

# Analyse de la performance sismique du patrimoine bâti de la ville de Mostaganem en Algérie

B.Chaibedra <sup>1</sup>, S.Benanane <sup>2</sup>, S.Bahar <sup>1</sup>, A.Benanane <sup>1</sup>, S.M.Bourdim <sup>1</sup>, M. Titoum <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Materials and Processes of Construction, University of Mostaganem, kacem27000@hotmail.fr, sadek-civil@hotmail.fr, abdelkaderbenanane@yahoo.fr, bourdim80@yahoo.fr

<sup>2</sup>Technical University of Civil Engineering of Bucharest, Romania, bsouhila27@gmail.com

<sup>3</sup>Laboratory of Materials and Mechanics of Structures, University of M'Sila, Algeria, titoum65@yahoo.fr

*RESUME.* On procède dans ce travail à l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé. Deux méthodes différentes ont été présentées pour la conception des courbes de fragilité, la première est basée sur l'analyse statique non linéaire "Pushover". Cette méthode s'appuie sur une modélisation du comportement non linéaire des structures et sur un calcul statique équivalent de la réponse de la structure qui est représenté par une courbe reliant l'effort tranchant résultant à la base et le déplacement en tête connu sous le nom de "Courbe Push-Over". La deuxième méthode repose sur les résultats de l'analyse dynamique incrémentale non linéaire, en utilisant un ensemble d'accélérogrammes compatibles avec le spectre de réponse de notre site. Un cas d'étude a été examiné pour atteindre l'objectif d'estimer les probabilités d'endommagement par les deux méthodes.

*MOTS-CLÉS:* Méthode Pushover, Analyse dynamique incrémentale, Courbes de fragilités, Vulnérabilité sismique.

*ABSTRACT.* In this work we proceed to the evaluation of the seismic vulnerability of reinforced concrete buildings, two different methods were presented for the design of the fragility curves, the first one is based on the nonlinear static analysis «Pushover, This nonlinear method is based on a modeling of the nonlinear behavior of the structures and on an equivalent static computation of the response of the structure which is represented by a curve connecting the resulting shear force to the base and the leading displacement known under the name of "Push-Over Curve". The second method is based on the results of the nonlinear incremental dynamic analysis, using a set of accelerograms compatible with the response spectrum of our site, a case study was examined to achieve the objective to estimate the probabilities of damage by both methods.

*KEYWORDS:* Pushover Method, Incremental Dynamic Analysis, Fragility Curves, Seismic Vulnerability.

## 1. Introduction

L'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé peut être effectuée en développant des courbes de fragilité. Ces courbes donnent la probabilité qu'un état d'endommagement de la structure ou de l'une de ses composantes, soit atteint ou dépassé en fonction d'une mesure (MI) de l'intensité de la secousse sismique. Un état d'endommagement peut correspondre, par exemple, à l'éclatement du béton de recouvrement des poteaux ou des voiles de contreventement ou à l'effondrement de l'ouvrage. Ces états peuvent généralement être reliés à un paramètre de la réponse sismique de la structure (PRS) tel que le déplacement relatif au sommet du bâtiment. L'accélération horizontale maximale du séisme ou l'amplitude de l'accélération spectrale et la période fondamentale de la structure  $Sa(T1)$  constituent des exemples de mesure de l'intensité de la secousse sismique.

Les courbes de fragilité peuvent être déterminées en examinant les dommages subis par les bâtiments lors des séismes historiques. Pour une représentativité statistique adéquate, cette approche requiert cependant la disponibilité d'une quantité considérable d'observations, ce qui n'est pas encore le cas. Dans ce contexte, les courbes de fragilité sont couramment déterminées en ayant recours à des procédures analytiques basées sur l'étude de la réponse sismique non linéaire d'un modèle numérique du bâtiment. L'endommagement progressif de la structure peut alors être suivi en effectuant des analyses statiques non linéaires dites « Pushover », ou bien des analyses dynamiques incrémentales qui consistent à soumettre le modèle numérique de la structure à un ensemble de séismes dont l'amplitude est graduellement augmentée. L'analyse des réponses obtenues permet de relier les états d'endommagement au niveau de la mesure d'intensité sismique adoptée (Vamvatsikos et Cornell 2002).

Dans cette étude, nous présentons deux méthodes différentes pour la conception des courbes de fragilité des bâtiments en béton armé, la première étant basée sur l'analyse statique non linéaire « Pushover », la deuxième méthode consiste à effectuer des analyses dynamiques non linéaires incrémentales, en utilisant des accélérogrammes des séismes antérieurs préalablement sélectionnés et étalonnés selon le spectre de réponse

fourni par le règlement parasismique algérien RPA99/version2003. Nous avons pris comme cas d'étude un ancien bâtiment construit en 1970 et utilisé comme un centre culturel, implanté à « Bouguirat », commune de la wilaya de Mostaganem. Ce bâtiment a été affecté par un séisme d'une magnitude de 5,2 secouant la zone de Bouguirat en 2014 et provoquant des dommages sévères aux anciens bâtiments.

## 2. Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette étude consiste à appliquer deux méthodes d'analyse différentes, dont la première est une analyse statique non linéaire (Pushover) et la deuxième est une méthode dynamique incrémentale utilisant un ensemble d'accélérogrammes des séismes enregistrés. La figure 1 décrit la démarche suivie pour l'établissement des courbes de fragilité de la structure à partir des résultats de chaque analyse.

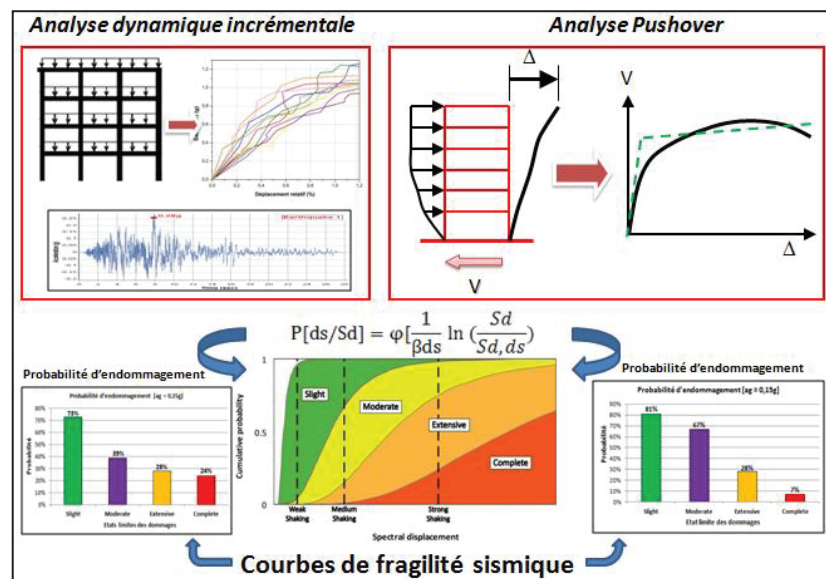


Figure 1 : Méthodologie d'estimation des probabilités d'endommagement

### 2.1. Analyse statique non linéaire Pushover

La méthode d'analyse statique non linéaire Pushover est une méthode approximative dont laquelle la structure est assujettie à une charge latérale croissante jusqu'à atteindre un déplacement cible. L'analyse Push-Over consiste en une série d'analyses élastiques, superposées pour approximer une courbe de capacité ou courbe effort tranchant à la base – déplacement au sommet. La première étape est d'appliquer la force gravitaire et latérale qui découle d'une loi de comportement du type bilinéaire ou tri-linéaire, la charge latérale est augmentée d'une manière itérative jusqu'à atteindre une première plastification d'un élément (apparition de rotule plastique).

### 2.2. Analyse dynamique Incrémentale

En 1977 « Bertero » a été le premier qui a proposé l'idée de l'analyse dynamique incrémentale (IDA) laquelle a été soumise à un développement substantiel par de nombreux chercheurs à la fin du dernier siècle et au début de ce siècle. Cette méthode d'analyse a été adoptée par l'Agence Fédérale de Gestion des Urgences (FEMA 2000a) et est considérée comme la méthode la plus pertinente pour estimer les réponses structurelles sous charges sismiques. Dans cette analyse, un modèle structurel correctement défini est soumis à une suite d'enregistrements des séismes, l'intensité de ces séismes est progressivement augmentée en utilisant des facteurs d'échelle. L'intensité continue d'augmenter jusqu'à ce que la structure passe de l'état élastique à l'état non linéaire suivi d'un effondrement structurel (Vamvatsikos 2002). À la fin, des courbes représentant les réponses paramétrées par rapport aux niveaux d'intensité du séisme sont produites.

Les courbes obtenues par l'analyse dynamique incrémentale visualisent les réponses structurelles et décrivent le comportement des structures soumises aux charges sismiques. Deux paramètres essentiels doivent être choisis préalablement pour la conception de ces courbes, 1) PRS : paramètre de réponse sismique qui peut être représenté par le déplacement inter-étage maximal, l'effort tranchant à la base ou bien la rotation maximale; 2)

MI : la mesure d'intensité, ce paramètre peut être défini par l'accélération maximale au sol « PGA » ou l'accélération spectrale correspondante à la période fondamentale de la structure.

### 3. Description du cas d'étude

Le bâtiment de cette étude est une structure en béton armé, implanté à la commune de Bouguirat (Wilaya de Mostaganem), l'une des structures les plus affectées par le séisme du 22 Mai 2014. Ce jour-là, deux secousses telluriques de magnitude 4,1 et 5,2 degrés sur l'échelle de Richter ont été enregistrées, dont l'épicentre se situait respectivement à 17 et 10 kilomètres au Sud-Est de Mostaganem. Ce tremblement de terre a provoqué des dommages sur 1.054 habitations, la remise en état de ces structures a été estimée à plus de quatre cent millions de dinars algérien(DA). Le centre culturel de la commune de Bouguirat, objet de cette étude, construit en 1970 d'un système de portiques en béton armé contreventé par seulement deux voiles de contreventement orientés sur une seule direction. D'après l'expertise effectuée par les services du Contrôle Technique des Constructions (CTC), le bâtiment est classé parmi les structures les plus endommagées.



Figure 2 : 01) à gauche : façade principale du bâtiment étudié, 02) endommagement au niveau des éléments structuraux

## 4. Résultats

### 4.1. Résultat de l'analyse Pushover et conception des courbes de fragilité

L'analyse Pushover permet d'avoir des courbes de capacité de la structure. En introduisant par la suite le spectre de réponse sismique et en faisant varier l'accélération maximale au sol ( $a_g$ ) de 0 à 0.35g afin de couvrir les différents états d'endommagement du bâtiment étudié, nous obtiendrons une série de points de performance. Les valeurs des déplacements spectraux obtenus aux points de performance nous serviront pour tracer ensuite les courbes de fragilité du bâtiment.

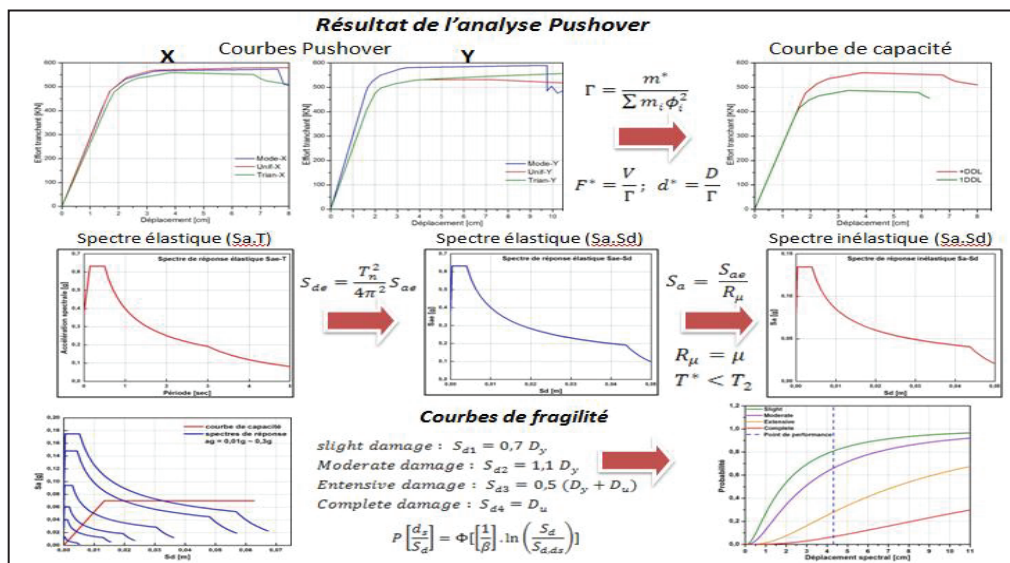


Figure 3 : Etablissement des courbes de fragilité à partir des résultats de l'analyse Pushover.

#### 4.2. Elaboration des courbes de fragilité à partir des résultats de l'analyse dynamique incrémentale

Les résultats des analyses dynamiques incrémentales de la structure permettent d'avoir les courbes Pushover dynamiques, ces courbes représentent la variation de la mesure d'intensité (accélération spectrale) en fonction du déplacement inter-étage. On définit par la suite les quatre états des dommages en procédant à une analyse de régression pour alimenter l'équation des courbes de fragilité (voir figure 4).

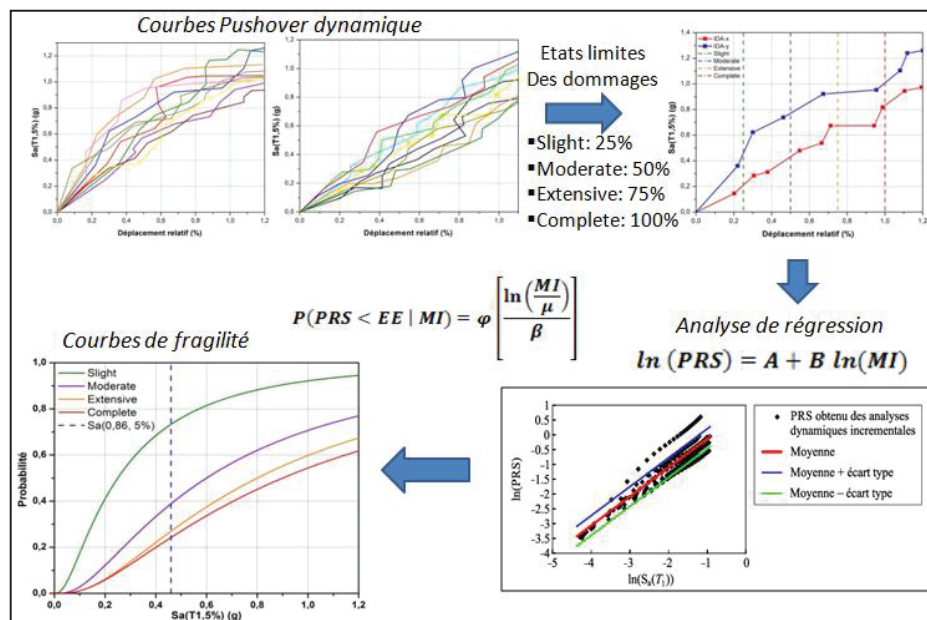


Figure 4 : Résultat de l'analyse dynamique incrémentale et conception des courbes de fragilité

#### 5. Conclusion

Ce travail avait pour but d'illustrer deux méthodes pratiques pour évaluer la performance et l'endommagement sismiques des bâtiments en béton armé. La première méthode étant basée sur l'analyse statique non linéaire « Pushover » et la deuxième est basée sur l'analyse dynamique incrémentale. Les deux procédures ont été appliquées sur un bâtiment existant construit en 1970 faisant usage d'un centre culturel. Ce bâtiment a été affecté par un séisme d'une magnitude de 5.2, provoquant des fissures dans les poteaux et la maçonnerie de remplissage ainsi que l'éclatement du béton de certains éléments. Dans la première méthode, le bâtiment a été modélisé en utilisant le logiciel de calcul SAP2000, la prise en compte du comportement non linéaire des éléments est considérée en insérant des rotules plastiques de flexion et de cisaillement dans les éléments porteurs (poteaux, poutres et voiles). Les courbes de capacité de la structure ont été obtenues à partir de ces dernières et en augmentant l'intensité sismique, on a obtenu une série de points de performance permettant de tracer les courbes de fragilité du bâtiment. Les probabilités d'endommagement associées à chaque état limite ont été déduites.

Dans la deuxième méthode, le bâtiment étudié a été modélisé en utilisant des éléments de fibres programmés dans le logiciel SeismoStruct (Seismosoft 2014). Le processus de sélection des séismes et leur étalonnage sur les spectres sismiques de conception correspondant au site du bâtiment ont été illustrés. Une série d'analyses dynamiques temporelles non linéaires du bâtiment a été effectuée. Les déplacements obtenus des analyses sismiques ont été reliés à l'intensité des secousses sismiques et à l'endommagement de la structure. L'exploitation de ces relations pour produire des courbes de fragilité caractérisant la probabilité d'atteindre un niveau de dommage en fonction de l'accélération spectrale correspondante à la période fondamentale de la structure. Les courbes de fragilité obtenues démontrent que la probabilité associée à l'apparition des fissures sur les poteaux du bâtiment est très élevée,

**Bibliographie**

- [AYA 2014] AYADI A. AND BEZZEGHOUD M., *Seismicity of Algeria from 1365 to 2013: Maximum observed intensity map (MOI2014)*. Seismological Research Letters, 2014.
- [BAR 2012] BARBAT H.A., ALZATE, V., FELIPE, Y., PUJADES BENEIT, L. AND HURTADO GOMEZ, J.E., *Probabilistic assessment of the seismic damage in reinforced concrete buildings*. In Proceedings of the 10th International Symposium Computational Civil Engineering: Iasi, Romania-May 25th, 2012 (pp. 43-61). Societatea Academica, 2012.
- [BEN 1993] BENOUAR, D., *The seismicity of Algeria and adjacent regions during the twentieth century*, Doctoral dissertation, Department of Civil Engineering, Imperial College, 1993.
- [HAZ 1999] HAZUS 99, F.E.M.A., *Earthquake Loss Estimation Methodology: User's Manual*. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1999.
- [MON 2003] MONTILLA, J. A. P., HAMDACHE, M. & CASADO C. L., *Seismic hazard in Northern Algeria using spatially smoothed seismicity. Results for peak ground acceleration*. Tectonophysics, 372(1), 105-119, 2003.
- [MOR 1978] MORTGAT, C.P. AND SHAH, H.C., *Seismic hazard analysis of Algeria*. John A. Blume: Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, 1978.
- [MEG 1988 ] MEGHRAOUI, M., *Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie: Paléosismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique*, Doctoral dissertation, Université de Paris-Sud, Faculté des Sciences d'Orsay, 1988.