



Courbes de fragilité des ponts à poutres en BP en tenant compte de l'interaction sol-fondation

Présenté par :

A. Kibboua

Directeur de recherche au CGS

Equipes de recherche : F. Kehila & M. Remki.

CGS le 23 mars 2022

Plan de travail

1 Introduction

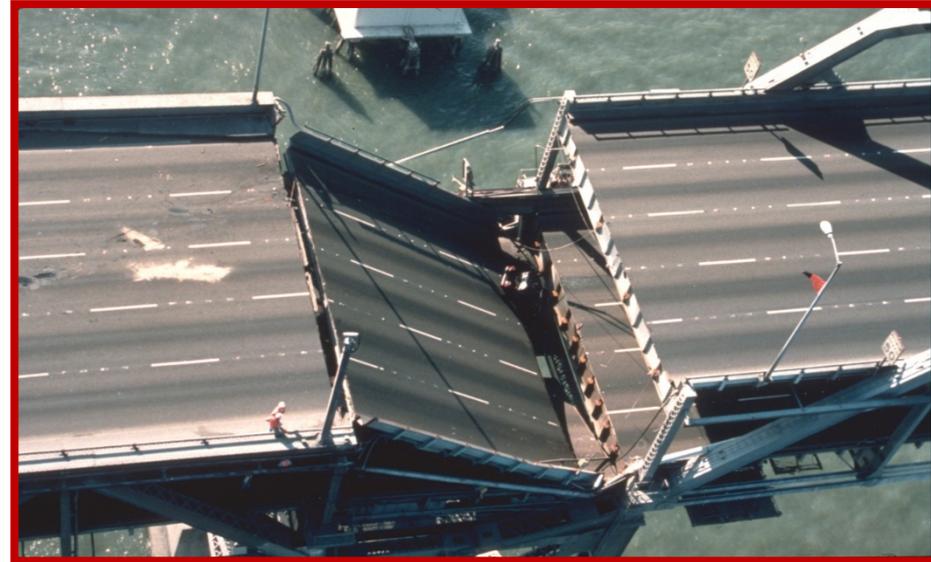
2 Problématique

3 Objectifs

4 Modélisation numérique

5 Courbes de fragilité

6 Conclusion et recommandation



L'étude des dommages subis à la suite des derniers séismes aux Etats-Unis (San Fernando 1971, Loma Prieta 1989, Northridge 1994), au Japon (Kobe 1995), à Taiwan (Chi-Chi 1999)...etc., a renforcé l'évidence que les ponts restent très vulnérables et que leur mise hors d'usage empêche l'acheminement des secours vers les zones touchées par la catastrophe.

Pathologie post-sismique

Glissement par cisaillement des piles supérieures du viaduc cypress (Loma Prieta, 1989)



Rupture par manque de confinement d'une pile de pont en béton armé (Northridge, 1994)



Rupture des piles par cisaillement et effondrement du tablier (Kobe, 1995)



Rupture des piles par flambement des armatures longitudinales (Northridge, 1994)

Pathologie post-sismique



*Endommagement des piles par flexion
Northridge (USA, 1994)*



*Effondrement des travées de tablier
Northridge (USA, 1994)*



*Effondrement du tablier du pont Showa dû à la
liquéfaction du sol (séisme de Niigata, Japon,
juin 1964, Magnitude 7.6)*



*Rupture due à l'effort tranchant des piles de pont (séisme
de Chi-Chi, Taiwan, Septembre 1999, Magnitude 7.6)*

Pour ce qui est de l'Algérie, le comportement des ponts lors des séismes de Chlef (1980), de Chenoua (1989), de Beni Chougrane (1994), de Ain-Témouchent (1999), et enfin celui de Boumerdès (2003) a été de manière générale satisfaisant.

En ce sens, aucun ouvrage n'a été mis hors de service et aucune limitation de charge pour permettre l'acheminement des secours n'a été imposée, sauf pour le pont reliant Ben Aknoun – Dar El Beïda.



*Affaissement de la dalle de transition
(Séisme de Chlef, 1980)*



*Déplacement horizontal du tablier de pont Ben Aknoun
Dar El Beïda (Séisme de Boumerdès, 2003)*

Effet du séisme du 21 mai 2003



Déplacement latéral de la pile de pont sur Oued Sebaou



Endommagement des butées sismiques sous l'effet du mouvement transversal du tablier



Liquéfaction du sol au niveau de Oued Isser



Affaissement de terrain au niveau de l'ouvrage à Oued Isser



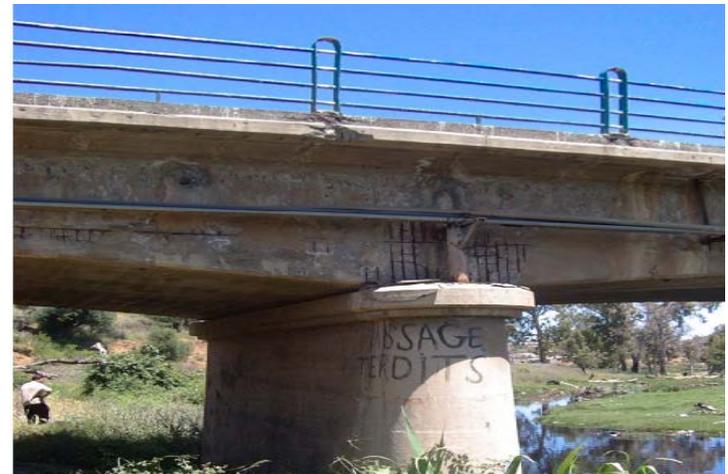
Décrochement du garde corps - Ben Aknoun Dar El Beida -



Voilement de la poutre de rive - Ben Aknoun Dar El Beida -



Déstabilisation de la maçonnerie de la culée



Rotation de la pile côté Boumerdès

A cet effet, les principaux cas de désordres constatés peuvent être résumés comme suit :

- **Fissures de différents degré au droit des parties d'ouvrages (piles, culées, chevêtres,....)**
- **Légères dégradations dans certaines poutres et piles**
- **Dégradation des équipements des ouvrages d'art (joints de chaussée, appareils d'appuis, dés d'appui)**
- **Déplacement latéral d'un tablier de pont**

Globalement :

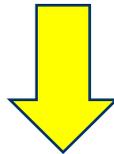
- ✓ **Peu ou pas de dégâts sur les ponts routiers, autoroutiers,...**
- ✓ **Bonne tenue des infrastructures routières**

... une des clefs de l'efficacité des secours

Néanmoins

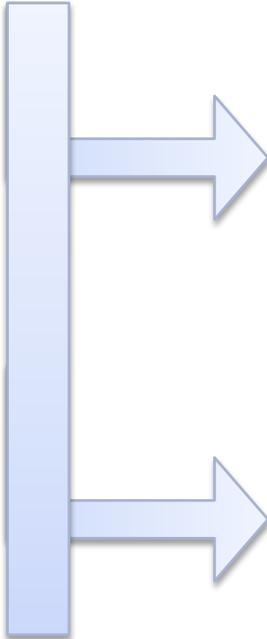
La protection de ces ouvrages et leur maintien en bon état de fonctionnement avant et après l'occurrence d'un séisme sont vitaux, non seulement pour l'acheminement rapide des secours, mais également en raison de leur coût extrêmement important.

Perte d'un ouvrage névralgique = Pertes économiques



Les pertes économiques liées à la fermetures des ponts peuvent même dépasser les coûts de reconstruction.

LES QUESTIONS POSÉES



Pourquoi les ponts algériens ont fait preuve jusqu'à présent d'un comportement satisfaisant vis-à-vis des Séismes ?

Quelle stratégie doit-on adopter pour sauvegarder le parc national déjà existant vis-à-vis d'un séisme de forte intensité ?

Qu'en est-il de la tenue aux séismes de ces ponts, conçus pour la plupart avant l'avènement des présentes RPOA - 2008 et selon des méthodes forfaitaires ?

En d'autres termes, il s'agit d'examiner de près les aspects suivants :

- ✓ **La vulnérabilité des ponts conçus antérieurement au RPOA-2008**
- ✓ **Le cas des ouvrages ayant basculé vers un zonage supérieur**

On ne peut pas pour autant étudier tous les ouvrages...

Cependant, sur le plan méthodologique et réglementaire :

- **Quels ouvrages traiter en priorité ?**
- **Quelles méthodes d'analyses pour les diagnostiquer ?**

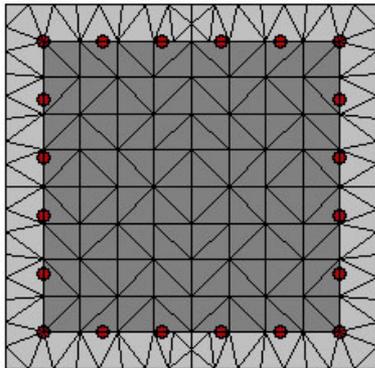
Des études récentes montrent que les courbes de fragilité sismiques sont des outils utiles pour l'évaluation du risque sismique des ponts routiers.

A cet effet, l'objectif principal assigné à ce travail de recherche est :

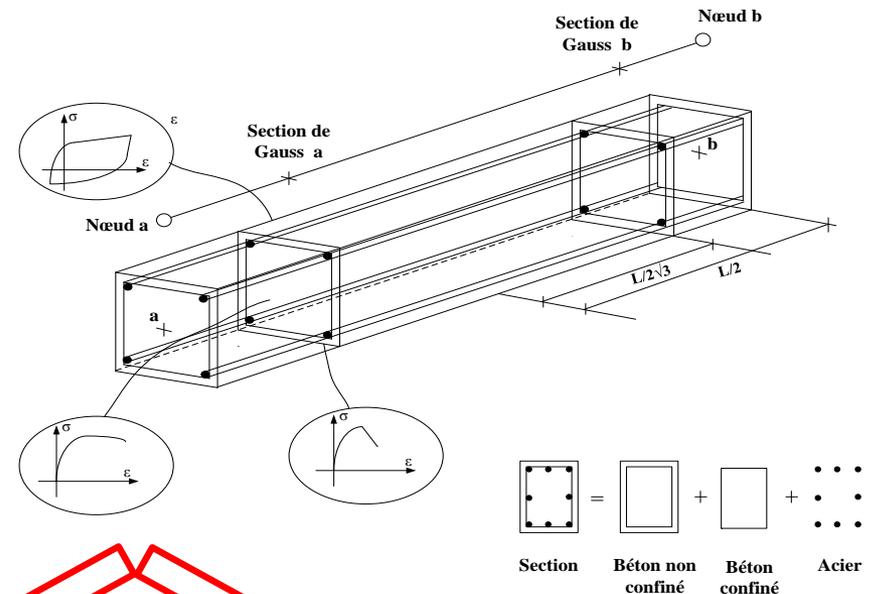
- ✓ La vulnérabilité sismique d'un pont, en termes de courbes de fragilité, conçu antérieurement au RPOA-2008, en considérant l'interaction du sol et de la fondation.**

Modélisation des éléments

Section fibrée



Élément



Élément infrmDB

élément basé sur les déplacements

Élément infrmFB

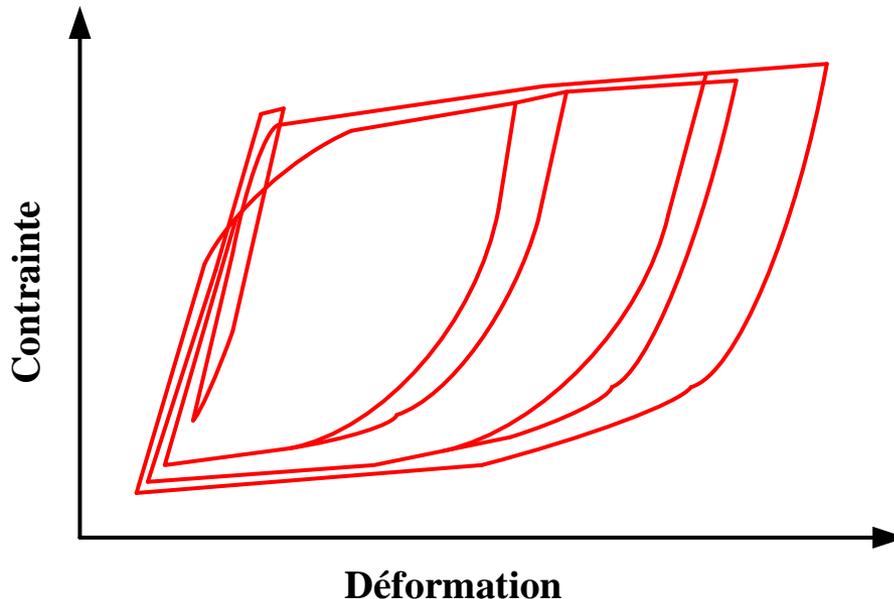
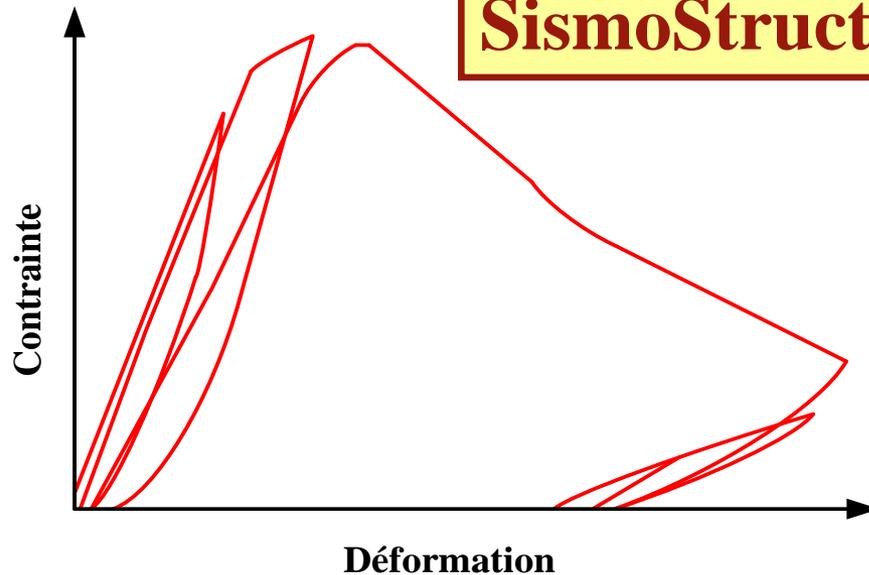
élément basé sur les forces

SismoStruct (2016)**Béton****Mander et al (1988)**

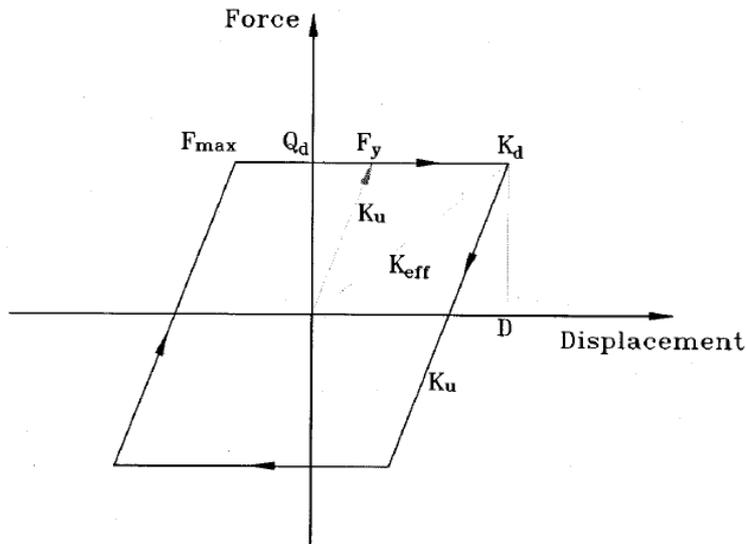
Le modèle proposé par **Mander et al.**, a été choisi dans cette analyse.

Acier**Menegotto et Pinto (1973)**

Le modèle utilisé est celui proposé par **Menegotto et Pinto.**



SismoStruct (2016)



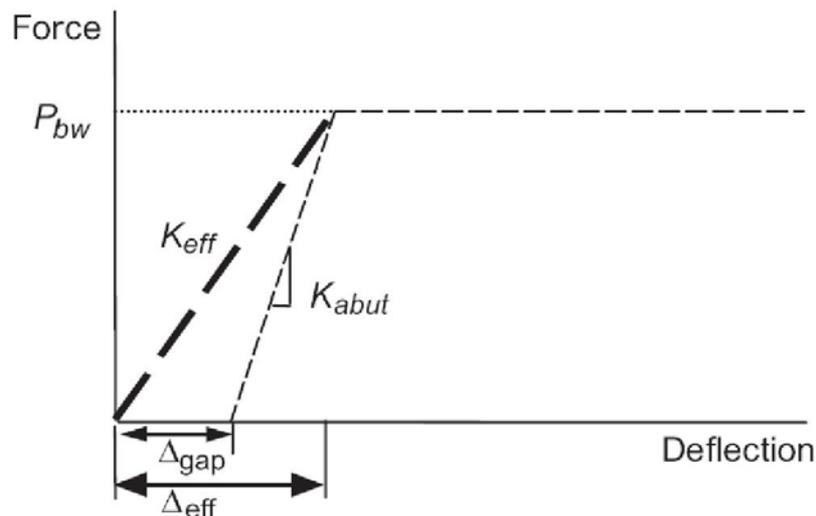
Appareils d'appui

AASHTO (2007)

Modèle le plus fréquemment utilisé en DNL. Il est défini par sa rigidité élastique K_y , sa résistance élastique F_y ainsi que les déplacements élastique et ultime.

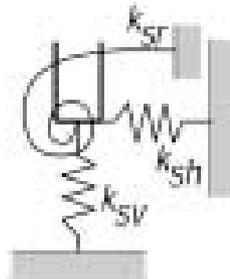
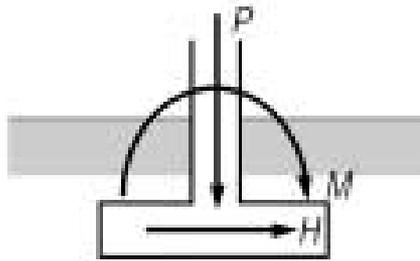
Culée

Aviram et al., (2008)



Le modèle utilisé est celui proposé par **Aviram et al., 2008** et Caltrans Seismic Design Criteria (Caltrans SDC, 2006).

Interaction Sol-fondation



FEMA 356

Modèle utilisé pour semelles peu profondes et rigides est celui des ressorts découplés préconisé par FEMA 356.

Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$	<p>bottom center</p> <p>Orient axes such that $L \geq B$</p>
Translation along y-axis	$K_{y, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z, sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rocking about x-axis	$K_{xx, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rocking about y-axis	$K_{yy, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$	
Torsion about z-axis	$K_{zz, sur} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$	

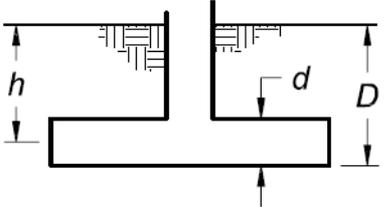
FEMA 356

Raideurs des ressorts de Sol en surface

Interaction Sol-fondation

FEMA 356

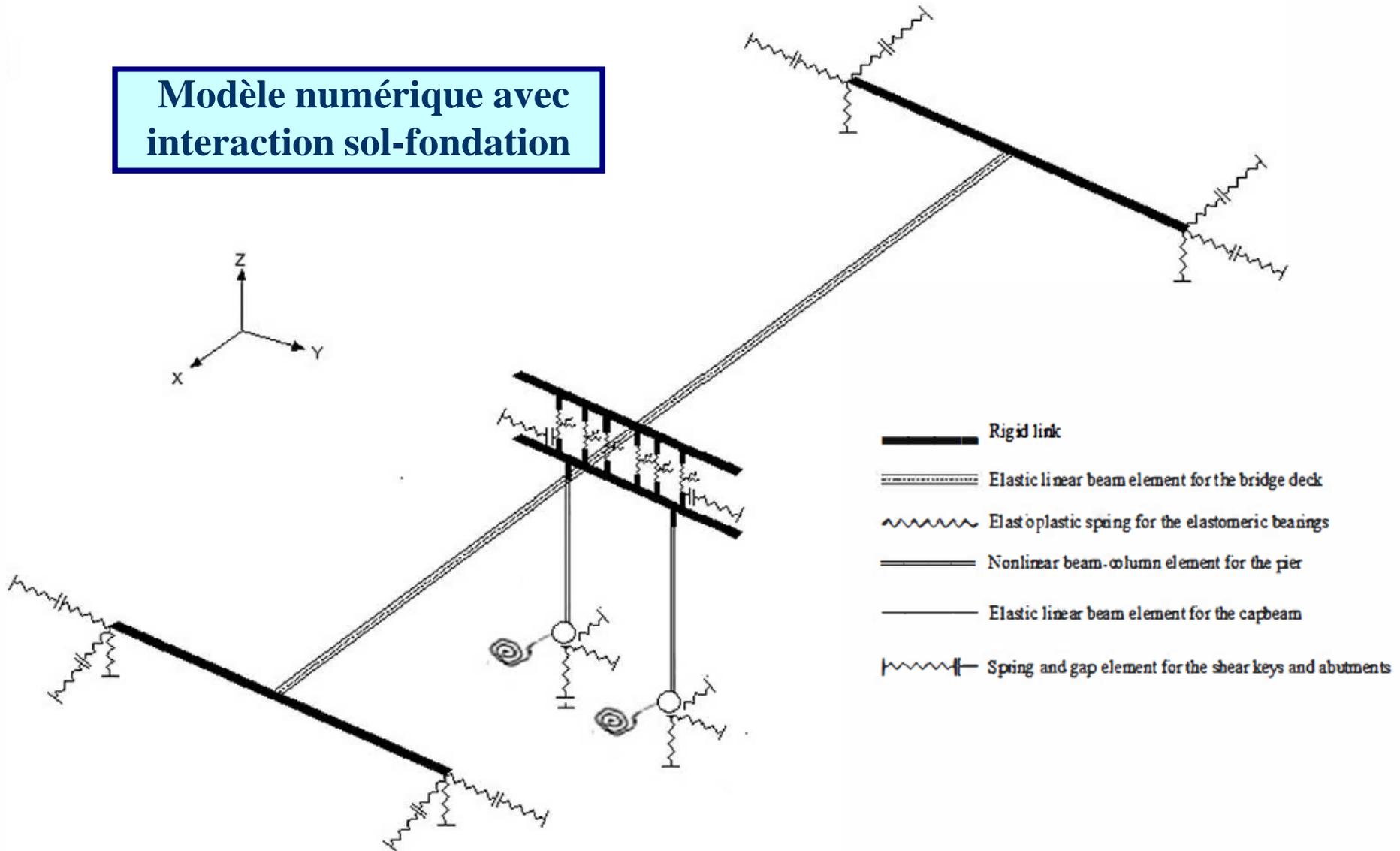
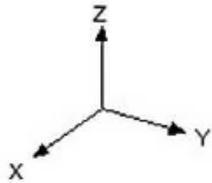
Facteurs de correction des raideurs de ressorts de sol pour des fondations encastrée à une profondeur D par rapport à la surface du sol.

Degree of Freedom	Correction Factor for Embedment	Note
Translation along x-axis	$\beta_x = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}}\right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{BL^2}\right)^{0.4}\right]$	 <p>d = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height) h = depth to centroid of effective sidewall contact</p>
Translation along y-axis	$\beta_y = \beta_x$	
Translation along z-axis	$\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L}\right)\right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL}\right)^{2/3}\right]$	
Rocking about x-axis	$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}}\right]$	
Rocking about y-axis	$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L}\right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L}\right)^{1.9} \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.6}\right]$	
Torsion about z-axis	$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{d}{B}\right)^{0.9}$	

For each degree of freedom, calculate

$$K_{emb} = \beta K_{sur}$$

Modèle numérique avec
interaction sol-fondation



États limites

Un état limite est un critère défini comme la valeur de la demande structurelle qu'un système est incapable d'atteindre, à un niveau spécifié : endommagement ou défaillance. L'état d'endommagement ou de défaillance peut être spécifié à travers des limites sur n'importe quel paramètre de réponse tel que : contraintes, déformations, déplacements, accélérations.

États limites qualitatifs

Sont ceux définis de façon observationnelle et descriptive. Ils peuvent être déterminés lors des évaluations d'endommagements après un évènement sismique ou lors des recherches grâce aux essais expérimentaux.

États limites quantitatifs

Sont ceux corrélés aux états limites qualitatifs par une réponse de déformation définissable, par exemple des déformations, des courbures, des rotations. Ces valeurs sont obtenues par des expériences de laboratoire ou des modélisations numériques sur des composants de ponts.

a/ Piles

Evaluation du dommage

Indice de dommage
Park & Ang (1985)



$$DI = \frac{\mu_d + \beta \mu_h}{\mu_u}$$

Rapport entre l'indice de dommage DI et la classe de dommage DR (Ghobarah et al.,97)

Indice Dommages (DI)	La Classe de Dommage (DR)	Définition
0.00 < DI ≤ 0.14	D	Aucun Dommage
0.14 < DI ≤ 0.40	C	Dommages légers
0.40 < DI ≤ 0.60	B	Dommages Modérés
0.60 < DI < 1.00	A	Dommages Etendus
1.00 ≤ DI	As	Dommages Complets

β : Facteur de chargement cyclique = 0,15

μ_u : Ductilité ultime

$$\mu_u = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

μ_h : Ductilité cumulative d'énergie par hystérésis

$$\mu_h = \frac{E_h}{E_e}$$

E_h : Energie cumulative par hystérésis (obtenue à partir d'une analyse dynamique)

E_e : Energie élastique à la limite élastique (obtenue à partir d'une analyse statique)

μ_d : Demande en ductilité

$$\mu_d = \frac{\delta_{max}}{\delta_y}$$

Evaluation du dommage

b/ Appareils d'appui

Les états de dommage dus aux déformations des culées sont estimés d'après le comportement de modèles analytiques basé sur l'étude de Choi (**Choi, 2002**).

Etat de dommage	Aucun Dommage	Dommage Léger	Dommage Modéré	Dommage Étendu	Dommage Complet
Appareils d'appuis en élastomère δ : déplacement en (mm)	$\delta < 50$	$50 < \delta < 100$	$100 < \delta < 150$	$150 < \delta < 255$	$255 < \delta$

Evaluation du dommage

c/ Culées

Les états de dommage dus aux déformations des appareils d'appuis en élastomère fretté sont estimés d'après le comportement de modèles analytiques basé sur l'étude de Choi (**Choi. 2002**).

Etat de dommage	Aucun Dommage	Dommage Léger	Dommage Modéré	Dommage Étendu	Dommage Complet
Culées actives δ : déplacement en (mm)	$\delta < 4$	$4 < \delta < 8$	$8 < \delta < 25$	$25 < \delta < 50$	$50 < \delta$

Courbe de fragilité

Les courbes de fragilité indiquent la probabilité d'atteindre un état de dommage défini. Cinq états de dommages ont été utilisés (Etats limites qualitatives, Hazus-MH, 2003) : aucun dommage, léger, modéré, sévère et complet. La distribution de probabilité cumulée pour chaque état de dommages et pour chaque composante du pont a été

États de Dommages	Description	Etat de service du pont
Aucun Dommage (N)	Pas de dommage sur le pont.	Ouvert au trafic
Dommage Léger (S)	Légères fissures aux appuis (piles et culées) ou au tablier. Ces dommages exigent de petites réparations.	Opérationnel sans réparation
Dommage Modéré (M)	Fissures de cisaillement aux piles/colonnes. Un déplacement modéré du tablier.	Opérationnel après réparation
Dommage Étendu (E)	Piles/colonnes dégradées sans effondrement. Déplacement important dans les joints. Déplacement du tablier. Tassement de la dalle de transition au niveau des culées.	Fermé au trafic (réparation coûteuse ou remplacement).
Dommage total(C)	Effondrement de n'importe quelle pile/colonne. Perte d'appui pouvant entraîner la rupture du tablier, inclinaison de la structure suite à la rupture des fondations.	Rupture (remplacement).

Les courbes de fragilité sont un outil très utile pour l'évaluation du risque sismique des ponts.

Une courbe de fragilité représente la probabilité qu'une structure soit endommagé au-delà d'un état d'endommagement donné pour différents niveaux de séisme.

Etant donné que la majorité des ponts algériens ont plus de 40 années de service et que ces ponts n'ont pas été **conçus à l'époque à l'aide de normes parasismiques algériennes**.



La génération de courbes de fragilité pour ces structures s'avère plus que nécessaire.

Ces courbes peuvent servir à estimer les dommages et les pertes économiques causé par un séisme et à prioriser les réparations ou les réhabilitations sismiques des ponts.

➤ Méthodes de construction des courbes de fragilité pour les ponts

➤ Courbes de fragilité empirique

Basé sur les analyses statistiques sur les dommages des ponts lors des séismes précédents.

➤ Courbes de fragilité analytique

Construire les courbes de fragilité grâce aux simulations numériques et la réponse sismique des ponts.

Méthode analytique de la réponse sismique

Analyse par spectre de réponse

Analyse statique non linéaire

Analyse dynamique non linéaire

Courbes de fragilité analytiques pour les ponts

La probabilité d'occurrence des dommages cumulée P_R , égale ou supérieure à un certain rang R , est définie comme suit :

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

Φ : Fonction standard de distribution normale

X : Indice de mouvement du sol (eg. PGA)

λ : Moyenne de $\ln X$

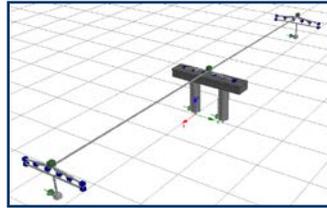
ζ : Ecart type de $\ln X$

Les courbes de fragilité sont construites en supposant une distribution log-normale des dommages.

Les deux paramètres λ et ζ sont obtenus par le code d'optimisation (outil Solveur) inclus dans Microsoft Excel .

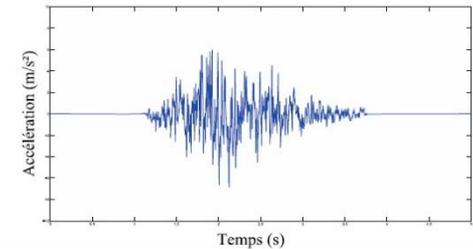
Modèle numérique

Modélisation du pont
avec le logiciel
SeismoStruct



Accélérogrammes

Sélection d'accélérogrammes

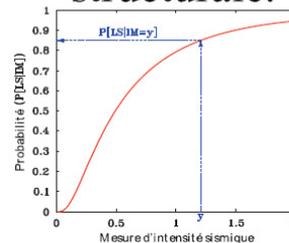


Demande sismique

Calcul de la demande
sismique par
analyses dynamiques
non linéaires

Courbes de fragilité

Combinaison de la demande
sismique et de la capacité
structurale.



Capacité structurale

Définition des états-limites
d'endommagement

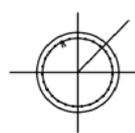
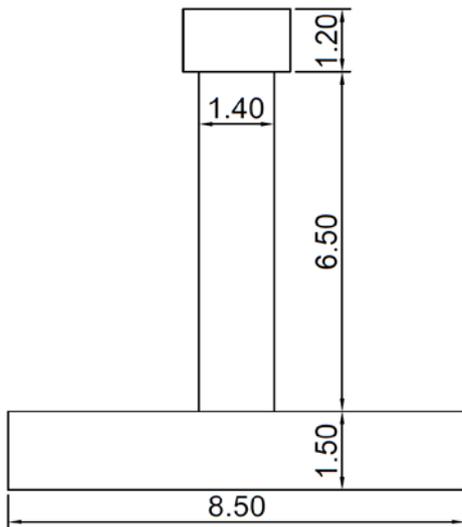
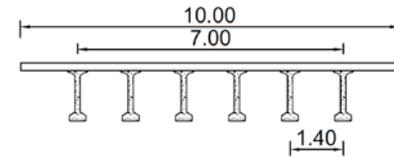
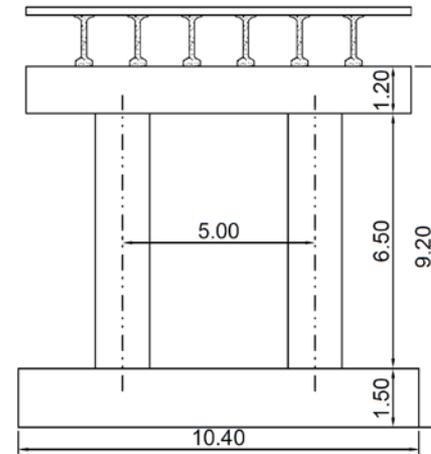
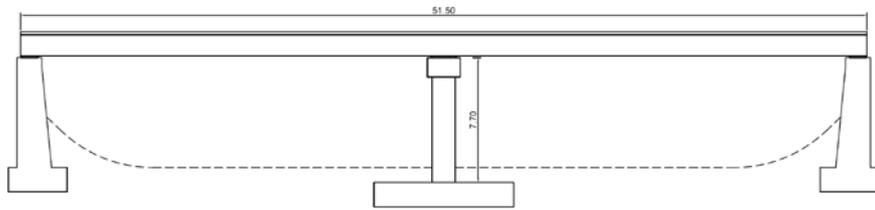
Cas d'étude



- Pont routier couramment réalisé en Algérie
- Longueur totale de 51.50 m pour 2 travées de 24.70 m chacune.
- Le tablier, de largeur 10m et d'épaisseur 20 cm repose sur 6 poutres isostatiques en BP de hauteur 1.30 m et d'entre-axe 1.40m.
- Les poutres reposent sur des appareils d'appui en élastomère fretté.
- La pile est composée de deux (02) fûts circulaires de diamètre $D=1.40$ m et de hauteur $H=6.50$ m.
- Le ferrailage longitudinal des fûts est constitué de 27T32, quant au ferrailage transversal, des cerces de diamètre T16 avec un espacement de 15 cm est adopté.
- Le pont est classé dans la catégorie de ponts importants (groupe 2), présente un biais géométrique de 100 grades, et est implanté en zone de forte sismicité (Zone III).

Cas d'étude

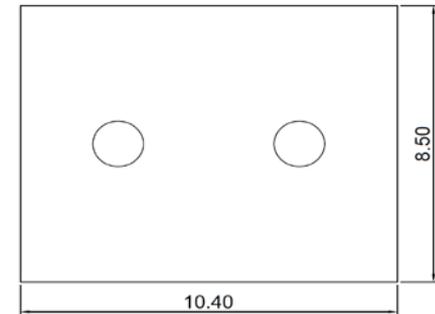
Détails constructifs du pont



$\phi=1.40$ m

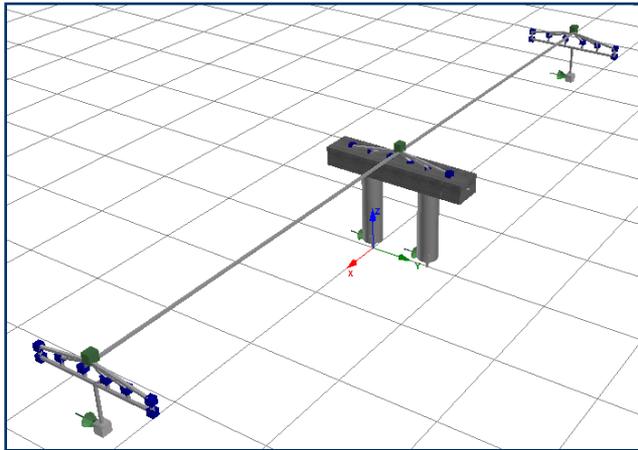
AI=27HA32

At=HA16/e=15cm

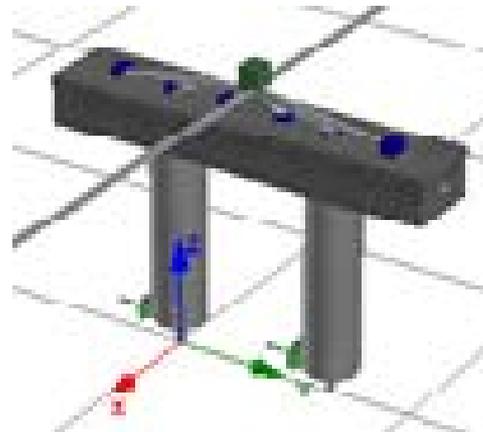
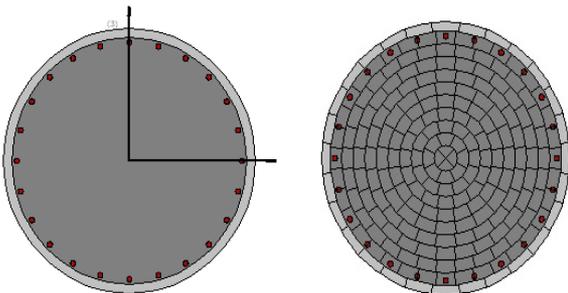


Modélisation des matériaux

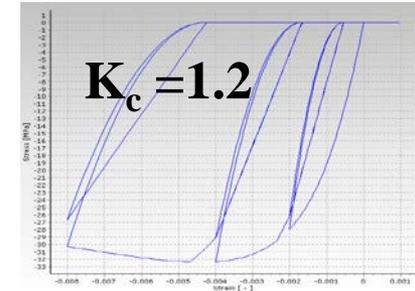
modèle numérique



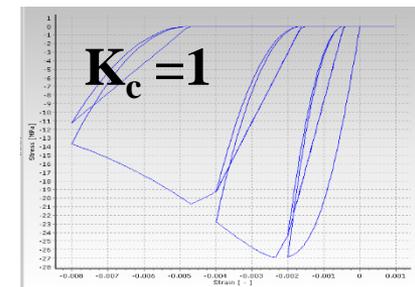
Section fibre



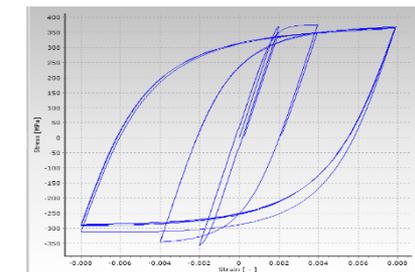
Béton confiné



Béton non confiné

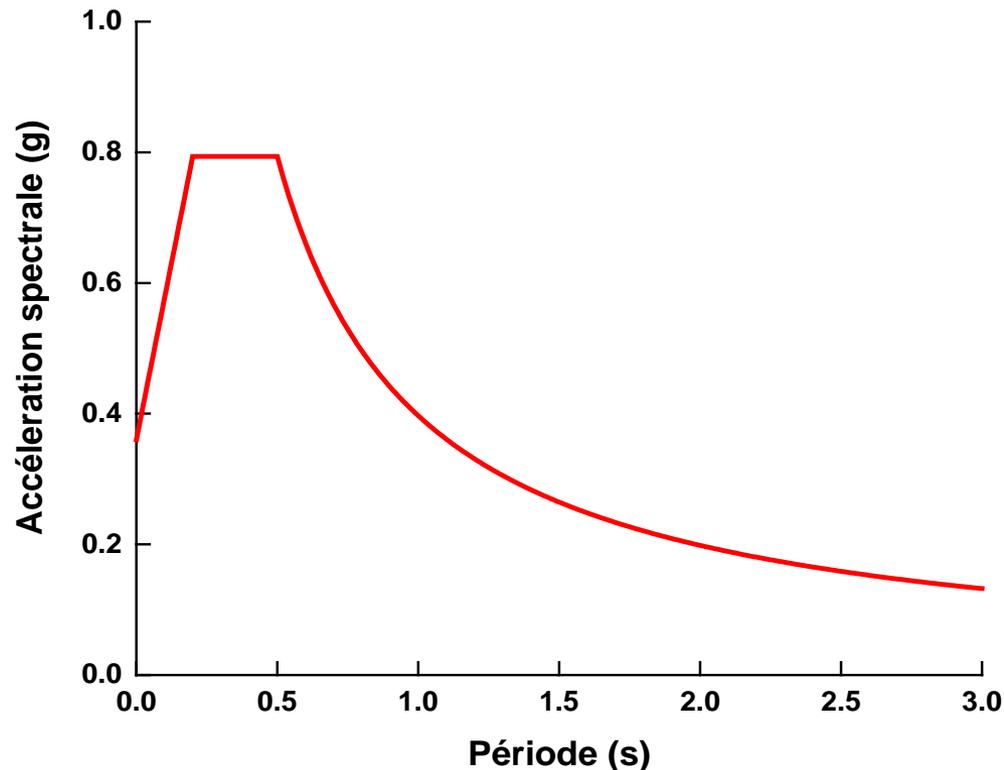


Acier



Spectre cible

Selon le RPOA 2008, le pont est classé dans la catégorie de ponts importants (groupe 2), réalisé en zone de forte sismicité (zone sismique III), et implanté sur un sol de fondation supposé être meuble, de type S3.



Analyse dynamique non linéaire

Le modèle numérique du pont, a été développé et analysé à l'aide du logiciel Seismostruct. Ce logiciel à base d'éléments finis est capable de prédire le comportement de structures spatiales sous chargements statiques ou dynamiques, prenant en compte la non linéarité géométrique et l'inélasticité des matériaux.

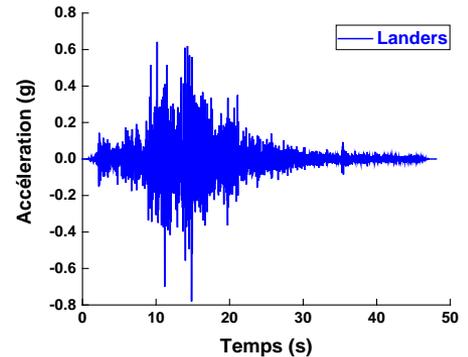
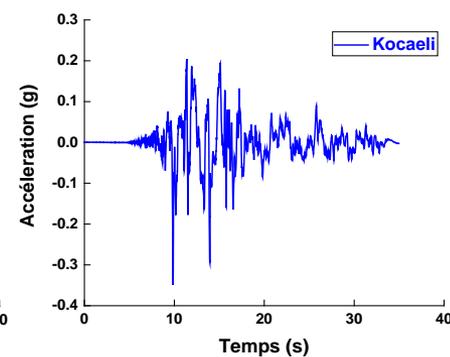
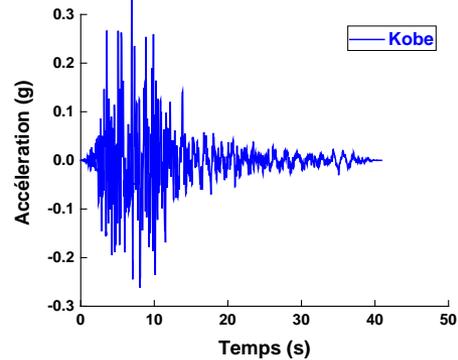
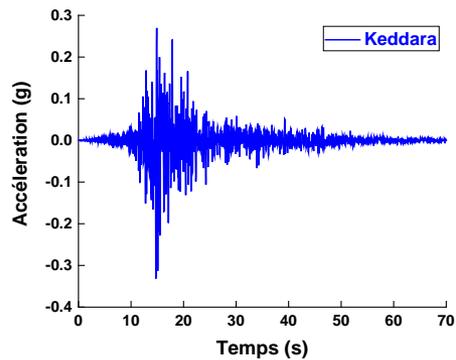
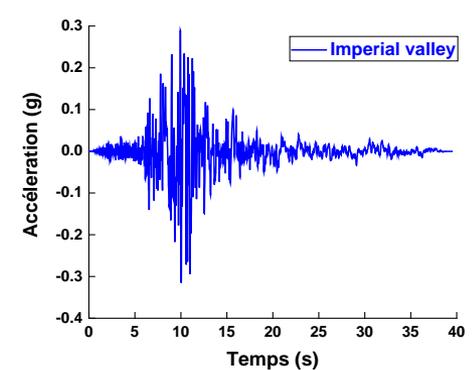
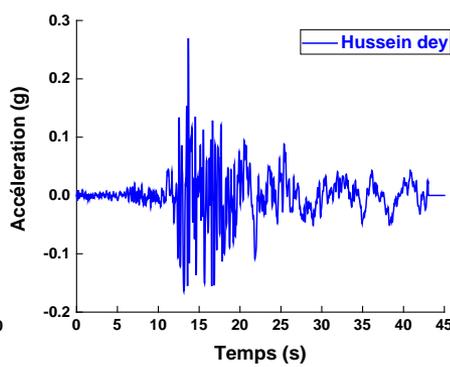
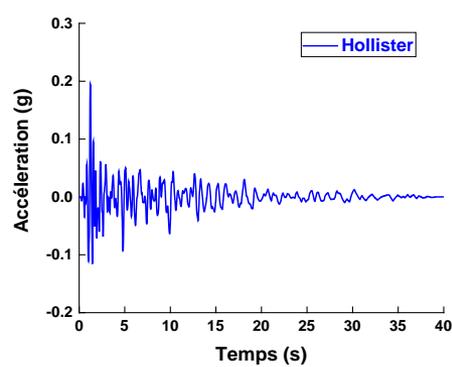
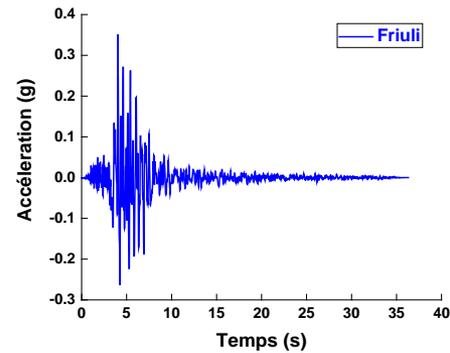
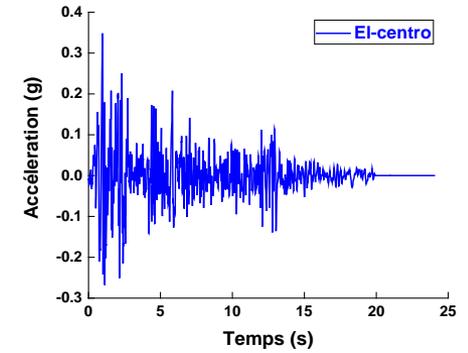
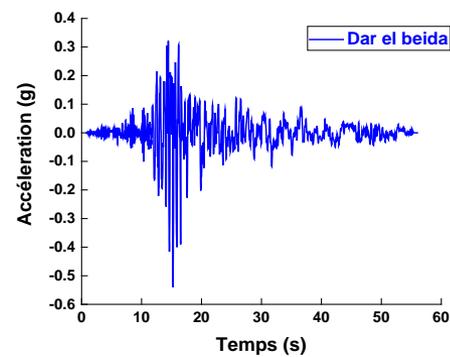
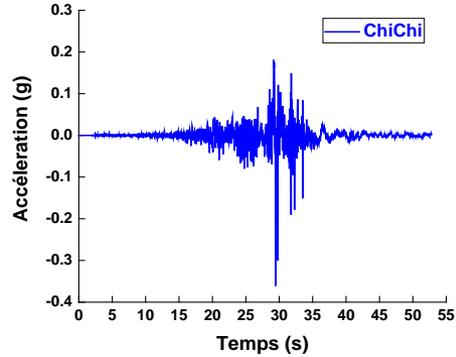
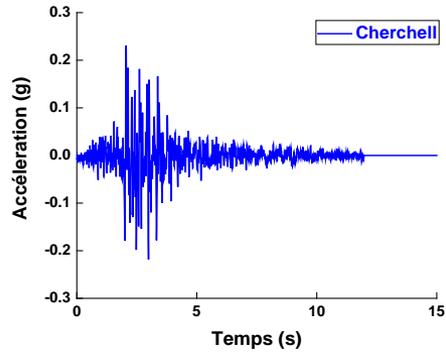
Le programme possède une grande bibliothèque d'éléments finis et d'éléments non linéaires.

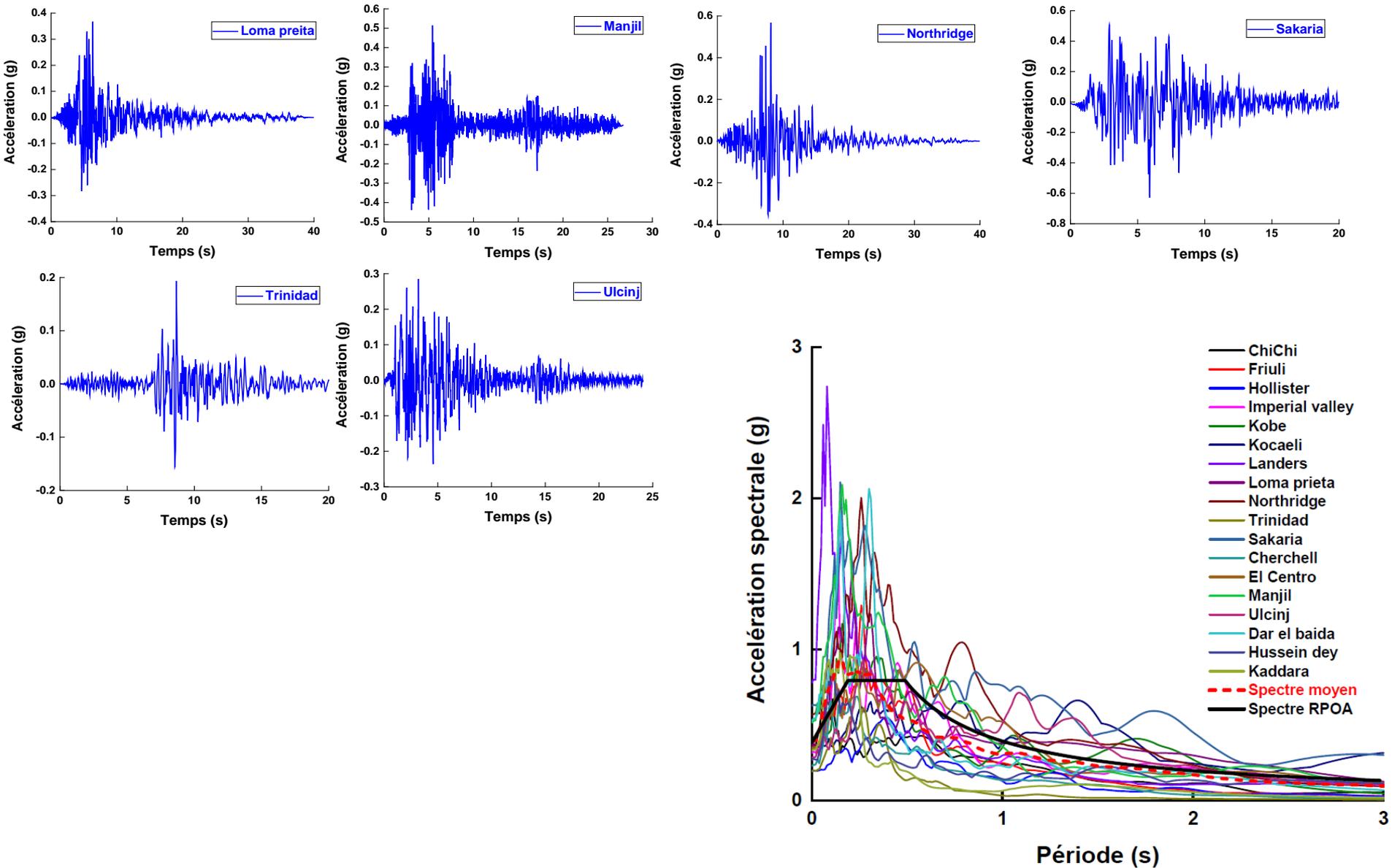


Accélérogrammes réels

Dix-huit (18) accélérogrammes réels ont été sélectionnés pour cette étude.

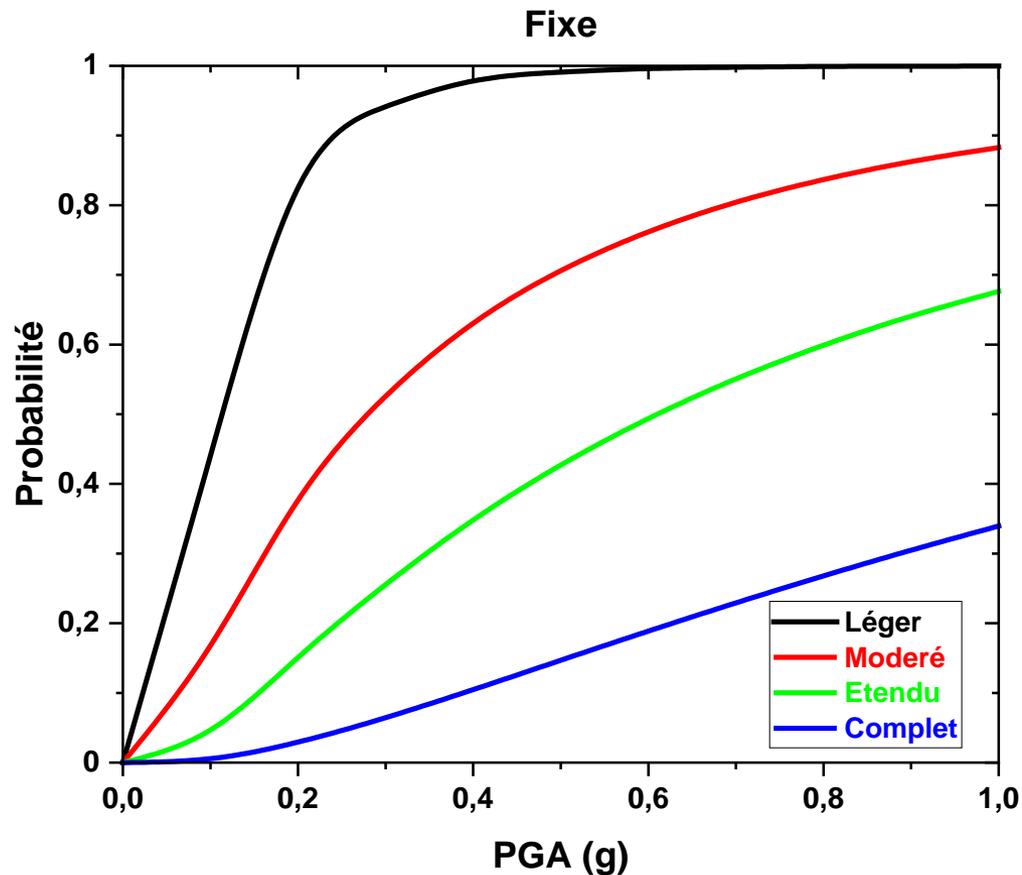
N °	Séisme	Date	Magnitude	PGA (g)
01	Kobe, Japon	17.01.1995	7.2	0.345
02	Friuli, Italie	06.05.1976	6.5	0.351
03	Kocaeli, Turquie	17.08.1999	7.4	0.349
04	Loma Prieta, Etats Unis	18.10.1989	7.1	0.367
05	Chi-Chi, Taiwan	20.08.1999	7.6	0.361
06	Northridge, Etats Unis	17.01.1994	6.7	0.568
07	Imperial Valley, Etats Unis	15.10.1979	6.9	0.315
08	Landers, Etats Unis	28.06.1992	7.3	0.781
09	El Centro, Etats Unis	18.05.1940	6.9	0.348
10	Ulcinj, Montenegro	15.04.1979	6.9	0.285
11	Cherchell, Algérie	29.10.1989	5.7	0.230
12	Sakaria, Turquie	17.08.1999	7.4	0.628
13	Manjil, Iran	21.06.1990	7.4	0.515
14	Keddara, Algérie	21.05.2003	6.8	0.332
15	Hussein Dey, Algérie	21.05.2003	6.8	0.269
16	Trinidad (Morgan Hills), Etats Unis	24.06.1984	6.2	0.194
17	Hollister, Etats Unis	09.04.1961	5.6	0.195
18	Dar El Baida, Algérie	21.05.2003	6.8	0.539





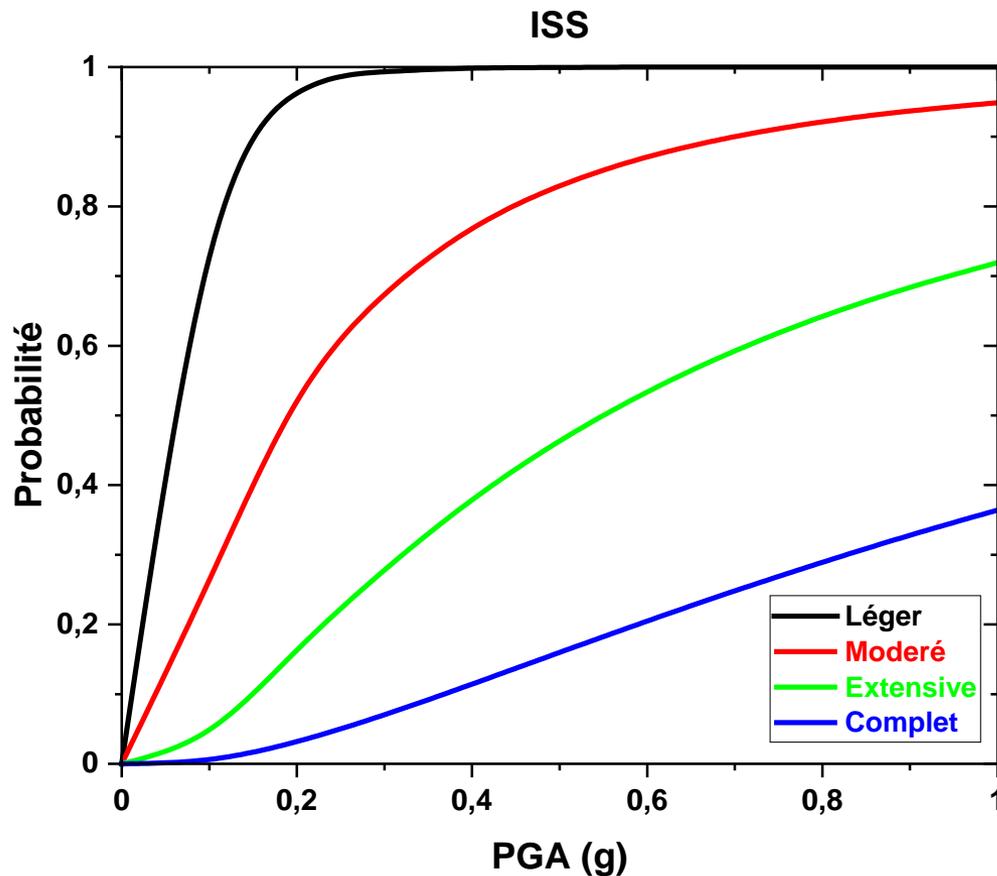
1. Courbes de fragilité des piles

a. Système fixe (sans considération de l'interaction sol-fondation)



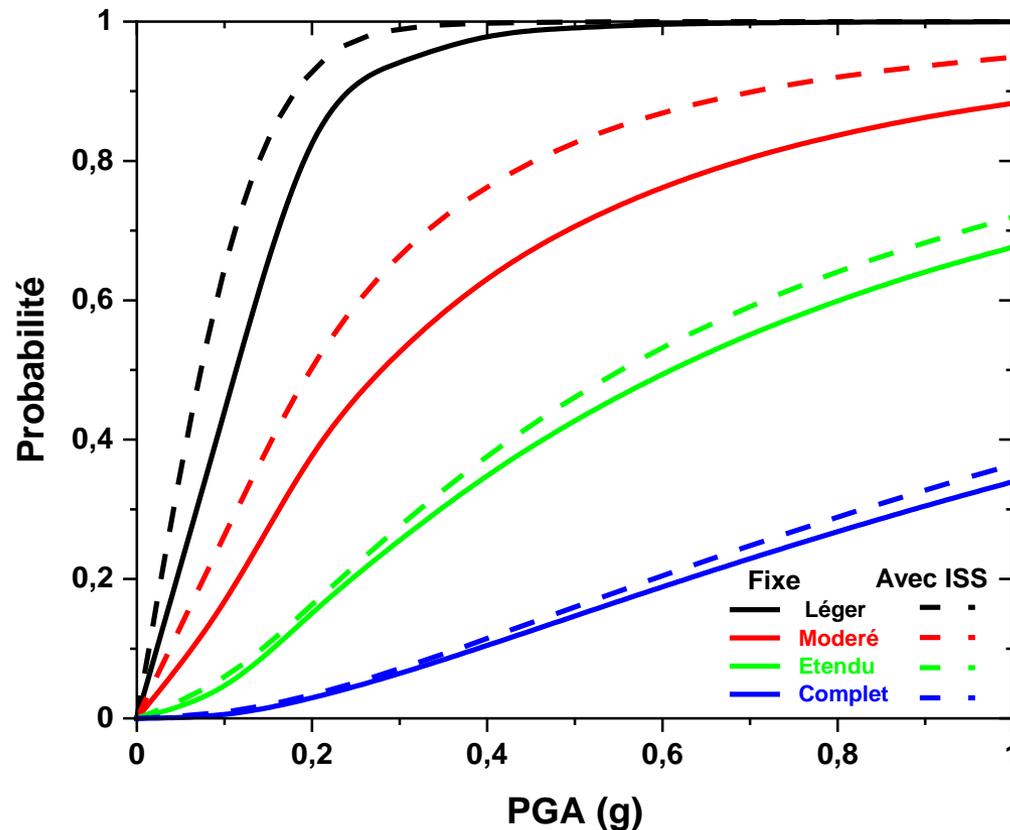
1. Courbes de fragilité des piles

b. Système ISS (avec considération de l'interaction sol-fondation)



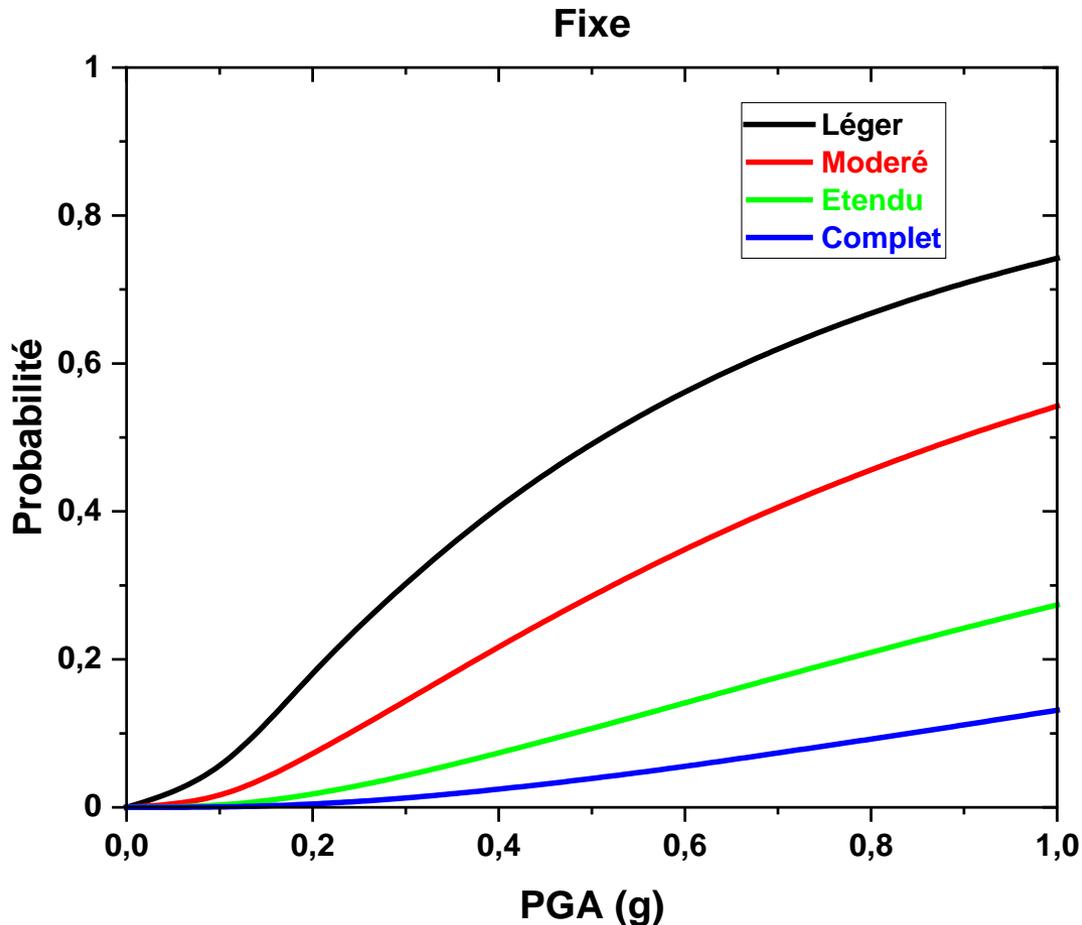
1. Courbes de fragilité des piles

c. Comparaison des courbes de fragilité (Système fixe avec système ISS (sans et avec considération de l'interaction sol-fondation))



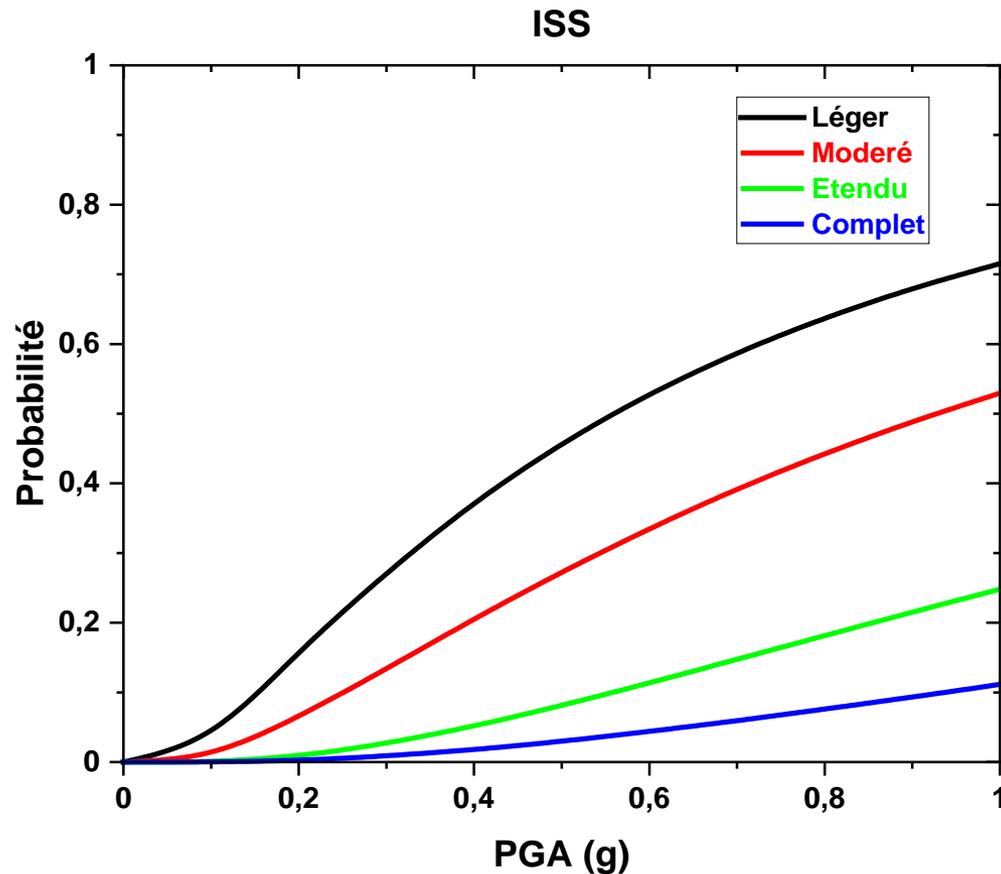
2. Courbes de fragilité des appareils d'appui

a. Système fixe (sans considération de l'interaction sol-fondation)



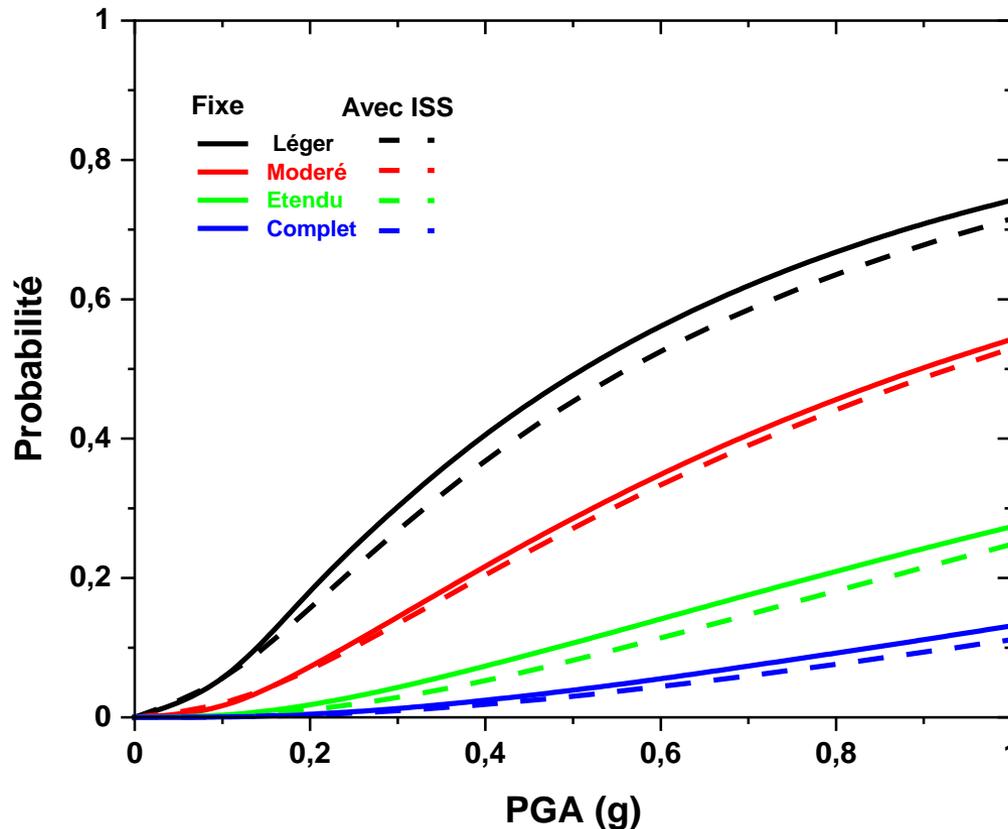
2. Courbes de fragilité appareils d'appui

b. Système ISS (avec considération de l'interaction sol-fondation)



2. Courbes de fragilité des appareils d'appui

c. Comparaison des courbes de fragilité (Système fixe avec système ISS (sans et avec considération de l'interaction sol-fondation))



3. Courbes de fragilité des culées

Les courbes de fragilité des culées ne sont pas représentées car elle sont très rigides d'une part et d'autre part, la probabilité d'atteindre l'un des états limites est d'environ zéro (0) pour des valeurs de PGA variant de 0 jusqu'à 4 g.

Constataion

D'après les figures précédentes relatives aux **courbes de fragilité des piles et des appareils d'appui**, les piles sont apparues comme étant les composantes les plus vulnérables par rapport aux appareils d'appuis et ce quelque soit l'état de dommage (léger, modéré, étendu et complet).

4. Courbes de fragilité du pont (système en entier)

D'après les résultats précédents, il a été observé que différentes composantes contrôlent la vulnérabilité (fragilité) du pont pour différents niveaux de demande et d'états de dommages. Dans ce cas d'étude, les piles sont plus vulnérables que les appareils d'appui et les culées. Par conséquent, il est nécessaire de combiner les courbes de fragilité des composantes en courbes de fragilité pour le pont (l'ensemble du système de pont). Ainsi donc, les courbes de fragilité du système peuvent être obtenues en combinant les courbes de fragilité des composantes à l'aide de l'équation suivante :

P_f : la probabilité de défaillance du pont.

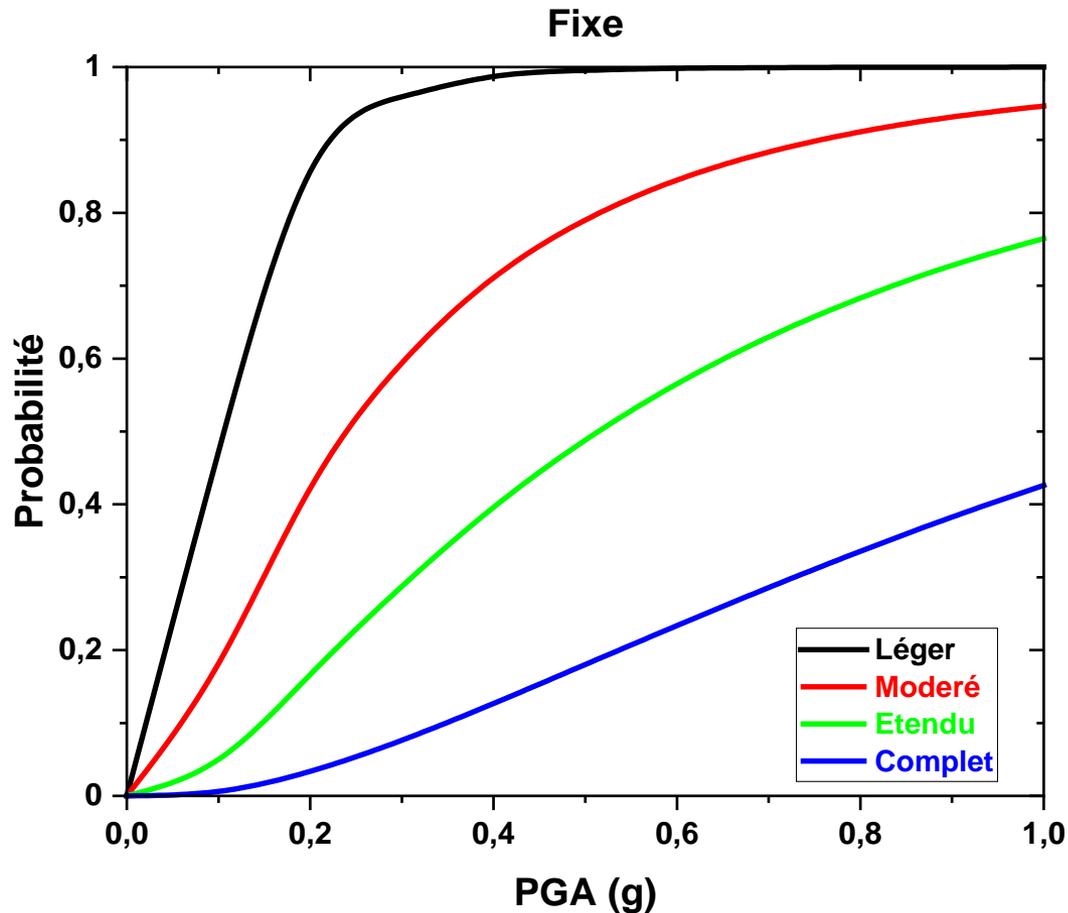
$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

P_i : la probabilité de défaillance de chaque composante du pont.

n : le nombre de composantes du pont.

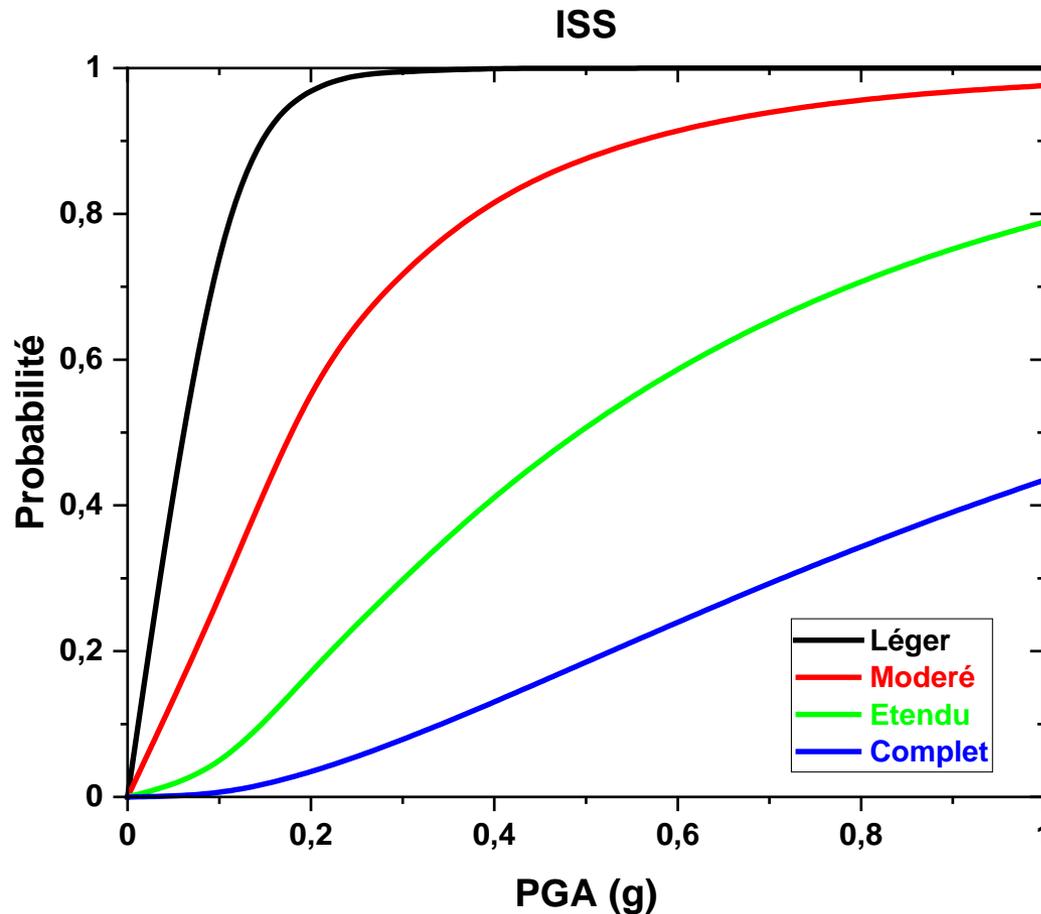
4. Courbes de fragilité du pont

a. Système à base fixe (sans considération de l'interaction sol-fondation)



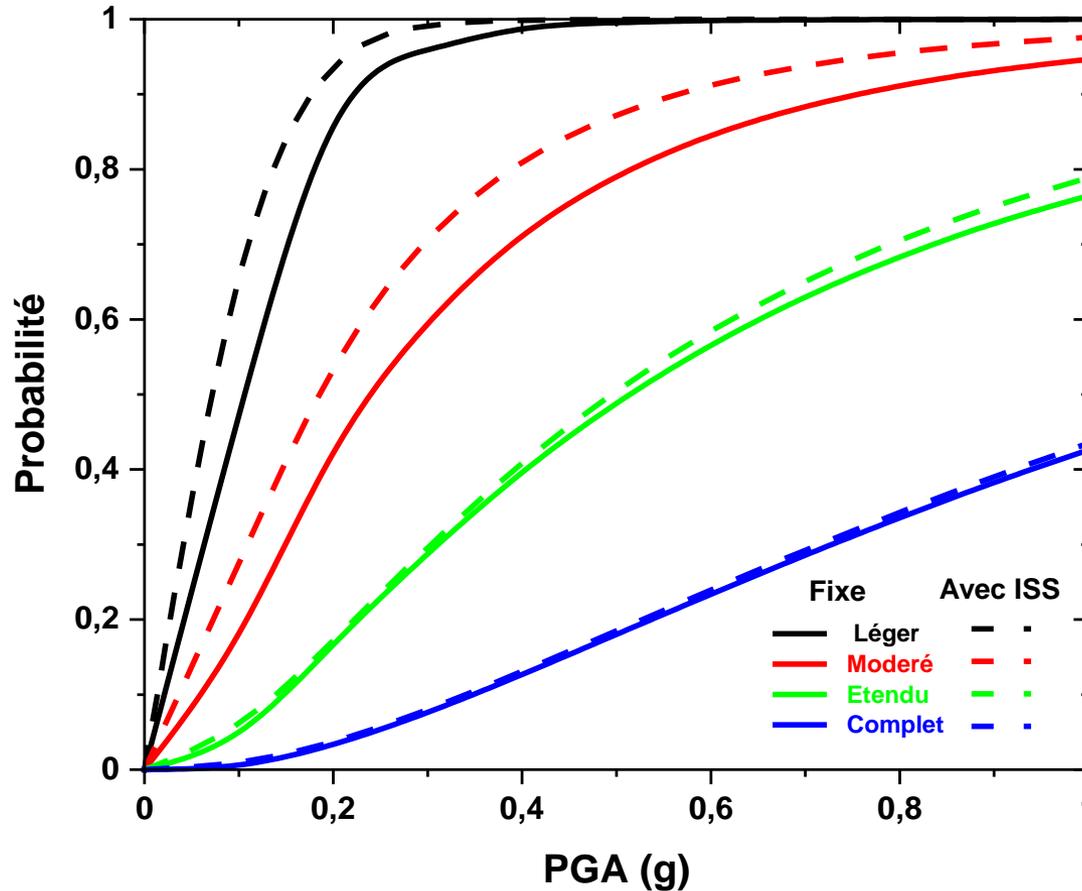
4. Courbes de fragilité du pont

b. Système avec ISS (avec considération de l'interaction sol-fondation)



4. Courbes de fragilité du pont

c. Comparaison des courbes de fragilité du pont (Système à base fixe avec système ISS (sans et avec considération de l'interaction sol-fondation))



- Au fur et à mesure que la demande augmente en termes de PGA, les piles ont connu des probabilités de dépassement des différents états de dommages plus élevées (léger, modéré, étendu et complet), ce qui a entraîné une plus grande vulnérabilité par rapport aux appareils d'appuis en élastomères frettés.
- La prise en compte des effets de l'interaction du sol avec les fondations (ISS) augmente la probabilité de défaillance pour les piles mais par contre, diminue la probabilité de défaillance pour les appareils d'appuis.
- Les effets de la prise en compte du sol de fondation sur la réponse du pont, montrent que la flexibilité du sol de fondation allonge les périodes modales du pont, impliquant l'augmentation de la demande en déplacement de la structure et par conséquent le niveau de dommage également.

- **La prise en compte de l'ISS dans l'évaluation de la vulnérabilité sismique affecte à la fois les composantes du pont et le système en entier. Bien qu'elle ait un effet sur les composantes, celle-ci reste peu significative par rapport au système en entier (pont).**
- **Les courbes de fragilité résultantes pour les composantes du pont et le système de pont ont montré que ce dernier est plus vulnérable que n'importe quelle composante du pont.**
- **De plus, les analyses ont mis en évidence que la vulnérabilité du pont augmente à mesure que l'état du sol est mauvais.**

1-Cette étude a été limitée à une seule classe de ponts (ponts à poutres isostatiques en BP) et il n'a pas été pris en compte les différentes conditions de sol (S2, S3 et S4) contenues dans le RPOA-2008, la non-linéarité du sol, le couplage entre le mouvement de basculement et le mouvement de translation des fondations, ainsi que les différentes configurations de ponts existant dans le parc national des ouvrages d'art algérien.

2- Les courbes de fragilité développées dans le cadre de cette étude ont été dérivées en considérant l'accélération maximale au sol (PGA), qui est considéré comme étant un paramètre général, ne caractérisant pas convenablement les classe de sol.

3- Si, ces mêmes courbes venaient à être dérivées en utilisant d'autres paramètres caractéristiques du mouvement sismique tels que, par exemple, la vitesse maximale au sol (PGV) ou l'accélération spectrale (Sa), le niveau de dommage escompté aurait été différent. De ce fait, il serait souhaitable de se pencher sur cet aspect.

*Merci pour votre
attention*