



Indices de vulnérabilité des constructions existantes à Oran (Indices of vulnerability of existing buildings in Oran)

L. Mammar^{1,2*}, M. Mouli², A. Senouci³, A. Said¹, A. Allout²

¹Laboratoire LMST, Département de Génie Civil, USTOMB, Algérie

²Laboratoire LabMat, Département de Génie Civil, ENPO, Algérie

³Département d'architecture, USTOMB, Algérie

Received 18 Oct 2015, Revised 27 Jan 2016, Accepted 19 Feb 2016

*Corresponding Author. E-mail: mammarho@yahoo.fr; Tel: (+213550438526)

Résumé

Cet article traite une problématique de la protection de l'environnement par l'évaluation de la vulnérabilité des constructions existantes à Oran, la prévention du risque sismique dans le milieu urbain dans l'objectif est de procéder à la réhabilitation du vieux bâtiment. La méthode qualitative à l'échelle urbain avec le choix d'un site représentatif d'Oran en comparant trois méthodes : GNDT, Risk-UE, et VULNERALP, choisies en fonction de la similitude entre les constructions du sud européen avec le nord Algérien et surtout d'Oran. Les indices de vulnérabilité ont été calculés pour l'échantillon du CTC (Contrôle technique de construction d'Oran) de 5193 bâtiments. On considère le dommage moyen d_{moy} obtenu pour chaque bâtiment des 5193, avec les différentes méthodes, pour les quatre niveaux d'intensité (7, 8, 9, 10). Une calibration est réalisée par les méthodes quantitatives : à l'échelle de bâtiment. Les bâtiments choisis, qui se trouvent sur le périmètre d'étude sont un bloc opératoire de l'ancien hôpital d'Oran (CHU) et une unité de la protection civile d'Oran.

Mots clés : indice, vulnérabilité, maçonnerie, réhabilitation, environnement, méthodes qualitatives, méthodes quantitatives

Abstract

This article discusses an issue of protecting the environment by assessing the vulnerability of existing buildings in Oran, prevention of seismic risk in urban areas in the objective is to rehabilitate the old building. The qualitative method to the urban scale with the selection of a representative site of Oran by comparing three methods: GNDT, Risk-UE and VULNERALP, selected based on the similarity between the buildings of the European south with the north Algerian and above all Oran. Vulnerability indices were calculated for the sample of CTC (Technical inspection of construction of Oran) of 5193 buildings. Considering the average damage D_{av} obtained for each building of 5193, with the different methods for the four levels of intensity (7, 8, 9, 10). A calibration is performed by quantitative methods: the building scale. The selected buildings, which are located on the perimeter of study, are an operating theater of the old hospital of Oran (CHU) and a unit of civil protection Oran.

Keywords: index, vulnerability, masonry, rehabilitation, environmental, qualitative, quantitative methods

1-Introduction:

Oran est une deuxième grande ville socio-économique après la capitale Alger. Elle est riche en histoire et en architecture, ayant un tissu urbain très dense et abritant des réalisations de grande valeur urbanistique et architecturale. Oran par son caractère, sa nature, sa situation géographique, constitue

une ville à risque majeur et potentiel à cause de sa position dans la zone de collision entre les deux plaques tectoniques africaine et eurasienne, elle subit les implications de la néotectonique [1-4] Or, la question du l'ancien bâti à Oran remonte à plusieurs décennies, la ville a commencé à connaître un phénomène d'effondrement (partiel ou total) d'immeubles désignés comme "vieux bâti" [5].

Depuis plusieurs années, les régions du monde qui ont subi de forts séismes ayant provoqué d'importantes destructions (Japon, USA, Italie, Turquie, Grèce...) ont initié des méthodes d'analyse de la vulnérabilité à grande échelle pour le bâti existant. Directement issues des retours d'expérience, elles dépendent donc de l'échelle – pays, région, communes –, du nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles. Elles peuvent être utilisées pour estimer de façon approchée les dommages engendrés par un séisme. [6]

Les indices de vulnérabilité ont été calculés pour l'échantillon du CTC de 5193 bâtiments (à l'échelle d'urbain). On considère le dommage moyen dmoy obtenu pour chaque bâtiment des 5193, avec les différentes méthodes, pour les quatre niveaux d'intensité (7, 8, 9, 10) [7]

Une étude de comparaison est réalisée sur deux ouvrages par les méthodes quantitatives (à l'échelle de bâtiment). Les bâtiments choisis, qui se trouvent sur le périmètre d'étude, sont un bloc opératoire de l'ancien hôpital d'Oran (CHU) [8] et une unité de la protection civile d'Oran. [9]

2-Aléa sismique D'Oran :

Les études disponibles [1-4] identifient plusieurs accidents tectoniques pouvant générer des séismes. Les résultats de l'étude la plus récente (CGS, 2010) retiennent les failles de F1 à F13 (Figure 1). Ces failles, dans l'ensemble, suivent la direction atlasique NE-SW. La faille ayant la plus grande extension est la faille du Murdjadjo F1. Elle est également la plus proche de la ville d'Oran. Récemment, l'étude de microzonage sismique d'Oran [3] (CGS, 2010) a conclu également à des valeurs d'accéléérations élevées, 0.35g pour 200 ans et 0.49g pour 475 ans

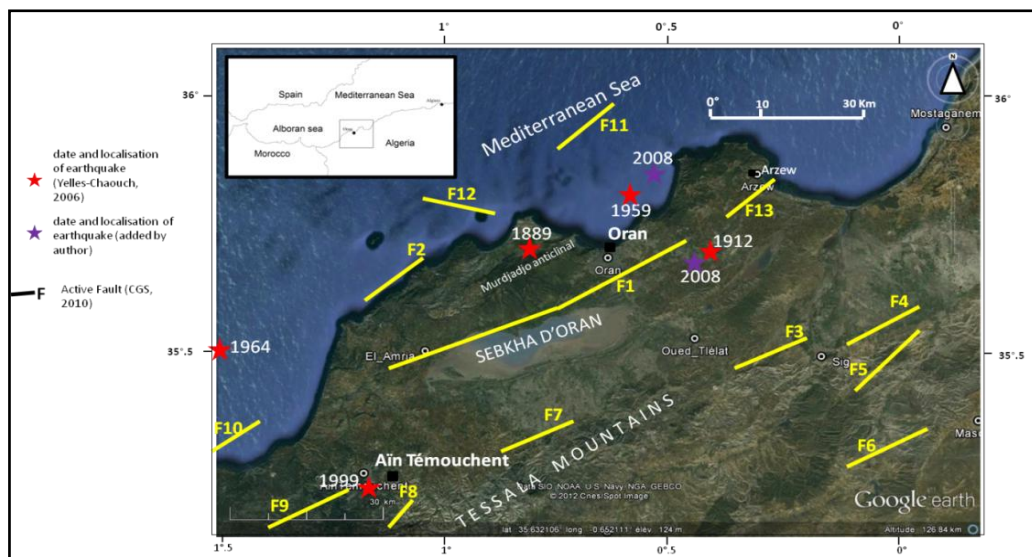


Figure 1: failles actives dans la région d'Oran et localisation de quelques séismes. Sources : Les failles actives (CGS, 2010), La localisation des séismes [3] (Yelles-Chaouche et al., 2004)

3-Typologie des constructions étudiées :

Le bâti de la ville d'Oran constitué en grande partie de constructions en maçonnerie et en béton armé qui ne sont pas, en générale, conforme aux règles parasismiques d'où la faible résistance de ces constructions vis-à-vis de l'action sismique. [10]

Afin d'évaluer l'état de conservation des bâtiments, le CTC a adopté une démarche qualitative basée sur un diagnostic visuel des différents éléments de la construction, en caractérisant l'état de conservation de chaque élément par une note de 1, 2 ou 3 indiquant un bon, mauvais ou très mauvais état, respectivement. Sur la base de l'ensemble des notes, une appréciation globale de l'état de la construction est donnée sous forme de couleur :

vert, orange et rouge pour signifier Bon état (pas de risque, pas d'intervention nécessaire), présence de pathologies (nécessité de réparation et d'interventions), Bâtiment à risque (très mauvais état de conservation, risque d'effondrement, nécessité d'une intervention lourde ou de démolition). Cette étape de diagnostic a été suivie par l'élaboration de fiches techniques des interventions à entreprendre pour réhabiliter les bâtiments concernés (Figure 2). [7]

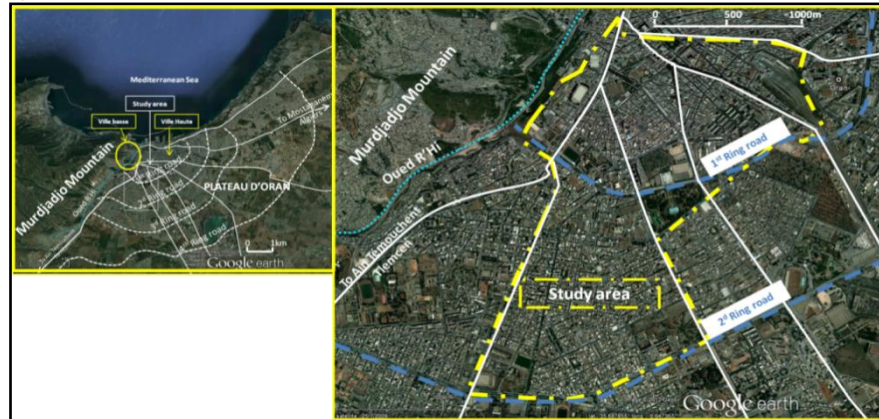


Figure 2: Situation du périmètre d'étude



(1) Houses with crawl space
Reinforced concrete buildings

(2) Houses and shops

(3) School



(1) Houses and shops
Masonry buildings

(2) Houses

Figure 3 : Exemples des constructions en Algérie (JICA, CGS 2006)

4. Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité aux séismes des constructions :

La vulnérabilité représente la probabilité pour qu'un bâtiment atteigne ou dépasse un certain niveau de dommage sous l'effet d'un mouvement sismique représenté par une grandeur conventionnelle telle que l'intensité ou l'accélération. Une multitude de méthodes traitant la question de la vulnérabilité des bâtiments aux séismes existe dans la littérature. On peut distinguer trois types de méthodes : 1- Les méthodes qualitatives : Ce sont méthodes simplifiées qui présentent un intérêt pour la mise en œuvre d'évaluations aux échelles régionales et urbaines. Les méthodes existantes les plus utilisées dans la bibliographie, (américaines,

européennes, japonaises...) sont au nombre de 13. Elles couplent des analyses de documents existants, des diagnostics visuels au retour d'expérience. C'est la raison pour laquelle elles ont été élaborées dans des pays de sismicité élevée. On peut citer les méthodes de l'ATC et de la FEMA pour les Etats Unis, la méthode italienne du GNDT, la méthode européenne Risk-UE.... Elles sont toutes fondées sur une typologie structurale, sur des pathologies observées, et sur des courbes de fragilité ou des courbes de vulnérabilité calées sur les observations effectuées lors de séismes destructeurs.

2- Des méthodes quantitatives : Les méthodes quantitatives nécessitent d'apprécier le comportement mécanique de chaque ouvrage. Plusieurs types de méthodes sont utilisés, en fonction de la typologie structurale, mais aussi des objectifs recherchés. Parmi les méthodes les plus courantes, on peut citer : - Les méthodes d'analyse linéaires souvent préconisées par les codes parasismiques (analyse en forces latérales, analyses modales avec utilisation d'un spectre de réponse); - Les méthodes non linéaires (analyses statiques non linéaires en poussée progressive, analyses dynamiques temporelles non linéaires avec utilisation d'accélérogrammes) ; - Les approches par coefficient de comportement.

Le recours à ces méthodes est nécessaire dès lors que l'on s'engage dans des évaluations précises de la vulnérabilité, dans l'optique du dimensionnement et de l'évaluation des coûts de renforcements.

3- Des méthodes mixtes basées sur des approches qualitatives, le plus souvent indicielles (fondées sur la définition d'un indice de vulnérabilité), couplées à des méthodes de calculs simplifiés, ou faisant appel pour les cas les plus complexes, aux méthodes quantitatives. Ce sont des méthodes typiquement adaptées au traitement d'un patrimoine immobilier.

Tableau1 : Les différentes échelles d'analyse et leur applicabilité

	Augmentation des moyens mis en œuvres				
Echelle d'analyse	Plusieurs centaines de bâtiments		Quelques bâtiments	Bâtiments individuels	
Méthodes	Vulnérabilité EMS98	Indice de vulnérabilité	Avis d'experts	Calculs analytiques simples	Calcul numérique-modélisation-
Applicabilité	Ville	Commune	Parc immobilier Bâtiments stratégiques		
Moyens humains	Sans formation	Etudiants	Techniciens	Ingénieurs	Ingénieurs confirmés

4.1 Méthodes qualitatives

Etant donné la similitude des constructions entre le nord Algérien et le sud européen, nous avons choisi 3 méthodes les types que GNDT est la méthode mère, l'analyse s'est basée sur ses paramètres pour suivre les modifications et les adaptations survenues dans les deux autres méthodes VULNERALP et RISK-UE. Les données recherchées dans cette comparaison des paramètres, pris individuellement, ont été les éléments nécessaires pour leur évaluation, la méthode de leur relevé, leur différents poids accordés par les différentes méthodes. Préalablement à la comparaison, les aspects analysés par RISK EU et VULNERALP ont été classés en fonction des onze paramètres de la méthode GNDT. Sur la base des Ivi maximums affectés par GNDT et VULNERALP aux onze paramètres, l'importance relative de chaque paramètre est exprimée par le pourcentage de Ivi maximum par rapport IV maximum, égal à 100%. Le même traitement est fait aux facteurs modificateurs Vm de RISK-UE après avoir été groupés selon les paramètres correspondants de GNDT [6]

4.1.1. Méthode GNDT

La première formulation a été élaborée par Benedetti et al. [11]. Son objectif a été la définition d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité à une échelle urbaine. Cette méthode de l'indice de vulnérabilité repose sur un système de notation des différents éléments structuraux et non structuraux. L'indice de vulnérabilité IV représente "la qualité sismique" intrinsèque de la construction indépendamment du niveau d'aléa. L'indice de vulnérabilité IV est la somme pondérée des indices de vulnérabilité partiels Ivi de dix (10) paramètres considérés comme facteurs déterminant le comportement sismique d'une construction

Le tableau des paramètres de la vulnérabilité de Benedetti a été légèrement modifié par le changement de dénomination des paramètres et l'ajout d'un onzième. Les poids des paramètres, servant à la pondération, sont restés inchangés pour les constructions en maçonnerie tandis que l'estimation de l'indice des bâtiments en Béton armé ne fait pas recours à des poids. Après la sommation des indices partiels Ivi et la normalisation en utilisant

des formules adaptées à la maçonnerie et au béton armé, l'indice de vulnérabilité final IV est compris entre 0 et 100 (Figure 4).

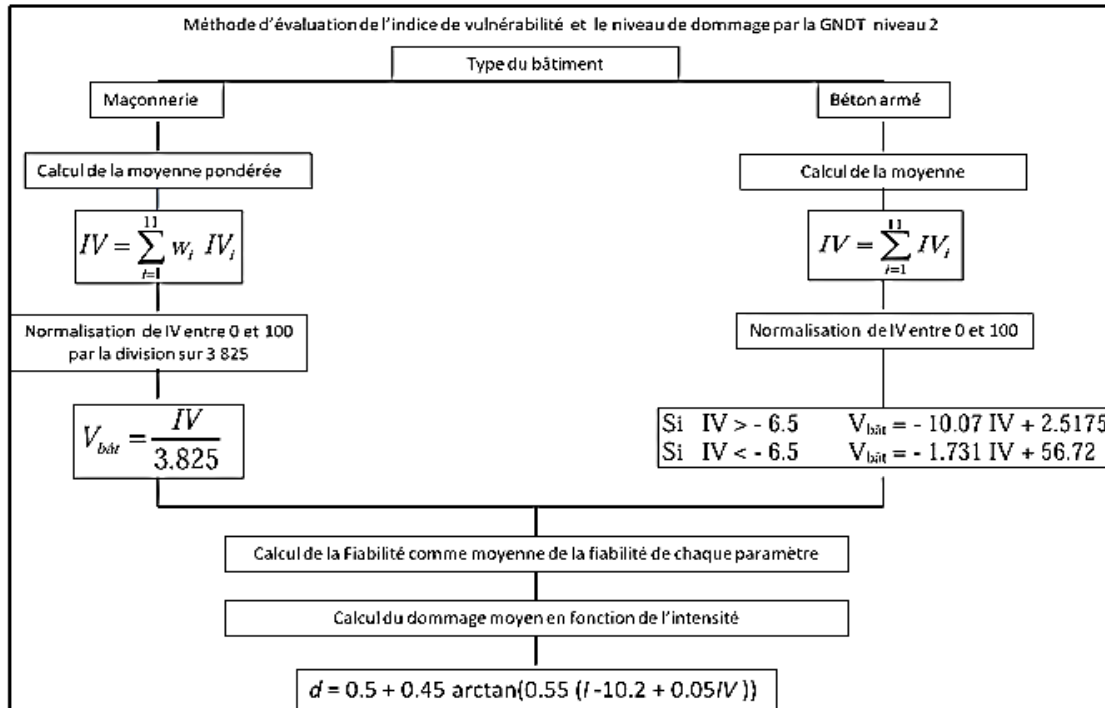


Figure 4: Méthode de calcul de l'indice de vulnérabilité et du dommage probable par le niveau 2 de la GNDT

4.1.2-La méthode RISK-UE

La méthode RISK-UE a été élaborée dans le cadre d'un projet européen par des organismes de différents pays européens et elle a été appliquée à sept villes : Bitola (Macédoine), Thessalonique (Grèce), Catane (Italie), Bucarest (Roumanie), Barcelone (Espagne), Sofia (Bulgarie) et Nice (France). Elle comporte deux niveaux : le premier est une méthode macrosismique (méthode LM1) et le deuxième est une méthode mécanique (méthode LM2) inspirée de la méthodologie de HAZUS qui est basée sur les courbes de déplacement. Cette démarche a abouti à la détermination des indices de bases des types de bâtiments avec la définition d'un indice moyen V_0 , un intervalle limité par une valeur inférieure V_- et une valeur supérieure V_+ représentant la variation possible de l'indice de vulnérabilité du type constructif et, enfin deux valeurs extrêmes qui représentent les maximums supérieur V_{max} et inférieur V_{min} (Figure 5).

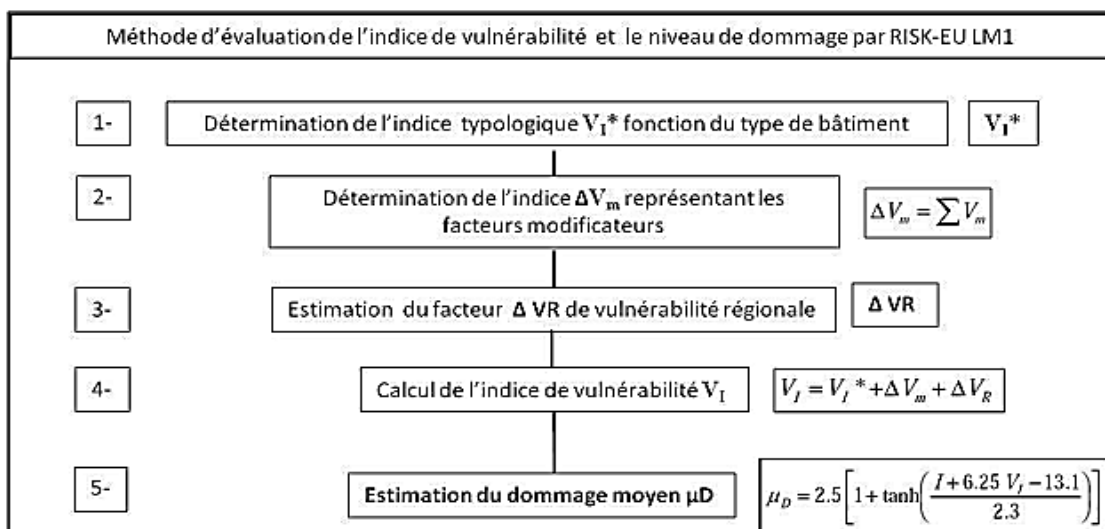


Figure 5: Etapes d'évaluation de l'indice de vulnérabilité et le niveau de dommage par RISK-UE

On obtient un indice final de vulnérabilité V d'un bâtiment en additionnant son indice de vulnérabilité de base V^* et ses indices modificateurs V_m et l'indice de la vulnérabilité régionale V_r . (tableau 2).

$$V_0 = V^* + \Delta V_r + \Delta V_m \quad \text{Équation 1}$$

Le dommage moyen μD est une fonction de deux paramètres, l'intensité I et l'indice final de vulnérabilité V . Il varie de 0 à 5. Il indique, ainsi, directement le degré de dommage EMS (Figure 6).

Tableau 2: Calcul du maximum possible de variation ΔV_m des constructions en maçonnerie

Typologie	Description	Valeurs de V représentatives partie de 100			$V^* - V^{\min}$	$V^{\max} - V^*$	$\Delta = V^{\max} - V^{\min}$
		$V^{\min}$	V^*	$V^{\max}$			
M1.1	Moellons	62	87,3	102	25,3	14,7	40
M1.2	Pierres appareillées	46	74	102	28,0	28,0	56
M1.3	Pierres de taille	30	61,6	86	31,6	24,4	56
M2	Adobe	62	84	102	22,0	18,0	40
M3.1	Planchers bois	46	74	102	28,0	28,0	56
M3.2	Voûtes en maçonnerie	46	77,6	102	31,6	24,4	56
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	46	70,4	102	24,4	31,6	56
M3.4	Planchers en béton armé	30	61,6	86	31,6	24,4	56

Symbole	Signification
V	Indice de vulnérabilité finale d'une construction
$V^{\min}$	Valeur extrême minimale de la vulnérabilité du type constructif
V^*	Valeur moyenne de la vulnérabilité du type constructif
$V^{\max}$	Valeur extrême maximale de la vulnérabilité du type constructif
$V^* - V^{\min}$	Valeur de $ \Delta V_m $ induisant un indice V final égal à $V^{\min}$
$V^{\max} - V^*$	Valeur de ΔV_m induisant un indice V final égal à $V^{\max}$
$V^{\max} - V^{\min}$	Variabilité maximale de V (indice de vulnérabilité final)

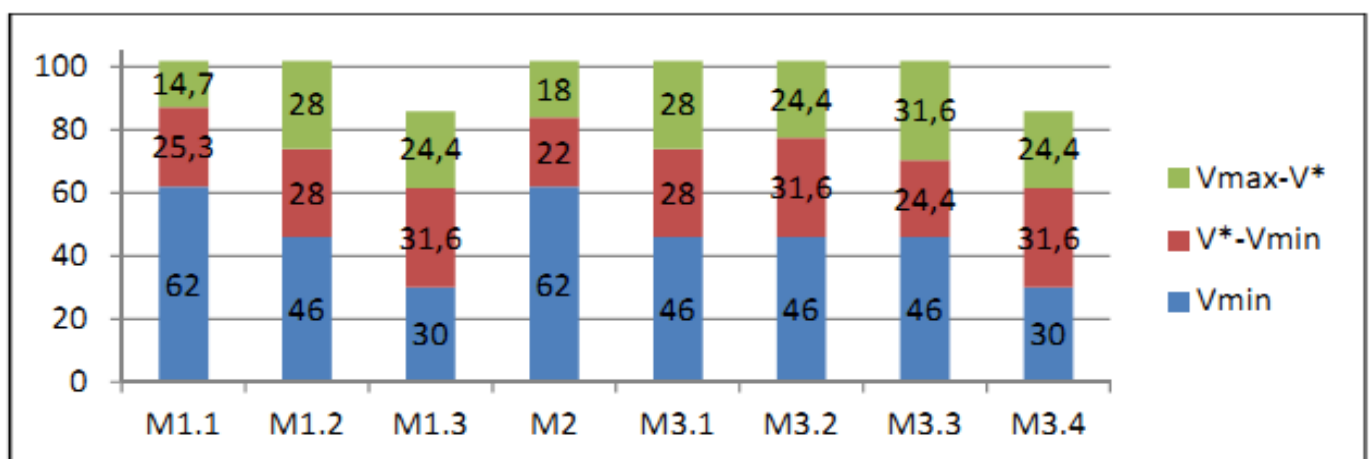


Figure 6 : Comparaison de la partie de V final définie par ΔV_m par rapport à V^* [7]

4.1.3. Méthode VULNERALP

La méthode VULNERALP est une adaptation de la méthode GNDT [12], par la simplification de l'enquête. La méthode est entièrement qualitative et comporte trois niveaux d'analyse (1.0; 1.1 et 2.0) permettant une estimation d'un indice de vulnérabilité IV . Un premier niveau (niveau 0) est prévu comme une phase préliminaire d'inventaire de la typologie de l'EMS98. Le diagnostic pour les deux premiers niveaux est visuel de

l'extérieur. Quant au niveau 2.0 il requiert un examen intérieur pour mesurer la distance entre les murs, le type du plancher et l'état de conservation. Chaque niveau d'analyse comporte des éléments supplémentaires à diagnostiquer par rapport au niveau inférieur. La finesse de l'analyse de certains paramètres est également croissante d'un niveau inférieur à un niveau supérieur. Parmi les trois niveaux proposés de VULNERALP, le niveau 2.0 est le plus proche du niveau 2 de la GNDT

L'enquête est simplifiée par un type de réponse de oui ou non dans les niveaux d'analyse 1.0 et 1.1. Les paramètres non relevés par le niveau 1.0 sont attribués des indices Ivi par défaut. Et l'indice de vulnérabilité estimé est décrit par une valeur moyenne et un intervalle de variation possible entre une valeur minimale et une autre maximale [IVmin, IVmax]. Cet intervalle de variation a pour but d'assumer les grandes incertitudes inhérentes à un relevé sommaire. Il est différent de celui de RISK-UE car il traduit une incertitude sur les données tandis que celui de RISK-UE exprime des intervalles définis statistiquement à partir de retours d'expériences des séismes.

Tableau 3: Correspondance entre l'indice de vulnérabilité IV de GNDT et V de RISK-UE et les classes de vulnérabilité de l'EMS98 [13]

Classes de vulnérabilité de l'EMS98	A	B	C	D	E	F
Indice IV de GNDT	60	40	20	0	-20	-40
Indice V de RISK-UE	0,78-1,02	0,62-0,86	0,46-0,70	0,30-0,54	0,14-0,38	0,02-0,22

L'échelle macrosismique, l'EMS98, a défini six classes de vulnérabilité décroissante (A, B, C, D, E, F) comme le montre le tableau 3, où chaque type de construction est caractérisé par un intervalle plausible de variation de vulnérabilité. La classe "A", par exemple, représente la classe de vulnérabilité la plus élevée et elle est affectée aux constructions en maçonnerie en adobe (brique crue) ou en moellon brut. Les constructions de la classe "A" commencent à avoir des destructions complètes (dommage de degré 5) à partir de l'intensité 8. Les constructions en ossature en béton armé sans conception parasismique sont considérées dans la classe "C" avec une variation possible jusqu'à la classe "A" (plus de vulnérabilité) ou la classe "D" (moins de vulnérabilité). Selon l'EMS98 la classe "C" enregistre des dommages de degré 3 à partir de l'intensité VIII et de degré 4 à partir de l'intensité 9. La classe "D" est caractéristique des ossatures en béton armé avec un niveau moyen de conception parasismique qui peuvent subir des dommages de degré 4 à partir de l'intensité 10. Les ossatures en béton armé avec un bon niveau de conception parasismique sont décrites comme étant de classe "E" voire "F" (la plus faible vulnérabilité possible) (Figure 7 et tableau 4) [14]

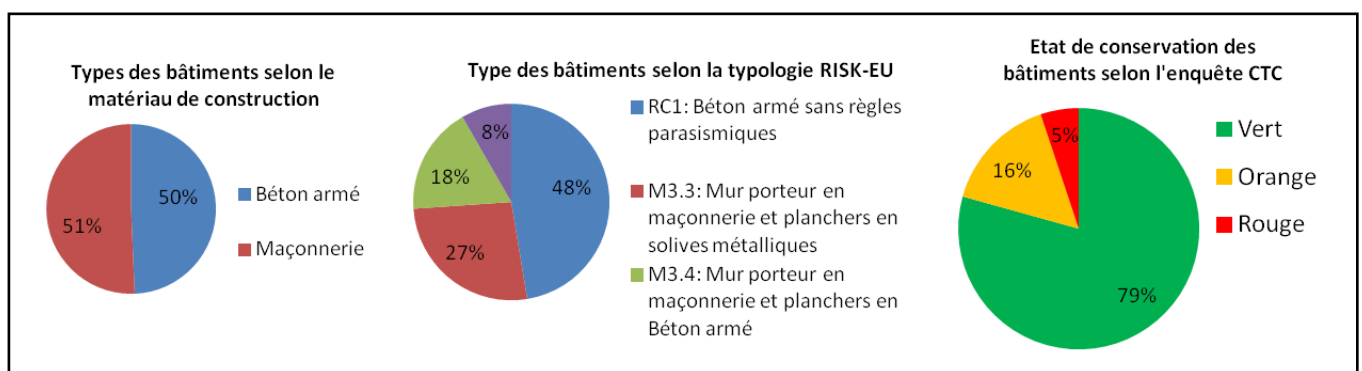


Figure 7: Typologie des constructions et état de conservation [7]

Pour rendre compte de la distribution spatiale de la vulnérabilité, les bâtiments, les parcelles et les ilots ont été saisis dans le système d'information géographique. Quelques résultats sont présentés dans les figures 8 et 9.



Figure 8: Etat des élévations des constructions



Figure 9: Classification des constructions suivant la base des données CTC

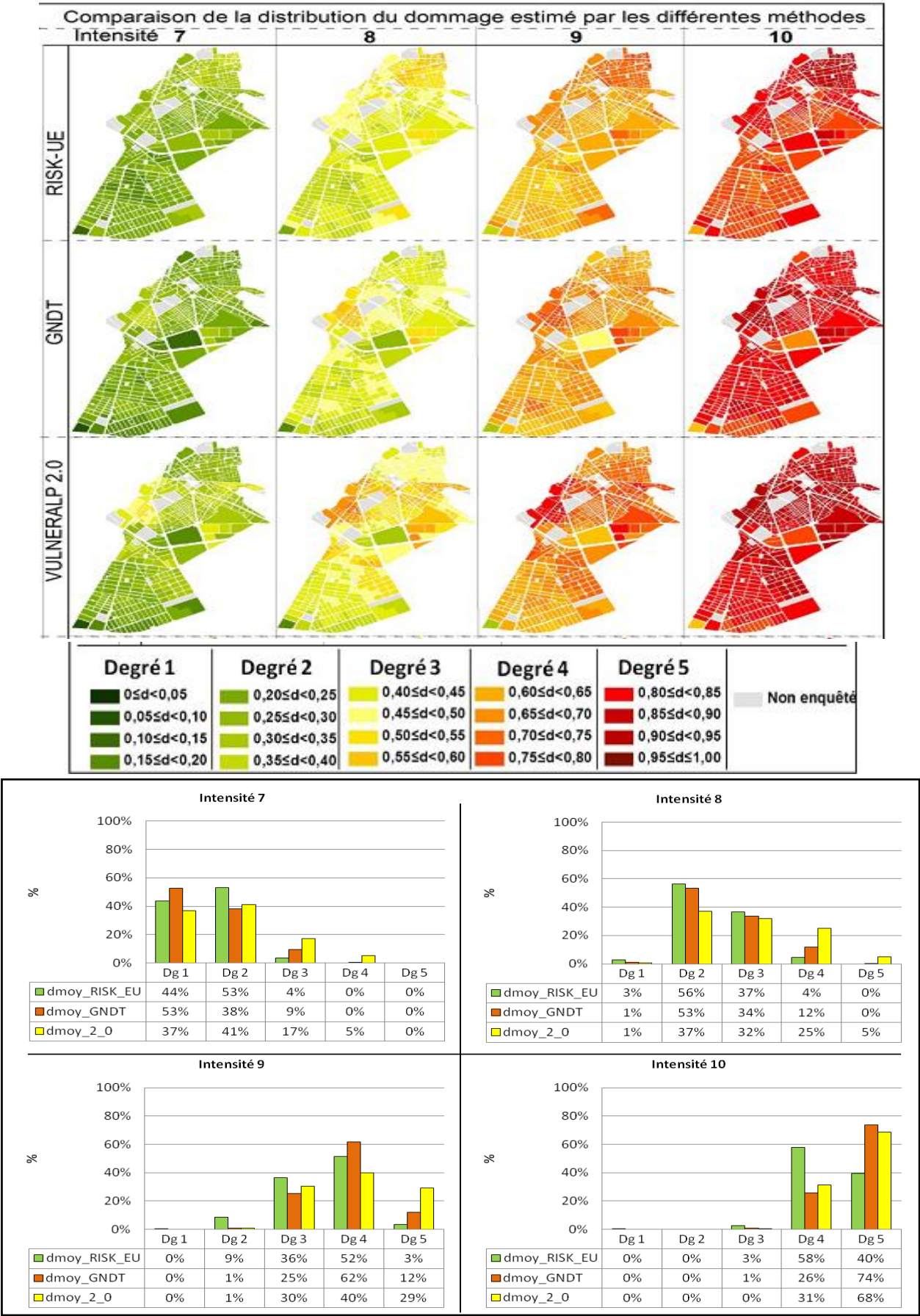


Figure 10: Distribution des dommages selon la méthode utilisée et l'intensité sismique [7]

Tableau 4: Moyennes des dommages selon le type de bâtiment et l'intensité sismique

Moyennes des dommages selon les trois méthodes en fonction du type de bâtiment et de l'intensité															
Type		Nombre	%	Intensité 7			Intensité 8			Intensité 9			Intensité 10		
				GNDT	RISK-EU	VUL	GNDT	RISK-EU	VUL	GNDT	RISK-EU	VUL	GNDT	RISK-EU	VUL
Maçonnerie	Maçonnerie	2631	51%	0,274	0,205	0,401	0,481	0,369	0,622	0,697	0,568	0,804	0,855	0,749	0,920
	M1.1	209	4%	0,355	0,395	0,418	0,584	0,606	0,647	0,782	0,783	0,825	0,907	0,895	0,932
	M3.1	123	2%	0,408	0,259	0,537	0,634	0,450	0,745	0,814	0,657	0,885	0,926	0,818	0,968
	M3.3	1376	26%	0,313	0,223	0,463	0,534	0,401	0,687	0,744	0,609	0,850	0,885	0,784	0,947
	M3.4	923	18%	0,180	0,127	0,287	0,359	0,256	0,504	0,590	0,446	0,721	0,788	0,654	0,870
Béton armé	Béton armé	2562	49%	0,198	0,236	0,173	0,385	0,418	0,349	0,618	0,624	0,581	0,806	0,794	0,781
	RC1	2462	47%	0,202	0,241	0,177	0,392	0,426	0,355	0,627	0,634	0,588	0,813	0,803	0,786
	RC2	46	1%	0,124	0,060	0,090	0,271	0,132	0,213	0,496	0,267	0,414	0,722	0,464	0,654
	RC3	5	0%	0,077	0,013	0,059	0,192	0,030	0,160	0,383	0,068	0,331	0,624	0,148	0,570
	RC4	48	1%	0,067	0,173	0,092	0,173	0,327	0,217	0,346	0,527	0,416	0,578	0,720	0,651
	RC5	1	0%	0,051	0,053	0,078	0,146	0,117	0,192	0,309	0,240	0,384	0,544	0,430	0,625
Echantillon entier		5193	100%	0,237	0,220	0,289	0,434	0,393	0,488	0,658	0,596	0,694	0,831	0,771	0,851

4.2. Les méthodes quantitatives :

Nous avons étudiés deux bâtiments stratégiques de constructions d'importance vitale : le Centre Hospitalo-universitaire CHU d'Oran et une unité de protection civile (pompiers) :

4.2.1. Cas n°1 : étude d'un bloc d'opération du Centre Hospitalo-universitaire CHU d'Oran. La structure est un portique en béton armé, édifié dans les années cinquante [8]. Une modélisation numérique tridimensionnelle par éléments finis est effectuée à l'aide du logiciel ETABS non-linéaire (version 9.7), par l'utilisation de l'analyse statique non-linéaire « Pushover » (Figure 11).

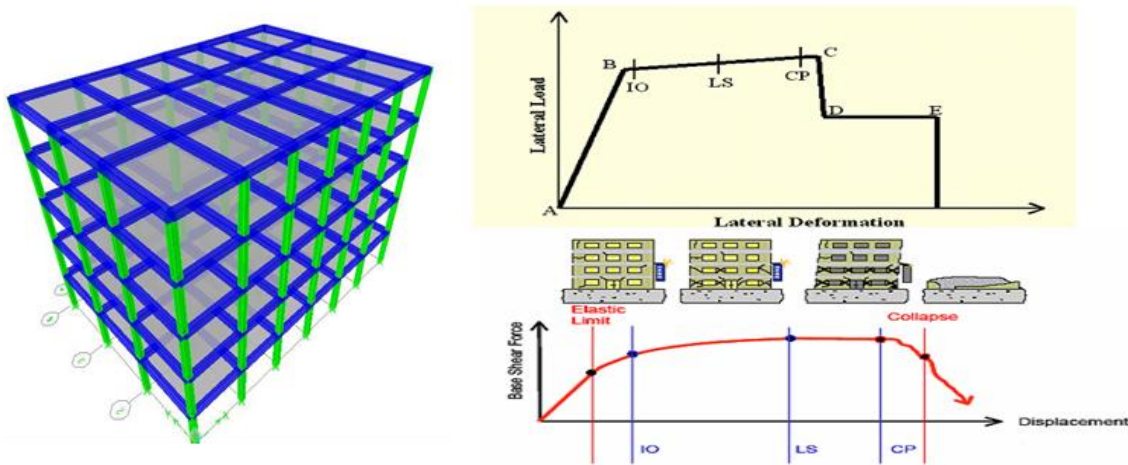


Figure 11: vue d'ensemble de la structure et les courbes

Les lignes directrices ATC40 [15] et FEMA365, fournissent un ordre de grandeur des rotations de ruine pour les poutres et les poteaux défini par une loi de comportement charge- déformation représentée sur la figure 11. Cinq points marqués A, B, C, D et E sont utilisés pour définir le comportement force-déformation de la rotule. Les points marqués A à B – représente la phase élastique, B à IO- au-dessous de l'occupation immédiate, IO jusqu'à LS représente la phase entre l'occupation immédiate et la sécurité des personnes, LS à CP c'est la phase entre la sécurité des personnes à la prévention de l'effondrement, CP à C entre la prévention de l'effondrement et la capacité ultime, C à D phase entre C et la résistance résiduelle, D à E phase entre D et l'effondrement , au-delà du point E c'est l'effondrement. [16].

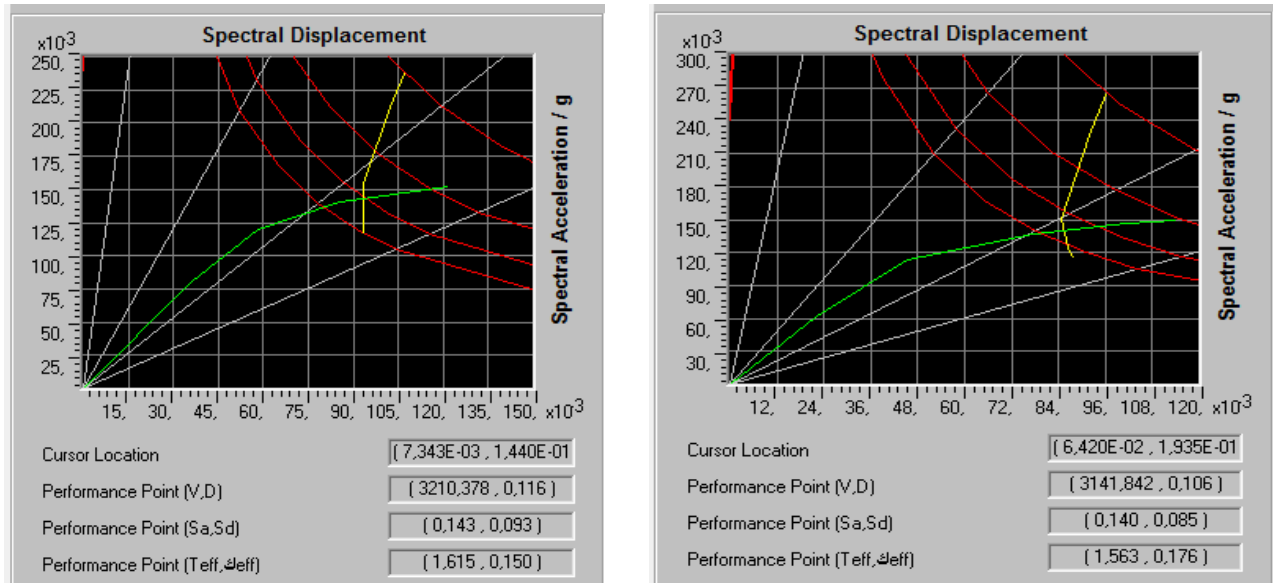


Figure 12 : Courbe de vulnérabilité (capacité-demande) selon le sens X et Y

- Le point de performance qui représente le comportement global de la structure selon le sens (x), correspondant à un déplacement de demande d'une valeur de 11,6 cm et à un effort tranchant à la base d'une valeur de 3210,38 kN. Ce point est situé presque au niveau de performance (C-D) qui indique l'effondrement de la structure, d'où la structure s'avère vulnérable selon le sens X

- Selon le sens (y), le point de performance a un déplacement de demande de 10,6 cm et un effort tranchant à la base d'une valeur de 3141,84 kN. Ce point est situé dans le niveau de performance (C-D) qui indique l'effondrement de la structure. La structure s'avère vulnérable selon le sens Y (figure 12).

4.2.2. Cas n° 2 : étude d'une unité de protection civile (pompiers)



Figure 13 : image et plan d'ensemble d'un bloc

La structure est un portique en béton armé, édifié dans les années cinquante puis élargi dans les années 60 [9] (Figure 13)

Les résultats d'analyse pushover, réalisés par le logiciel SAP2000, pour les trois cas montrent que la déformation de la structure suivant le sens xx présente la formation des rotules plastiques successivement dans les poutres et puis en pied des poteaux de RDC ensuite les poutres de l'étage et enfin en tête de deux poteaux de l'étage (Tableau 5). Pour les trois cas d'analyse on a 42 rotules sont plastifiées soit 41% de la totalité de 102 rotules assignées (Figures 14 et 15)

Tableau 5 : Limites de la courbe de capacité pour les trois cas d'analyse

SB2		limite élastique		limite ultime		$\mu=du/dy$
		dy (m)	Vy (Kn)	du (m)	Vu (Kn)	
PUSX x-x	Bael-hinge	0,021465	365,32	0,117367	519,406	5,46
	Resp2000-hinge	0,029682	494,088	0,142297	576,709	4,79
	Default-hinge	0,023936	406,75	0,174738	541,183	7,30
PUSX y-y	Bael-hinge	0,012875	630	0,075855	751,54	5,89
	Resp2000-hinge	0,015168	745	0,08464	851	5,58
	Default-hinge	0,013675	688	0,185897	819,028	13,59
PUSH y-y inverse	Bael-hinge	0,018523	547,251	0,146685	724	7,91
	Resp2000-hinge	0,01955	600,527	0,126371	811,483	6,46
	Default-hinge	0,022099	628	0,217953	801,877	9,86

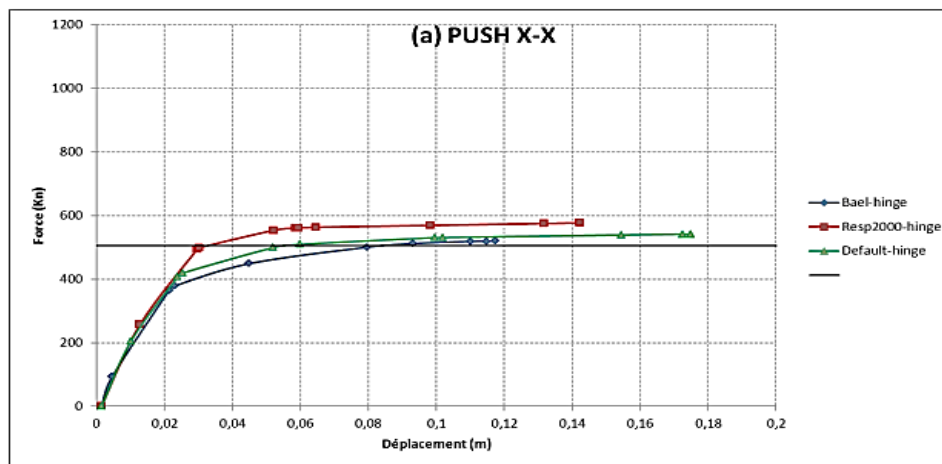


Figure14 : Les courbes de capacité de SB2 (a) suivant x-x, (b) suivant y-y, (c) suivant y-y (sens inverse)

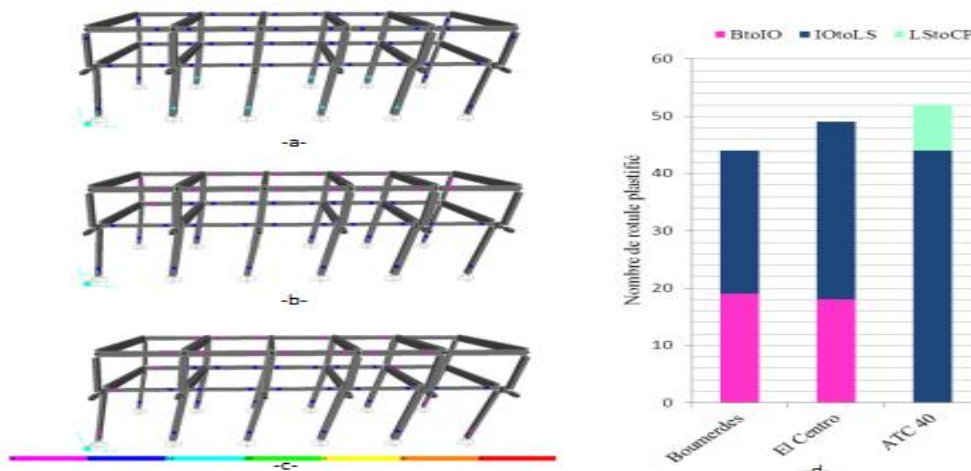


Figure 15 : le niveau de performance a) ATC40,b) cas de El Centro, c) cas de Boumerdes

5 .Conclusion :

5.1. Pour les méthodes qualitatives

L'utilisation des valeurs numériques proposées par Giovinazzi (Giovinazzi, 2005) des classes de vulnérabilité de l'EMS98 a permis la comparaison des indices de vulnérabilité des différentes méthodes. Pour le secteur CTC, la méthode RISK-UE a estimé un indice de vulnérabilité moyen V_{moy} de 0,73 indiquant une classe B et elle l'a située dans un intervalle plausible allant de la classe C, comme vulnérabilité minimale plausible, à la classe A, comme vulnérabilité maximale plausible. La méthode GNDT présente une estimation plus optimiste. L'indice moyen est de 38,43 d'où une vulnérabilité de classe C avec un intervalle de variation de la classe C à la classe

B. Cet intervalle de variation de l'estimation de la méthode GNDT est dû aux incertitudes de données affectant particulièrement son paramètre 3. Le niveau 2.0 de VULNERALP a estimé une vulnérabilité plus élevée dont l'indice moyen est de 43,19 d'où le classement entre les deux classes C et B des deux secteurs. Les niveaux 1.0 et 1.1 affichent des valeurs nettement inférieures avec un indice moyen de 32,57 (classe C) et 35,81 (classe C). En termes de dommages probables, les estimations par les différentes méthodes indiquent des niveaux élevés particulièrement pour les intensités fortes 9 et 10. Ces intensités se sont déjà produites lors du séisme historique de 1790 et les études récentes de l'aléa ont estimé des niveaux élevés de mouvements de sols probables. Les estimations des différentes méthodes convergent vers de proches valeurs moyennes. A ce titre la valeur moyenne du périmètre d'étude est de 0,613; 0,658; 0,695 pour l'intensité 9 et 0,783; 0,831; 0,851 pour l'intensité 10 à l'aide des méthodes RISK-UE; GNDT et VULNERALP2.0 respectivement. La distribution spatiale a montré pour les intensités 7 et 8 quelques zones de concentration de dommages élevés. Elle a montré aussi pour les intensités 9 et 10 des dommages généralisés de degrés 4 et 5 (degré EMS) sur ce périmètre.

5.2. Pour les méthodes quantitatives

La structure de l'hôpital est vulnérable vu que le point de performance est situé à l'évènement C-D, qui signifie l'effondrement de la structure. La formation des rotules plastiques aux extrémités des poteaux surtout au niveau du RDC a pour conséquence la transformation de la structure en mécanisme, la structure est alors instable. La structure ne présente pas un comportement dissipatif vu que les poteaux sont gravement endommagés contrairement au cas de poutres. Pour le bloc choisi de l'unité de la protection civile, ce dernier est moins vulnérable que la construction de l'hôpital car la formation des rotules plastifiées constituent 41% des rotules assignées et donc la performance est loin d'être assurée.

Le comportement non linéaire des ouvrages au-delà de leur phase élastique dépend des matériaux constituant leurs éléments structurels car dans la réalité, les matériaux et en particulier le béton armé exhibent un comportement non linéaire en raison de la fissuration et de l'écrasement du béton ainsi que de la plastification de l'acier. Le calcul non linéaire permet de suivre le comportement des ouvrages au-delà de leur phase élastique. Ce type de calcul présente l'avantage de prendre en considération la dégradation de la rigidité des éléments constituant l'ouvrage et par conséquent la redistribution des efforts internes dans ces éléments.

Selon le règlement parasismique algérien, les ouvrages d'importance vitale comme les hôpitaux ou les unités de la protection civile doivent demeurer opérationnels après un tremblement de terre majeur. Alors les constructions étudiées sont incapables de satisfaire une telle performance, il faut donc prévoir un renforcement adéquat de telle façon à garantir la performance "Occupation immédiate" de ces structures. Les résultats obtenus en termes de demande sismique, capacité et rotules plastiques ont donné un bon aperçu sur le comportement réel de la structure de cette construction. Une comparaison entre les méthodes qualitatives et quantitatives des cas étudiés montre un rapprochement de résultats au sens large de la vulnérabilité. Pour l'élaboration d'un indice de vulnérabilité, il est nécessaire d'étudier d'autres cas des bâtiments [17] [18] dans différents contextes urbains [19-21] et les calibrer à des méthodes qualitatives de différentes catégories d'ouvrages avec l'évaluation déterministe de l'effet de l'interaction sol-structure sur l'impact vulnérabiliste d'un bâtiment [22].

Références

1. Bouhadad Y., Laouami N., Earthquake Hazard Assessment in the Oran Region (Northwest Algeria). *Natural Hazards*, 26 (2002) 227–243.
2. Yelles-Chaouche A.K., Djellit H., Beldjoudi H., Bezzeghoud M., Buform E., The Ain Temouchent (Algeria) Earthquake of December 22, 1999. *Pure and Applied Geophysics*, 161 (2004) 607–621.
3. Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique CGS. Etude d'aléa sismique de la région d'Oran-Arzew, Etape N°7, Rapport Final, Algeria, (2010).
4. Boudiaf A., Swan F.H., Evaluation de l'aléa sismique et étude de microzonage sismique de la wilaya de Ain Témouchent -Algérie, Rapport d'étude, Volume 1. Me2i, Geomatrix Consultants Inc., (2003).

5. Office de Promotion et Gestion Immobilière d'Oran OPGI, Cadre bâti ancien à Oran, rapport interne, Oran. Algeria, (2004).
6. CETE Méditerranée, comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes. Plan séisme - action 2.4.7. Guide des méthodes de diagnostics de la résistance des bâtiments aux séismes. CETE Méditerranée; BRGM, Nice, France, (2008).
7. Senouci A., apport de l'étude de la vulnérabilité au séisme dans la requalification des tissus urbains, étude de cas : Une partie de la ville d'Oran, thèse de doctorat en sciences, USTO MB Oran, Algeria, (2004).
8. Said A., Mammar L., la méthode performancielle sismique des bâtiments, thèse de magistère, ENPO Oran. Algeria, (2013).
9. Allout A., Ramdane K., Mammar L., évaluation de la performance sismique des structures existantes en béton armé : cas du siège de la protection civile d'Oran, thèse de magistère, ENPO Oran, Algeria, (2013)
10. Benouar D., The need for an integrated disaster risk reduction management strategy in North African cities: a case study of urban vulnerability in Algiers-Algeria, *Journal of Disaster Risk Studies*, 1 (2006) 1–5.
11. Benedetti D., Benzoni G., Parisi M.A., Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nuclei. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 16 (1988) 183–201
12. Dunand F., Martin C., Guéguen P., Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments à grande échelle: application et comparaison des méthodes RISK-UE et VULNERALP (Rapport Finale No. ANR-2006-PGCU-007-01), Grenoble, France, (2010).
13. Lagomarsino S., Giovinazzi S., Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4 (2006) 415–443.
14. Lazzali F., Farsi M., Seismic Vulnerability Assessment of Buildings in Algiers Area. World Academy of Science, *Engineering and Technology*, 61 (2012) 796–800.
15. ATC-21, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards Training Manual's, SA, (2004).
16. Chopra A.K., Goel Rakesh K., «Capacity-Demand-Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: SDF Systems», PEER, Pacific Earthquake Engineering Center, University of California, (1999).
17. Cardinale T., Colapietro D., Cardinale N., Fatiguso F., Evaluation of the Efficacy of Traditional Recovery Interventions in Historical Buildings. A New Selection Methodology, *Energy Procedia*, 40 (2013) 515-524
18. Hosseini S.A., Machyani H., Locating Sites for Temporary Accommodation and Food Storage Silos In The Event of a Crisis in Rasht City-Iran, *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (10) (2015) 2825-2835
19. El Gaatib R., Larabi A., Faouzi M., Integrated elaboration of priority planning of vulnerable areas to soil erosion hazard using Remote Sensing and GIS techniques: A pilot case of the Oued Beht Watershed (Morocco), *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (11) (2015) 3110-3127
20. Behiri A., Heritage Rehabilitation in Sustainable Development Policy for a Better Environment Quality in Small Historical Coastal Cities: the Case of Cherchell in Algeria, *Procedia Engineering*, 21 (2011) 753.
21. Hamani A., Labbaci Boudjema A., Generic Model Helps to Transit from Crisis Management to Natural Disasters Risk Management and Stabilize Sustainable Development, *Procedia Engineering*, 36 (2013) 977–984
22. Tbatou T., Rougui M., El Youbi M., l'évaluation déterministe de l'effet de l'interaction sol-structure sur l'impact vulnérabiliste d'un bâtiment en béton armé, *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (6) (2014) 1951-1956

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>