

## EVALUATION DE LA PERFORMANCE SISMIQUE D'UN PONT EN BETON PRECONTRAIT A TIPASA EN DEVELOPPANT LES COURBES DE FRAGILITE DE LA PILE

### SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A PRESTRESSED BRIDGE IN TIPASA USING FRAGILITY CURVES OF THE PIER

N. HEMAIDI ZOURGUI<sup>1,\*</sup>, A. KIBBOUA<sup>2</sup>, M. TAKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doctorant, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, ENSTP

\* Attaché de Recherche, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, CGS.

e-mail : nhemaidizourgui@cgs-dz.org

<sup>2</sup>Maître de Recherche classe A, Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, CGS. E-mail : akibboua@cgs-dz.org

<sup>3</sup>Maître de Conférences classe A, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, ENSTP, atik\_med@yahoo.fr

---

réception : 28/11/2016

acceptation : 04/10/2017

publication : 30/06/2018

---

**Résumé** - Les ponts sont des éléments très vulnérables en cas de séisme. Dans un réseau de transport terrestre, une grande partie du commerce transite par les autoroutes et les voies express. L'effet de la fermeture d'une route suite à un mouvement sismique peut avoir un impact négatif sur le développement et la croissance économique d'un pays.

Le développement des méthodes adéquates, capables d'évaluer la performance sismique des ponts s'avère nécessaire pour l'élaboration des plans d'action pour la prévention et la gestion du risque sismique.

Un outil performant pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ponts en béton armé et précontraint est la dérivation des courbes de fragilité. Celles-ci expriment la probabilité pour qu'un pont ou qu'un de ses éléments structurels atteigne ou dépasse un niveau de dommage en fonction des paramètres caractéristiques du mouvement du sol.

L'objectif de ce travail consiste à développer les courbes de fragilités analytiques d'une pile d'un pont en béton armé fréquemment réalisée en Algérie. Le modèle de calcul utilisé prend en compte toutes les composantes de l'ouvrage telles que les piles, les culées, les appareils d'appuis et les plots parasismiques.

L'ouvrage étudié, se trouve sur la voie express reliant Bousmail-Cherchell qui est considérée comme zone de forte sismicité (Zone III) selon les Règles Parasismiques applicables au domaine des Ouvrages d'Art (RPOA-2008).

Mots Clés : Courbes de fragilité, Analyse dynamique non linéaire, Analyse push-over, Vulnérabilité sismique.

**Abstract** - Bridges are one of the most vulnerable components of a transport network subjected to seismic excitations, this network is indeed essential for carrying out rescue and economic activities, quickly following a seismic event. A considerable negative effect of closing these transportation networks can be observed on the country's economic growth, after an earthquake. However, developing an appropriate methods, capable of assessing the seismic performance of the bridges is necessary for the elaboration of action plans to prevent the seismic risk.

A performing tool to evaluate the seismic vulnerability of RC and prestressed bridges is the development of fragility curves; they express the probability of structural damage due to earthquakes as a function of ground motion indices.

In this study, we developed the analytical fragility curves of a constructed courant RC bridge pier in Algeria. A three dimensional model has been implemented, incorporating all components, pier, abutments, elastomeric bearings and shear keys.

The studied bridge located on Bousmail-Cherchell highway, which is classified according to the RPOA-2008 in the highest level of seismicity (Zone III).

**Key words:** Fragility curves, Non Linear Analysis, Pushover Analysis, Seismic Vulnerability.

## Introduction

En Algérie, durant ces dernières années, des études de vulnérabilité sismique sur des bâtiments stratégiques ont été conduites par le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS).

Dans ce cadre, les chercheurs (Kibboua, 1999 [1] ; Zermout et al. 2008 [2] ; Mehani et al. 2011 [3]) ont fait des études de vulnérabilité afin de prédire la réponse dynamique non linéaire des structures en béton armé, classées stratégiques, soumises à plusieurs enregistrements accélérométriques (accélérogrammes) représentant l'aléa sismique du site.

Par contre, un nombre très limité d'études sur la vulnérabilité sismique des ponts a été élaboré au pays, bien que ces ouvrages soient des éléments très vulnérables dans un système autoroutier (Swagata Banerjee et al. 2008 [4]).

A partir de là, des recherches sur la vulnérabilité sismique des ponts ont été proposées, (Kibboua et al. 2011 [5]) et ont analysé l'effet des différents types de piles couramment réalisées en Algérie sur la vulnérabilité en termes de courbes de fragilité des ouvrages d'art en Algérie en s'inspirant du modèle proposé par Karim et Yamazaki en 2003 [6].

Ces courbes peuvent être déduites empiriquement à partir de données post-sismiques (Shinozuka et al. 2000 [7] ; Elnashai et al., 2004 [8]) ou analytiquement à partir de simulations numériques (Pan et al., 2007 [9] ; Padgett et DesRoches 2009 [10] ; Kibboua et al., 2011 [5], Agrawal et al. 2012 [11] ; Shahria Alam and al. 2012 [12], Kibboua et al. 2014 [13], Karthik Ramanathan et al., 2015 [14]) ou à partir de jugements d'experts (Kibboua et al., 2014 [13]).

Des simulations numériques ont été effectuées par le biais d'analyses statiques et dynamiques non linéaires afin de prédire les réponses de l'ouvrage soumis à des excitations sismiques préalablement sélectionnées.

L'analyse de ces réponses permet de relier les états d'endommagement en fonction de l'intensité sismique adoptée (Vamvatsikos et Cornell, 2002 [15]).

On se propose dans cet article de construire des courbes de fragilité d'un pont courant sur la voie express Bousmail-Cherchell dans la wilaya de Tipasa pour évaluer la vulnérabilité sismique de l'ouvrage et de mettre à la disposition des gestionnaires du parc d'ouvrage d'art un outil de gestion et de planification de programmes de protection sismique du patrimoine et également pour le développement des stratégies de mitigation ou d'atténuation du risque sismique.

## 1. Présentation de l'ouvrage étudié

Le pont fait partie du projet "voie express Bousmail-Cherchell". Il est constitué de deux travées de portée 25.70 m chacune (Fig. 1), pour une longueur totale de 51.50 m.

Le tablier est composé d'un hourdis en béton armé coulé sur place ayant une épaisseur de 20 cm, surmonté d'une couche en béton bitumineux de 8 cm d'épaisseur. Il repose sur 10 poutres isostatiques en béton précontraint, de hauteur 1.30 m et d'entre-axe de 1.68 m. La largeur totale du tablier est de 16.50 m.

Le pont possède une largeur roulable de 11.00 m et deux trottoirs identiques de 1,75 m de largeur. Les poutres reposent sur des appareils d'appui en élastomère fretté. La pile est composée de cinq (05) fûts circulaires de hauteur 6.00 m (voir Fig. 2).

Le ferrailage des armatures longitudinales des piles est constitué de 27 T 32, quant au ferrailage transversal, des armatures en cerces de diamètre T16 avec un espacement de 15 cm est adopté.

### 2.1-Caractéristiques mécaniques des matériaux :

✓ Béton

Le béton armé utilisé pour la construction de l'ouvrage est :

- Ciment CPA 325 dosé à 400 kg/m<sup>3</sup>

- Résistance à la compression :  $f_{cj} = \frac{j}{4.76+0.83j} f_{c28}$  si  $j \leq 28$  jours

Pour le cas de cette étude :  $f_{c28} = 27$  Mpa

- Résistance à la traction :  $f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28}$

✓ Acier

Les armatures utilisées sont des aciers naturels ayant pour caractéristiques :

- Nuance FeE40 Type HA

- Limite d'élasticité :  $f_e = 400$  Mpa

- Module d'élasticité :  $E = 2.10^5$  Mpa

- Déformation ultime :  $\epsilon = 10$  ‰



Figure 1: Vue en élévation de l'ouvrage étudié

Fig. 1 : The studied bridge elevation view



Figure 2 : Vue de dessous de l'ouvrage étudié

Fig. 2: View from the bottom of the studied bridge

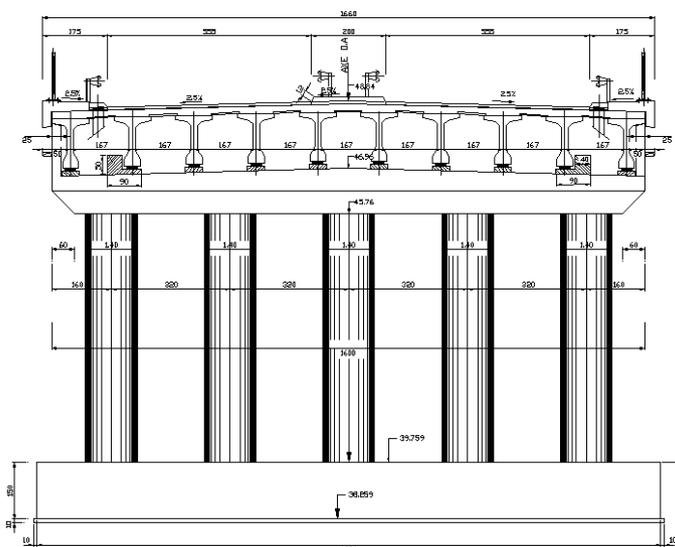


Figure 3 : Coupe transversale sur pile

Fig. 3 : Transversal cross section at pier

## 2. Analyses statique et dynamique de l'ouvrage

Deux analyses ont été utilisées pour la prédiction des réponses du pont modélisé en 3D à savoir une analyse statique non linéaire (Pushover Analysis) et une analyse temporelle non linéaire.

L'analyse pushover est une procédure statique non-linéaire dans laquelle les charges latérales appliquées au pont sont incrémentées suivant un certain modèle prédéfini en augmentant l'intensité des charges jusqu'à ce que des modes de ruine apparaissent dans l'ouvrage, c'est à dire que l'on « pousse » jusqu'à ce qu'il atteigne un déplacement prédéfini (attendu) [16].

Les résultats de cette analyse sont obtenus sous forme de courbe reliant l'effort tranchant à la base en fonction du déplacement au sommet de la pile (fig.4).

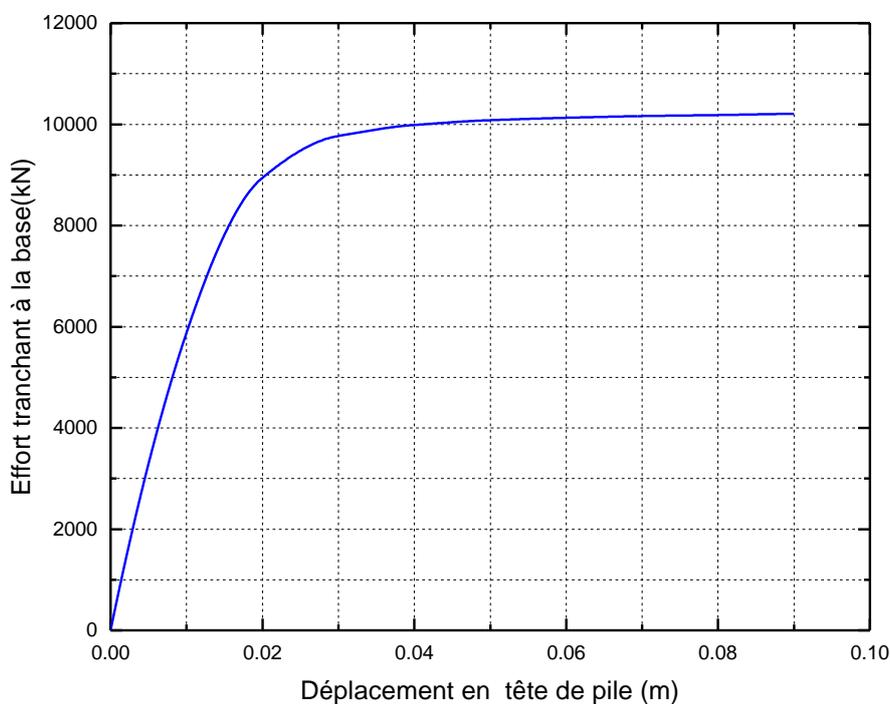


Figure 4 : Courbe pushover de la pile de l'ouvrage (direction transversale)

Fig. 4 : Pushover curve of the bridge pier -transversal direction

Cette courbe définit donc la performance de la pile jusqu'à la rupture et est obtenue à l'aide, d'une part, de modèles mathématiques, des caractéristiques géométriques et mécaniques de l'élément et d'autre part, d'une analyse statique non linéaire jusqu'à la rupture. La ductilité structurale a été déterminée à l'aide de l'analyse pushover.

Une analyse temporelle non linéaire (Time History Analysis) est effectuée afin de déterminer les déplacements maximum de la pile ainsi que l'énergie dissipée durant le mouvement sismique. Cette analyse est considérée comme étant la plus rigoureuse pour estimer les demandes sismiques inélastiques des structures. Bien qu'elle soit très compliquée et coûteuse en temps, les courbes de fragilité obtenues sont fiables et représentatives (Shinozuka et al., 2000 [17]).

Pour cette analyse, des séismes réels (Tableau 1) compatibles avec le spectre de réponse du RPOA-2008 [18] ont été générés en utilisant Siesmostruct 2015 [19].

Tableau 1: Accélérogrammes utilisés  
Tab. 1 : Seismic records used in this study

No.	Magnitude	PGA(g)	Nom du séisme	Station et direction	Année
1	6.8	0.548	Boumerdes	Dar El Beida_L	2003
2	6.8	0.511	Boumerdes	Dar El Beida_T	2003
3	6.8	0.275	Boumerdes	H-Dey_L	2003
4	6.8	0.237	Boumerdes	H-Dey_T	2003
5	6.8	0.339	Boumerdes	Keddara_EW1	2003
6	6.8	0.588	Boumerdes	Keddara_EW2	2003
7	6.8	0.167	Boumerdes	El Affroun_EW	2003
8	6.24	0.372	Managua_01 Nicaragua-	Managua_ ESSO,90	1972
9	6.24	0.329	Managua_01 Nicaragua-	Managua_ ESSO,180	1972
10	6.61	0.320	San Fernando	Castaic - Old Ridge Route,ORR021	1971
11	6.61	0.275	San Fernando	Castaic - Old Ridge Route,ORR091	1971
12	6.19	0.368	Park field	Cholame - Shandon Array #5,C05355	1966
13	6.19	0.444	Park field	Cholame - Shandon Array #5,C05085	1966
14	6.95	0.254	Imperial Valley	El Centro Array#9, 180	1940
15	6.95	0.150	Imperial Valley	El Centro Array #9, 270	1940

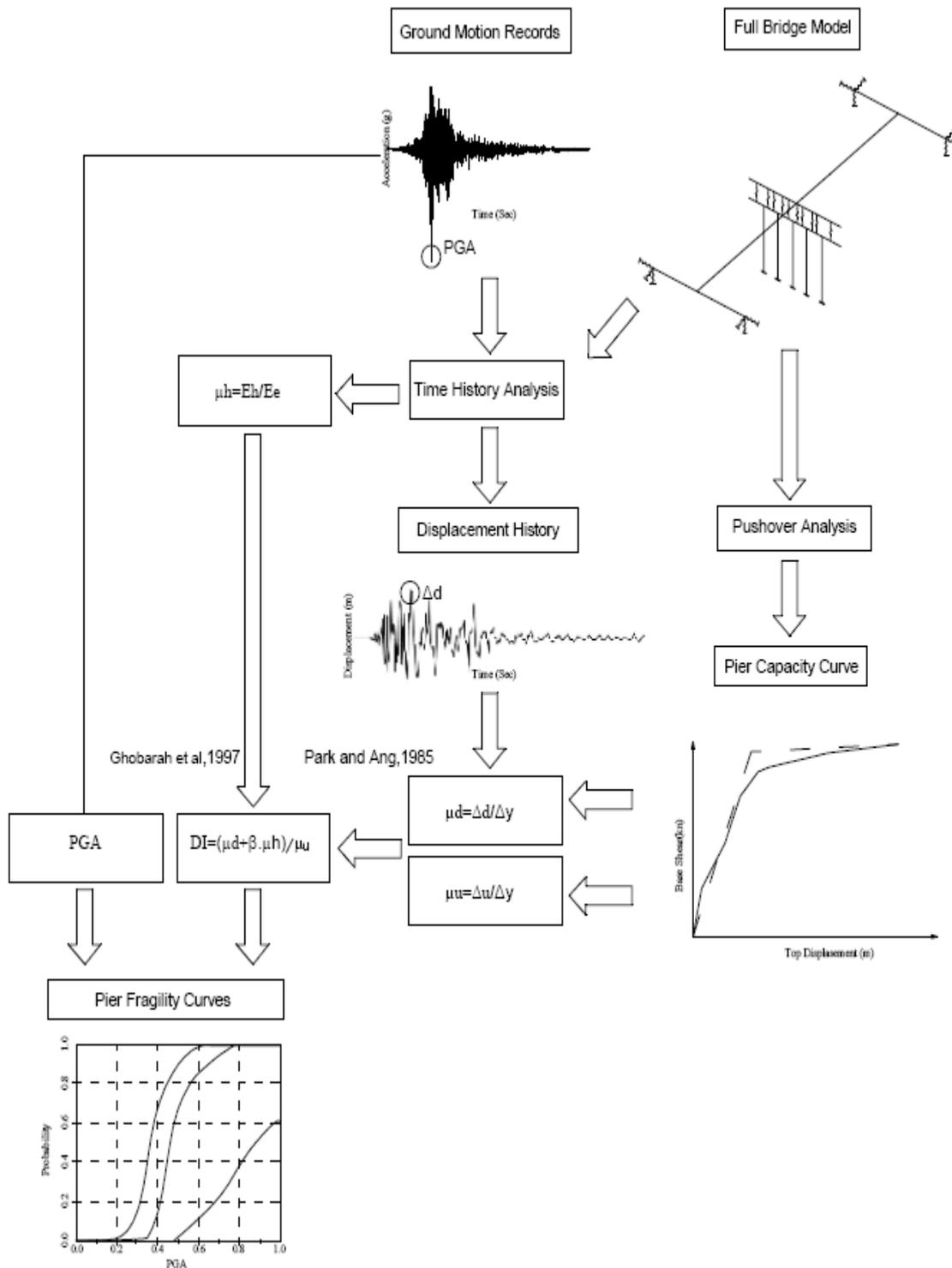
#### 4- Les courbes de fragilité

Les courbes de fragilités analytiques développées sont basées sur des analyses temporelles et statiques non linéaires. Elles représentent la probabilité d'atteindre ou de dépasser un certain état de dommage lors d'un séisme donné.

Il existe trois (03) approches distinctes pour établir ces courbes de fragilité :

- Empirique : utilise essentiellement les observations des dommages relevés sur les ouvrages lors des enquêtes post-sismiques ;
- Expérimentale : celle-ci nécessite des spécimens reproduisant le modèle réel à des échelles réduites. Les tests sur modèles réduits se font de plus en plus sur des prototypes d'ouvrages à des échelles assez grandes ;
- Analytique : se base sur l'interprétation des résultats obtenus suite à une analyse non linéaire de la réponse dynamique de modèles numériques de structures représentatives. L'action sismique représentant l'effet dynamique dans l'analyse du modèle est simulée par l'utilisation d'accélérogrammes réels ou artificiels.

La figure 5 ci-après montre la procédure suivie pour le développement des courbes de fragilité de la pile de l'ouvrage étudié.



L'évaluation des dommages subis par la pile est alors quantifiée par l'indice de dommages DI qui est obtenu en utilisant le modèle de dommages proposé par Park et Ang (1985) [20] et est exprimé comme suit :

$$DI = \frac{\mu_d + \beta \mu_h}{\mu_u} \quad (1)$$

Où  $\beta$  est le facteur de chargement cyclique dont la valeur est 0,15 (Karim et Yamazaki 2001 [21]).  $\mu_u$  est la ductilité ultime qui est définie comme étant le rapport du déplacement maximum (obtenu à partir de l'analyse statique) au déplacement à l'état limite élastique (obtenu à partir de l'analyse statique).  $\mu_d$  est la demande en ductilité et est exprimée par :

$$\mu_d = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} \quad (2)$$

Où  $\delta_{max}$  et  $\delta_y$  sont respectivement le déplacement maximum et le déplacement à la limite élastique en tête de pile.  $\mu_h$  est la ductilité cumulative d'énergie par hystérésis (Uang et Bertero.1990 [22]). Elle est exprimée comme suit :

$$\mu_h = \frac{E_h}{E_e} \quad (3)$$

Où  $E_h$  et  $E_e$  sont respectivement l'énergie cumulative par hystérésis et l'énergie élastique à la limite du point élastique de la pile.

Les indices de dommage (*Damage Indices - DI*) obtenus sont calibrés pour différents niveaux d'excitation. Ce calibrage est fait en utilisant le Tableau 2 proposé par Ghobarah et al.,1997 [23].

Tableau 2 : Rapport entre l'indice de dommage DI et la classe de dommage DR  
Tab. 2 : Relationship between the damage index ID and the damage rank DR  
(Ghobarah et al., 1997 [23])

Indice Dommages ( <i>DI</i> )	Classe de Dommage ( <i>DR</i> )	Définition
$0.00 < DI \leq 0.14$	D	Aucun Dommage
$0.14 < DI \leq 0.40$	C	Dommages Légers
$0.40 < DI \leq 0.60$	B	Dommages Modérés
$0.60 < DI < 1.00$	A	Dommages Etendus
$1.00 \leq DI$	As	Dommages Complets

Les deux paramètres de la fonction standard de distribution normale qui sont la moyenne  $\lambda$  et l'écart-type  $\zeta$  sont obtenus par la méthode des moindres carrés (the Least-Square Method) en utilisant une probabilité log-normale [24].

Les courbes de fragilité pour la pile du pont sont développées en supposant une distribution log-normale. La probabilité cumulée  $P_R$ , de l'occurrence des dommages, égaux ou plus importants que le rang  $R$ , est définie comme suit (Karim et Yamazaki 2001 [22] ; Karim et Yamazaki 2003 [6] ; Kibboua et al. 2011 [5]) :

$$P_R = \Phi \left[ \frac{\ln X - \lambda}{\zeta} \right] \quad (4)$$

Où  $\Phi$  est la fonction standard de distribution normale,  $X$  est l'indice de mouvement du sol comme par exemple le pic d'accélération du sol (Peak Ground Acceleration - PGA),  $\lambda$  et  $\zeta$  sont la moyenne et l'écart-type de  $\ln X$ .

En utilisant la relation entre l'indice de dommage DI et la classe de dommage DR montré dans le tableau 2, le nombre d'occurrence de chaque rang de dommages est obtenu. Ces nombres sont alors employés pour obtenir le rapport de dommages pour chaque classe de dommage.

### 5. Résultats et discussions

En utilisant la méthodologie présentée précédemment, les courbes de fragilité ont été développées en utilisant 15 enregistrements sismiques, les courbes sont illustrées dans figures ci-après (Fig.6-10).

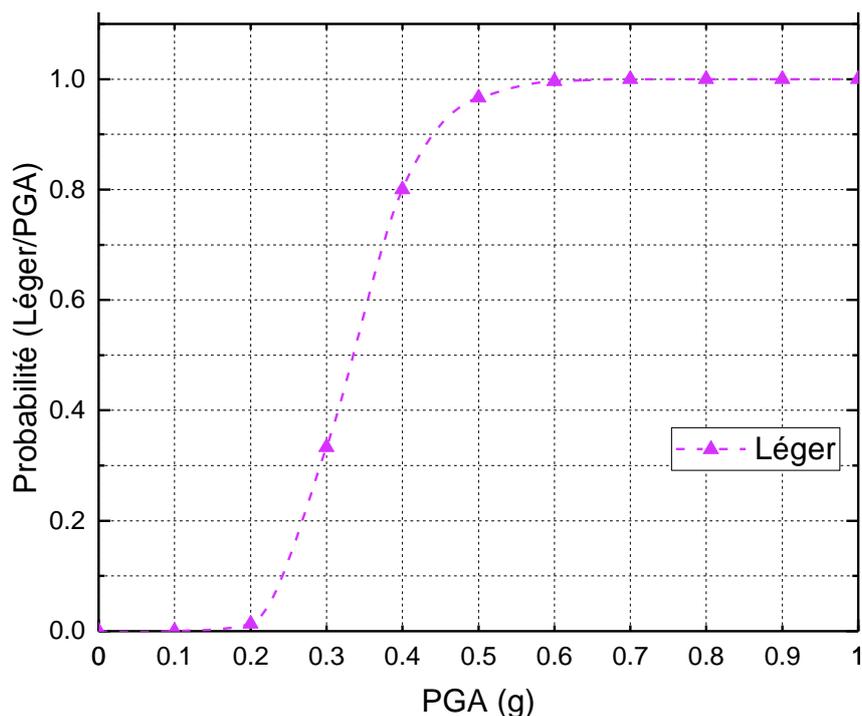


Figure 6 : Courbe de fragilité de la pile (dommage léger)

Fig. 6 : Fragility curve of the pier -Slight damage

La courbe présentée dans la figure 6 montre que la pile du pont étudiée peut rester intacte et sans dommages jusqu'à une valeur du PGA= 0.2g. Elle montre également que la probabilité d'observer des fissures légères sur la pile du pont est très élevée à partir de la valeur du PGA=0.4g. Par ailleurs, la probabilité de dépassement d'un état de dommage léger de 100 % est atteinte à partir de la valeur du PGA = 0.6g. Ceux-ci n'empêchent pas que le pont va être diminué de la charge du trafic auquel il est soumis mais par contre, il restera opérationnel car de légères fissures peuvent apparaître et qui nécessitent de petites réparations.

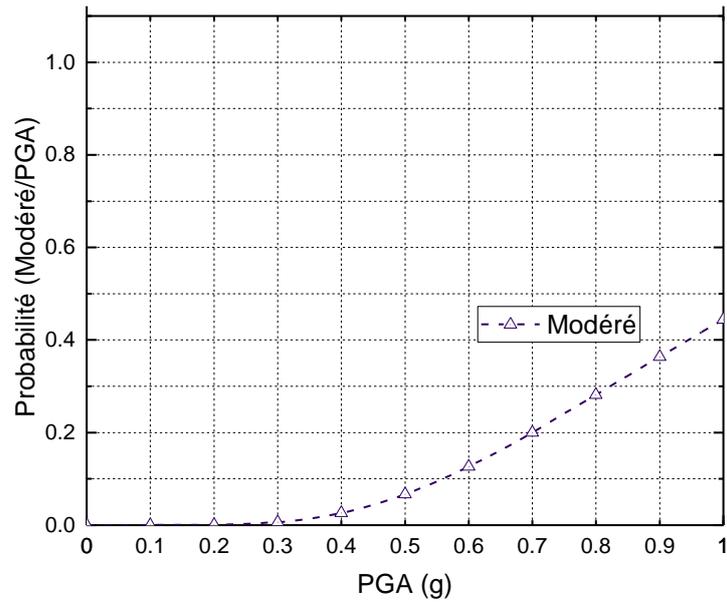


Figure 7 : Courbe de fragilité de la pile (dommage modéré)

Fig. 7 : Fragility curve of the pier (moderate damage)

L'état de dommage modéré se produit à partir de la valeur  $PGA=0.4g$  (Fig.7). La probabilité d'atteindre ou de dépasser cet état de dommage est de 50 % pour une valeur du  $PGA =1g$ . La probabilité d'apparition des fissures de cisaillement dans la pile est donc inférieure à 50% et le pont demeure toujours opérationnel après avoir effectué des travaux de réparation.

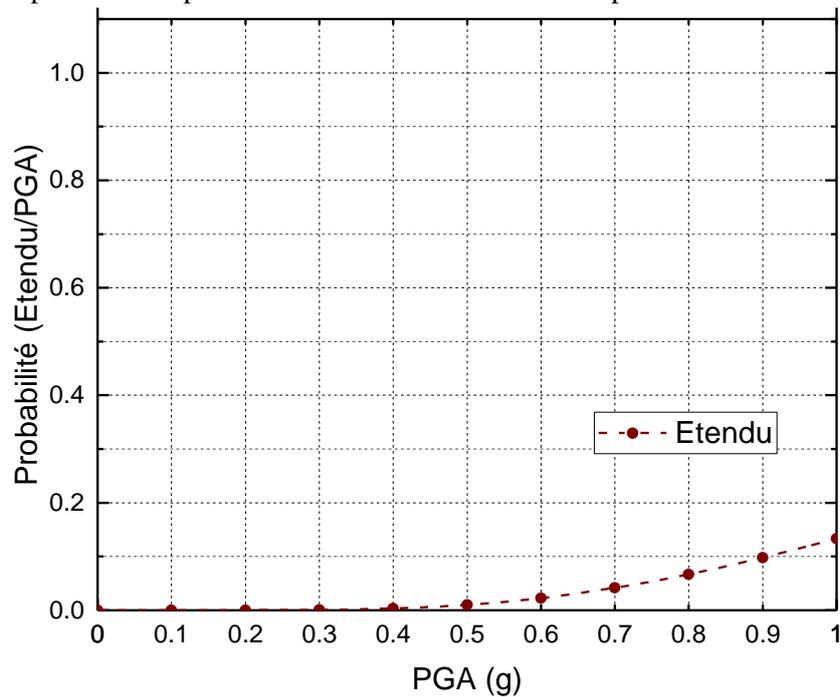


Figure 8 : Courbe de fragilité de la pile (dommage étendu).

Fig. 8 : Fragility curve of the pier (extensive damage)

La probabilité de dépassement dans le cas d'un état de dommage étendu (Fig.8) commence avec une valeur du PGA de 0.6g pour atteindre une valeur de 0.14, soit 14% de dommage étendu pour une accélération du PGA = 1.0g. Donc la probabilité pour que le pont soit fermé au trafic est très faible.

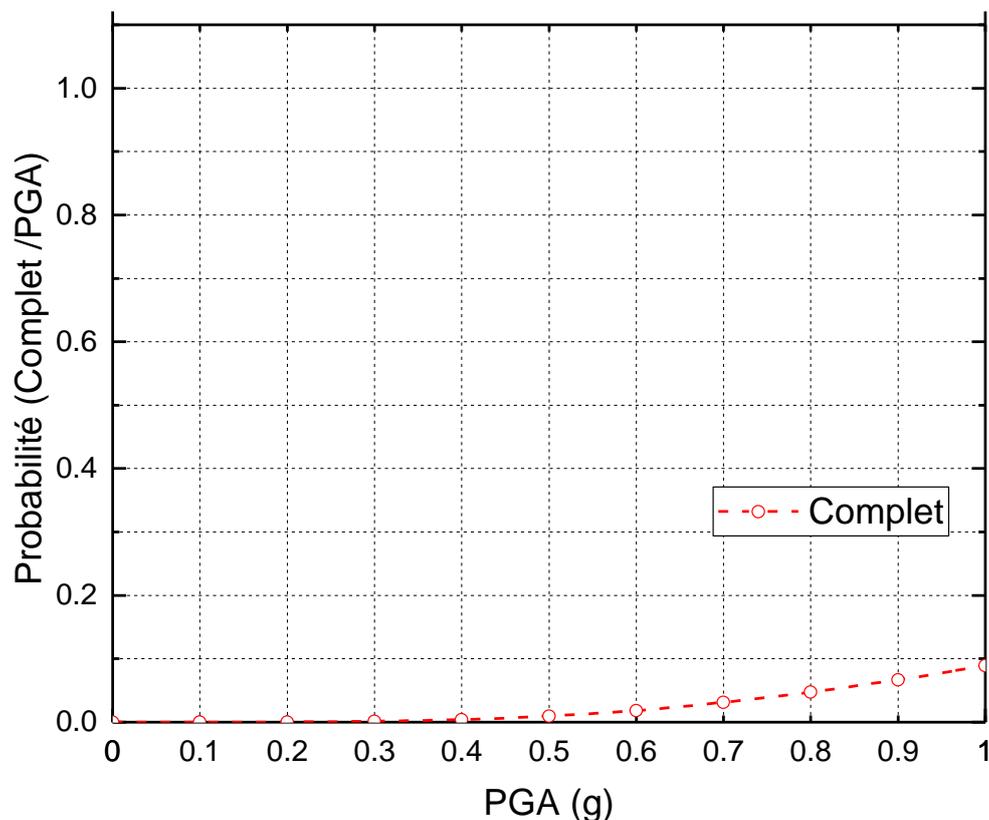


Figure 9 : Courbe de fragilité de la pile (dommage complet)

Fig; 9 : Fragility curve of the pier (complete damage)

La probabilité d'atteindre ou de dépasser un état de dommage complet est de moins de 10% (Fig. 9) pour le cas de la pile du pont étudié correspondant à la valeur du PGA =1 g. Donc une faible probabilité d'effondrement du pont est constatée avec ce type de piles (fûts circulaires).

La figure 10 présente les courbes de fragilité de la pile de pont étudié pour les quatre états de dommage définis précédemment (léger, modéré, étendu et complet)

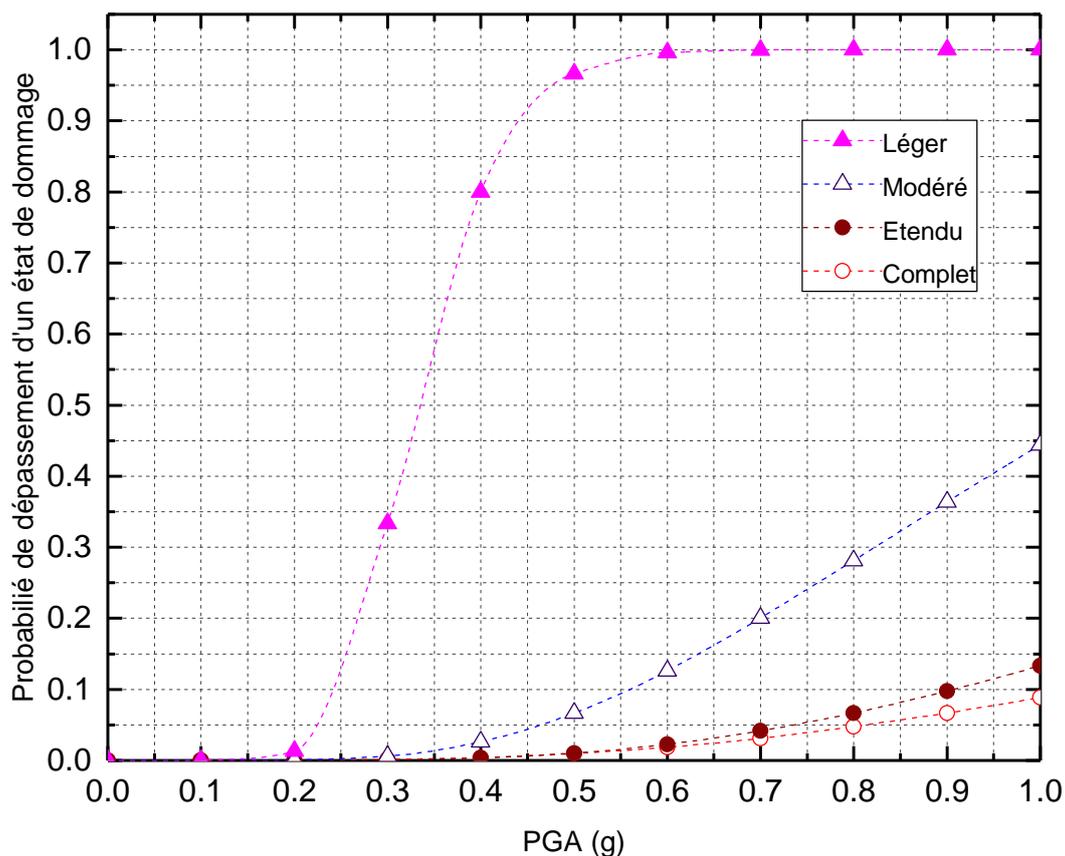


Figure 10 : Courbes de fragilité de la pile du pont  
Fig. 10 : Fragility curves of the bridge pier)

Les états limites présentés ont été utilisés par Choi., 2002 [25] afin de développer les courbes de fragilité pour les ponts en Amérique Centrale.

Les courbes de fragilité obtenues à partir de simulations numériques constituent, avec les courbes d'aléa sismiques, l'un des éléments clés dans les études probabilistes de sûreté [30] et présentent une estimation préliminaire pour les niveaux de risques sismiques.

## 6. Conclusion

La méthodologie présentée dans cet article pour la dérivation des courbes de fragilité des ponts courants en Algérie s'effectue d'une part, par une modélisation tridimensionnelle de l'ouvrage et, d'autre part une analyse dynamique non linéaire réalisée en générant une sélection d'accélérogrammes réels, issus de la base de données nationale et étrangère correspondant au spectre de réponse du site préconisé par le RPOA- 2008.

La modélisation complète du pont, en tenant compte de tous ses éléments constitutifs, donne une estimation quasi-réelle de la performance sismique de l'ouvrage.

L'évaluation des dommages aux piles de pont est quantifiée par l'indice de dommages DI obtenu en utilisant le modèle de dommages proposé par Park et Ang. Cet indice de dommage est obtenu en effectuant des analyses statiques et dynamiques non linéaires.

Il a été remarqué que la probabilité d'atteindre les états de dommage : modéré, étendu et complet reste toujours inférieur à 0.45 (45%).

Les résultats obtenus ont clairement montré que ce type d'ouvrages présente une meilleure performance sismique, grâce aux caractéristiques géométriques et mécaniques de la pile, par conséquent aucune intervention de renforcement n'est nécessaire.

Dans ce travail, il a été explicitement démontré que l'établissement des courbes de fragilité pour les piles de ponts en béton armé, constitue un outil très efficace pour l'évaluation du risque sismique des ouvrages et particulièrement pour les ponts.

De par son efficacité, cette étude permet aux gestionnaires du parc d'ouvrage d'art, de disposer d'une méthodologie pour estimer la vulnérabilité aux séismes des piles de ponts existants en termes de courbes de fragilité et de mettre en place une politique de gestion, de réhabilitation et de renforcement du patrimoine national existant.

### Références bibliographiques

- [1] Kibboua, A., Etude de vulnérabilité au séisme d'un bâtiment stratégique en béton armé. Génie parasismique et réponse dynamique des ouvrages, 5<sup>ème</sup> Congrès AFPS, Cachan 19-21 octobre 1999, Paris, France.
- [2] Zermout, S. Bakhti, F. Mehani, Y. Inukai, M. Azuhata, T and Saito, T., Seismic Vulnerability of a Strategic Building Designed by Algerian Seismic Code RPA 99, Using the Capacity Spectrum Method., The 14th World Conference on Earthquake Engineering., Beijing, China, October 12-17, 2008.
- [3] Mehani, Y. Benouar, D. Bechtoula, H and Kibboua, A., Vulnerability evaluation of the strategic buildings in Algiers (Algeria): a methodology., Nat Hazards, Vol. 59: 529, 2011.
- [4] Banerjee, S and Shinozuka, M., Mechanistic quantification of RC bridge damage states under earthquake through fragility analysis., Probabilistic Engineering Mechanics, Vol. 23(1): 12-22, 2008.
- [5] Kibboua, A. Naili, M. Benouar, D and Kehila, F., Analytical fragility curves for typical Algerian reinforced concrete pier bridges., Structural Engineering and Mechanics, Vol. 39 (3) : 411-425, 2011.
- [6] Karim, K.R and Yamazaki, F., A simplified method of constructing fragility curves for highway bridges., Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 32: 1603–1626, 2003.
- [7] Shinozuka, M., Feng, M.Q., Lee, J. and Naganuma, T., *Statistical analysis of fragility curves.*, Journal of Engineering Mechanics, vol. 126(12):1224–1231, 2000.
- [8] Elnashai, AS., Borzi, B and Vlachos, S., *Deformation-based vulnerability functions for RC bridges.*, Structural Engineering and Mechanics, vol. 17(2):215–244, 2004.
- [9] Pan, Y., Agrawal, A.K. and Ghosn, M., *Seismic fragility of continuous steel highway bridges in New York State.*, Journal of Bridge Engineering, vol. 12(6): 689–699, 2007.
- [10] Padgett, J.E. and DesRoches, R., *Retrofitted bridge fragility analysis for typical classes of multi-span bridges.*, Earthquake Spectra, vol. 25(1): 117–141, 2009.

- [11] Agrawal, A.K., Ghosn, M., Alampalli, S. and Pan, Y., *Seismic fragility of retrofitted multispan continuous steel bridges in New York.*, Journal of Bridge Engineering, vol. 17(4): 562–575,2012.
- [12] Shahria Alam, M. Rahman Bhuiyan, M.A and Muntasir Billah A.H.M. , *Seismic fragility assessment of SMA-bar restrained multi-span continuous highway bridge isolated by different laminated rubber bearings in medium to strong seismic risk zones*, Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 10: 1885–1909,2012.
- [13] Kibboua, A. Bechtoula, H. Mehani, Y and Naili, M., *Vulnerability assessment of reinforced concrete bridge structures in Algiers using scenario earthquakes.*, Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 12: 807–827, 2014.
- [14] Ramanathan, K. Padgett, J.E and DesRoches, R., *Temporal evolution of seismic fragility curves for concrete box-girder bridges in California.*, Engineering Structures, vol. 97: 29–46,2015.
- [15] Vamvatsikos, D., and Cornell, A., *Incremental dynamic analysis.*, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, vol. 31(3): 491-514,2002.
- [16] Mekki, M., *Approche probabiliste dans la détermination des courbes de vulnérabilité des structures en génie civil.*, thèse de doctorat , Université de Bordeaux, 2015.
- [17] Shinozuka, M., Feng, M., Kim, H. and Kim, S., *Nonlinear static procedure for fragility curve development.*, . Journal of Engineering Mechanics, vol. 126(12): 1287–1295,2000.
- [18] RPOA-2008., *Règles Parasismiques applicables au domaine ders Ouvrages d'Art. Document Technique Réglementaire.*, MTP, Alger, Alegria,2010.
- [19] Seismostruct 2015., *A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures.* Available from <http://www.seismosoft.com>. Last accessed November 2016.
- [20] Park, Y.J. Ang, A.H.S and Wen, Y.K., *Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings.*, Journal of Structural Engineering ,ASCE, vol. 111(4): 740-757,1985.
- [21] Karim, K.R. and Yamazaki, F., *Effect of earthquake ground motions on fragility curves of highway bridge piers based on numerical simulation.*, Earthquake Engineering & Structural Dynamics,vol. 30 : 1839-1856,2001.
- [22] Uang, C. M and Bertero, V. V., *Evaluation of seismic energy in structure.*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 19: 77- 90, 1990.
- [23] Ghobarah, A. Aly, N.M and El-Attar, M., *Performance level criteria and evaluation.*, Proc. of the International Workshop on Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Balkema,Rotterdam, 1997.
- [24]Kibboua,A. *Développement d'une méthodologie d'analyse pour la vulnérabilité sismique des piles de ponts Algériens*, Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2012.
- [25] Choi, E., *Développement Seismic analysis and retrofit of Mid-America bridges*, Dissertation, Georgia Institute of Technology, Aug 2002.