Approche intégrée pour la prise en compte des incertitudes dans l'estimation des taux de réparations des conduites enterrées

Ilyas Soulimane [1] , Djawad Zendagui [1]

[1] *Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, Laboratoire (RISAM), Algerie.(s_ilyes@hotmail.fr)*

RÉSUMÉ. Les modèles d'estimation du taux de réparations (RR) donnent le RR en fonction des paramètres du sol. Ces modèles ne prennent pas en considération l'incertitude qui caractérise les paramètres du sol.
L'objectif de ce papier est de prendre en considération les incertitudes citées plus haut à travers une méthodologie qui permet en plus, d'intégrer plusieurs modèles de prédiction les paramètres du sol avec leurs incertitudes. Quatre méthodes d'estimations du RR sont établies.
Les résultats obtenus montrent qu'à travers cette méthodologie, la prise en compte de l'ensemble des incertitudes est la plus stable et se caractérise par une faible variation.

ABSTRACT. The estimation models of the repair rate RR are established through soil parameters. These models do not take into account the uncertainty that characterizes the soil parameters.
The objective of this paper is to take into account the uncertainties mentioned above through a methodology which allows to integrate several models of prediction and parameters of the ground with their uncertainties. Four estimation methods of RR are established.
The obtained results show that through the developed methodology, the method which takes into account all the uncertainties is the most stable and is characterized by a small variation.

MOTS-CLÉS: Conduites, vulnérabilité sismique, taux de réparation RR.

KEY WORDS: Pipelines, seismic vulnerability, repair rate RR.

1. Introduction

La vulnérabilité des conduites enterrées n'est pas très étudiée car peu de données sont collectées après les séismes [EID 01]. L'outil utilisé pour évaluer la vulnérabilité se nomme le Repair Rate (noté RR) qui signifie le taux de réparation par unité de mesure des conduites [PIN 10]. Ce RR est donc le nombre nécessaire de réparations des conduites enterrées suite à un séisme par une unité de longueur liée aux paramètres de mouvement de sol (GMP), pour cela, il est évident que le degré de confiance de ces approches qui fournissent ce paramètre doit être pris en compte. Ces approches sont données par les relations d'atténuations également connu par GMPE. La considération de la variabilité de la GMPE à la fois épistémique et aléatoire a reçu un intérêt particulier de la part des chercheurs. Paradoxalement cette variabilité n'a été prise en compte dans l'évaluation des taux de réparation pour les conduites enterrées.

Ce papier vise à développer une méthodologie qui tient compte de la variabilité inhérente des GMPE et de la variation du taux de réparation lors de l'évaluation des dommages liés aux conduites souterraines.

2. Mise en place de la méthodologie:

L'évaluation des dégâts relatifs aux conduites enterrées peut être effectuée pour un scénario sismique donné. Donc le résultat est singulier par rapport à un cas particulier tel que la distance épicentrale (Rjb) ou le type de sol [AKK 10]. Pour tenir compte des erreurs cumulés on considère un scénario particulier et on suppose qu'on a n GMPE disponible ($\mathrm{GMPE_i}\ \ \mathrm{i} = 1,..,\mathrm{n}$). Chaque modèle# i de GMPE fournit une estimation de GMPi. Par conséquent pour un même paramètre sismologique et paramètre du site, deux modèles de GMPE donnent différentes valeurs de taux de réparations $\mathrm{RR_{(GMP_i)}}$ et $\mathrm{RR_{(GMP_j)}}$. Si on étend ce processus pour n GMPE, on obtient n valeurs des taux de réparations $\mathrm{RR_{(GMP_i)}}, \mathrm{i} = 1..\mathrm{n}$.

Une première méthode consiste à calculer la moyenne des n valeurs de $\mathrm{GMP_i}, \mathrm{i} = 1..\mathrm{n}$

$$\overline{\mathrm{GMP}} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \mathrm{GMP_i}.$$

Cette valeur sera nommée méthode#1.

$$\mathrm{RR}^{(1)} = \mathrm{RR}_{(\overline{\mathrm{GMP}})} \qquad [1]$$

La méthode#2 consiste à calculer la valeur moyenne des $\mathrm{RR_{(GMP_i)}}$.

$$\mathrm{RR}^{(2)} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \mathrm{RR_{(GMP_i)}} \qquad [2]$$

L'examen des deux méthodes ci-haut montre que la variabilité qui caractérise les GMPE ainsi que le degré de confiance des GMPE ne sont pas pris en compte. Les deux méthodes suivantes incluent la variabilité des GMPE à travers le paramètre σ_{GMP} et celle des modèles à travers le paramètre σ_{RR} qui représente les écarts type.

La première étape consiste à incorporer la variabilité inhérente des modèles GMPE. Chaque GMPE est caractérisée par sa propre variabilité exprimée par son incertitude. A titre d'exemple, le GMP qui sera considéré ci-après est le PGA. La GMPE est donc celle qui donne le PGA. Pour simplifier le concept, on considère que le GMP est un PGA; sa valeur moyenne est définie par le modèle#i.

$$\log(\overline{\mathrm{PGA}}_\mathrm{i}) = \log(\mathrm{PGA_i}) \pm \sigma_{\log(\mathrm{PGA_i})} \qquad [3]$$

Une fois le GMP estimé, la méthode simplifiée pour évaluer l'impact de la variabilité des modèles#i GMPE sur l'estimation des $\mathrm{RR_{(PGA_i)}}$ est de considérer en plus de la valeur médiane des GMP, l'intervalle de ± l'incertitude commise sur ce GMP. Ainsi, au lieu d'avoir une seule valeur, c'est-à-dire $V_i = PGA_i$, on a trois valeurs

$V_{i1} = PGA_i * 10^{\sigma_{log(PGA_i)}}$, $V_{i3} = PGA_i * 10^{-\sigma_{log(PGA_i)}}$ et bien sur $V_i = V_{i2} = PGA_i$

L'examen du Tableau1 montre que ces trois valeurs sont au niveau de la colonne B. En fait la colonne A du Tableau1 n'incorpore pas l'incertitude sur le modèle.

La deuxième étape consiste à prendre en considération l'incertitude commise sur l'estimation des RR. On suppose que la mesure des σ_{RR} est disponible. Reprenons le Tableau 1, on a trois valeurs $V_{ij}\ \ j = 1,2,3$, donc automatiquement on a trois valeurs de RR ($RR_{V_{ij}}\ \ j = 1,2,3$). Sur chacune de ces trois valeurs on suppose qu'il y a une incertitude qui va être prise en compte.

Tableau1 : Dérivation des taux de réparations $\mathrm{RR_{ijk}}$ avec $\mathrm{j,k} = 1{,}2{,}3$

A	B	C
		$\mathrm{RR_{i11} = RR_{V_{i1}} + \sigma_{RR}}$
	$\mathrm{V_{i1} = PGA_i * 10^{\sigma_{log(PGA_i)}}}$	$\mathrm{RR_{i12} = RR_{V_{i1}}}$
		$\mathrm{RR_{i13} = RR_{V_{i1}} - \sigma_{RR}}$
		$\mathrm{RR_{i21} = RR_{V_{i2}} + \sigma_{RR}}$
$\mathrm{V_i = PGA_i}$	$\mathrm{V_{i2} = PGA_i}$	$\mathrm{RR_{i22} = RR_{V_{i2}}}$
		$\mathrm{RR_{i23} = RR_{V_{i2}} - \sigma_{RR}}$
		$\mathrm{RR_{i31} = RR_{V_{i3}} + \sigma_{RR}}$
	$\mathrm{V_{i3} = PGA_i * 10^{-\sigma_{log(PGA_i)}}}$	$\mathrm{RR_{i32} = RR_{V_{i3}}}$
		$\mathrm{RR_{i33} = RR_{i_{13}} - \sigma_{RR}}$

En finalité, l'analyse des taux de réparations compte neuf « 9 » estimations pour le modèle#i GMPE comme illustre le Tableau1. Dans le cas où on a n GMPE, on aura donc L=9*n taux de réparations notées RR_{ijk}, $(i = 1,..,n), (j = 1{,}2{,}3), (k = 1{,}2{,}3)$.

A ce stade, on va combiner les valeurs L=9*n pour une meilleure estimation du taux de réparations. Une approche intéressante consiste à calculer les moyennes des L valeurs de RR_{ijk}. Comme suit :

$$RR^{(3)} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3} RR_{ijk}}{9n} \qquad [4]$$

L'équation [4] représente la méthode#3.La force de cette valeur par rapport aux deux premières réside dans le fait que la variabilité intrinsèque des modèles de GMPE ainsi que l'incertitude σ_{RR} sont pris en compte. Cependant elle ne tient pas en considération du degré de confiance des GMPE ainsi que du poids qui normalement devrait être affecté aux valeurs médianes d'un côté et des valeurs avec écart type d'un autre côté.

Pour cela on introduit le facteur poids W_{ijk} à appliquer pour chaque RR_{ijk}.

$$W_{ijk} = \omega_i \mu_j \vartheta_k \qquad [5]$$

ω_i est introduit comme un poids qui dépend des GMPE, l'attribution de tels poids repose sur les valeurs de $\sigma_{log(PGA_i)}$ avec une affectation des plus grand poids pour le modèle qui représente une petite variabilité. μ_j est introduit pour tenir en considération de la différence attendue pour l'estimation du GMP considérée [DEL 12]. Ces μ_j seront associés avec la valeur V_{ij} mentionnée dans le Tableau 1.ϑ_k est introduit pour tenir compte de l'incertitude relative à l'estimation de RR.

Donc : $\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1,\ \ \sum_{j=1}^{3} \mu_j = 1,\ \ \sum_{k=1}^{3} \vartheta_k = 1$

Par conséquent : $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3} W_{ijk} = 1$

Avec cette stratégie, l'estimation optimale de RR en tenant en compte de la variabilité des GMPE et du modèle de RR mais aussi du degré de confiance qu'on a dans les modèles GMPE s'exprime par l'expression suivante :

$$RR^{(4)} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k}^{3} W_{ijk} RR_{ijk} \qquad [6]$$

Cette valeur sera référée dans cette étude comme $\mathrm{RR}^{(4)}$ et nommée méthode#4

Avec : $W_{ijk} RR_{ijk} = L_{ijk}$

3. Mesure de la variabilité des taux de réparations

En termes de résultats, on a quatre valeurs de RR c'est-à-dire $RR^{(m)}, m = 1,..,4$. Il reste entendu que notre objectif est de rechercher une valeur optimale du taux de réparations. Il est clair que ces quatre valeurs sont à notre sens bien meilleurs que les multiples solutions qui existent et qui ne prennent pas en compte les différentes variabilités. Toutefois, il serait primordial de répondre à une question simple : parmi les quatre valeurs laquelle est celle qui donne les valeurs les plus stables c'est-à-dire non assujetti à de larges fluctuations. Pour ce faire, il est important et nécessaire de mesurer ou quantifier le degré de confiance de l'ensemble des quatre méthodes pour justement discuter leur incertitude. [SOU 17]

Pour la méthode #1 il n'y a qu'une seule et son incertitude est nulle. De ce fait les comparaisons en termes d'incertitude ne porteront pas sur le $RR^{(1)}$. Pour les trois autres modèles, les incertitudes seront décrites comme suit :

$$\Delta^{(2)} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \sigma_{GMP_i}\left(RR_{(GMP_i)} - RR^{(2)}\right)^2}$$

$$\Delta^{(3)} = \sqrt{\frac{1}{9n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k}^{3} \sigma_{GMP_i}\left(RR_{ijk} - RR^{(3)}\right)^2}$$

$$\Delta^{(4)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k}^{3} \sigma_{GMP_i} W_{ijk}\left(RR_{ijk} - RR^{(4)}\right)^2}$$

4. Conclusion

Le résultat obtenu en utilisant 4 modèles de GMPE et plusieurs relations d'estimations des taux de réparations des conduites [PIC 13], a révélé qu'à travers la méthodologie développée, la Méthode#4 donne le taux de réparations le plus stable qui se situe au milieu des autres taux de réparations et se caractérise par une grande homogénéité.

La mise en pratique de la méthode#4 pour le cas d'un centre urbain (Groupement de Tlemcen ALGERIE) [SOU 15] a permis de mettre en évidence une meilleure répartition des taux de réparations et ce contrairement aux approches classiques.

5. Bibliographie

[AKK 10] Akkar S, Bommer JJ (2010) Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region, and the Middle East Seismological Research Letters 81:195-206

[DEL 12] Delavaud E et al. (2012) Toward a ground-motion logic tree for probabilistic seismic hazard assessment in Europe Journal of Seismology 16:451-473

[EID 01] Eidinger J (2001) Seismic fragility formulations for water systems sponsored by the American Lifelines Alliance, G&E Engineering Systems Inc, web site< http://homepage mac com/eidinger

[PIC 13] Piccinelli, R. et Krausmann, E. (2013). Analysis of natech risk for pipelines: A review. JRC Scientific and policy report.

[PIN 10] Pineda-Porras, O. et Ordaz, M. (2010). Seismic fragility formulations for segmented buried pipeline systems including the impact of differential ground subsidence. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice 1(4): 141-146.

[SOU 15] Soulimane, I., Zendagui, D. et al (2015) Influence des modeles d'attenuation sur l'estimation du risque sismique associes aux conduites. Colloque national AFPS 2015, Champs-sur-Marne (France).

[SOU 17] Soulimane, I. et Zendagui, D. (2017). Assessing Earthquake Damage For Gas Distribution Networks: Uncertainty Analysis Application In Tlemcen (Algeria). International Journal of Geomate 12(29): 171-177.