiabilité pour le calcul d'un index de performance</p>		
	<p>Lang (2002) : Approche analytique avec procédure statique non linéaire. Résultat : courbes de capacité reliées à EMS-98 et fonctions de vulnérabilité</p> <p>McCormack & Rad (1997). Estimation des pertes à partir de la procédure FEMA 154-155 en utilisant les DPM de l'ATC-13</p>				

4.2.1 Méthodes suivant les échelles d'analyse :

On distingue plusieurs échelles d'investigation comme il est illustré sur la (figure 1.11). Elles dépendent de l'échelle pays, région, commune, du nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles [11]. Une présentation de ces échelles est donnée dans l'annexe 01.

4.2.2 Méthodes suivant l'approche d'analyse :

Une fois l'échelle de l'analyse définie, les méthodes d'évaluation des dommages (Figure 1.11) en cas de séisme, s'appuient généralement sur l'utilisation de matrices probabilistes de dommages, ou de courbes de vulnérabilité, qui donnent le pourcentage d'une famille de bâtiments, ayant atteint un certain niveau de dommages. Ces méthodes se basent sur le retour d'expérience et des estimations de dommages après plusieurs séismes ou sur les données de dommages moyens subis par la structure en fonction du niveau sismique [11], les définitions de ces méthodes sont données dans l'annexe 01.

Ces différentes méthodes sont synthétisées dans le schéma suivant :

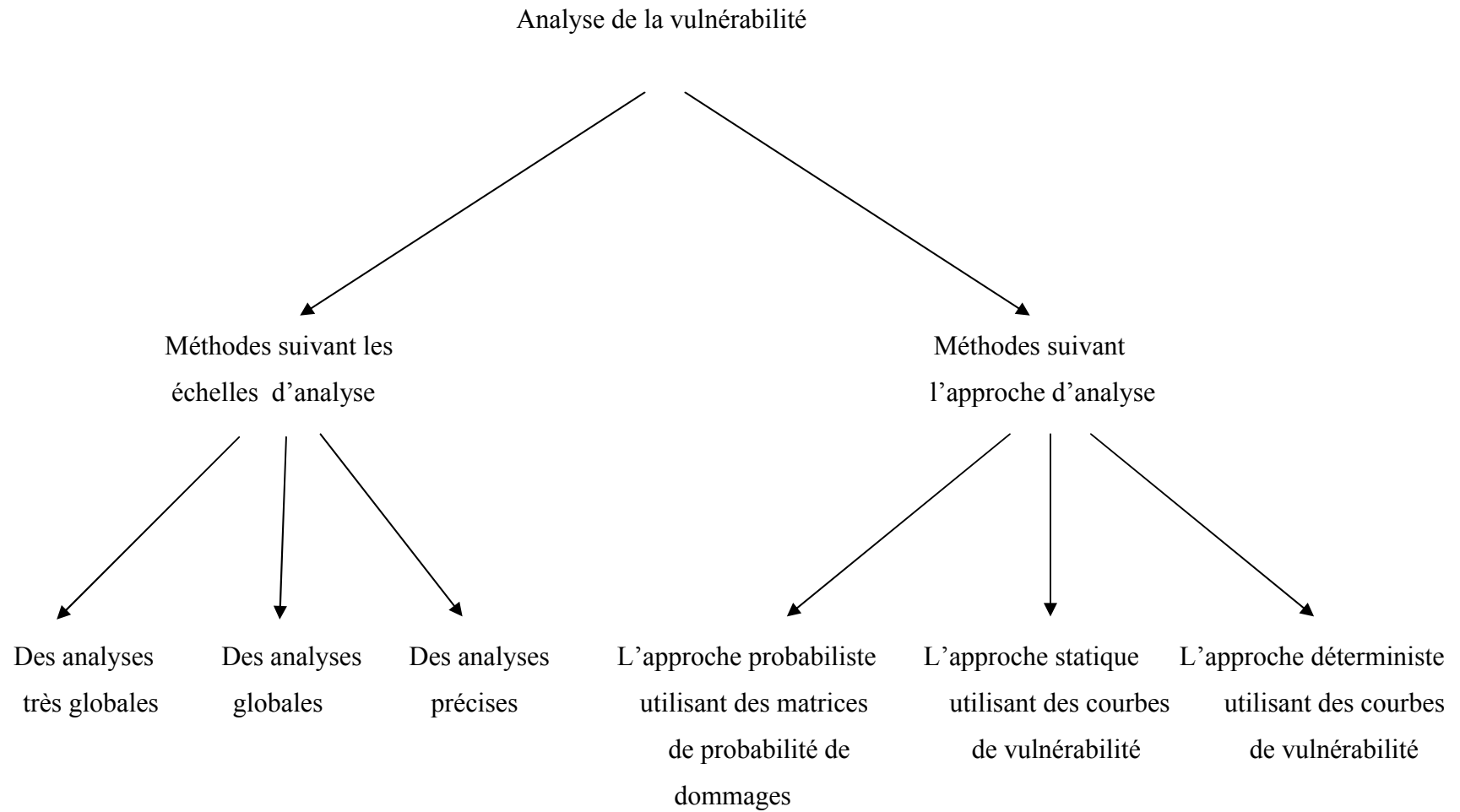


Figure 1.11 : Schéma des différentes méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique

4.3 Choix d'une méthode de vulnérabilité :

Les méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique diffèrent par leur complexité leur précision et leur objectif. La méthode choisie pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique dépendra de la qualité et de la quantité de données disponibles et de l'objectif visé, que se soit pour obtenir la vulnérabilité sismique d'un bâtiment unique ou d'un ensemble de bâtiment.


L'évaluation de la vulnérabilité nécessite l'estimation des dommages potentiels aux différents types de structures, et selon différentes intensités sismiques. Afin d'estimer les dommages probables. On a recourt a des approches empiriques ou a des analyses dynamiques théoriques des structures à l'études [12].

Il convient donc ainsi de proposer des méthodes alternatives, pour évaluer une vulnérabilité qui puisse être faite, à un coût raisonnable. Il faut donc identifier pour chaque méthode proposée, ses limites et ses incertitudes, de façon à avoir une vision claire des résultats produits par chacune.

Une valeur de vulnérabilité d'un bâtiment ou d'une zone urbaine, doit être accompagnée d'une incertitude. Cette évaluation doit s'améliorer avec l'augmentation des moyens mis en œuvre, depuis une évaluation sommaire jusqu'à la plus sophistiquée ,c'est-à-dire que l'incertitude doit se réduire au fur et à mesure des moyens mobilisés[11].

Dans les études de la vulnérabilité, on peut distinguer les méthodes d'estimation et les méthodes de calculs. Le tableau 1.2 illustre ces méthodes en fonction de la difficulté et du temps de calcul.

Tableau 1.2 : Classification selon le temps et la difficulté de calcul [12].

<i>Investissement</i>	 Temps et difficulté de calcul				
<i>Application</i>	Ensemble de bâtiments			Bâtiment unique	
<i>Méthodes</i>	Observation de la vulnérabilité résultant de séismes	Jugement expert	Modèles analytiques simples	Attribution de pontage	Analyses détaillées

Ce tableau, a été revue par le groupe de travail AFPS en 2005 en rajoutant quelques méthodes qui peuvent être utilisées, avec leur applicabilités et les moyens humains mis en œuvre, ce qui a donné le tableau 1.3 .

Tableau 1.3 : Les différentes échelles d’analyse et leur applicabilité (2005) [11].

	Augmentation des moyens mis en œuvre →				
	Temps et difficulté de calcul				
Echelle d’analyse	Plusieurs centaines de Bâtiments		quelques bâtiments		bâtiment individuels
Méthodes	Vulnérabilité EMS98	-Indice de vulnérabilité	-Avis d’experts	-Calculs analytiques simples	-Analyse numérique Modélisation
Applicabilité	Ville - commune- quartier - parcs immobiliers – bâtiments stratégiques				
Moyen humain	Sans formation- étudiant -techniciens - ingénieur -ingénieur confirmé				

Une réflexion sur ces méthodes, nous a amené à proposer le tableau suivant :

Tableau 1.4 : Les différentes échelles d’analyse et leur applicabilité

	Augmentation des moyens mis en œuvre →				
	Temps et difficulté de calcul				
Echelle d’analyse	Plusieurs centaines de Bâtiments		quelques bâtiments		bâtiment individuels
Méthodes	Vulnérabilité : -Hazus -Radius -EMS98 -RISK-EU	-Indice de vulnérabilité	-Avis d’experts -ATC13	-Calculs analytiques simples -GNDT 1	-Analyse numérique Modélisation
Applicabilité	Ville - commune- quartier - parcs immobiliers – bâtiments stratégiques				
Moyen humain	Sans formation- étudiant -techniciens - ingénieur -ingénieur confirmé				

Alors pour choisir une méthode d’évaluation de la vulnérabilité il faut trouver un compromis entre le coût de l’analyse, l’échelle de précision et la qualité de l’évaluation, tout en gardant à l’esprit que la meilleure analyse peut être atteinte par étapes successives chacune d’entre elles, contribuant à l’amélioration de la suivante [11].

Dans cette étude sont traités que les bâtiments dont le système structural principal est en acier. D'après les évaluations macrosismiques existantes on ne dispose jusqu'à présent que peu de données, sur les structures à ossature en charpente métallique les dégâts structuraux peuvent être masqués par des éléments non structuraux comme les bardages ou les façades rideaux. Voilà en résumé les méthodes existantes dans la littérature qui traitent les structures en charpente métallique.

4.4.1 Systèmes de pointage ou indice de vulnérabilité :

Les systèmes de pointage ou de calcul d'indice de vulnérabilité, ont pour objectif principal, la sélection rapide des bâtiments, aux fins d'un classement dans un inventaire. Des données nombreuses permettent d'avoir une approche statistique, à l'interprétation des résultats.

Le principe de base de cette approche, est l'attribution d'un pointage aux différents systèmes structuraux selon leur classe de vulnérabilité. L'observation de déficiences vient modifier le pointage de base, jusqu'à l'obtention d'une cote finale, se voulant le reflet de la vulnérabilité sismique du bâtiment, par rapport à d'autres bâtiments du même type. Les cotes ou points attribués aux systèmes structuraux et aux déficiences sont généralement calibrés par des experts [12].

Le grand avantage des méthodes par système de pointage, est qu'il s'agit d'une méthode simple de la mesure de la vulnérabilité, mais sa valeur est essentiellement statistique.

On doit également vérifier que des pointages égaux, représentent réellement le même niveau de vulnérabilité, indépendamment de la typologie des bâtiments et de leurs caractéristiques mécaniques.

De même que des pointages différents doivent refléter l'écart réel de vulnérabilité, cette approche ouvre la porte à l'estimation des pertes en la jumelant à des matrices de dommages probables. C'est ce qui a été fait entre autre pour l'estimation des pertes de la Ville de Portland en Oregon [12].

Les méthodes utilisées par un pays ou un autre, se différencient généralement par le type de structures considérées, les éléments modifiant la performance, l'inclusion ou non des éléments non-structuraux et de la valeur économique des bâtiments. Parmi les pays possédant une méthodologie établie, on retrouve entre autre les États-Unis, le Canada, la Suisse et l'Italie [12].

4.4.2 Analyses détaillées :

Les analyses détaillées (fig1.12) font partie des méthodes d'évaluation les plus complexes et sont par conséquent mieux adaptées pour l'évaluation d'un bâtiment unique. Les différentes méthodes d'analyse détaillées, peuvent être classées parmi les procédures linéaires (Statique et dynamique) et les procédures non linéaires (statique et dynamique) [12] pour les définir, il y a lieu de se référer à l'annexe 02.

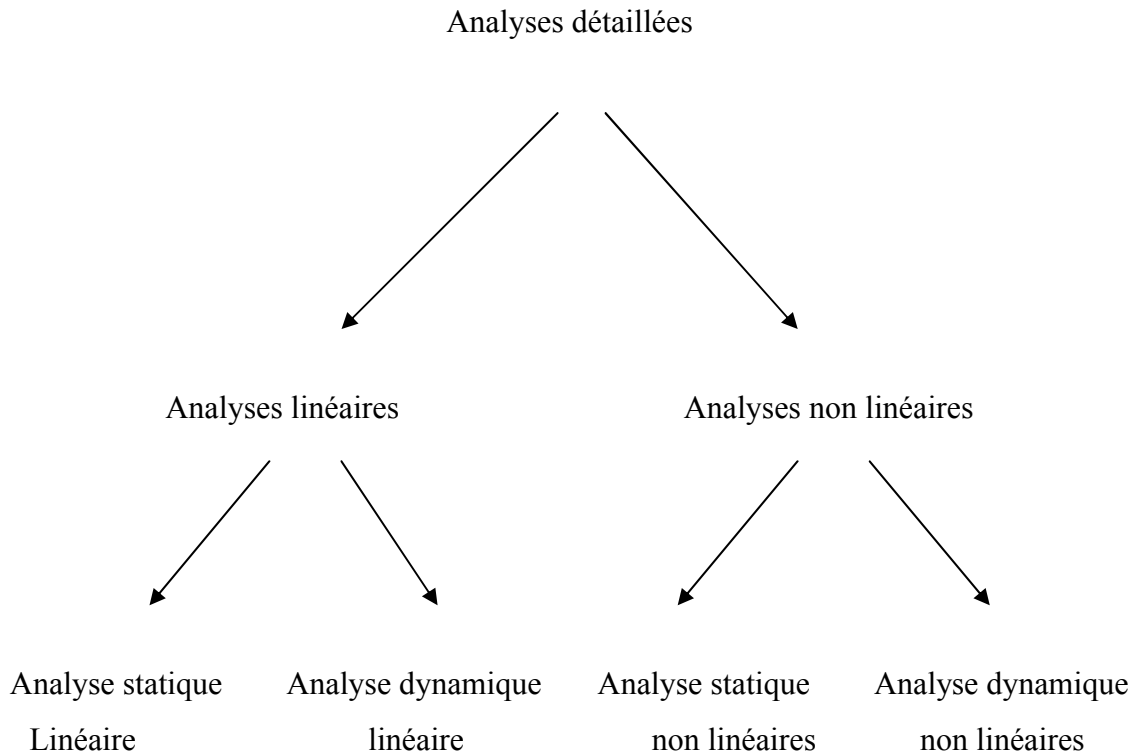


Figure 1.12 : Types d'analyses détaillées

4.4.3 Procédure rapide d'évaluation sismique visuelle (FEMA-154) :

Suite au rapport ATC-21 le Federal Emergency Management Agency proposait en 1988 une procédure rapide d'évaluation sismique, pour identifier les systèmes de résistance latérale primaire, et les déficiences sismiques des bâtiments. Le principe de cette méthode est que la suite à une évaluation visuelle rapide d'un bâtiment, on lui attribue une cote structurale de base (**BSH** : Basic Structural Hazard) selon sa typologie parmi 15 types de bâtiments définis au Tableau 1.5 et selon la sismicité de la région définie par l'accélération maximale au sol.

Tableau 1.5 : Classification typologique et cotes structurales de base du FEMA-154 2002[11]

Type de structure	Description	Cote initiale BSH		
		Sismicité		
		Faible	Moyenne	Élevée
Structure de bois	W1: Charpente de bois (< 5000 pi ²) W2: Charpente de bois (> 5000 pi ²)	7.4 6	3.2 4.8	4.4 3.8
Ossature en acier	S1: résistant au moment	4.6	3.6	2.8
	S2: contreventée en acier	4.8	3.6	3.0
	S3: légère en acier	4.6	3.8	3.2
	S4: avec murs de cisaillement en béton	4.8	3.6	2.8
	S5: avec murs de remplissage en maçonnerie	5.0	3.6	2.0
Béton	C1 : Ossature en béton résistant aux moments	4.4	3.0	2.5
	C2 : Murs de béton travaillant en cisaillement	4.8	3.6	2.8
	C3 : Ossature avec murs de remplissage en maçonnerie	4.8	3.2	1.6
	PC1 : Murs en béton préfabriqué	4.4	3.2	2.6
	PC2 : Ossature en béton préfabriqué	4.6	3.2	2.4
Maçonnerie	RM1 : M. porteuse armée diaphragmes flexibles	4.8	3.6	2.8
	RM2 : M. porteuse armée diaphragmes rigides	4.6	3.4	2.8
	URM : Maçonnerie non armée	4.6	3.4	1.8

Tableau 1.6 : Sismicité définie dans le FEMA-154 2002[11]

Sismicité	PGA (T = 0,2 sec)	PGA (T = 1 sec)	MMI*
Faible	<0,167g	<0,067g	VI
Moyenne	0,167g à 0,5g	0,067g à 0,2g	VII, VIII
Élevée	= 0,5g	= 0,2g	IX

Dans la première édition du FEMA-154 en 1988 (ou ATC-21), la cote structurale de base (**BSH**) était développée à partir des matrices de dommages probables définies dans le rapport ATC-13 (ATC, 1985) pour 12 types de bâtiments. Dans ce rapport, les probabilités de dommages étaient établies, à partir de l'opinion d'experts pour différentes intensités sismiques de l'échelle de Mercalli modifiée (MM). Dans la deuxième édition du FEMA - 154 (BSSC, 2002a) on intègre les nouvelles connaissances sur l'aléa sismique et sur la performance des bâtiments. La cote **BSH** est maintenant établie, à partir des courbes de fragilité obtenues par le logiciel HAZUS, qui caractérise l'aléa sismique, en termes d'accélération spectrale maximale. Dans le FEMA-154 2002, la cote **BSH** correspond à la probabilité d'effondrement d'un type de bâtiment pour le séisme maximum probable. La cote structurale de base est ensuite modifiée par l'ajout ou la soustraction de facteurs de modification de la performance **SM** établis selon les déficiences observées pour les différentes classes de bâtiment. La cote finale **S** est la mesure de la probabilité d'effondrement du bâtiment à l'étude.

Les caractéristiques structurales considérées par les facteurs de modification **SM** sont les suivantes :

- Hauteur du bâtiment : moyenne ou élevée
- Irrégularités : horizontales ou verticales
- Année de conception et de construction : pré-code et post-année de référence
- Types de sol (six)

La cote finale varie théoriquement entre 0 et 9.8, et on recommande de procéder à une analyse détaillée pour tout bâtiment, ayant obtenu une cote inférieure à 2.

Dans cette approche, la cote structurale de base **BSH** dépend de la zone d'aléa sismique et de la vulnérabilité reliée à la tenue au séisme du bâti (typologie et déficiences structurales). Il s'agit donc d'une cote donnant la classification du risque sismique associé au bâtiment, sans considération de la valeur des pertes économiques ou humaines.

4.4.4 Méthodologie de RISK-UE :

RISK-UE, est un projet utilisé pour l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments courants, ce projet repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné, indice qui est fonction de la typologie constructive ainsi que de différents facteurs susceptibles de modifier son comportement. A partir de cet indice, il est possible de définir en fonction de l'intensité macrosismique EMS98 des courbes de vulnérabilité et de fragilité qui permettent

d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur un bâtiment. Deux niveaux d'évaluation des constructions ont été développés : le niveau 1 ou LM1 et le niveau 2 ou LM2 [6] et [13].

La méthode de niveau 2, dite LM2, basée sur l'analyse de la capacité d'une structure à dissiper de l'énergie. Cette méthode nécessitant des moyens et des compétences plus large pour une analyse à grande échelle [11].

La méthode du niveau 1, consiste à définir pour chaque élément de la typologie RISK-UE, un indice de vulnérabilité la plus probable IV^* qui représente l'appartenance d'un bâtiment à une classe de vulnérabilité. Elle est basée sur la classification des structures en fonction de leur système de contreventement et sur les modèles de chargement afin d'avoir des types de dommages semblables lors d'un séisme. Cette méthode a surtout l'avantage de donner les limites de l'intervalle probable de l'indice de vulnérabilité IV^+ et IV^- et aussi les limites minimales IV^{\min} et maximale IV^{\max} de chaque élément de la typologie. Cette méthode revient à définir un indice de vulnérabilité de base et un intervalle de confiance quant à la définition de cette vulnérabilité. Cet indice est compris entre 0 et 1. A partir de cet indice, des courbes de vulnérabilité ont été proposées par l'université de Gènes [11] et [13].

Les principaux inconvénients de la méthodologie RISK-UE résident :

- Pour la LM2 : Les estimations faites surestiment les pertes qui peuvent réellement occasionnés. C'est ce qui ressort des principales validations faites de la méthode.
- Pour LM1 : Le problème réside dans le fait que, pour certaines constructions leur indice de vulnérabilité peut être négatif ou bien supérieur à un (1). Or dans cette méthode, l'indice est compris par hypothèse entre zéro (0) et un (1), d'où la difficulté d'interpréter des valeurs négatives ou supérieur à un (1).

Le tableau suivant (1.7) représente les valeurs représentatives de IV de RISK-UE en ce qui concerne les structures en aciers.

Tableau 1.7 : Typologie RISK-UE et valeurs représentatives de Iv [11]

			Valeurs représentatives de IV				
			IV ^{min}	IV ⁻	IV	IV [*]	IV ^{max}
Acier	S1	Système poteaux/ poutres en acier	-0.020	0.047	0.363	0.640	0.860
	S2	Structure en acier contreventé	-0.020	0.047	0.287	0.480	0.700
	S3	Système poteaux /poutres en acier avec mur de remplissage en maçonnerie non armé	0.140	0.330	0.484	0.640	0.860
	S4	Système poteaux /poutres en acier avec mur de refend en béton coulés en place.	-0.020	0.047	0.224	0.350	0.540
	S5	Système de composants acier et béton armé	-0.020	0.257	0.402	0.720	1.020

L'index de vulnérabilité de base lié à la typologie, va ensuite être modulé en fonction de critères structuraux propres à chaque structure, [12]. Voir tableau (1.8) suivant :

Tableau 1.8 : Critères structuraux de vulnérabilité et leurs coefficients associés.

		Facteurs de vulnérabilité	Code Bas	Code Haut	
		Bas(1,2 ou3)	-0.04	-0.04	
		Moyen (4,5 ou6)	0	0	
		Haut (7 ou plus)	+0.08	+0.06	
Irrégularité en plan	Forme (L,C)	Oui	+0.02	+0.01	
		Non	0	0	
	Protubérance	Oui	+0.02	+0.01	
		Non	0	0	
Irrégularité en élévation	Saillie	Oui	+0.02	+0.01	
		Non	0	0	
	Retrait	Oui	+0.02	+0.01	
		Non	0	0	
		Joint insuffisants	Oui	+0.04	0
			Non	0	0
		Poteaux courts	Oui	+0.04	+0.01
			Non	0	0
		Règles PS	Avant 1982	+0.16	
			Après 1982		0

Puis, la recherche des indices de vulnérabilité, se fait bâtiments par bâtiments.

4.4.5 Description de l'EMS-98 :

L'Échelle Macrosismique Européenne (Grünthal, 1998) contient 12 intensités évaluées à partir des dommages observés sur les bâtiments et l'effet des secousses sur les gens et l'environnement. Créée en 1992 sous la recommandation de la XXIIIe assemblée générale de la Commission Sismologique Européenne et révisée en 1998, elle se distingue des échelles existantes, comme l'échelle MSK qui lui a servi de point de départ, par l'utilisation des classes de vulnérabilité et des structures calculées.

On distingue 15 types de structures, auxquelles on assigne la classe de vulnérabilité la plus probable parmi un total de six classes. L'attribution de la classe la plus probable, est généralement faite à partir d'opinion d'experts. [12] Cette classification est donnée au tableau suivant :

Tableau 1.9 :
Classes de vulnérabilité
de l'E.M.S 98

Type de structure	Classe de vulnérabilité					
	A	B	C	D	E	F
MAÇONNERIE	Moellon brut, pierre tout venant	○				
	Brique crue (adobe)	○—				
	Pierre brute	—○				
	Pierre massive		—○—			
	Non renforcée, avec des éléments préfabriqués	—○—				
	Non renforcée, avec des planchers en béton armé		—○—			
	Renforcée ou chaînée			—○—		
BÉTON ARMÉ	Ossature sans conception parasismique (CPS)		—○—			
	Ossature avec un niveau moyen de CPS			—○—		
	Ossature avec un bon niveau de CPS				—○—	
	Murs sans CPS		—○—			
	Murs avec un niveau moyen de CPS			—○—		
	Murs avec un bon niveau de CPS				—○—	
ACIER				—○—		
BOIS				—○—		

○ Classe de vulnérabilité la plus probable; — Intervalle probable;
 Intervalle de probabilité plus faible, cas exceptionnels

Afin de définir l'intensité sismique correspondant à une secousse, on utilise les dommages observés sur les différentes classes de vulnérabilité de structures. Cinq degrés de dommages sont considérés. Voir annexe 03.

5 Conclusion :

Le présent chapitre nous a permis de mettre en relief une analyse historique, de l'évolution de la réglementation ainsi que le type de construction qui existe en charpente métallique.

D'après la littérature existante et les observations post sismique, effectuer sur terrain, les structures métallique peuvent subir, des endommagements dus au séisme qui peuvent même ruiner ce type de constructions.

C'est pourquoi, il est nécessaire d'évaluer la vulnérabilité du bâti existant, ceci permettra :

1. de déterminer les paramètres de construction influents sur la vulnérabilité sismique et quantifier leur influence
2. de décider de moyens de secours à mettre en place, car les estimations économiques des dégâts causés par un séisme, sont issues de simulations post sismiques, qui font appel aux résultats de vulnérabilité
3. d'identifier les bâtiments les plus vulnérables aux séismes, de façon à planifier et organiser une politique de renforcement du bâti existant et d'identifier les secteurs ou les quartiers les plus sensibles aux secousses sismiques.
4. de prévenir et évaluer les conséquences d'un séisme éventuel, afin de déduire les dégâts et les dommages dus aux séismes.

Une revue de l'état de connaissances, sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique a été établie. Il s'agit donc d'identifier le bâtiment, qui présente le plus de risques; de ce fait des méthodologies d'estimation de la vulnérabilité sismique, ont été passées en revue et nous ont permis de recenser, la plupart des méthodologies d'analyse de la vulnérabilité sismique existantes dans la littérature qui évoque les structures en acier.

Aussi, la recherche documentaire a permis de constater, que les méthodes existantes traitent sommairement ces types de construction, qui ne sont traitées qu'à grande échelle seulement (EMS98, RISK-UE, FEMA 154).

Pour ce qui concerne les méthodes d'analyses détaillées, ce sont des méthodes précises qui nécessitent des moyens considérables, en temps, en matériel et en personnes qualifiées, c'est pourquoi, elles sont très difficiles à utiliser pour une analyse de quelques bâtiments ou de quartiers.

Afin de trouver un compromis entre ces méthodes, nous nous proposons d'adopter une approche intermédiaire, qui est l'approche par indice de vulnérabilité que nous appliquerons aux structures en charpente métallique.

CHAPITRE 2 : METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE

1. Introduction :

L'analyse de la vulnérabilité sismique des constructions signifie, l'estimation de leur consistance en terme quantitatif et qualitatif, particulièrement, l'estimation de leur degré d'endommagements par un mouvement sismique.

L'estimation de la vulnérabilité sismique comprend deux taches majeures :

- détermination des paramètres de construction influent sur la vulnérabilité sismique et quantification de leur influence.
- développement des outils avec les quels la vulnérabilité peut être estimée, en tenant compte des caractéristiques des constructions.

Les outils ou les méthodes d'estimation de la vulnérabilité sont nombreuses, et sont fonction du système constructif, de l'usage, de la typologie...etc. Il y a plusieurs sources de fonction de vulnérabilité dans la littérature, pour différentes classes de structures, se basant sur l'observation des séismes passés, et sur l'estimation théorique et expérimental de charge pouvant être supportée par la structure. Quelques méthodes sont décrites dans le chapitre précédant.

En Italie, l'utilisation d'une technique d'évaluation de la vulnérabilité pour assigner des indices de vulnérabilité a été proposée pour la première fois, par Benedetti et Pétrinie, en 1984. Cette technique a été utilisée la première fois dans les villes de Gubbio et Fruilis, en Italie, pour les constructions en maçonnerie. Elle a été adoptée pour les constructions en maçonnerie en Algérie en 2003 [05].

En s'inspirant du même travail, la méthode de l'indice de vulnérabilité a été modifiée et adoptée, pour les constructions en béton armé pour la première fois en Espagne par F.yapeze en 1995.

Puis un travail a été effectué pour adopter cette méthode pour les constructions en béton armé en Algérie [06].

2. Méthode indice de vulnérabilité :

La méthode indice de vulnérabilité, est une méthode essentiellement élaborée à partir d'observations post sismiques. Elle permet en particulier d'identifier les défauts et les faiblesses de constructions, à partir d'examen visuels de la structure, et d'estimer le taux de dommages probables en fonction d'un niveau de sollicitation.

Cette approche, considère un certain nombre de paramètres de nature structurale et non structurale, relative à chaque type de construction; identifiés à priori comme participant à la vulnérabilité globale de la structure, c'est-à-dire influant sur la réponse sismique de la structures; ces paramètres sont choisis par des observations post sismiques et des retours d'expérience des séismes passés.

Les paramètres, sont combinés à des coefficients qui expriment la qualité sismique des éléments structuraux et non structuraux, et ne peuvent prendre qu'une seule valeur de vulnérabilité. La somme pondérée des valeurs numériques nous donne une valeur appelée « indice de vulnérabilité », qui caractérise le taux de dommage que pourrait subir le bâtiment, sur un séisme donné, en indiquant la classe à laquelle appartient la structure.

L'indice de vulnérabilité « I_v » est un indicateur qualitatif et quantitatif, de l'état de la structure qui peut être estimé, avant et après l'occurrence de l'événement sismique. Il permet ainsi de connaître la qualité sismique de la construction d'une région, et de faire leur classification.

En s'inspirant de ce qui a été déjà fait, nous proposons de développer la méthode de l'indice de vulnérabilité « I_v » pour les constructions en charpente métallique.

3. Méthode de l'indice de Vulnérabilité développé pour les structures en charpente métallique :

Afin d'adapter la méthode de l'indice de vulnérabilité « I_v » pour les structures en charpente métallique, nous avons suivi les étapes suivantes :

3.1. Définition des paramètres et classification :

Choisir les paramètres les plus influant sur le comportement sismique, et les classer les uns par rapport aux autres, en fonction de leur importance et de leur contribution dans la réponse sismique de la structure, a été une des tâches les plus importante et celle nécessitant le plus de réflexion.

Les paramètres choisis ont été:

1. Ductilité
2. Capacité portante
3. Assemblage
4. Etat d'entretien maintenance
5. Type de sol
6. Diaphragme horizontal
7. Régularité en plan
8. Flambement de la structure
9. Modifications
10. Régularité en élévation
11. Entrechoquement
12. Implantation de l'ouvrage
13. Toiture
14. Détail

Dans ce qui suit nous allons expliciter chacun de ces paramètres

3.1.2 Ductilité :

Les séismes de forte magnitude, sollicitent la structure en dehors du domaine d'élasticité celle-ci doit être en mesure de résister et d'absorber de grandes énergies de déformation sans tomber en ruines.

La ductilité offerte par les matériaux de construction, celle de l'acier en particulier, constitue un facteur important de résistance aux actions sismiques. En effet les déformations inélastiques, jouent un rôle très important dans le mécanisme d'absorption de l'énergie transmise à la structure, par ces charges exceptionnelles.

3.1.2.1 Ductilité en chargement statique :

Définissons ce que l'on entend par la ductilité. Prenons un schéma idéalisé d'un comportement élasto-plastique parfait « force- déplacement » figure 2.1, pour une structure supposée ductile, en chargement statique ; la limite du comportement élastique sur cette courbe sera repérée par le point (A), et la limite ultime du déplacement par le point (B), l'aire comprise entre cette courbe, et l'axe horizontal de déplacement représente l'énergie de déformation absorbée, par la structure pour ce degré de liberté.

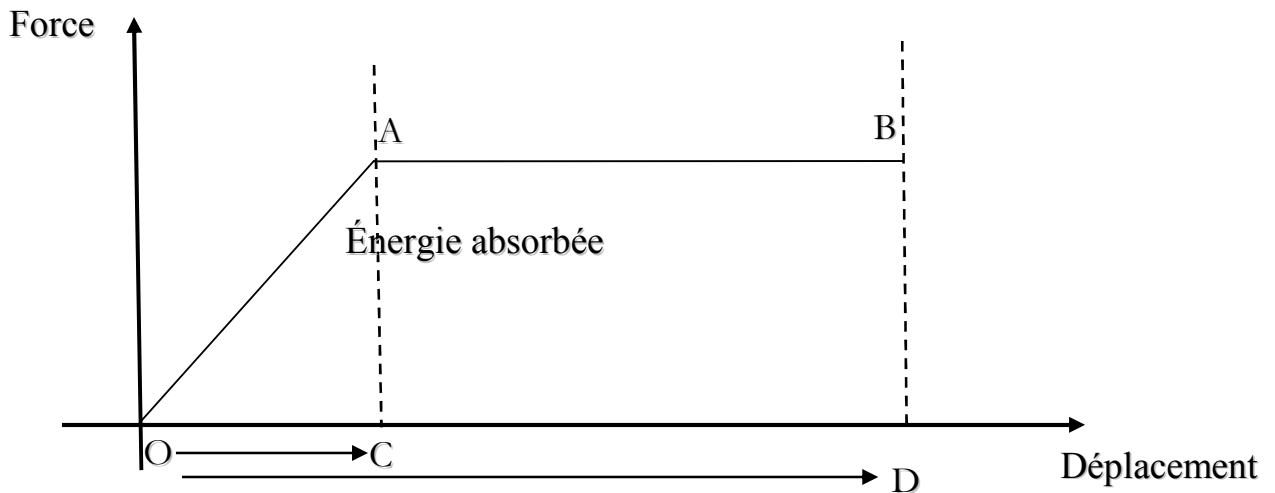


Figure 2.1 : comportement élasto-plastique

L'énergie peut être divisée en deux parties :

1. La partie OAC qui représente l'énergie élastique maximale absorbée par les déformations réversibles ; cette énergie (l'énergie de déformation élastique) est emmagasinée provisoirement dans la structure, et sera restituée lorsque la structure perd le déplacement élastique OC (déchargement selon BB' parallèle à OA).
2. la partie ABDC qui correspond à l'énergie maximale absorbée dans le domaine plastique (en comportement stable), est essentiellement emmagasinée, dans la structure parce que celle-ci garde toujours un déplacement plastique. On désignera dans le cas général d'un comportement non linéaire.

En comparant les parties OAC et ABDC, on remarque que l'énergie absorbée, par les déformations plastique, est beaucoup plus importante que l'énergie élastique.

3.1.2.2 Ductilité en chargement alterné :

L'argument précédent, s'est placé d'un point de vue statique, mais cette capacité des structures ductiles, est encore plus significative, lorsqu'on les considère en régime dynamique alterné. En effet la courbe « force - déplacement » (figure 2.2) va présenter plusieurs cycles qui proviennent des accélérographes sismiques.

Ceci permet à la structure, d'absorber une grande partie de l'énergie apportée par le séisme, à condition que le matériau présente une bonne ductilité dans les deux sens.

Le schéma illustre (figure 2.2) le mode d'absorption progressif, par déformations plastiques alternées, de l'énergie attachée, à l'un des degrés de liberté d'une structure en se plaçant dans l'hypothèse de plasticité ; cette énergie est représentée par l'aire intérieure de la courbe « force – déplacement » ABCDEFGHIJKLMNO.

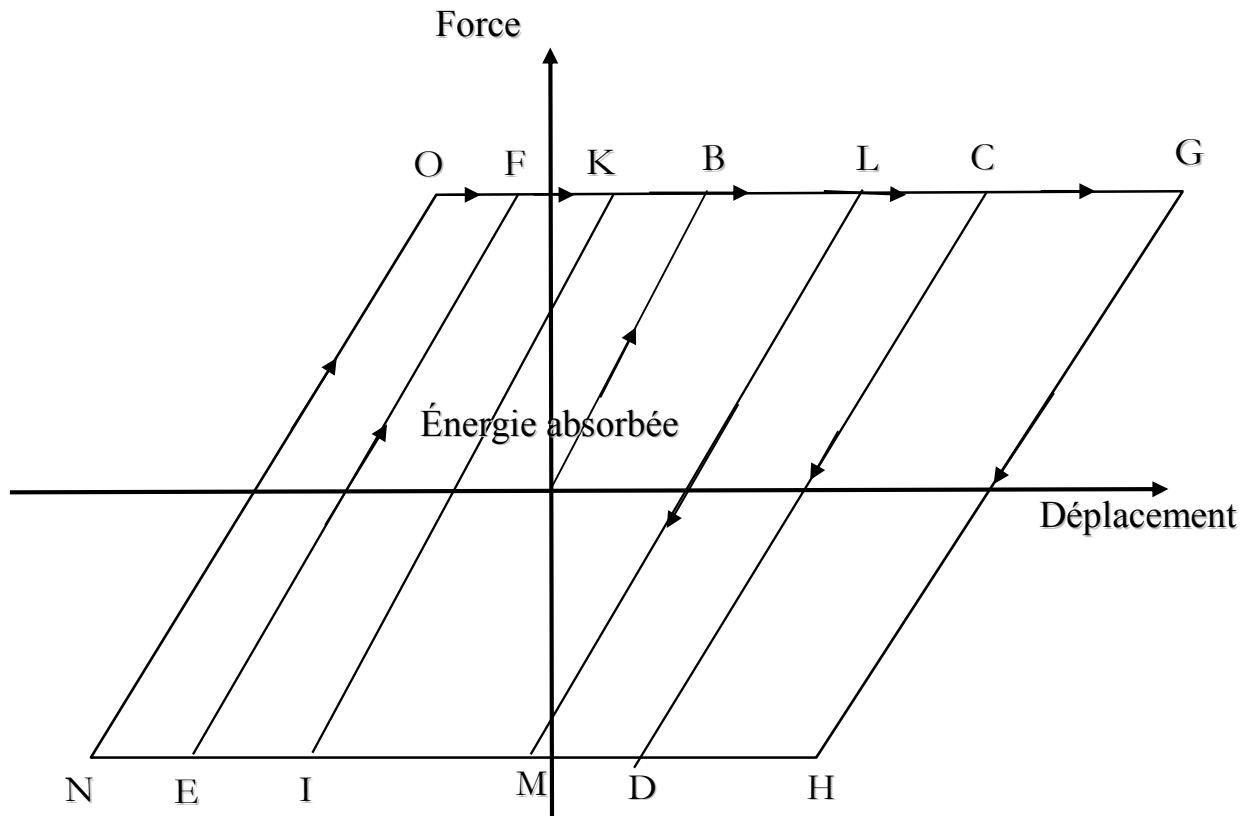


Figure 2.2 : comportement élasto-plastique en dynamique

3.1.2.3 Facteur de ductilité :

Par définition, le facteur de ductilité du degré de liberté considéré, est mesuré par le rapport entre le déplacement total OD, et le déplacement élastique OC ductilité maximale (cas de la figure II-1)

$$\mu_{\max} = OD/OC \quad 2.1$$

Aussi, le rapport des énergies absorbées par les déformations plastiques et élastiques d'une structure, dépend directement de son facteur de ductilité, celui-ci étant défini, pour chaque structure, en fonction de la ductilité de ses matériaux et de ses composantes (ses degrés de liberté) et en fonction de la répartition des déformations dans l'ensemble de la structure.

Cependant, tout l'art de construire « parasismique » est de connaître si cette ductilité maximale, peut être atteinte sans risque de ruine prématurée.

Il appartient donc à l'ingénieur, de fixer la ductilité admissible, à partir du degré de résistance que l'on entend exiger.

Pour le degré de liberté considéré, le facteur de ductilité admissible, est défini pour un certain point (E) situé entre (A) et (B).

3.1.2.4 Définition du facteur de comportement :

Sous l'effet d'action sismique de forte intensité, les structures subissent des déformations se situant très largement dans le domaine post élastique. Elles résistent à un niveau d'agression supérieur à celui pour lequel, elles ont été conçues. Ceci s'explique par le fait, que les structures ont la faculté de dissipation d'énergie due à leur comportement non linéaire.

Pour tenir compte de ces incursions, dans le domaine post-élastique, les codes considèrent d'une part, une structure réelle, et d'autre part une structure fictive identique à la précédente sauf qu'elle peut rester indéfiniment élastique, quelles que soient les sollicitations s'exerçant sur elle.

Les maximas des sollicitations, s'exerçant dans la structure réelle, sont respectivement égales à ceux de la structure fictive, mais divisée par un coefficient réducteur. Ce coefficient est appelé facteur de comportement ou coefficient de réduction.

En d'autres termes, pour concevoir un ouvrage, les codes parasismiques préconisent, non seulement de calculer la réponse de la structure par les méthodes d'analyse de type linéaire équivalent, mais aussi d'estimer la possibilité d'incursion dans le domaine post élastique en

tenant compte des aptitudes effectives des matériaux et assemblage, sous forme d'un coefficient réducteur.

Dans le code parasismique algérien RPA 99, le facteur de comportement est défini par un coefficient « R »

Tableau 2.1 : valeur des facteurs du comportement dans le RPA 99 pour les structures en acier

Description du système de contreventement pour les structures en acier	Valeur de R
1- Portiques auto stables ductiles	6
2- Portiques auto stables ordinaires	4
3- Ossatures contreventée par palées triangulées en X	4
4- Ossatures contreventée par palées triangulées en V	3
5- Mixte portiques/palées triangulées en X	5
6- Mixte portiques/palées triangulées en V	4
7- Portique en console verticale	2
8- Ossature métallique contreventement par diaphragme	2

Selon le facteur de comportement nous proposons de classer les structures en trois classes définie dans le tableau 2.2 comme suit :

Tableau 2.2 : ductilité suivant le facteur de comportement pour les structures en charpente métallique

Niveau de ductilité	Valeur de facteur de comportement « R »
Bonne ductilité Classe A	[6 – 4 [
Ductilité moyenne Classe B	[4 - 2 [
Ductilité faible Classe C	≤ 2

3.1.3 Capacité portante :

C'est la comparaison entre l'effort tranchant de base induit par le séisme calculé, avec la réglementation parasismique algérienne RPA 99, et l'effort tranchant maximum supporté, par la structure. Les étapes de calcul de ce paramètre ainsi que sa classification sont données dans l'annexe 04.

3.1.4 Assemblage :

Il s'agit du point de passage obligé pour les sollicitations, qui doivent circuler entre les composants d'ossature. Leur défaillance, met directement en cause le fonctionnement de l'ensemble de la structure.

La classification de ce paramètre est donnée comme suit :

3.1.4.1 Classe A :

Quand il n'y a aucun manque dans les assemblages et que des contrôles périodiques sont effectués.

3.1.4.2 Classe B :

Dans cette classe sont rangés, les assemblages qui n'ont pas subi de contrôle et dont aucun manque n'est constaté.

3.1.4.3 Classe C :

On retrouve dans cette classe les assemblages, où il y a un manque de boulons, de rivets ou présence de mauvaises soudures.

3.1.5 Etat d'entretien maintenance :

Le principal inconvénient des constructions en acier, est leur corrodabilité. Des entretiens réguliers sont nécessaires, pour conserver la résistance des bâtiments dans le temps.

Trois classes sont à distinguer :

3.1.5.1 Classe A :

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

3.1.5.2 Classe B :

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

3.1.5.3 Classe C :

Cette classe regroupe les structures abandonnées ou délaissées.

3.1.6 Type de sol :

Ce paramètre, repose sur les caractéristiques du sol selon le RPA 99

On trouve en :

3.1.6.1 Classe A : (site rocheux) Catégorie S₁

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

3.1.6.2 Classe B : (site ferme) : Catégorie S₂

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

3.1.6.3 Classe C : (site meuble et très meuble) : Catégorie S₃ et S₄

- Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses, ou d'argile moyennement raide avec $V_S \geq 200$ m/s à partir de 10 m de profondeur.
- Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $V_S < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.
- Dépôts d'argile molle moyennement raide avec $V_S < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.

3.1.7 Diaphragme horizontal :

Le diaphragme est un plan rigide horizontal ou incliné, assurant trois fonctions principales :

- Transmettre les charges sismiques horizontales sur les éléments de contreventement vertical
- Raidir les bâtiments, le raidissage vise à prévenir le déversement des éléments porteur verticaux
- Coupler les éléments verticaux : tous les éléments solidaires au diaphragme travaillent en phase et participent à la résistance en proportion de leur rigidité

L'évaluation de ce paramètre est définie en trois classes :

3.1.7.1 Classe A :

On regroupe dans cette classe, les planchers qui respectent tous les critères cités auparavant.

3.1.7.2 Classe B :

Sont classés, les planchers qui ne respectent pas un des critères cités au dessus.

3.1.7.3 Classe C :

On ne trouve dans cette classe, les planchers qui ne font pas partie du contreventement ou les planchers endommagés qui ne transmettent plus les charges horizontales.

3.1.8 Flambement de la structure :

Ce paramètre, consiste à vérifier la résistance des éléments porteurs les poteaux vis-à-vis du phénomène d'instabilité (le flambement). Les étapes de calcul ainsi que la classification sont présentées dans l'annexe 05.

3.1.9 Régularité en plan :

Il s'agit de vérifier les critères imposés par la réglementation en vigueur et qui porte sur :

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

Soit le respect des critères suivants :

- Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique, vis à vis de deux directions orthogonales, aussi bien pour la distribution des rigidités, que pour celle des masses.
- A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment, mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.
- La forme du bâtiment doit être compacte, avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4.
- La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes, du bâtiment dans une direction donnée, ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction.
- Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux, pour être considérés comme indéformables dans leur plan.
- La surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier.

On propose trois catégories de classification pour ce paramètre :

3.1.9.1 Classe A :

La structure est dite régulière, si tous les critères de classification en plan sont respectés.

3.1.9.2 Classe B :

Dans cette catégorie on trouve : les constructions partiellement irrégulières en plan qui n'appartiennent ni à la classe A ni à la classe C.

3.1.9.3 Classe C :

Dans cette classe, sont regroupées les bâtiments irréguliers en élévation, c'est-à-dire qui ne respectent pas, les paramètres cités dans la réglementation RPA 99.

3.1.10 Modifications :

Une transformation de cloisonnement, ou une augmentation des charges d'exploitation ou changement de destination, peuvent modifier défavorablement, le comportement d'une construction sous l'action sismique.

Nous proposons de classer ce paramètre en trois classes :

3.1.10.1. Classe A :

On regroupe dans cette classe, les structures qui n'ont subi aucune modification ou changement.

3.1.10.2. Classe B :

Sont regroupées dans cette classe, les structures dont les changements ou des modifications sont moyennement observés, comme les changements dans la fonctionnalité de la construction, si cette dernière ne provoque pas de mouvement de torsion ou d'autres dans l'amplitude est importante.

3.1.10.3. Classe C :

Dans ce groupe, on trouve les constructions qui ont subi des modifications importantes, c'est-à-dire des modifications qui touchent les éléments structuraux, ou qui peuvent provoquer un changement dans le centre masse et/ou de rigidité.

3.1.11 Régularité en élévation :

Il s'agit de vérifier deux aspects essentiels liés à :

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

Ces critères sont classifiés dans le RPA 99 comme suit:

- Le système de contreventement ne doit pas comporter d'éléments porteurs verticaux discontinus, dont la charge ne se transmet pas directement à la fondation.
- Aussi bien la raideur, que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement, et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment.
- Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs, ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul, et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension.

Ainsi pour notre méthode nous allons définir trois classes :

3.1.11.1 Classe A :

Dans cette classe, on trouve les structures de forme régulière, qui respectent tous les critères cités dans la réglementation et rappelés ci-dessus.

3.1.11.2. Classe B :

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

3.1.11.3. Classe C :

On regroupe les bâtiments irréguliers qui ne respectent pas les critères cités, dans la réglementation.

3.1.12 Entrechoquement :

C'est l'interaction structure structure qui a lieu entre bâtiment adjacent ou juxtaposé, ou l'effet du comportement sismique de l'une par rapport à l'autre durant l'occurrence sismique. L'épaisseur du joint sismique détermine la classification de ce paramètre.

Nous proposons trois groupes de classification pour ce paramètre à savoir :

3.1.12.1. Classe A :

Cette classe, regroupe les structures qui ne présentent pas de risques d'entrechoquement, c'est-à-dire soit qu'elle soit isolée, soit séparée par un joint de rupture, d'une épaisseur suffisante.

3.1.12.2. Classe B :

Dans ce groupe, on trouve les structures où le risque d'entrechoquement, est moyen ou l'épaisseur du joint de rupture est insuffisante.

3.1.12.3. Classe C :

Sont regroupées dans cette classe, les constructions où le risque d'entrechoquement est grand, ou le joint de rupture n'existe pas.

3.1.13 Implantation de l'ouvrage :

Ce sont les implantations susceptibles, d'aggraver l'action sismique qui sont les constructions situées:

- Sur un terrain instable
- A l'extrémité d'une falaise
- En haut ou en bas d'une colline
- Sur les abords d'une rivière
- Sur un terrain accidenté, avec changement de pente

Trois catégories de classification sont proposées pour ce paramètre et qui sont :

3.1.13.1. Classe A :

Les structures classées en A sont les structures qui sont sur des terrains qui ne présentent aucun risque qui puisse aggraver l'action sismique.

3.1.13.2. Classe B :

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

3.1.13.3. Classe C :

Les structures classées en C, sont les structures qui sont implantées sur des terrains qui présentent un risque parmi ceux cités ci-dessus.

3.1.14 Toiture :

La toiture, constitue la partie supérieure de la structure et sa fonction est d'une part : assurer la reprise des charges et d'autre part, elle doit assurer la fermeture du bâtiment (fonction protectrice).

Ce paramètre sera classé comme suit :

3.1.14.1 Classe A :

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

3.1.14.2 Classe B :

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

3.1.14.3 Classe C :

La toiture est classée en classe C, si la toiture n'est pas contreventée ou en mauvais état.

3.1.15 Détails :

On entend par 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 balcons
- le garde corps
- l'escalier
- l'acrotère
- les cheminées
- les bardages
- les cloisons
- le réseau électrique
- le réseau téléphonique
- le réseau du gaz
- le réseau d'assainissement
- le réseau d'eau

On propose trois groupes de classifications qui sont :

3.1.15.1 Classe A :

Quand les trois quarts des éléments existants sont en bon état, ce paramètre sera classé en classe A.

3.1.15.2. Classe B :

Dans cette classe, on trouve l'ensemble des éléments existants en bon état compris entre la moitié et les trois quarts de ces derniers.

3.1.15.3. Classe C :

Dans ce groupe, on trouve que parmi l'ensemble des éléments existants, moins de la moitié sont en bon état.

3.2 Quantification de chaque paramètre :

En combinant, à chaque paramètre trois coefficient « Ki », chacun des coefficients exprime la classe à la quelle appartient ce dernier.

Dans notre cas, trois classes sont définies : classe A, B et C. La moins vulnérable est la classe A, elle traduit une bonne résistance de ce paramètre à l'action sismique, la plus vulnérable est la classe C, qui traduit un mauvais comportement aux effets du tremblement de terre, tandis que la classe B représente la situation intermédiaire.

Le coefficient « Ki » exprime le degré de vulnérabilité du paramètre suivant des pondérations appropriées à chaque critère, elles attribuent un indice de vulnérabilité global de la structure. Ces pondérations sont un facteur important dans l'estimation de la vulnérabilité, puisque elles contribuent à donner l'importance d'un paramètre plutôt qu'à un autre.

Pour cette méthode nous avons affecté les valeurs de Ki pour chaque paramètre (tableau 2.3), sur la logique de prépondérance d'un élément par rapport à un autre, en se basant sur la bibliographie et les retours d'expérience.

Tableau 2.3 : les facteur « Ki » proposés pour chaque paramètre en fonction de la classe

N°	Eléments	Classes / Ki		
		Classe A	Classe B	Classe C
1	Ductilité	0.00	1.5	2.5
2	Capacité sismique	0.25	1.25	2.00
3	Qualité des assemblages	0.25	1.5	2.5
4	Maintenance	0.25	1.00	1.5
5	Type de sols	0.50	0.75	1.00
6	Diaphragme horizontal	0.50	0.75	1.00
7	Flambement de la structure	0.50	1.00	1.5
8	Régularité en plan	0.50	0.75	1.00
9	Modification	0.50	0.75	1.00
10	Régularité en élévation	0.50	0.75	1.00
11	Entrechoquement	0.50	0.75	1.00
12	Implantation de l'ouvrage	0.50	0.75	1.00
13	toiture	0.50	0.75	1.00
14	détails	0.50	0.75	1.00

3.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité « Iv » :

Afin de pouvoir attribuer à la structure, un indic de vulnérabilité Iv et ainsi définir sa classe de vulnérabilité, nous devons calculer cet indice « Iv » qui est la somme pondérée des « Ki » de chaque paramètre comme suit :

$$I_v = \sum_1^{14} K_i \quad 2.2$$

En fonction de la valeur de « I_v » calculée, on définit la classe à laquelle appartient la structure en se référant au tableau 2.4 suivant :

Tableau 2.4 : classification des structures en fonction de leur « I_v »

Classe	Verte	Orange	Rouge
I_v	[5.75 – 9.5]	[9.5 – 19]	[16 – 19]

Ces classes sont définies comme suit :

Classe verte : $5.75 \leq I_v < 9.5$

La structure présente une bonne résistance au séisme.

Classe orange : $9.5 \leq I_v < 19$

Bâtiment présentant une résistance moyenne vis-à-vis du séisme. La structure nécessite un renforcement ou une étude plus approfondie.

Classe rouge : $16 \leq I_v \leq 19$

Cette classe, exprime que la construction à une résistance faible au séisme, et présente donc une vulnérabilité élevée.

4. Elaboration de la fiche technique :

Afin d'estimer la vulnérabilité des structures en charpente métallique, des informations sont nécessaires. La démarche repose sur l'analyse visuelle au préalable des facteurs apparents de la construction, Ceci nécessite des enquêtes menées sur le terrain.

Suivant les paramètres choisis, une fiche technique d'enquête a été élaborée, pour identifier et quantifier l'état des paramètres choisis, cette fiche est donnée en annexe 06.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une méthode d'estimation de la vulnérabilité pour les constructions en charpente métallique.

La principale caractéristique distinctive de cette dernière, réside dans la possibilité d'une description de la qualité sismique des bâtiments, capables de tenir compte des configurations morphologiques possibles, qui peuvent être estimées avant et après l'occurrence de l'événement sismique.

Les paramètres choisis sont reconnus comme les plus influents, pour le comportement des structures en charpente métallique vis-à-vis du séisme. Ces paramètres sont de type qualitatif et quantitatif.

Parmi ces paramètres nous avons la ductilité et le flambement qui nécessitent des calculs, les autres paramètres sont liés à l'observation direct.

Une pondération de ces paramètres a été proposée, sur cette base un calcul de l'indice de vulnérabilité a été effectué et aussi une classification des structures en charpente métallique a été donné permettant de juger de la capacité de la structure a résister ou pas à événement sismique.

CHAPITRE 3 :

MISE EN ŒUVRE NUMERIQUE

1. Introduction :

Nous allons expliquer la mise en œuvre numérique de la théorie développée dans le chapitre II.

Cette mise en œuvre passera par trois étapes fondamentales à savoir :

- Le développement d'un logiciel avec Delphi, qui permettra le calcul de l'indice de vulnérabilité I_v de structures en charpente métallique.
- La validation du programme sur des exemples basés sur des bâtiments existants.
- L'application de la méthode à des cas réels.

Nous allons expliciter chacune de ces étapes.

2. Logiciel développé sous Delphi :

Voici un bref descriptif du Delphi et du programme développé ainsi que son fonctionnement :

2.1 présentation de Delphi :

Delphi est un logiciel de développement rapide, conçu pour écrire des applications Windows rapidement et facilement. L'interface utilisateur, c'est à dire les éléments visuels, qui apparaissent à l'écran sont construits simplement par l'action glisser-déposer.

Delphi n'est pas un langage, mais un logiciel qui permet de programmer en Pascal Objet.

L'interface du logiciel, contient toutes les commandes suivantes qui sont représentées dans la figure 3.1 :

① Le menu de Delphi:

Contient tous les éléments nécessaires à l'utilisation de Delphi, ainsi qu'une palette de composants, pour concevoir des fiches qui constitueront l'interface de l'application.

② L'inspecteur d'objet:

Permet d'éditer les propriétés et les événements des composants: taille, couleur, visibilité, curseur, clics...

③ Concepteur de fiches :

Il s'agit bien sûr de l'interface du futur programme, celui que nous allons développer. Il donne un aperçu du rendu de notre application, sans avoir à compiler le code.

④ L'éditeur de code :

Si le Delphi facilite le travail à fournir pour développer des programmes Windows, nous ne pouvons pas créer de programme, sans apprendre un minimum de code.

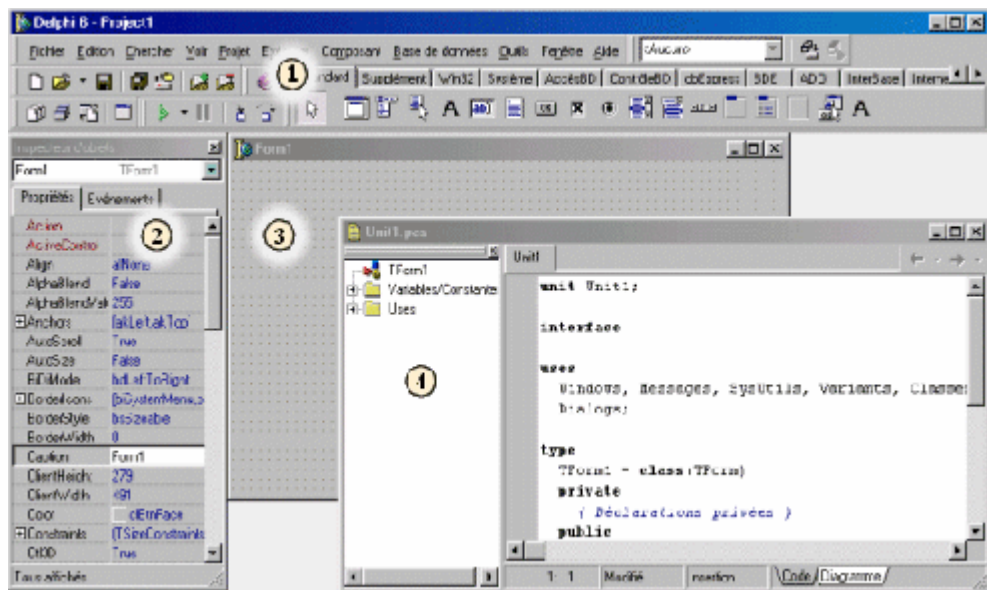


Figure 3.1 : Interface utilisateurs.

2.2 Programme développé :

Un programme de calcul appelé Vulnerability Index Program « VIP » a été développé, il a pour but de pouvoir calculer l'indice de vulnérabilité des structures en charpente métallique, grâce aux informations recueillies dans la fiche technique élaborée lors des visites effectuées sur le terrain. Cette procédure a facilité la tâche et a généré un gain de temps dans le

traitement des informations. Le programme développé a été fait suivant l'organigramme présenté dans la figure 3.2 suivante :

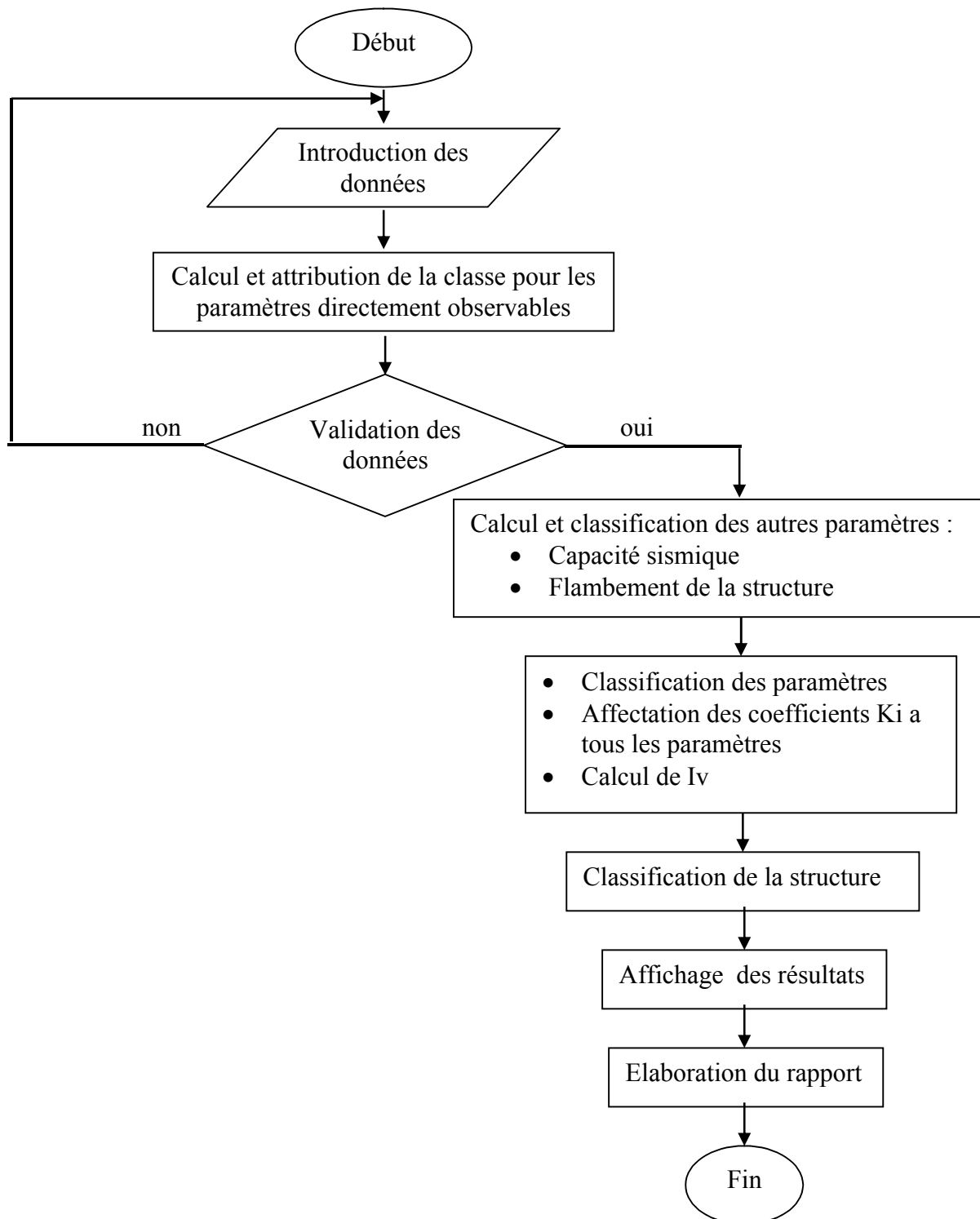


Figure 3.2 : Organigramme de calcul.

2.3 Description du logiciel :

Le logiciel développé « VIP » se compose de deux parties :

1. la partie visuelle « interface utilisateur ».
2. la partie programme « code source ».

2.3.1 Partie visuelle « interface utilisateurs » :

Elle contient les menus permettant d'utiliser et de manipuler les applications, sur l'étude de l'indice de vulnérabilité, afin de pouvoir exploiter les informations introduites et ensuite visualiser les résultats obtenus.

2.3.1.1 page d'accueil :

Comme présenté dans la figure 3.3 suivante :

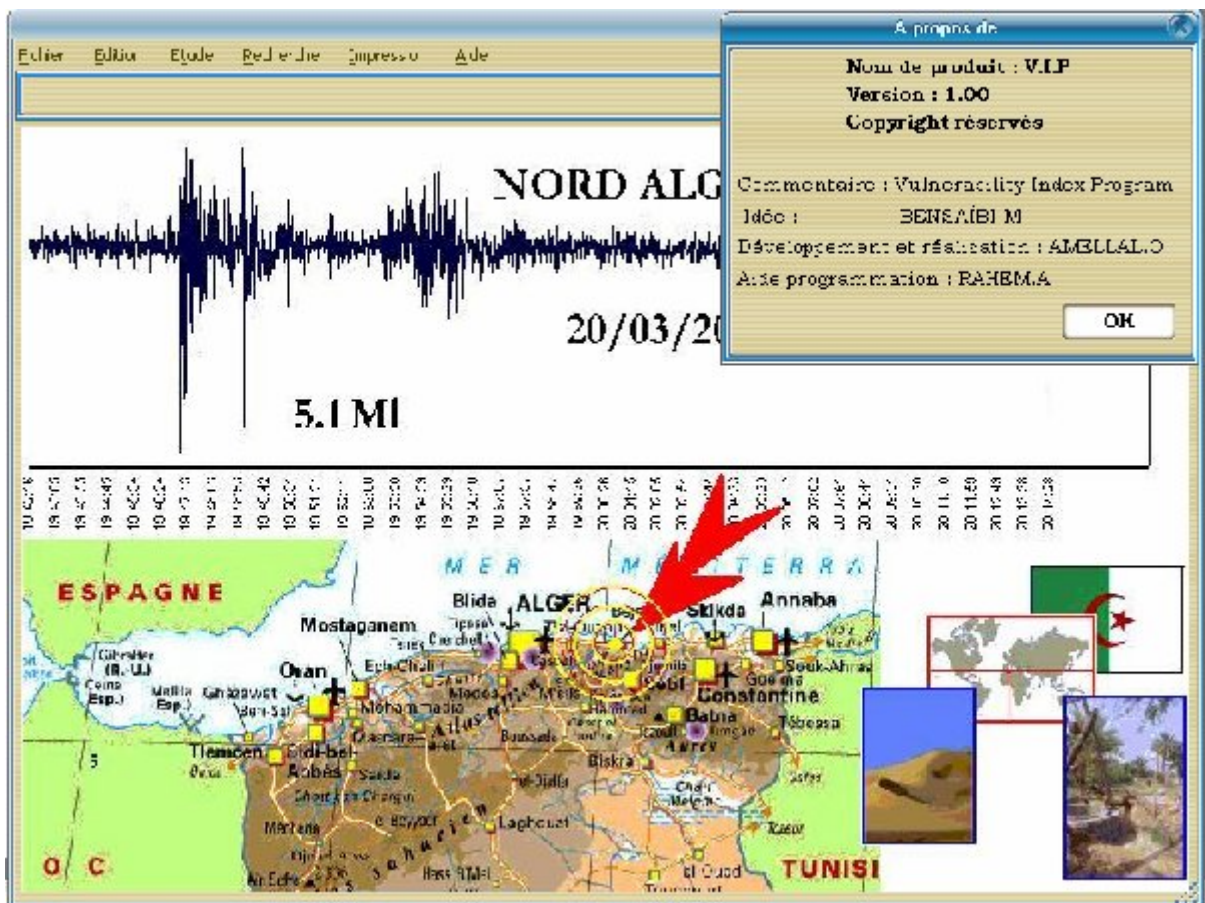


Figure 3.3 : Page d'accueil.

On distingue les différents menus ci après :

Le menu fichier : Il permet les opérations tel que :

- Ouvrir une fiche.
- Fermer la fiche.
- Quitter : opération qui permet de sortir entièrement du logiciel « VIP ».

Le menu édition : Il effectue les opérations tel que :

- Ouverture d'une nouvelle fiche.
- Enregistrement : il permet de confirmer ou bien de modifier une fiche déjà établie ou de la supprimer.

Le menu études : il permet de visualiser les résultats obtenus :

- Calcul de la force sismique total figure 3.4 : permet de vérifier et de visualiser les résultats obtenus pour le calcul de la force sismique totale ainsi que le poids de la structure.

The screenshot shows a software window titled "Choix des paramètres" with a subtitle "La force sismique totale". The window contains the following data:

Coefficient d'accélération de zone :		Poids total de la structure :	
Groupe d'usage :	I E	W (KN) =	14720
Zone sismique :	II ^r		
A =			
0.3			
Facteur d'amplification dynamique moyenne :		Coefficient de comportement :	
D =		R =	
2.47		3.5	
Facteur de qualité :		La force sismique totale :	
Q =		V (KN) =	
1.15		12023.03	

Buttons: Calculer, OK

Figure 3.4 : Visualisation des résultats de calcul de la force sismique totale.

- Le calcul des paramètres (figure 3.5): nous donne la classification et les valeurs de K_i de chaque paramètre, ainsi que l'indice de vulnérabilité et la classification de la structure.

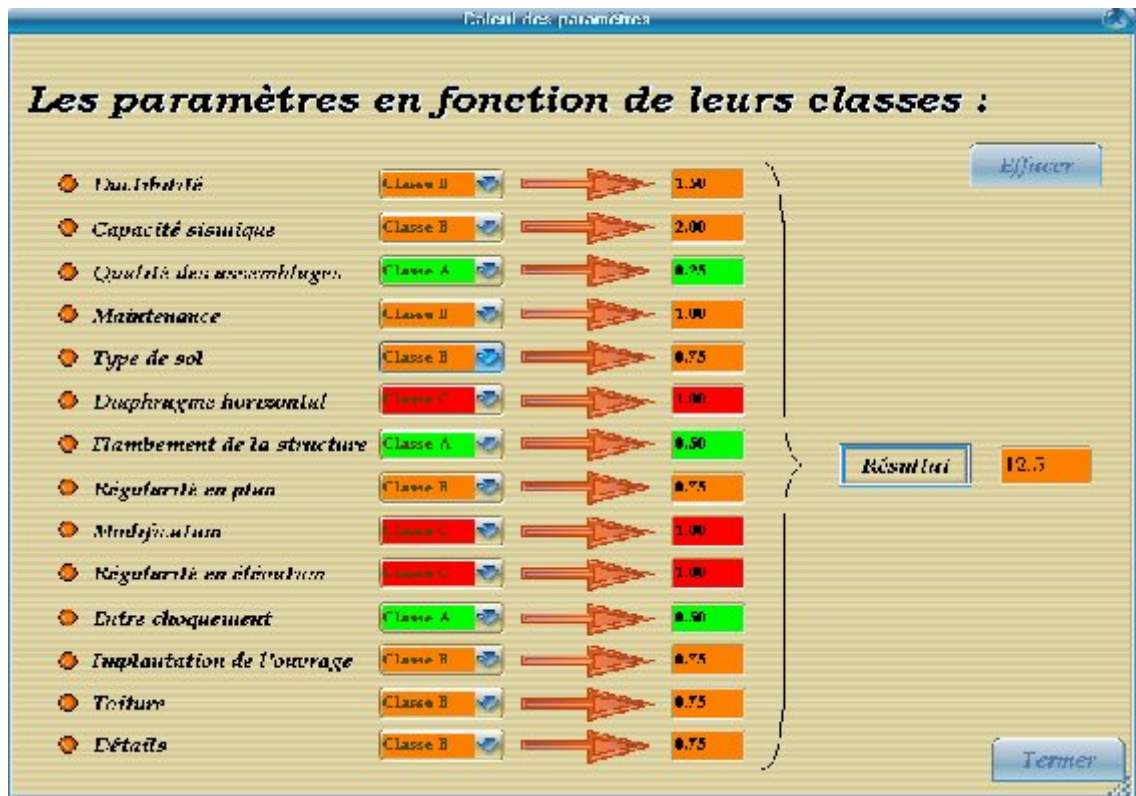


Figure 3.5 : calcul des paramètres et classification de la structure.

Le menu recherche : il permet d'effectuer des recherches des fiches, soit par numéros de classement, soit par Wilaya.

Le menu impression : la tâche de ce menu est d'imprimer le rapport final des structures expertisées.

Le menu aide : permet de trouver les informations sur l'utilisation du logiciel.

2.3.1.2 Pages d'introduction des données :

L'étude d'une structure, exige d'abord d'introduire la fiche technique élaborée à cette effet figure 3.6

Fiche Technique pour les constructions en charpente métallique.

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux: SC LU

Longueur totale (m) :

Longueur totale (m) :

Hauteur inter étage (m) :

Etendue totale (m) :

Nombre de poteaux par étage :

Type et dimensions des poteaux (mm) :

Type et dimensions des poutres longitudinales :

Type et dimensions des poutres transversales :

Présence d'escaliers :

Présence de monte-charges :

- Présence de pour-toiture :

Si Oui quel est le charge maximale du pour-toiture (kN) ?

Figure 3.6 : Pages d'introductions des données.

Une fois les champs remplis, le programme vérifie que les éléments obligatoires sont remplis puis procède à l'évaluation des différents paramètres figure 3.7.

Créer des paramètres

Type de sol

Choix de type de sol :

Classe B

Créer des paramètres

Travaux

- Etat des balcons :
- Etat des gaines cages :
- Etat des escaliers :
- Etat des carrelages :
- Etat des revêtements :
- Etat des bordures :
- Etat des cloisons :
- Etat des réseaux électriques :
- Etat des réseaux gaz :
- Etat des réseaux assainissement :
- Etat des réseaux eau :
- Etat des réseaux téléphoniques :

Classe R

Figure 3.7 : Exemple de calcul de paramètres observables

2.3.2 Partie programme :

Cette partie permet d'exécuter le programme établi appelé « code sources », il effectue le traitement des différentes données qui sont :

- Calcul des différentes données nécessaires et spécifiques à la construction.
- Calcul des différentes forces exercées sur le bâtiment étudié.
- Calcul des différents paramètres d'évaluation de la vulnérabilité.
- Affectation des coefficients « Ki » correspondant à chaque paramètre.
- Calcul de l'indice de vulnérabilité I_v et classification de la structure.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le menu étude, vu et expliqué précédemment.

Après présentation du logiciel développé et de son fonctionnement, on passe à la validation de notre méthode, qui sera faite à l'aide du logiciel développé « VIP ».

3. Validation :

Pour la validation de la méthode de l'indice de vulnérabilité pour les structures en charpente métallique, nous avons obtenu des expertises auprès du CTC/OUEST et nous nous sommes déplacés sur site, pour une visite de prospection afin de récolter les informations et données nécessaires. Sur la base de cinq expertises, nous allons valider le programme élaboré à cet effet.

3.1 validation 1 :

La première validation consiste à étudier la structure de « l'Entreprise Nationale des Véhicules Industriels SNVI » :

3.1.1 Présentation de l'ouvrage :

La réalisation remonte à 1978, par les soins de l'entreprise japonaise HAZAMA, suivie par le bureau d'études BOSWAU, et contrôlée par l'ex organisme de contrôle CTC. Il est à noter que le terrain ayant servi d'assiette aux fondations du projet en question, a fait l'objet d'une étude géotechnique de sol par le laboratoire d'Alger le L.T.P.B.

Le projet est composé de plusieurs bâtiments, dans le cadre de la présente partie, nous nous intéresserons seulement aux expertises des bâtiments A et C.

Le bâtiment A est en forme de L, d'une superficie totale de 4750 m^2 , il est sans aucun joint de rupture. Sa structure est totalement en charpente métallique, supportant une toiture en tôles nervurées très rigides en forme de M (voir annexe 07).

Concernant le bâtiment C, il est en forme rectangulaire évidée au centre, avec patio aménagé en jardin, d'une superficie de 1150 m^2 . Il est aussi constitué d'une structure en charpente métallique, et comporte dans chaque direction 04 portiques, des détails complémentaires sont donnés dans les fiches d'expertises jointes en annexe 07.

Voici quelques photos prises lors de la visite effectuée sur site :



Figure 3.8 : vue extérieure de la structure.

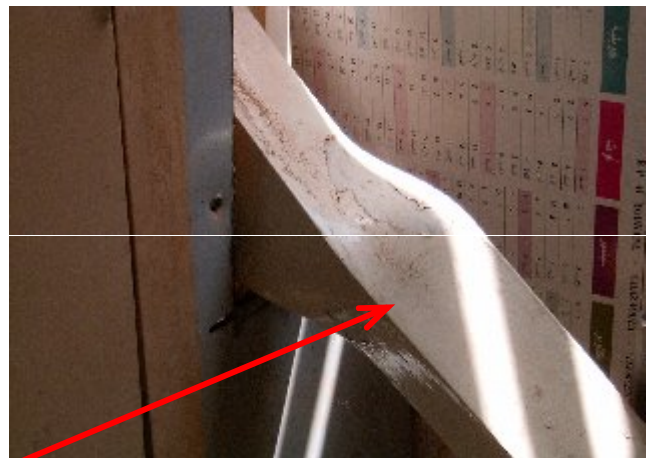
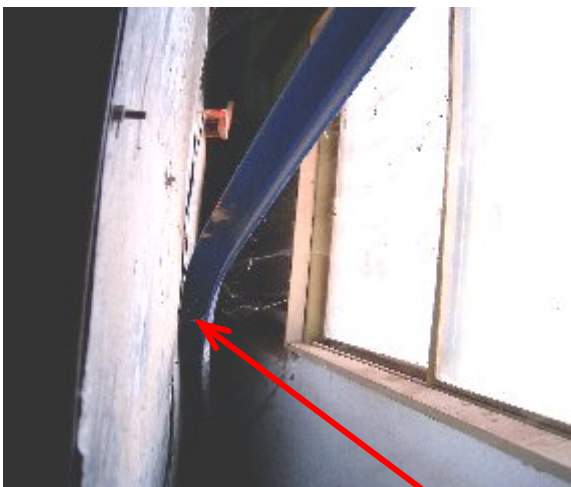


Figure 3.9 : Phénomène d'instabilité sur les barres des contreventements.



Figure 3.10 : Autres phénomènes d'instabilité sur les barres des contreventements.



Figure 3.11 : Ouverture des joints de revêtements et fissures à la base des murs.



Figure 3.12 : Affaissement du terrain.

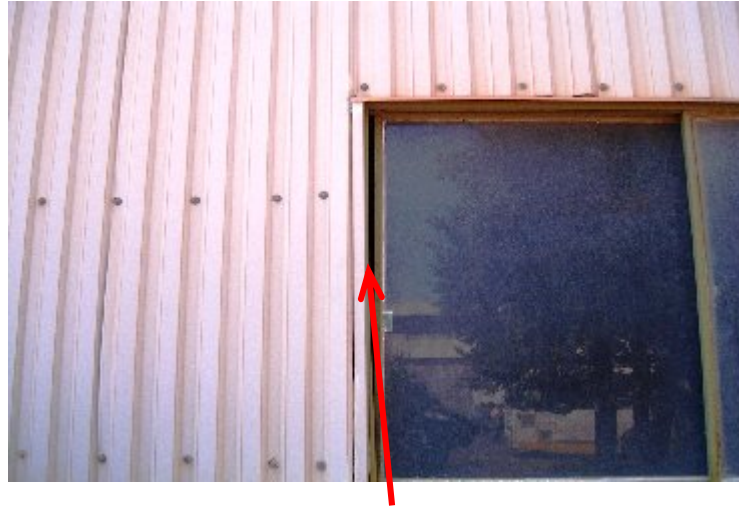


Figure 3.13 : Décalage de la fenêtre dû à l'affaissement du terrain

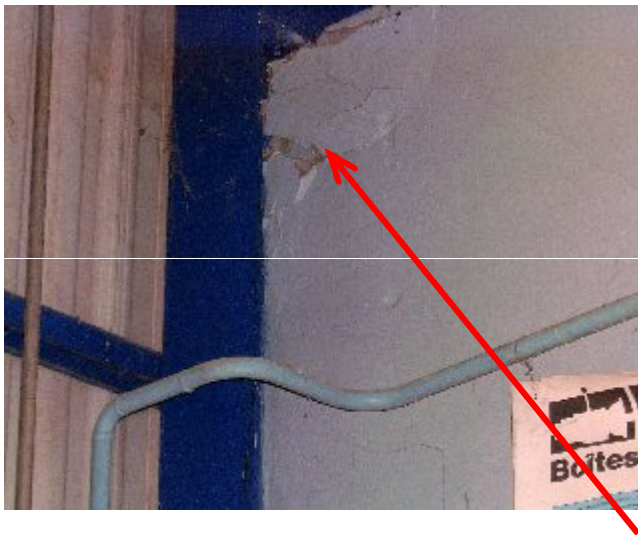


Figure 3.14 : Fissurations importantes dans les murs.



Figure 3.15 : Présence de fissurations dans les dallages.

3.1.2 Fiche technique :

- Remplissage de la fiche technique

Wilaya : Tlemcen

Commune: Chetouane

Adresse : SNVI zone industrielle

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- Sur un terrain instable (tassant)	Oui <input checked="" type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
- A bord d'une falaise	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- En haut ou en bas d'une colline	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- A bord d'une rivière ou d'un oued	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :***Régularité en plan :***

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique

Tuiles Eternit

Autres (préciser) : en tôle nervurée

La toiture est elle contreventée ?

→	Oui	<input checked="" type="checkbox"/>
→	Non	<input type="checkbox"/>
→	Autre	<input type="checkbox"/>

Etat général de la toiture:

Bon moyen mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Ossature contreventée par palées triangulées en X

Autres (préciser).....

Type assemblage :

Boulonnage

Rivetage

soudage

Y a t'il des contrôles périodiques sur les assemblages

Oui
 Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

Oui
 Non

Etat général des assemblages :

Bon

moyen

mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 70 m

Largeur totale (m) : 40 m

Hauteur inter étage (m) : 8 m

Hauteur totale (m) : 8 m

Nombre de poteaux par étage : 16

Type et dimensions des poteaux en mm : HEA 450

Type et dimensions des poutres longitudinales mm : IPE 160

Type et Dimensions des poutres transversales en mm : IPE 160

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non
 -Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

- Sur les éléments de couverture Oui Non
 Sur les éléments porteurs Oui Non

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Si Oui

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait il partie du contreventement de la structure ?

→ Oui
 → Non
 → Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons : Bon Moyen Mauvais
 - Etat du garde corps : Bon Moyen Mauvais
 - Etat de l'acrotère : Bon Moyen Mauvais
 - Etat du réseau électrique : Bon Moyen Mauvais

- Etat du réseau gaz :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau eau :	Bon <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>
- Etat du réseau téléphonique :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
-Toiture légère (tuile, éternit, ...)	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>

Remarques générales :

- Important phénomène d'instabilité des barres de contreventements de la structure.
- Affaissement de terrain.
- Végétation dense autour des bâtiments

3.1.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 3.1 suivant :

Tableau 3.1 : résultat de l'application de la structure SNVI.

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	C	2.5
2	Capacité sismique	A	0.25
3	Qualité des assemblages	A	0.25
4	Maintenance	B	1
5	Type de sols	B	0.75
6	Diaphragme horizontal	A	0.5
7	Flambement de la structure	A	0.5
8	Régularité en plan	C	1
9	Modification	C	0.5
10	Régularité en élévation	C	1
11	Entrechoquement	C	1
12	Implantation de l'ouvrage	C	1
13	toiture	A	0.5
14	détails	A	0.5

Le calcul donne l'indice de vulnérabilité de cette structure $I_v = 11.25$, il est donc compris entre $[9.5 - 16 [$.

Cette construction est classée « Orange ».

3.1.4 Rapport d'expertise :

Le rapport d'expertise du CTC stipule : « l'examen effectué lors de notre visite a révélé des désordres pouvant mettre en péril la stabilité de l'ouvrage » ceci permet donc de classer cette construction en « Orange » (annexe 07).

3.1.5 Conclusion :

Les résultats de l'expertise du CTC/OUEST et celui donné par le programme développé sont conformes.

3.2 Validation 2 :

Pour cette validation nous allons appliquer la méthode de l'indice de vulnérabilité sur la Salle de sports du lycée Ahmed Ben Zekri.

3.2.1 Présentation de l'ouvrage :

Le bâtiment objet est une construction en rez de chaussée, situé à l'intérieur de l'enceinte du lycée « Ahmed Benzekri » à Tlemcen.

Sa date de réalisation remonte à l'époque coloniale, et faisait office d'écurie avant d'être transformée en salle de sports après l'indépendance. Elle s'étend sur une longueur $L = 60$ mètres et une largeur $D = 21$ mètres environ. D'autres informations sont données dans le rapport d'expertise joint en annexe 08 et dans les photos suivantes :



Figure 3.16 : Vue de l'extérieur de la salle de sports.



Figure 3.17 : Vue de l'intérieur de la charpente de la toiture.



Figure 3.18 : Corrosion avancée des éléments porteurs.

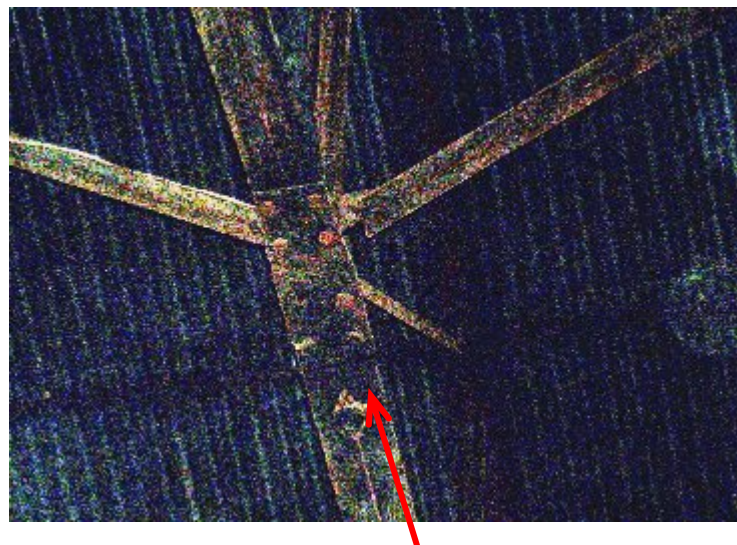


Figure 3.19 : Corrosion avancée des assemblages.

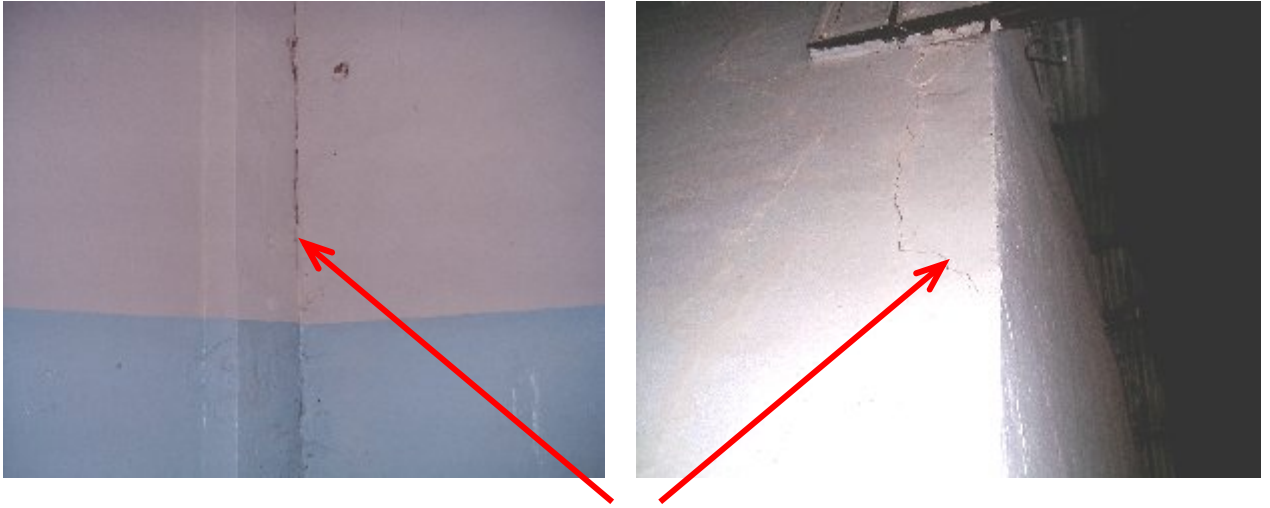


Figure 3.20 : Présence de fissurations dans les murs.



Figure 3.21 : Présence de fissurations dans les dallages.



Figure 3.22 : Dégradation des descentes d'eaux pluviales.

3.2.2 Fiche technique :

- **Remplissage de la fiche technique :**

Wilaya : Tlemcen
Commune: Tlemcen
Adresse : lycée Ahmed Ben Zekri

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- Sur un terrain instable (tassant)	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- A bord d'une falaise	Oui <input checked="" type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
- En haut ou en bas d'une colline	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- A bord d'une rivière ou d'un oued	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :***Régularité en plan :***

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique

Tuiles Eternit

La toiture est elle contreventée ?

→	Oui	<input checked="" type="checkbox"/>
→	Non	<input type="checkbox"/>
→	Autre	<input type="checkbox"/>

Etat général de la toiture:

Bon moyen mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Portique auto- stable ordinaire

Type assemblage :

Boulonnage Rivetage soudage

Y a t'il des contrôles périodiques sur les assemblages

Oui
Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

Oui
Non

Etat général des assemblages :

Bon moyen mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 60 m

Largeur totale (m) : 21 m

Hauteur inter étages (m) : 4.30 m

Hauteur totale (m) : 7.50 m

Nombre de poteaux par étage : 16

Type et dimensions des poteaux en mm : HEA 160

Type et dimensions des poutres longitudinales mm : UPN 140

Type et Dimensions des poutres transversales en mm :

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

-Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Si Oui

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait-il partie du contreventement de la structure ?

→ Oui
 → Non
 → Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons : 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 eau : Bon Moyen Mauvais

- Etat du réseau d'assainissement : Bon Moyen Mauvais

- Toiture légère (tuile, éternit, ...) Bon Moyen Mauvais

3.2.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

D'après la fiche technique et l'expertise effectuée, les résultats sont donnés dans le tableau 3.2 suivant :

Tableau 3.2 : Résultat de calcul des paramètres de la classe de vulnérabilité de la salle de sports.

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	B	1.5
2	Capacité sismique	B	1.75
3	Qualité des assemblages	B	1.5
4	Maintenance	C	1.5
5	Type de sols	B	0.75
6	Diaphragme horizontal	A	0.5
7	Flambement de la structure	B	1
8	Régularité en plan	A	0.5
9	Modification	C	1.00
10	Régularité en élévation	A	0.5
11	Entrechoquement	A	0.5
12	Implantation de l'ouvrage	A	0.5
13	Toiture	B	0.75
14	Détails	A	0.5

La somme des coefficients Ki représentant la classe, nous donne un indice de vulnérabilité de la structure $I_v=12.25$. Il est compris entre [9.5 – 16 [.Donc, il sera classé dans la classe « orange ».

3.2.4 Rapport d'expertise :

Compte tenu des désordres constatés dans le rapport d'expertise (annexe 08), qui précise aussi : « que les recommandations une fois exécutées, ne peuvent conférer à l'ouvrage que les conditions de résistance et de stabilité pour lesquelles il a été conçu à l'origine ». Vu que la construction remonte à la période coloniale, ceci permet donc répertorier l'ouvrage en classe « orange ».

3.2.5 Conclusion :

Les résultats de l'expertise du CTC/OUEST et celui donné par le programme développé sont identiques.

3.3 Validation 3 :

Exemple de validation du Bâtiment garage ex caserne Miloud.

3.3.1 Présentation de l'ouvrage :

Le bâtiment est une construction en (R+0) situé dans une caserne construite durant la période coloniale. Elle faisait office de garage de véhicules et atelier pour mécanique générale.

Sa date de construction remonte à l'année 1911, actuellement ce bâtiment est délaissé et n'abrite aucune activité.

Il est de dimensions suivantes : longueur L = 39.6 m, largeur = 20 m environ, la hauteur étant variable (toiture a deux versant), d'autres détails sur la structure sont donnés dans le rapport d'expertise joint en annexe 09.

3.3.2 Fiche technique :

- Remplissage de la fiche technique

Wilaya : Tlemcen

Commune: Tlemcen

Adresse : ex Caserne Miloud

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :*L'ouvrage est-il implanté ?*

- | | | |
|--|---|---|
| - Sur un terrain instable (tassant) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une falaise | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - En haut ou en bas d'une colline | Oui <input checked="" type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - A bord d'une rivière ou d'un oued | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :*Régularité en plan :*

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique

Tuiles Eternit

Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ?

→	Oui	<input type="checkbox"/>
→	Non	<input type="checkbox"/>
→	Autre	<input checked="" type="checkbox"/>

Etat général de la toiture:Bon moyen mauvais **Changement dans la construction :**

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :Ossature contreventée par palées triangulées en X

Autres (préciser).....

Type assemblage :Boulonnage Rivetage soudage

Y a t'il des contrôles périodiques sur les assemblages

Oui
 Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

Oui
 Non

Si Oui, il en manque ?

Beaucoup peu très peu **Etat général des assemblages :**Bon moyen mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 39.6 m

Largeur totale (m) : 20 m

Hauteur inter étage : 6 m

Hauteur totale (m) : 7 m

Nombre de poteaux par étage : 22

Type et dimensions des poteaux en mm : HEA 100

Type et dimensions des poutres longitudinales mm :

Type et Dimensions des poutres transversales en mm :

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

- présence de pont roulant Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

- Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Si Oui

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait-il partie du contreventement de la structure ?

Oui
Non
Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons : Bon Moyen Mauvais
 - Etat de l'acrotère : Bon Moyen Mauvais
 - Etat du réseau électrique : Bon Moyen Mauvais
 - Etat du réseau eau : Bon Moyen Mauvais
 - Etat du réseau d'assainissement : Bon Moyen Mauvais
 - Toiture légère (tuile, éternit, ...) Bon Moyen Mauvais

Remarques générales :

- Végétation dense autour du bâtiment.
- Renforcement de fortune des pannes de toiture par des madriers.

3.3.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

L'application de cet exemple a donné les résultats suivants regroupés dans le tableau 3.3 :

Tableau 3.3 : résultat de l'application de la structure.

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	B	1.5
2	Capacité sismique	C	2
3	Qualité des assemblages	C	2.5
4	Maintenance	C	1.5
5	Type de sols	A	0.5
6	Diaphragme horizontal	C	1
7	Flambement de la structure	B	1
8	Régularité en plan	A	0.5
9	Modification	A	0.5
10	Régularité en élévation	A	0.5
11	Entrechoquement	A	0.5
12	Implantation de l'ouvrage	B	0.75
13	toiture	C	1
14	détails	B	0.75

Le calcul donne un indice de vulnérabilité de $I_v = 14.50$. Il est compris entre $[9.5 - 16]$, c'est-à-dire classé en « orange ».

3.3.4 Rapport d'expertise :

Suite aux désordres et dommages constatés, consignés dans le rapport d'expertise et de ce qui a été dit comme remarque importante : « un autre examen sur l'état des éléments métalliques à conserver à remplacer ou à renforcer », ceci place la structure en classe « orange » (annexe 09).

3.3.5 Conclusion :

Suivant le résultat du rapport d'expertise du CTC/OUEST et celui calculé par le programme développé sont conformes.

3.4 Validation 4 :

Cette validation consiste à appliquer la méthode de l'indice de vulnérabilité sur l'exemple du « Bâtiment de production SITEL » :

3.4.1 Présentation de l'ouvrage :

Le bâtiment de production concerné par cette études, a été réaliser dans le cadres du projet « complexe téléphonique » pendant les années 1970, faisant office de centre de formation.

De longueur = 84 m largeur = 40 m et de hauteur maximale = 6 m comportant un joint de dilatations, l'ossature principale est en charpente métallique plus d'explication sont données dans l'expertisent fournie en annexe 10.

3.4.2 fiches techniques :

- Remplissage de la fiche technique :

Wilaya : Tlemcen

Commune: Chetouane

Adresse : Zone industrielle Chetouane

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003
En : 1970

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- Sur un terrain instable (tassant)	Oui <input checked="" type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
- A bord d'une falaise	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
- En haut ou en bas d'une colline	Oui <input checked="" type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
- A bord d'une rivière ou d'un oued	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>

- Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante Oui Non

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :

Régularité en plan :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique

Tuiles Eternit

Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ?

→ Oui
 → Non
 → Autre

Etat général de la toiture:

Bon moyen mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Autres (préciser) : portique auto stable avec des panneaux très rigides en béton armée.

Type assemblage :

Boulonnage Rivetage soudage

Y a t'il des contrôles périodiques sur les assemblages

Oui
 Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

Oui
 Non

Etat général des assemblages :

Bon moyen mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 84 m

Largeur totale (m) : 40 m

Hauteur inter étage : 6 m

Hauteur totale (m) : 6 m

Nombre de poteaux par étage : 40

Type et dimensions des poteaux en mm : HEA

Type et dimensions des poutres longitudinales mm :

Type et Dimensions des poutres transversales en mm :

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

-Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Sur les éléments porteurs Oui Non

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en :

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait il partie du contreventement de la structure ?

Oui
 Non
 Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons : 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

-Toiture légère (tuile, éternit, ...) Bon Moyen Mauvais

3.4.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

L'application de cet exemple a donné les résultats suivants regroupés dans le tableau 3.4 :

Tableau 3.4 : résultat de l'application de la structure

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	C	2.5
2	Capacité sismique	B	1.25
3	Qualité des assemblages	B	1.5
4	Maintenance	B	1
5	Type de sols	C	1
6	Diaphragme horizontal	C	1
7	Flambement de la structure	A	0.5
8	Régularité en plan	C	1
9	Modification	C	1
10	Régularité en élévation	A	0.5
11	Entrechoquement	B	0.75
12	Implantation de l'ouvrage	C	1
13	toiture	B	0.75
14	détails	A	0.5

La somme des valeurs d'indice de vulnérabilité des paramètres nous donne un $I_v = 14.25$.

Il est compris entre $[9.5 - 16[$, alors la structure est en classe « orange ».

3.4.4 Rapport d'expertise :

Suivant ce qui a été relaté dans le rapport d'expertise : « les désordres précités ont pour origine plusieurs causes » aussi, vu les dommages constatés et l'état de délabrement moyen, ce qui nous a permis de classer la structure en « orange ».

3.4.5 Conclusion :

Le résultat trouvé par le programme développé et celui déduit du rapport d'expertise sont conformes.

3.5 Validation 5 :

Exemple de validation de l'usine de fabrication de Sulfate « activation filtration ».

3.5.1 Présentation de l'ouvrage :

Le bâtiment métallique « activation filtration » de l'unité ENOF sise à Maghnia, est un ouvrage en charpente métallique, réalisé en trois phases à des différentes dates durant les années 1949-1951 et 1961.

Il se compose de trois parties distinctes :

- Un bloc central, comprenant plusieurs étages horizontaux et une couverture à deux versants, prolongé par deux ailes sur ses cotés Est et Ouest:
 - Une aile cotée Est formée par un seul niveau à un seul versant.
 - Une aile cotée Ouest formée par deux versant et un seul niveau aussi.

Des informations plus détaillées sont fournies dans l'expertise jointe dans l'annexe 11 et dans les photos ci-dessous lors du déplacement effectué sur site.



Figure 3.23: Vue de l'extérieur de l'usine.



Figure 3.24 : Les extensions : vue de l'extérieur



Figure 3.25 : dégradations subies : système de contreventement.

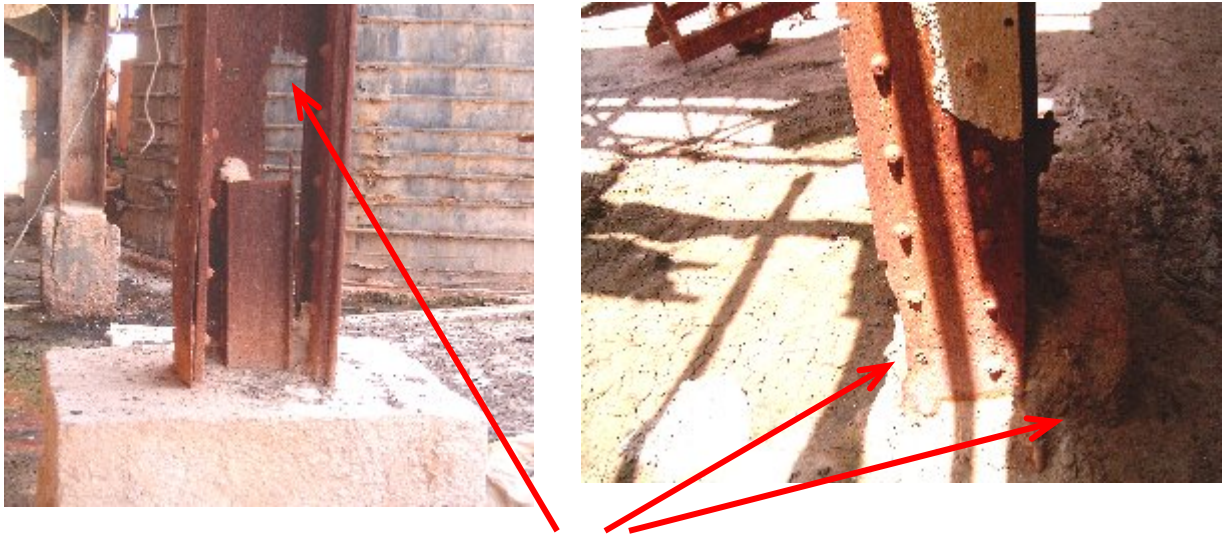


Figure 3.26 : Forte dégradation et corrosion très avancée des pieds de poteaux.



Figure 3.27 : Manque de boulons et endommagement des assemblages.



Figure 3.28: Altération profonde des poutres et des planchers.

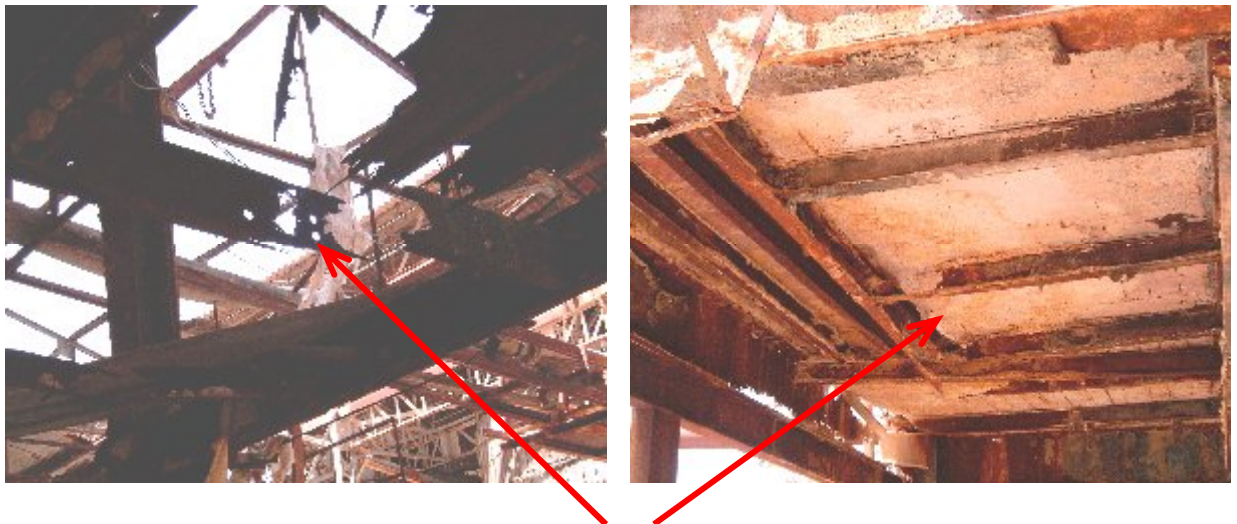


Figure 3.29: Autres dégradations dans les planchers et les poutres.



Figure 3.30: Effondrement de la dalle de plancher et réparations archaïques.



Figure 3.31: Très mauvais état du bardage et de la toiture.



Figure 3.32: Escalier et garde corps en piteux état.



Figure 3.33: tirants de cuves de stockage : Corrosion très avancée avec dégradations.

3.5.2 Fiches technique :

- Remplissage de la fiche technique :

Wilaya : Tlemcen

Commune: Maghnia

Adresse : zone industrielle

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- | | | |
|--|------------------------------|---|
| - Sur un terrain instable (tassant) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une falaise | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - En haut ou en bas d'une colline | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une rivière ou d'un oued | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :***Régularité en plan :***

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique

Tuiles Eternit

Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ?

→	Oui	<input type="checkbox"/>
→	Non	<input type="checkbox"/>
→	Autre	<input checked="" type="checkbox"/>

Etat général de la toiture:

Bon moyen mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Ossature contreventée par palées triangulées en X

Type assemblage :

Boulonnage

Rivetage

soudage

Y a t'il des contrôles périodiques sur les assemblages

Oui
 Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

Oui
 Non

Si Oui, il en manque ?

Beaucoup

peu

très peu

Etat général des assemblages :

Bon

moyen

mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 07

Longueur totale (m) : 32.5 m

Largeur totale (m) : 5.1 m

Hauteur inter étages (m) : 3.1m

Hauteur totale (m) : 15.3m

Nombre de poteaux par étage : 10

Type et dimensions des poteaux en mm : HEA 300

Type et dimensions des poutres longitudinales mm : IPE 120

Type et Dimensions des poutres transversales en mm : IPE 120

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

- présence de pont roulant Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

-Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Si Oui

Sur les poteaux :

Flambement cisaillement voilement

Autres (préciser) :.....

Sur les poutres :

Flambement cisaillement voilement

Autres (préciser) : décrochement des poutres de leur appuis (assemblage)

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en :

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait-il partie du contreventement de la structure ?

- Oui
- Non
- Autres

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- | | | | |
|--|---|---|---|
| - Etat des cloisons : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Etat des balcons : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Etat du garde corps : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Etat de l'escalier : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| - Etat du réseau gaz : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input checked="" type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| - Etat du réseau eau : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input checked="" type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| - Etat du réseau d'assainissement : | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Etat du réseau téléphonique : | Bon <input checked="" type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |
| - Toiture légère (tuile, éternit, ...) | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input checked="" type="checkbox"/> |

Remarque général :

Il est à signaler que le processus de fabrication de sulfate accélère la corrosion des éléments métalliques de la structure.

3.5.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

L'application de cette expertise a donné la classification des paramètres comme l'indique le tableau 3.5 suivant :

Tableau 3.5: Résultat de l'application de l'usine activation filtration.

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	B	1.5
2	Capacité sismique	C	2.00
3	Qualité des assemblages	C	2.5
4	Maintenance	C	1.5
5	Type de sols	B	0.75
6	Diaphragme horizontal	C	1
7	Flambement de la structure	C	1.5
8	Régularité en plan	C	1
9	Modification	A	0.5
10	Régularité en élévation	C	1
11	Entrechoquement	B	0.75
12	Implantation de l'ouvrage	A	0.5
13	Toiture	B	0.75
14	Détails	C	1

Après addition des valeurs Ki de tous les paramètres, on trouve l'indice de vulnérabilité $I_v = 16.25$. Il est compris entre [16 – 19].

3.5 Rapport d'expertise :

Dans le conclusion du rapport d'expertise (annexe 11) on trouve : « nous suggérons sa démolition et sa reconstruction selon les normes en vigueur ». Alors cette usine est classée rouge.

Il est même déconseillé de circuler à l'intérieur de la structure, comme il est indiqué dans la figure 3.34 ci dessous :



Figure 3.34: Classification de la structure.

3.5.5 Conclusion :

Les résultats de l'expertise du CTC/OUEST vont dans le même sens que celui trouvé par le programme développé.

4.Exemples d'applications :

Nous avons appliqué notre programme pour trois (03) autres structures, que nous avons expertisées, lesquelles se trouvent dans la wilaya de Tlemcen.

4.1 Application 01 :

Le premier exemple d'application consiste à expertiser un hangar militaire.

4.1.1 Présentation de l'ouvrage :

Le présent hangar se trouve à l'intérieur d'une brigade de gendarmerie de la ville de Zenata wilaya de Tlemcen, construit en 2005 sur un sol meuble (aux dimensions suivantes : Longueur = 45 m, largeur= 18 m, Hauteur= 4.50 m) avec des portiques auto stables ductiles, la structure est régulières en plan et en élévation.

Ce hangar (voir photos ci-dessous) destiné à la maintenance des véhicules lourds et légers, n'était pas encore fonctionnel lors de notre visite.



Figure 3.35 : Vue de l'extérieur de la structure.



Figure 3.36 : Vue de l'intérieur de la structure.

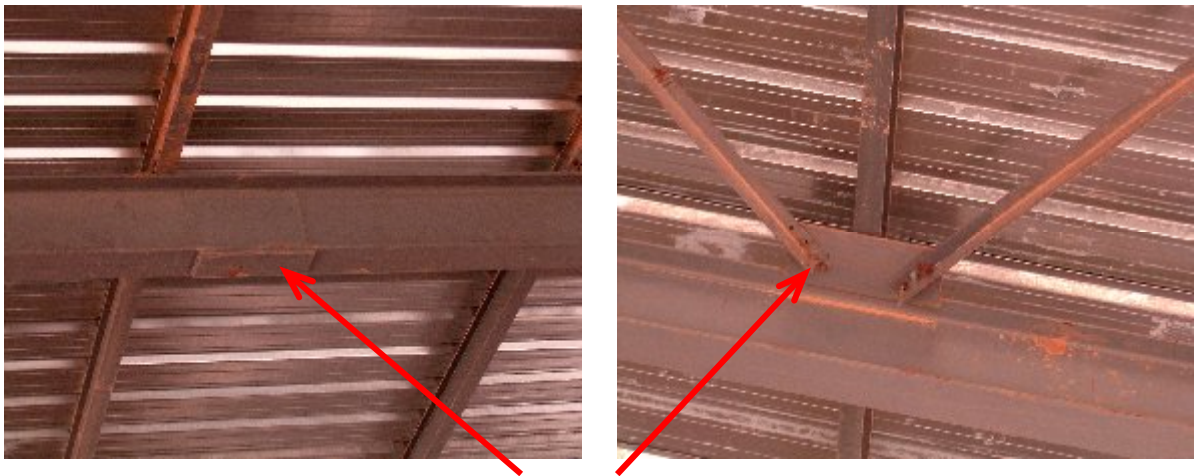


Figure 3.37 : Malfaçons dans les assemblages.

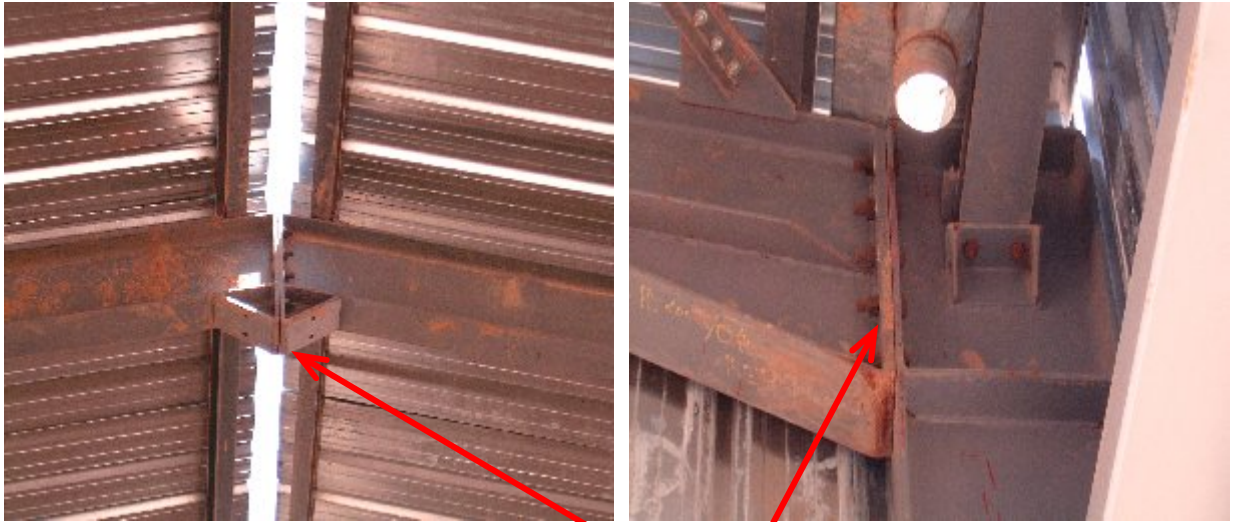


Figure 3.38: Autres malfaçons dans les assemblages boulons pas bien serrés et sans rondelles de serrage



Figure 3.39: Manque d'une diagonale dans la toiture.



Figure 3.40 : Fissure dans les dallages.

4.1.2 Fiche technique :

- Remplissage de la fiche technique :

Wilaya : Tlemcen

Commune: Zenata

Adresse : escadron de la gendarmerie de zenata

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturels
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- | | | |
|--|------------------------------|---|
| - Sur un terrain instable (tassant) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une falaise | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - En haut ou en bas d'une colline | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une rivière ou d'un oued | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :***Régularité en plan :***Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière ***Régularité en élévation :***Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière **Type de Toiture**Accessible Inaccessible **Toiture en**Béton armé collaborant Bois Charpente métallique Tuiles Eternit

Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ?

→	Oui	<input type="checkbox"/>
→	Non	<input type="checkbox"/>
→	Autre	<input checked="" type="checkbox"/>

Etat général de la toiture:Bon moyen mauvais **Changement dans la construction :**

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Portique auto- stable ductile (sans remplissage en maçonnerie)

Type assemblage :

Boulonnage Rivetage soudage

Y a t'il des contrôles périodiques sur les assemblages

Oui
Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

Oui
Non

Etat général des assemblages :

Bon moyen mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 45 m

Largeur totale (m) : 18 m

Hauteur inter étage : 4.5 m

Hauteur totale (m) : 4.5 m

Nombre de poteaux par étage : 20

Type et dimensions des poteaux en mm : IPE 360

Type et dimensions des poutres longitudinales mm : IPE 160

Type et Dimensions des poutres transversales en mm : IPE160

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

-Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Plancher en :

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait il partie du contreventement de la structure ?

Oui
 Non
 Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons : Bon Moyen Mauvais

- Etat du réseau eau : Bon Moyen Mauvais

- Etat du réseau d'assainissement : Bon Moyen Mauvais

-Toiture légère (tuile, éternit, ...) Bon Moyen Mauvais

4.1.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

L'application de cet exemple a donné les résultats regroupés dans le tableau 3.6 suivant :

Tableau 3.6 : Résultat de l'application

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	A	00
2	Capacité sismique	A	0.25
3	Qualité des assemblages	C	2.5
4	Maintenance	A	0.25
5	Type de sols	B	0.75
6	Diaphragme horizontal	B	0.75
7	Flambement de la structure	A	0.5
8	Régularité en plan	A	0.5
9	Modification	A	0.5
10	Régularité en élévation	A	0.5
11	Entrechoquement	A	0.5
12	Implantation de l'ouvrage	A	0.5
13	toiture	B	0.75
14	détails	A	0.5

Le calcul de l'indice de vulnérabilité de ce hangar est $I_v = 8.75$, il est dans l'intervalle $[5.75 - 9.5 [$.

4.1.5 Conclusion :

Il sera donc classé « vert », ce qui est en concordance avec nos observations faites lors de la visite effectuée dans cette structure.

4.2 Application 02 :

Le deuxième exemple d'application est un vieux marché.

4.2.1 Présentation de l'ouvrage :

Le marché est situé dans la ville de Tlemcen au quartier Elkiffan cité Abed Derar, sa structure est en charpente métallique, il a été construit dans les années 1980, par une entreprise algérienne (information confirmée par les riverains).

Le marché a été ouvert en 1984 comme souk el fellah, période de construction de grande surface de distribution de produits d'alimentation générale.

A la fermeture du souk el fellah aux environs de 1988- 89, il a été laissé à l'abandon, et comme montré par les photos ci-dessous, le marché a subi des dégradations, comme l'absence totale du bardage de la toiture, une partie de l'ouvrage a été ravagée par un incendie qui a accentué sa mise à la réforme.

Le bâtiment possède les dimensions suivantes :

Longueur = 39.5 m, largeur = 37.5 m , hauteur latérale = 5.50 m, hauteur centrale = 7 m.



Figure 3.41 : Marché : vu de l'extérieur.



Figure 3.42 : Marché : vu de l'intérieur, absence totale du bardage.



Figure 3.43: État de l'escalier et du garde corps.



Figure 3.44: Marché construit sur un terrain en pente.



Figure 3.45 : Affaissement du dallage.



Figure 3.46 : Présence de fissuration dans les murs.



Figure 3.47 : Rajout d'une vitrine d'exposition.



Figure 3.48 : La structure a subi un feu durant sa vie.

4.2.2 Fiche technique :

- Remplissage de la fiche technique

Wilaya : Tlemcen

Commune: Tlemcen

Adresse : quartier Kifan cité Derar Abed Rahman (souk el felah)

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- | | | |
|--|---|---|
| - Sur un terrain instable (tassant) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une falaise | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - En haut ou en bas d'une colline | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une rivière ou d'un oued | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante | Oui <input checked="" type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :***Régularité en plan :***

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique

Tuiles Eternit

Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ?

	→	Oui	<input checked="" type="checkbox"/>
	→	Non	<input type="checkbox"/>
	→	Autres	<input type="checkbox"/>

Etat général de la toiture:

Bon moyen mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Portique auto- stable ordinaire

Type assemblage :

Boulonnage

Rivetage

soudage

Y a t'il des contrôle périodique sur les assemblage

Oui
 Non

Etat général des assemblages :

Bon

moyen

mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 39.6 m

Largeur totale (m) : 20 m

Hauteur inter étages (m) : 4 m

Hauteur totale (m) : 5.5 m

Nombre de poteaux par étage : 22

Type et dimensions des poteaux en mm : UPN 200

Type et dimensions des poutres longitudinales mm :

Type et Dimensions des poutres transversales en mm

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant ?

Observations Générales :- Présence de fissurations dans les murs Oui Non -Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon

moyen

mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Plancher en

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait il partie du contreventement de la structure ?

Oui
 Non
 Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du garde corps :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'escalier :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'acrotère :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Etat du réseau électrique :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Etat du réseau eau :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Etat du réseau d'assainissement :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Toiture légère (tuile, éternit, ...)	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>

4.2.3 Calcul de l'indice de vulnérabilité :

L'application de cet exemple a donné les résultats regroupés dans le tableau 3.7 ci dessous :

Tableau 3.7 : Résultats de l'application du marché.

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	B	1.5
2	Capacité sismique	B	1.25
3	Qualité des assemblages	B	1.5
4	Maintenance	C	1.5
5	Type de sols	B	0.5
6	Diaphragme horizontal	C	0.75
7	Flambement de la structure	A	0.5
8	Régularité en plan	A	0.5
9	Modification	B	0.75
10	Régularité en élévation	C	1
11	Entrechoquement	A	0.5
12	Implantation de l'ouvrage	B	0.75
13	Toiture	C	0.75
14	Détails	C	1

Après calcul, on trouve l'indice de vulnérabilité de ce bâtiment $I_v = 12.75$, donc il est compris entre $[9.5 - 16 [$.

4.2.5 Conclusion :

Cette construction est classée « orange », ce qui est conforme à l'état observé de la construction.

4.3 Application 03 :

Le dernier exemple d'application est l'usine de fabrication de zinc :

4.3.1 Présentation de l'ouvrage :

L'usine est située dans la wilaya de Tlemcen en plein centre ville de ghazaouet, elle a été inaugurée en 1975, elle est composée de quatre parties :

Fabrication, stockage, maintenance et administration.

Il est à signaler que le processus de fabrication de zinc, dégage du H_2SO_4 qui est très nocif pour le métal, car il accélère le processus de la corrosion.

L'usine est construite en bord de mer sur un terrain sablonneux et limité vers le sud par une grande falaise.

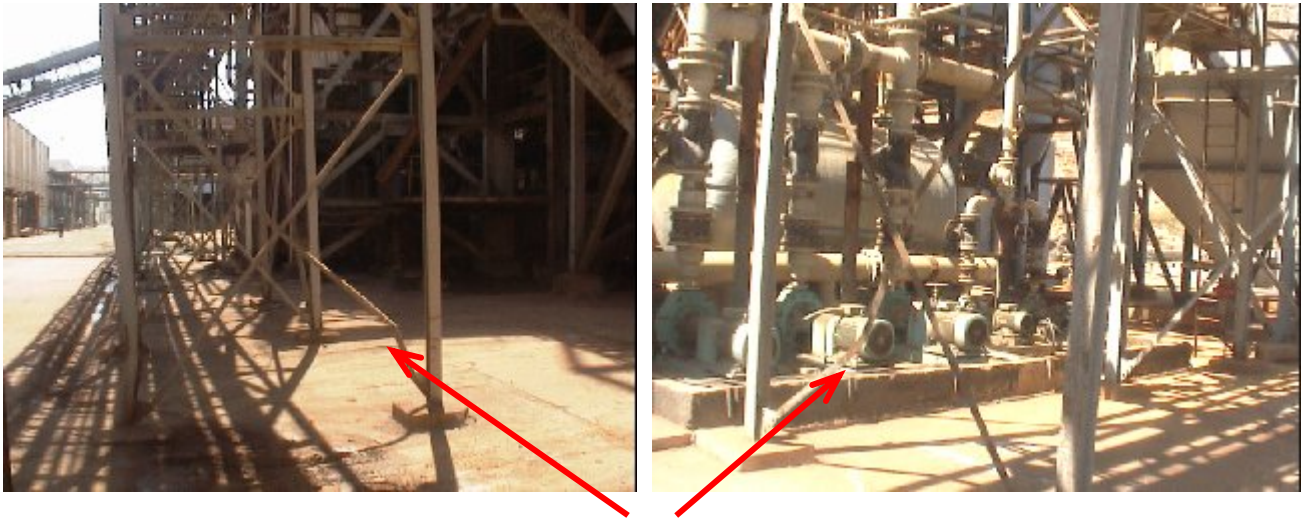


Figure 3.49 : Déformation des contreventements.



Figure 3.50 : Absence des contreventements.



Figure 3.51 : Manque de boulons dans les assemblages



Figure 3.52 : Altération des pieds de poteaux.

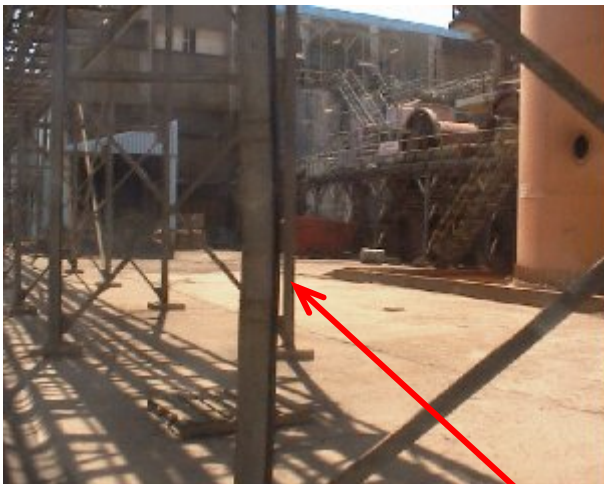


Figure 3.53 : Flambement des poteaux.



En toiture



A la base

Figure 3.54 : joint sismique vu de l'extérieur.



Figure 3.55 : Joint sismique vu de l'intérieur.



Figure 3.56 : Fissures à 45 degré à deux sens de par et d'autre du joint.

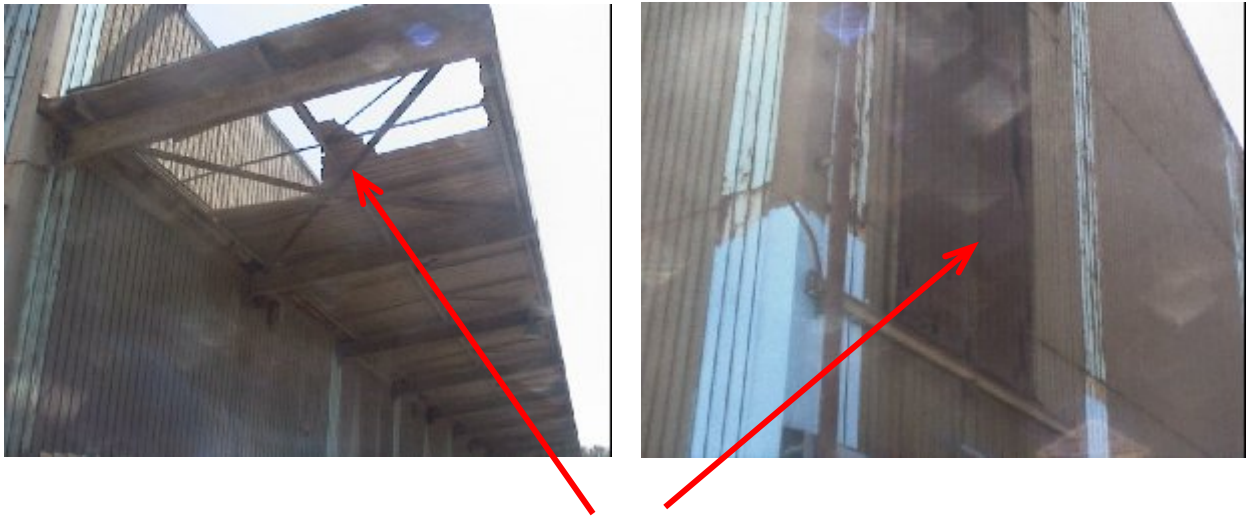


Figure 3.57 : Dégradation du bardage.



Figure 3.58 : La structure se trouve au bas d'une falaise.



Figure 3.59 : Détachement de la poutre de son appui.



Figure 3.60 : Les dégradations dues au H_2SO_4

4.3.2 Fiche technique :

- Remplissage de la fiche technique :

Wilaya : Tlemcen

Commune: ghazaouet

Adresse : centre ville sur le front de mer

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

- | | | |
|--|---|---|
| - Sur un terrain instable (tassant) | Oui <input checked="" type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - A bord d'une falaise | Oui <input checked="" type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - En haut ou en bas d'une colline | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |
| - A bord d'une rivière ou d'un oued | Oui <input checked="" type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input checked="" type="checkbox"/> |

La construction est :

A l'angle Au milieu Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui Non

Si oui épaisseur du joint de rupture 02 (cm)

Régularité de la construction :

Régularité en plan :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière Faiblement irrégulière Irrégulière

Type de Toiture

Accessible Inaccessible

Toiture en

Béton armé collaborant Bois Charpente métallique
 Tuiles Eternit
 Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ?

- Oui
- Non
- Autre

Etat général de la toiture:

Bon moyen mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Ossature contreventée par palées triangulées en X

Type assemblage :

Boulonnage Rivetage soudage

Y a t'il des contrôle périodique sur les assemblage

- Oui
- Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons

- Oui
- Non

Si Oui, il en manque ?

Beaucoup peu très peu

Etat général des assemblages :

Bon moyen mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : 00 SS + RDC + 00

Longueur totale (m) : 60m

Largeur totale (m) : 20m

Hauteur inter étages (m) : 12 m

Hauteur totale (m) : 12 m

Nombre de poteaux par étage : 24

Type et dimensions des poteaux en mm : HEA 300

Type et dimensions des poutres longitudinales mm : IPE 160

Type et Dimensions des poutres transversales en mm

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale de l'ascenseur ?

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximale du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximale du pont roulant : 5 tonnes

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

-Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Sur les poteaux :

Flambement cisaillement voilement

Autres (préciser) :

Sur les poutres :

Flambement cisaillement voilement

Autres (préciser) : détachement de poutre de son appui

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait-il partie du contreventement de la structure ?

Oui
 Non
 Autre

Etat général des planchers:

Bon moyen mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- Etat des cloisons :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Etat des balcons :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Etat du garde corps :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>
- Etat de l'escalier :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'acrotère :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau électrique :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau gaz :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau eau :	Bon <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>
- Etat du réseau téléphonique :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Toiture légère (tuile, éternit, ...)	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input checked="" type="checkbox"/>

4.3.3 Calcule de l'indice de vulnérabilité :

Cet exemple d'application de l'usine de fabrication de Zinc nous donne les résultats regroupés dans le tableau 3.8 suivant :

Tableau 3.8 : Résultats de l'application de l'usine de fabrication de zinc.

N°	Eléments	Classe	Coefficient Ki
1	Ductilité	B	1.5
2	Capacité sismique	C	2.00
3	Qualité des assemblages	C	2.5
4	Maintenance	C	1
5	Type de sols	C	1
6	Diaphragme horizontal	B	0.75
7	Flambement de la structure	B	1
8	Régularité en plan	C	1
9	Modification	A	0.5
10	Régularité en élévation	C	1
11	Entrechoquement	C	1
12	Implantation de l'ouvrage	C	1
13	Toiture	B	0.75
14	Détails	C	0.75

Le calcul donne l'indice de vulnérabilité de cette usine qui est $I_v = 15.75$. Il est compris entre $[9.5 - 16 [$.

4.3.5 Conclusion :

Cette construction est classée « orange » ce qui semble conforme aux observations effectuées lors de notre visite sur site et représentées par les photos prises.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le développement d'un programme de calcul appelé « VIP » (Vulnérability Index Program) avec le logiciel Delphi, et son principe de fonctionnement. Le programme développé permet de classer la structure en calculant son indice de vulnérabilité vis-à-vis de l'action sismique.

Nous avons validé notre programme, en calculant l'indice de vulnérabilité de cinq (05) structures que nous avons classé suivant cet indice de vulnérabilité.

Les résultats obtenus ont été comparés aux expertises effectués par l'organisme de contrôle CTC/OUEST (Contrôle Technique de Construction). Nous avons obtenus une bonne concordances.

Nous avons alors appliqué notre programme sur trois autres structures, que nous avons expertisées. Les résultats obtenus étaient probants.

CONCLUSION

Durant la dernière décennie, on a remarqué qu'il y a de plus en plus de constructions en charpente métallique, localisées essentiellement dans les zones industrielles et usines. L'engouement pour ce type de construction s'explique d'une part, pour des raisons pratiques à savoir : Rapidité d'exécution, délais de constructions et d'autre part pour des considérations techniques.

Le comportement sismique de l'ensemble de ces structures étant peu connu, ceci provient du fait qu'en général, compte tenu de la ductilité du matériau acier, son comportement est bon vis-à-vis du séisme. Cependant l'acier nécessite un entretien suivi (lutte contre la corrosion, le contrôle des assemblages, etc.).

Lors des séismes, les structures en charpente métallique, peuvent subir des dommages importants, pouvant aller jusqu'à la paralysie des activités. L'arrêt des activités a un impact direct sur la production et le pouvoir d'achat, sans oublier les pertes en vies humaines.

En Algérie, ces structures obéissent à la réglementation algérienne le CCM97, mais cette dernière ne prend pas en compte de manière explicite les sollicitations sismiques, elle ne les considère que du point de vue statique

L'état de connaissances sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique de ces structures, n'est pas suffisante actuellement. Les méthodes existantes à ce jour traitent soit à grande échelle et sommairement ces types de constructions, ou de façon détaillée, ce qui nécessite des moyens considérables et des personnes qualifiées. La méthode intermédiaire a été l'objet de notre travail, où un compromis est possible entre ces deux échelles, lequel compromis concernera l'étude d'une dizaine de bâtiments ou d'un quartier, pour ce faire nous utiliserons, la méthode de « l'indice de vulnérabilité ».

La méthode de l'indice de vulnérabilité, est élaborée à partir d'observations post-sismiques, elle permet d'identifier les défauts et les faiblesses des constructions, à partir d'observations visuelles de la structure et d'estimer ensuite le taux de dommages probables, en fonction d'un niveau de sollicitation donnée (force sismique).

Cette approche considère un certain nombre de paramètres, de nature structurale et non structurale, relatifs à chaque structure et participant à la vulnérabilité sismique globale de cette dernière.

Notre première tâche, consistait à identifier les paramètres les plus importants, influents sur la réponse sismique de la structure, qui sont choisis, à partir des retours d'expérience et des recherches bibliographiques effectuées, en tenant compte du contexte algérien et de la réglementation en vigueur. Puis nous avons classé ces paramètres, les uns par rapport aux autres, en fonction de leurs importances.

Ensuite nous avons proposé une pondération des paramètres, exprimés par des coefficients « K_i » qui expriment l'état du paramètre. La somme des coefficients « K_i » de ces derniers nous donne l'indice de vulnérabilité de la structure, qui est un indicateur de l'état de la structure, laquelle, peut être estimée avant et après l'occurrence de l'événement sismique. Nous avons défini trois plages de classification, dont chacune est associée à une couleur qui définit l'état du bâti ou de sa qualité sismique.

Pour la validation de cette méthode, nous avons étudié des structures ayant fait l'objet d'une expertise effectuée, par les services du CTC/ OUEST. Nous avons aussi étudié quelques exemples à titre d'application, les résultats obtenus sont satisfaisants.

Cette étude a nécessité la mise en place d'une fiche technique pour regrouper les informations nécessaires, afin de pouvoir les incorporer, et les traiter dans un programme appelé « VIP » : Vulnerability Index Program, lequel a été développé, avec le logiciel Delphi pour estimer la vulnérabilité sismique des structures métalliques. La mise en œuvre de ce programme, a été réalisée nous permettant ainsi la classification des ouvrages en charpente métallique.

L'ensemble des travaux effectués et des résultats présentés montre que bien des questions restent posées. Bien que ce travail soit une compréhension de la problématique de la vulnérabilité sismique des structures en charpente métallique, il n'en constitue pas moins une modeste contribution à ce vaste domaine.

Plusieurs prolongations à ce travail sont possibles, tel que la détermination des courbes de vulnérabilité des structures en charpente métallique pour l'Algérie ou bien la mise sur SIG (Système d'Informations Géographiques) de l'ensemble des constructions en charpente métallique d'une région, afin d'effectuer des simulations de scénario catastrophe.

REFERENCES

- [01] : Hamid Azouz, *Description de l'état post sismique lors du séisme 21 mai 2003*, Revue Technique CTC/Chelef, Algérie, Février 2003.
- [02] : Milan Zacek, *Construire parasismique*, Edition Parenthèses, Marseille, France, 1996.
- [03] : Victor Davidovici, *Construction en Zone Sismique*, Edition le Moniteur, Paris, France, 1999.
- [04] : Jacques Beteder-Matibet et Jean-Louis Doury, *Construire parasismique*, Technique de l'Ingénieur, France, 2002.
- [05] : Mehdi Boukri, *Détermination de l'Indice de Vulnérabilité des Construction en Maçonneries*, thèse de magistère, Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2003.
- [06] : Fatma Iméne Belheouane, *Détermination de l'Indice de Vulnérabilité des Construction en Béton Armée*, thèse de magistère, Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2006.
- [07] : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, *Charpente Métallique Conception et Dimensionnement des halles et bâtiments*, Lausanne, 2001.
- [08] : Helmut C. Schulitz, Werner Sabek, Karl J Habermann, *Construire en acier*, édition Détail, Lausanne, Suisse, 2003.
- [09] : AFPS, *Guide la Conception Parasismique des Bâtiments*, Edition Eyrolles, Paris, France, 2004.

- [10] : Jalil Walfgang, *Règles de construction parasismique PS 92*, Edition Eyrolles, Paris, France 2003
- [11] : AFPS, *Vulnérabilité Sismique du Bâtis Existant* : approches d'ensemble, cahier technique n°25, France, 2005.
- [12]: Marie-José Nollet, *Evaluation de la Vulnérabilité Sismique des Bâtiments Existant*, cahier technique de l'ETS, Ecole de Technologie Supérieure Université du Québec, Montréal, Canada, 2004.
- [13]: RISK-UE, *An advanced approach to earthquake risks scenarios with applications to different European towns*, WP4 : Vulnerability of current building, EVK4-CT-2000- 00014, 2003
- [14]: Mahmoud Bensaïbi, *Note de cours, vulnérabilité des structures*, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 2004.
- [15] : F. Djaalali, M Boukri et M. Bensaïbi, *Vulnérabilité Sismique des Bâtiments en Maçonnerie de la Ville d'Alger*, acte du colloque international Risque, Vulnérabilité et Fiabilité dans la construction vers une réduction des désastres, 11 et 12 Octobres, Shératon Club des pins, Alger, Algérie, vol2, 2003.
- [16]: M N Akkase, *Thoughts on Concepts of Seismic Hazards, Vulnerability and seismic Risk*, 9th European confer on Earthequake engineering vol 10.
- [17] : Règles parasismiques Algériennes RPA 99 modifiées en 2003, Algérie, 2003.
- [18]: Victor Giancu, M Mazzoalani, *Ductility of Seismic Resistant Steel*, Edition Span Press, London and New york, 2002.
- [19]: K Lang, *Seismic Vulnerability of Exesting Building*, thèse de doctorat, Swiss Federal institute of technology, Zurich, Suisse, 2002.

- [20]: Malika Bereddiaf Bourahla, *Comportement dynamique non-linéaire des systèmes de contreventement des ossatures métalliques* thèse de magistère, Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2002.
- [21]: A plumier et B B oushaba, *Relation entre la ductilité Local et le facteur de comportement sismique des structures en acier*, construction métallique, N° 2, 1988.
- [22]: séminaire : *comportement ductile des structures métalliques*, GECOTEC Groupement Alger 17 et 18 juin 1997.
- [23]: *Règles de Conception et de Calcul des Structures en acier CCM 97*, Algérie, 1997.
- [24]: *Recommandation pour l'exécution des structures en Acier*, document Technique Réglementaire, Centre de recherches Appliquées en Génies Parasismique, Ministère de L'habita, 2001.
- [25]: Jean Morel, *Conception et calcul des structures métalliques*, Edition Eyrolles, paris, France, 1995
- [26]: *Charges Permanente et Charges d'exploitations Surcharge*, document Technique Réglementaire, Centre de recherches Appliquées en Génies Parasismique, Ministère de l'Habita, 1988.
- [27]: Michel Martin, *le tous en poches Borland Delphi 7*, Edition Campus press, Paris, France, 2002.
- [28]: Michel Martin, *le programmeur Delphi 7*, Edition Campus Press, Paris, France, 2003.
- [29]: M.C Belaid, *programmation des bases de données avec Delphi*, Les Cahiers du Savoir, Mini projet, Edition Les Pages Bleues, Algérie, 2005.

ANNEXE 01

Méthodes disponibles pour des analyses de vulnérabilité

I. Méthodes suivant les échelles d'analyse :

Elles dépendent de l'échelle pays, région, commune, du nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles, comme ils sont illustrés au tableau précédent.

On distingue plusieurs échelles d'investigation [11].

a. Des analyses très globales :

Utilisant directement les répartitions statiques des dommages des échelles d'intensité (échelles MSK, EMS) en fonction de la typologie de structures.

b. Des analyses globales :

Où les bâtiments ne sont pas analysés individuellement, mais de façon statique. Le traitement des données recueillies sur le parc immobilier, vise généralement à classer les bâtiments, dans les typologies redéfinies, dont on a une estimation de la vulnérabilité sismique.

c. Des analyses précises :

Où les bâtiments sont analysés individuellement, mais avec des méthodes simplifiées

II Méthodes suivant l'approche d'analyse :

Une fois l'échelle de l'analyse définie, les méthodes d'évaluation des dommages en cas de séisme, s'appuient généralement sur l'utilisation de matrices probabilistes de dommages, ou de courbes de vulnérabilité, qui donnent le pourcentage d'une famille de bâtiments, ayant atteint un certain niveau de dommage. On distingue :

a. L'approche probabiliste utilisant des matrices de probabilité de dommages :

Présentées comme une des premières méthodes développées pour l'estimation des dommages, les matrices de probabilité de dommages DPM (damage probabiliste matrix) sont issues directement de retour d'expérience et des estimations de dommages après plusieurs séismes.

En général le niveau sismique est exprimé par une intensité (MSK ou EMS 98) pour laquelle l'importance des dommages suivant la typologie est donnée par un niveau de l'échelle [11].

b. L'approche statique utilisant des courbes de vulnérabilité :

Ces dernières « vulnerability curves » ou « fragility curves » sont identiques aux matrices de probabilité de dommages, mais ont l'avantage d'avoir l'expression analytique, et de ne pas présenter de discontinuité. Une courbe de vulnérabilité donne, pour un niveau de séisme donné, la probabilité que le dommage soit supérieur à une valeur (chaque courbe est donc associée à un niveau de dommage). Chaque type de construction, est défini suivant la vulnérabilité et la nature des dommages, et classée dans une échelle à plusieurs degrés [11].

c. L'approche déterministe utilisant des courbes de vulnérabilité :

Même si le même nom est souvent utilisé dans la littérature, il faut distinguer une seconde famille de courbes de vulnérabilité, qui donne le dommage moyen, en fonction du niveau sismique (en intensité ou en accélération) et non plus une probabilité de dépasser un niveau de dommage donné. Le plus moyen permet de connaître le pourcentage de bâtiments, dans un niveau de dommage donné [11].

ANNEXE 02

Les analyses détaillées disponibles pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique

1. Les méthodes analyses détaillées :

Les analyses détaillées font partie des méthodes d'évaluation les plus complexes et sont par conséquent mieux adaptées pour l'évaluation d'un bâtiment unique. Les différentes méthodes d'analyse détaillées peuvent être classées parmi les procédures linéaires (statique et dynamique) et les procédures non linéaires (statique et dynamique) [12].

a. Analyse statique linéaire :

L'analyse statique linéaire comme celle décrite dans les *Lignes directrices pour l'évaluation sismique des bâtiments existants* et dans l'ASCE 31-03, est l'approche des codes de conception. Le bâtiment est modélisé comme un système équivalent à un degré de liberté, avec une rigidité élastique linéaire et un amortissement visqueux équivalent. La charge sismique est modélisée par une force latérale équivalente, visant à reproduire le même niveau de contraintes et de déformations que le séisme représenté. Cette procédure est valable pour les bâtiments réguliers, et dont la période fondamentale de vibration est prédominante. Pour les autres bâtiments, il est recommandé d'utiliser une analyse dynamique linéaire ou analyse du spectre de réponse [12].

b. Analyse dynamique linéaire :

L'analyse dynamique linéaire ou l'analyse du spectre de réponse, est utilisée pour les structures irrégulières ou en hauteur. Elle utilise tous les modes, contribuant de manière importante à la réponse structurale totale. La structure est modélisée par un système à plusieurs degrés de libertés, avec une matrice de rigidité linéaire élastique et une matrice d'amortissement visqueux équivalent. On peut ainsi calculer les réponses modales maximales. Ces contributions sont combinées statistiquement de façon à obtenir une réponse structurale approximative. Le séisme est généralement modélisé par une analyse spectrale modale, ou par

une analyse pas à pas, laquelle nécessite l'utilisation d'enregistrements de séismes. Dans les deux cas, les forces et les déplacements sont obtenus par une analyse linéaire élastique.

c. Analyse statique non linéaire :

Dans la procédure d'analyse statique non linéaire, la non-linéarité de la relation force déplacement. Des composantes individuelles de la structure sont incorporées au modèle.

Cette non-linéarité est due à la réponse inélastique du matériau. Plusieurs méthodes existent, et certaines sont décrites dans le FEMA-273. La non-linéarité de la relation force-déplacement du bâtiment est représentée par une courbe de capacité, c'est-à-dire une courbe donnant la variation du cisaillement à la base en fonction du déplacement maximum. Cette courbe est obtenue en soumettant progressivement la structure à des forces latérales ou des déplacements dont l'intensité augmente jusqu'à l'effondrement, et qui sont distribués le long de la structure, selon le mode de vibration fondamental. L'avantage d'une telle méthode, est qu'elle considère l'inélasticité des matériaux et donne une meilleure approximation, des efforts et déformations attendus, durant un séisme. Par contre, seul le mode fondamental de vibration est considéré, rendant cette méthode moins appropriée pour les bâtiments irréguliers [12].

d. Analyse dynamique non linéaire :

Cette méthode est semblable à la méthode statique non linéaire, car elle considère la réponse inélastique des matériaux, et le séisme est modélisé par une analyse pas à pas. Il s'agit de la méthode la plus sophistiquée, qui est mieux adaptée aux applications de recherche, pour décrire la réponse détaillée d'une structure. La réponse calculée est très sensible aux caractéristiques du séisme utilisé, et il est préférable d'utiliser plusieurs enregistrements de séismes [12].




ANNEXE 03



L'échelle macrosismique Européenne EMS-98

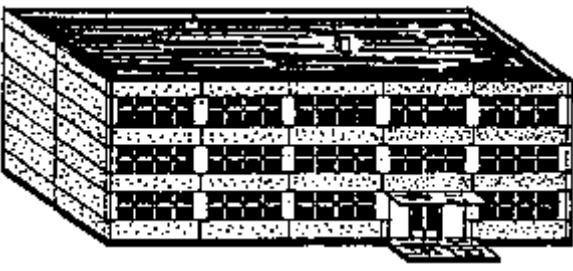
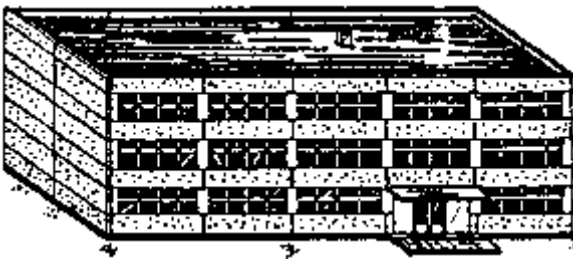
Intensité EMS	Définition	Description des effets typiques observés (résumé)
I	Non ressenti	Non ressenti.
II	Rarement ressenti	Ressenti uniquement par quelques personnes au repos dans une position favorable, à l'intérieur des bâtiments.
III	Faible	Ressenti à l'intérieur des habitations par quelques personnes. Les personnes au repos ressentent une vibration ou un léger tremblement.
IV	Largement observé	Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur par un petit nombre. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent.
V	Fort	Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart, à l'extérieur par quelques personnes. De nombreux dormeurs se réveillent. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans leur ensemble. Les objets suspendus se balancent fortement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment.
VI	Dégâts légers	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Chute d'objets. De nombreuses maisons subissent des dégâts non structuraux comme de très fines fissures et des chutes de petits morceaux de plâtre.
VII	Dégâts	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Les meubles se déplacent et beaucoup d'objets tombent des étagères. De nombreuses maisons ordinaires bien construites subissent des dégâts modérés : petites fissures dans les murs, chutes de plâtres, chute de parties de cheminées ; des bâtiments plus anciens peuvent présenter de larges fissures dans les murs et la défaillance des cloisons de remplissage.
VIII	Dégâts importants	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout. Beaucoup de maisons ont de larges fissures dans les murs. Quelques bâtiments ordinaires bien construits présentent des défaillances sérieuses des murs, tandis que des structures anciennes peu solides peuvent s'écrouler.

IX	Destructions	Panique générale. De nombreuses constructions peu solides s'écroulent. Même des bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants : défaillances sérieuses des murs et effondrement structural partiel.
X	Destructions importantes	De nombreux bâtiments bien construits s'effondrent.
XI	Catastrophe	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent, même ceux ayant une bonne conception parasismique sont détruits.
XII	Catastrophe généralisée	Pratiquement tous les bâtiments sont détruits.

Classification et description des dommages pour les bâtiments en maçonneries et en béton armée

Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
	<p>Degré 1: Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.</p>
	<p>Degré 2: Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.</p>
	<p>Degré 3: Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants) Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons).</p>

	<p>Degré 4: Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers.</p>
	<p>Degré 5: Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total ou presque total.</p>

Classification des dégâts aux bâtiments en béton armé	
	<p>Degré 1: Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux)</p> <p>Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base.</p> <p>Fissures fines dans les cloisons et les remplissages.</p>
	<p>Degré 2: Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)</p> <p>Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres) et dans structures avec murs.</p> <p>Fissures dans les cloisons et les murs de remplissage; chute des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonctions entre les panneaux des murs.</p>




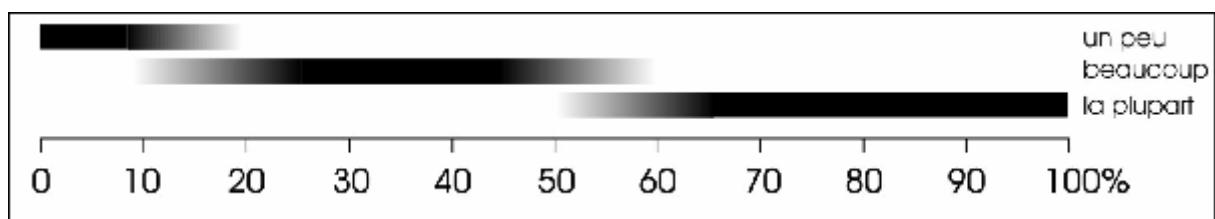
	<p>Degré 3: Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants)</p> <p>Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature et aux extrémités des linteaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage du revêtement de béton, flambement des barres d'armature longitudinale.</p> <p>Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.</p>
	<p>Degré 4: Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)</p> <p>Fissures importantes dans les éléments structuraux avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence; perte de l'adhérence barres-béton; basculement des poteaux. Ecrasement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.</p>
	<p>Degré 5: Destruction (dégâts structuraux très importants)</p> <p>Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.</p>

Figure1 : Description des indicateurs de l'EMS 98



Annexe 04

Calcul de la capacité portante

1- La capacité sismique :

Elle se définit par un coefficient « α », qui est le rapport entre l'effort tranchant de base induit par le séisme et l'effort tranchant maximum supporté par la structure.

2- Etape de calcul :

$$\alpha = \frac{V_S}{V_T}$$

V_S : l'effort tranchant induit par le séisme à la base.

V_T : est la valeur de calcul plastique au cisaillement.

Calcul de l'effort tranchant induit par le séisme à la base.

$$V_S = F_T + \sum F_i$$

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

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

F_i : effort horizontal revenant au niveau i .

h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i .

h_j : niveau du plancher quelconque.

W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j .

V : la force sismique totale est calculée comme suit :

$$V = \frac{Ax D x Q}{W} x R$$

A : Coefficient d'accélération de zone.

D : Facteur d'amplification.

Q : Facteur de qualité.

W : le poids total de la structure.

R : Coefficient de comportement globale de la structure.

Calcul de la valeur plastique au cisaillement (V_T):

$$V_T = A (f_y / \sqrt{3}) \gamma_{Mo}$$

A : l'air de cisaillement.

γ_{Mo} : Coefficient partielle de sécurité.

f_y : résistance limite d'élasticité.

Classification:

La classification de ce facteur est fonction du coefficient « α » :

1- classe A : pour les structures, ayant un rapport de la force de résistance sismique est entre :

$$0 < \alpha \leq 0.15.$$

C'est-à-dire que l'effort tranchant de base induit par le séisme, est plus petit que l'effort tranchant maximum supporté par la structure.

2- classe B : dans cette classe on trouve les structures dont le coefficient varie entre :

$$0.15 < \alpha \leq 0.70$$

Cela veut dire, que la structure a une résistance moyenne à la force sismique.

3- classe C : cette classe regroupe, les structures dont le coefficient $\alpha > 0.7$ donc ces structures présentent une faible résistance à la force sismique.

ANNEXE 05

Flambement de la structure

Le flambement d'une structure se détermine à partir du coefficient « χ » qui est le rapport entre la descente de charge et la charge maximale, que peut supporter le poteau.

2. Étape de calcul :

$$\chi = \frac{W_I}{P_{CR}}$$

W_I : la charge réelle supportée par le poteau.

P_{CR} : c'est la charge une fois dépassée provoque la perte de stabilité.

$$P_{CR} = E I \pi^2 / L_{eff}$$

Avec :

E : module d'élasticité longitudinale.

I : moment d'inertie du profilé.

L_{eff} : longueur de flambement.

3. Classification :

1- classe A : Cette classe regroupe, les structures qui ont une bonne résistance au flambement

c'est à dire que $0 < \chi \leq 0.35$.

2- classe B : dans ce groupe sont classées, les structures dont le rapport χ varie

$0.35 < \chi \leq 0.75$ c'est-à-dire que la structure résiste moyennement au flambement.

3- classe C : dans cette classe, on trouve les structures ayant un coefficient $\chi > 0.75$: donc

celle-ci, regroupe les structures ayant une faible résistance au flambement.

ANNEXE 06
Fiche Technique pour les
Constructions en charpente métallique

N° :

Date...../...../.....

Wilaya :

Commune:

Adresse :

Type de construction :

Bâtiment Maison individuelle Hangar Usine Précaire
Autres (préciser)

Usage de la construction :

Habitation Hospitalier Commercial Administratif
Sportif Industriel Scolaire Socioculturel
Autres (préciser).....

Date de la construction (approximativement):

En Période coloniale Après : 1983 1988 1999 2003

Qualité du sol :

Rocheux Ferme Meuble Très meuble Inconnu

Implantation de l'ouvrage :

L'ouvrage est-il implanté ?

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

La construction est :

A l'angle

Au milieu

Isolée

Présence du joint de rupture :

Oui

Non

Si oui épaisseur du joint de rupture (cm)

Régularité de la construction :

Régularité en plan :

Régulière

Faiblement irrégulière

Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière

Faiblement irrégulière

Irrégulière

Type de Toiture

Accessible

Inaccessible

Toiture en

Béton armé

collaborant

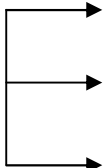
Bois

Charpente métallique

Tuiles

Eternit

Autres (préciser).....

La toiture est elle contreventée ? 

Oui

Non

Autre

Etat général de la toiture:

Bon

moyen

mauvais

Changement dans la construction :

- Y a t'il des rajouts ou des suppressions dans la construction ? (Ex : rajout de cloisons):

Oui Non

- Y a t'il des transformations dans la construction ?

Oui Non

- Y a t'il un changement de fonctionnalité dans la construction ? (ex changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine)

Oui Non

- Autres transformations (préciser)

Système de contreventement :

Portique auto- stables ductiles (sans remplissage en maçonnerie)

Portique auto- stable ordinaire

Ossature contreventée par palées triangulées en X

Ossature contreventée par palées triangulées en V

Mixtes portiques / palées triangulées en x

Mixtes portiques / palées triangulées en V

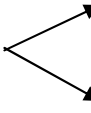
Portique en console verticale

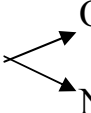
Ossature métallique contre ventée par diaphragme

Autres (préciser).....

Type assemblage :

Boulonnage Rivetage soudage

Y a t'il des contrôle périodique sur les assemblage
  Oui
 Non

Y a t'il un manque dans le nombre rivets ou de boulons
  Oui
 Non

Si Oui, il en manque ?

Beaucoup peu très peu

Etat général des assemblages :

Bon moyen mauvais

Caractéristiques de la construction :

Nombre de niveaux : SS + RDC +

Longueur totale (m) :

Largeur totale (m) :

Hauteur inter étage (m) :

Hauteur totale (m) :

Nombre de poteaux par étage :,.....

Type et dimensions des poteaux en mm :,.....

Type et dimensions des poutres longitudinales mm :,.....

Type et Dimensions des poutres transversales en mm,.....

- Présence d'ascenseur Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximal de l'ascenseur ?.....

- Présence de monte-charge Oui Non

- Si Oui quel est la charge maximal du monte-charge ? :

-présence de pont roulant Oui Non

-Si Oui quel est la charge maximal du pont roulant ?:.....

Observations Générales :

- Présence de fissurations dans les murs Oui Non

-Présence d'évacuation d'eaux pluviales Oui Non

Si Oui quel est son état général ?

Bon moyen mauvais

Présence de traces de corrosion :

Sur les éléments de couverture Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Sur les éléments porteurs Oui Non

Si Oui quel est son état de corrosion ?

Très avancé avancé moyenne faible pas de corrosion

Phénomène d'instabilité :

Y a-t-il des phénomènes d'instabilité sur les éléments porteurs ? Oui Non

Si Oui

Sur les poteaux :

Flambement cisaillement voilement

Autres (préciser).....

Sur les poutres :

Flambement cisaillement voilement

Autres (préciser).....

- L'état général de la construction :

Très bon Bon Moyen Mauvais Très Mauvais

Plancher en

Béton armé Charpente métallique collaborant Bois

Autres (préciser).....

Le plancher fait-il partie du contreventement de la structure ?

→ Oui
→ Non
→ Autre

Etat général des planchers:

Bon

moyen

mauvais

. Détails (Etat des éléments suivants) :

- | | | | |
|--|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| - 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"/> |
| - Toiture légère (tuile, éternit, ...) | Bon <input type="checkbox"/> | Moyen <input type="checkbox"/> | Mauvais <input type="checkbox"/> |

Remarques générales :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Nom et Prénom de l'ingénieur