

Benahchilif Souad¹, Bouguerba Salah Eddine².

¹Département de Génie Civil, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire RISAM, Université Abou BakrBelkaid BP

813 nesouad@yahoo.fr

²Département de Génie Civil, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire RISA, Université Abou BakrBelkaid BP

813 swilah32@gmail.com

RÉSUMÉ.

Dans cet article, différentes méthodes de fiabilité ont été proposées pour quantifier la probabilité de la liquéfaction du sol sur un site en Mostaganem r. La méthode simplifiée proposée par Seed et Idriss (1971) est la plus utilisée pour évaluer le potentiel de liquéfaction dans un dépôt de sol. En utilisant la méthode déterministe, le sol est liquéfiable si le de coefficient de sécurité est inférieure à 1, pas de liquéfaction si F_s supérieure à 1. Dans l'analyse probabiliste, une démarche appropriée pour l'évaluation de la sécurité contre la liquéfaction est l'application de l'indice de fiabilité. Cet indice exprime mieux la sécurité, que l'indice FS car il exprime la variation statistique pour chaque paramètres. L'étude à été réalisée suivant les données disponible Pour chaque profondeur, les valeurs de CSR, CRR, l'indice de fiabilité et la probabilité de liquéfaction ont été calculépardifférentes méthodes de fiabilité.

ABSTRACT.

.... In this paper, different reliability methods have been proposed to quantify the liquafactionprobability of soil at Mostaganem area (Algeria). The simplified method proposed by Seed and Idriss (1971) is the most used to evaluate the liquidation potential in a soil deposit. Using the deterministic method, the soil is liquied if the safety coefficient is less than 1, no liquefaction if F_s greater than 1. In the probabilistic analysis, an appropriate approach for the safety assessment against liquidation is the application Of the Reliability Index. This index can better expresses safety than the FS index because it expresses the statistical variation for each parameter. The reliability and probability of liquefaction analysis were calculated.

MOTS-CLÉS : probabilité, liquéfaction, fiabilité.

KEY WORDS: Liquefaction, reliability analysis

La liquéfaction des sols est un phénomène d'instabilité ou de perte de résistance qui peut avoir lieu sur un milieu généralement granulaire saturé ou partiellement saturé. Elle se manifeste par une augmentation de la pression interstitielle liée au comportement contractant du sol lors de l'application d'un chargement rapide (séisme, chocs, raz de marée, etc.).

L'occurrence de la liquéfaction dans les sols est souvent évaluée suivant le procédé simplifié à l'origine proposé par Seed et Idriss (1971) basés sur l'essai de pénétration standard (SPT), qu'il est possible de caractériser le potentiel de liquéfaction d'un sol en fonction de deux paramètres : un paramètre de résistance mécanique (donné par le SPT) et un paramètre granulométrique (classification des sols, pourcentage en fines).

Pour voir clairement l'intérêt et l'importance de l'étude fiabiliste de la liquéfaction, une comparaison entre les résultats d'une étude déterministe et fiabiliste a été menée pour un site située à MOSTAGANEM située au Nord-Ouest d'Algérie. La région de Mostaganem est située dans une zone de moyenne sismicité, pour le calcul dynamique de l'ouvrage, il y a lieu de se référer au règlement parasismique Algérien en vigueur (RPA 99 version 2003).

2. L'Approche déterministe de la liquéfaction des sols

La charge sismique causant la liquéfaction du sol est généralement exprimé en termes de rapport de la contrainte cyclique (CSR) par : (SEED et al)

$$CSR = \frac{0,65 \frac{\sigma_v a_{max}}{\sigma_v' g} r_d}{MSF} \quad (1)$$

où

a : L'accélération maximale induite par le tremblement de terre. σ_v : La contrainte verticale totale (kPa).

σ_v' : La contrainte verticale effective (kPa). g : l'accélération de la pesanteur

r_d : coefficient de réduction décroissant avec la profondeur.

TOKIMATSU ET YOSHIMI, ont proposé une relation simple pour le coefficient r_d :

$$r_d = 1 - 0,015Z \quad (2)$$

La formule de MSF donnée par YOUNG&IDRISS., (2001). Comme suit:

$$MSF = 10^{2.24/M^{2.56}} \quad (3)$$

M : La magnitude du moment.

La deuxième étape des procédés simplifiés est de déterminer le rapport de résistance cyclique (CRR) du sol. La valeur de CRR est exprimée par la formule suivante :

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

Dans la méthode déterministe, le coefficient de sécurité est défini comme suit :

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \quad (5)$$

Ce facteur est souvent appelé facteur d'ignorance car il représente notre ignorance des incertitudes des différents paramètres, pour tenir compte des aléas et incertitude inhérents aux différents paramètres. Le sol est liquéfiable si le F_s est inférieure à 1, pas de liquéfaction si F_s supérieure à 1.

3. Variable aléatoire, l'incertitude des paramètres, et corrélation entre les paramètres aléatoire

Dans cette étude les paramètres a_{max} , M_w , σ_v , σ_v' , et $(N_1)_{60}$ sont traités comme variables aléatoires (tableau 1). La fonction d'état limite ou la fonction de performance est exprimée par la formule suivante.

$$g(X) = CRR(X) - CSR(X) = g(a_{max}, M_w, \sigma_v, \sigma_v', (N_1)_{60}) \quad (6)$$

Pour une estimation réaliste de la probabilité de liquéfaction, l'analyse fiabiliste exige la considération de l'incertitude dans les paramètres. Pour chaque variable d'entrée, le processus impose l'estimation de la moyenne et de l'écart type si les variables sont supposées suivre une distribution normale ou log normal.

La probabilité de la liquéfaction, noté par : (Tableau 1)

$$\begin{cases} p_f = \text{Prob}(CRR(X) - CSR(X) \leq 0) & (7) \\ p_f = \text{Prob}(g(X) \leq 0) \\ p_f = \Phi \left[\frac{-\mu_g(X)}{\sigma_g(X)} \right] & (8) \end{cases}$$

Tableau 1. variables aléatoires et leurs caractéristiques

Variable aléatoire	indice	LA MOYENNE	COEFFICIENT DE VARIATION	DISTRIBUTION
$(N_1)_{60}$	X1	*	0.30	Normal
σ_v	X2	*	0.10	Normal
σ_v'	X3	*	0.15	Normal
a_{max}	X4	0.3	0.15	Normal
M_w	X5	6.3	0.15	Normal

Où $\Phi(\cdot)$ est la fonction de répartition de la normal. On peut employer l'indice de fiabilité, défini par CORNELL, (1970) comme suit :

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f) = \frac{\mu_g(X)}{\sigma_g(X)} \quad (9)$$

La corrélation entre les variables aléatoire d'entrée doivent être considérer dans l'analyse fiabiliste.

'Méthodes d'approximation et mesures de sensibilité

4.1.Méthodes FORM - SORM et Notion de point de Conception

Ces méthodes sont directement appliquées au calcul de fiabilité, le but est de calculer la probabilité de défaillance qui s'exprime par la relation (6).

Le principe de ces méthodes se décompose en trois étapes :

1. Premièrement ,il faudrait transformer l'espace d'origine des variables X_i en un espace gaussien standard, appelé le U_i -espace.
2. Deuxièmement, il faut ensuite rechercher le fameux point de conception (Design Point) dans le nouvel espace.
3. Troisièmement, il faut enfin approcher la surface de défaillance en ce point pour obtenir une approximation de la probabilité recherchée.

Les méthodes FORM et SORM consistent à approcher la surface de défaillance par un Hyperplan dans le cas de la méthode FORM ou par surface quadratique dans le cas de méthode SORM au point de conception u^* (figure 1).

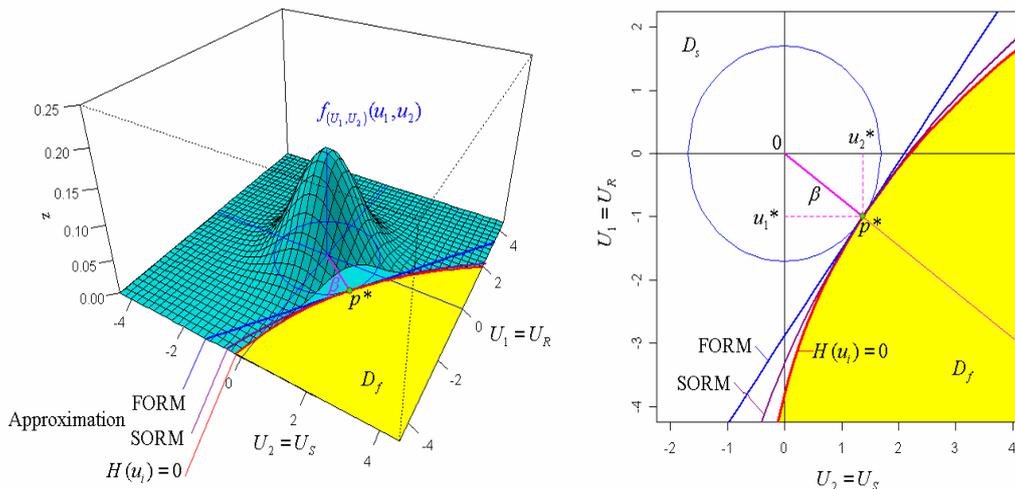


Figure 1 : Exemple d'approximation FORM et SORM de la surface d'état-limite.

Dans notre étude, le coefficient de corrélation des cinq paramètres aléatoires est montré dans le tableau (2) suivant :

Tableau 2: Coefficient de corrélation entre les variables

	$(N_1)_{60cs}$	σ_v	σ_v'	a_{max}	M_w
$(N_1)_{60cs}$	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σ_v	0.00	1.00	0.95	0.00	0.00
σ_v'	0.00	0.95	1.00	0.00	0.00
a_{max}	0.00	0.00	0.00	1.00	0.90
M_w	0.00	0.00	0.00	0.90	1.00

Un exemple des résultats obtenus par le calcul fiabiliste est représenté dans le tableau (3), pour des profondeurs de couches sur les sondages SC02 et SC01. et ce pour le cas des paramètres corrélés et non corrélés.

Les figures(2) montre la variation de la probabilité de liquéfaction en fonction de la profondeur pour les sondages SC01 et SC02 pour les trois méthodes FORM, SORM, MCS présenté dans le tableau (2)

On constate un rapprochement des résultats entre les deux méthodes FORM et SORM, alors que la MCS donne des faibles probabilités de liquéfaction.

Le calcul déterministe montre que pour une profondeur de $z=6m$, il n'existe pas de risque de liquéfaction, alors que le calcul fiabiliste (figure (2)) montre une grande probabilité de liquéfaction même avec la méthode MCS qui a donné de faibles probabilités.

Tableau 2: Résultats du calcul de l'indice de fiabilité par la méthode FORM, SORM, MCS (SC02), paramètres corrélés

Profondeur (m)		3	6	9	15	18
FORM	β	0.9749	0.9339	0.4189	0.7259	0.0752
	$pf = \Phi(-\beta)$	16.47	17.51	33.76	23.39	47
simulation Monte Carlo n=10000	β	0.9203	0.9741	0.7143	0.8698	0.5645
	$pf = \Phi(-\beta)$	17.87	16.5	23.75	19.22	28.62
SORM	β	0.8039	0.6786	0.253	0.5117	-0.0443
	$pf = \Phi(-\beta)$	21.86	24.86	40.01	30.44	51.76

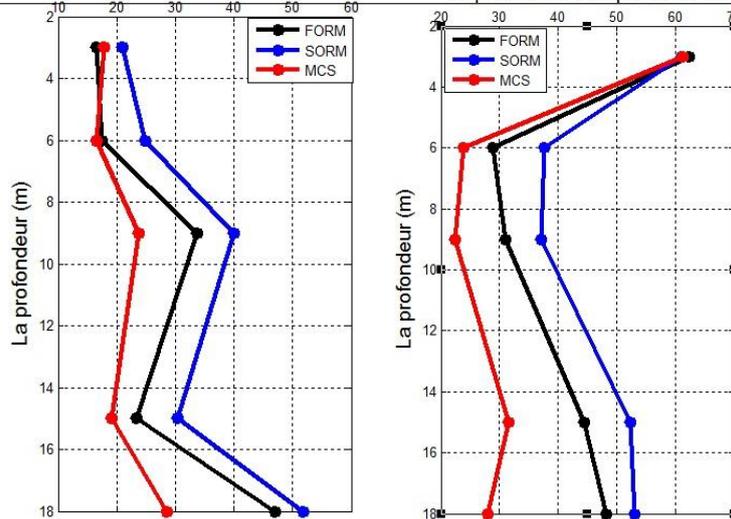


Figure : Variation de la probabilité de liquéfaction pour le sondage SC02 et SC01

5. Conclusion

L'application de l'analyse probabiliste de liquéfaction n'est pas encore une pratique courante dans la communauté de l'ingénierie géotechnique. Pourtant, des calculs de fiabilité offrent un moyen d'évaluer les effets combinés d'incertitudes, et un moyen de distinguer entre les conditions où les incertitudes sont élevés ou faibles.

Les méthodes basées sur la connaissance du point de conception sont nettement plus efficaces et donnent un bon contrôle de l'approximation FORM ou SORM, mais elles ne permettent pas de détecter la présence d'un éventuel autre minimum.

Les méthodes de simulation ont l'avantage de pouvoir traiter des cas très complexes, tels que, par exemple, les états-limites irréguliers ou non différentiables ou les états-limites combinés des systèmes série ou parallèle.

6. Bibliographie

- [ALB 05] AL Bawwab, W.E.KH., Probabilistic assessment of liquefaction-induced lateral ground deformations, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Turkey, 2005.
- [BEN 16] Benahchilif, s., Analyse fiabiliste du potentiel de liquéfaction des sol, Thèse de doctorat, Université Abou bakr Belkaid, Tlemcen, 2016.
- [BOU 15] Bourrinet J., *Méthode fiabiliste*, note de cours, Université Blaise Pascal, Clermont ferrand II, 2015.
- [GRE 03] Gregory B, B. & John T, C., *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003.
- [JAK 95] Jaksa M.B., The influence of spatial variability on the geotechnical design properties of a stiff, overconsolidated clay, Ph.D Thesis, University of Adelaide, Australia, 1995.
- [SAL 08] Salloum, T., Probabilistic assessments of soil liquefaction hazard, Ph.D. Thesis, Carleton University Ottawa, Ontario, Canada, 2008.
- [SEE 71] Seed H. B., and Idriss I. M., Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97(9), 1249–1273, 1971.
- [SIT 12] Sitenikechukwu Onyejekwe, Characterisation of soil variability for reliability based design, Ph.D. Thesis, Department of civil engineering, Missouri university of science and Technology, 2012.
- [SUZ 09] Suzuki K., Jha S., Reliability analysis of soil liquefaction based on standard penetration test, *Computers and Geotechnics*, Vol.36, 2009, pp. 589–596, 2009.
- [YOU 07] Youssef Abdel Massih, D., Analyse du comportement des fondations superficielles filantes par des approches fiabilistes, Thèse de doctorat, université de Nantes, France, 2007.