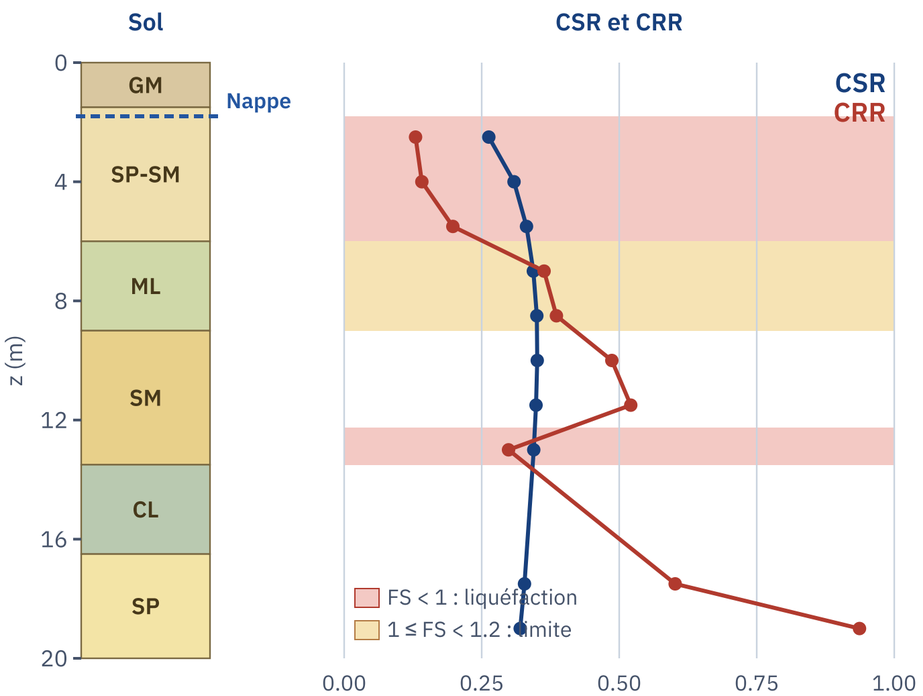
Présentation de cours de géotechnique · Liquéfaction

Déclenchement de la liquéfaction au SPT

Cours : déclenchement de la liquéfaction à partir du SPT (Idriss–Boulanger) ; un sondage et un point d'essai sont résolus à la main de bout en bout, les autres points étant donnés par des tableaux.

Corrections · CSR · CRR · MSF · Kσ · FS et zones · Calculable à la main



Que verrons-nous dans ce cours ?

L'évaluation de la liquéfaction **fondée sur les contraintes** : la sollicitation sismique **CSR** est comparée à la résistance du sol **CRR** ; **FS = CRR / CSR**

Corrections du nombre de coups SPT brut N_{30} vers $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$: énergie, longueur des tiges, contrainte verticale des terres et teneur en fines

CSR (r_d, σ_v/σ'_v), courbe CRR, **correction de magnitude** MSF et **coefficient de correction pour les terres sus-jacentes** K_σ

Quels essais sont **écartés** du calcul ; comment sont déterminées les zones et l'épaisseur liquéfiable

Dans un sondage, **un seul point d'essai de bout en bout à la main**, les autres avec les mêmes étapes dans le tableau

DÉROULÉ DU COURS

Chaque thème est traité en **trois étapes** :

1 · **Théorie** : formule et justification

2 · **Énoncé** : données et à déterminer

3 · **Solution** : étape par étape, avec les valeurs numériques

Exemple : sondage BH-1 (niveau de la nappe 1.80 m ; remblai de 0–1.5 m, sable lâche de 1.5–6 m …) ; a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, rapport d'énergie du marteau 60 %, FS_{requis} = 1.20.

Quel essai est évalué ?

THÉORIE

Un essai n'est évalué que s'il se situe **sous le niveau de la nappe phréatique**, à une profondeur ne dépassant pas $\mathbf{z_{max}}$ (par défaut 20 m) et dans un sol **se comportant comme un sable**

Un sol dont l'indice de plasticité PI ≥ PI_{lim} (valeur par défaut 7) est **assimilé à une argile** ; si PI n'est pas renseigné, le symbole CL, CH, OL, OH ou PT l'indique

Un sol de type argileux peut **s'adoucir** sous chargement cyclique, mais ne se liquéfie pas au sens retenu ici : il relève de la vérification de l'adoucissement cyclique

Les essais non évalués restent dans tous les tableaux **avec leurs motifs**. Les conséquences de la liquéfaction (tassement, étalement latéral, perte de capacité portante) sont hors du champ de cette version

Contrainte verticale totale, pression interstitielle et contrainte verticale effective

THÉORIE

γ au-dessus du niveau de la nappe ; **γ_{sat}** en dessous ; cumul couche par couche. La pression interstitielle est **hydrostatique** à partir du niveau de la nappe (z_w est la profondeur de la nappe dans le sondage)

La contrainte effective σ'_v intervient à la fois dans le CSR et dans les corrections de contrainte de recouvrement

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

La contrainte effective n'est calculée que pour les essais situés sous le niveau de la nappe : au-dessus de ce niveau, u = 0 et l'essai est écarté.

De N_{30} à N_{60}

THÉORIE

Le nombre de coups brut N_{30} (derniers 30 cm) est ramené à la tige standard à **60 % d'énergie** : **C_E** = ER/60 (marteau), **C_B** (diamètre du sondage), **C_S** (tube échantillonneur)

C_R dépend de la longueur des tiges : longueur des tiges = z + longueur au-dessus de la surface (ici 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Longueur de tige (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

THÉORIE

C_N ramène la mesure à une contrainte effective de 1 atm (P_a = 101.3 kPa) ; l'exposant m dépendant du résultat lui-même, il est déterminé **par itération** ; $C_N \leq 1.7$

Les fines augmentent la résistance de type sableux : au moyen de FC (en pourcentage, la valeur propre de l'essai si elle a été mesurée, sinon celle de la couche), on passe à l'équivalent en sable propre

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

Sollicitation sismique : CSR et r_d

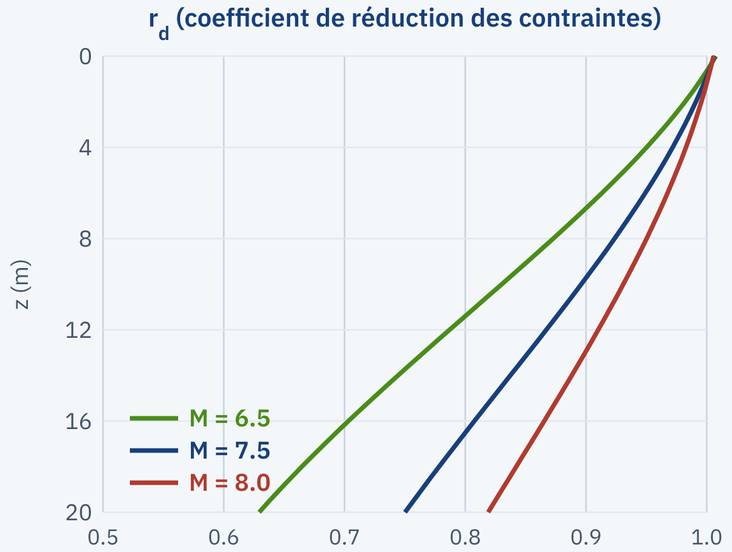
THÉORIE

Le **CSR** est le rapport de la contrainte de cisaillement cyclique appliquée au sol par le séisme à la contrainte effective ; 0.65 représente la contrainte moyenne, σ_V/σ'_V l'effet de la profondeur

r_d (coefficient de réduction des contraintes) diminue avec la profondeur et la magnitude ; il vaut 1 en surface

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



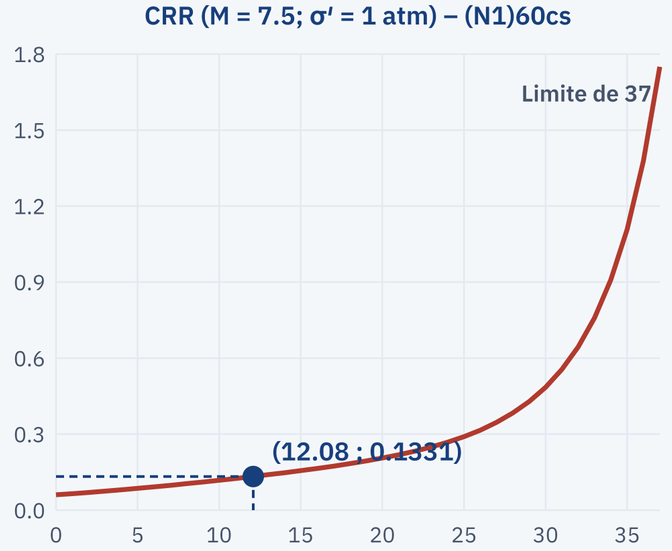
Résistance du sol : courbe CRR

THÉORIE

$CRR_{M=7.5;\,\sigma'=1}$ ne dépend que de $(N_1)_{60cs}$ (courbe d'Idriss–Boulanger) ; il est valable pour M = 7.5 et σ'_v = 1 atm

La courbe est utilisée jusqu'à $(N_1)_{60cs} = 37$; un essai plus dense est évalué à cette limite et un avertissement est émis

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF et K_σ

THÉORIE

MSF, facteur de correction de magnitude : le CRR est défini pour M = 7.5 ; pour une autre magnitude, il rend compte de la différence du nombre de cycles. Pour M < 7.5, MSF > 1

Coefficient **K_σ** de contrainte verticale : le CRR est défini pour 1 atm ; lorsque σ'_v augmente, le rapport de résistance diminue. $K_\sigma \leq 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \frac{\sigma'_v}{P_a} \leq 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3$$

FS = CRR / CSR ; zone et épaisseur

THÉORIE

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1 : **la liquéfaction est déclenchée** ; 1 ≤ FS < FS_{req} (1.20) : **cas limite** ; la valeur requise est une donnée d'entrée tirée du cahier des charges du projet

Chaque essai évalué représente sa propre couche : jusqu'au **point médian** avec l'essai situé au-dessus et celui situé au-dessous ; l'intervalle s'arrête à la limite de couche et au niveau de la nappe

Si des intervalles voisins donnent le même résultat, ils sont fusionnés en une **zone** ; l'**épaisseur liquéfiable** d'un sondage est la somme des zones où FS < 1

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Énoncé

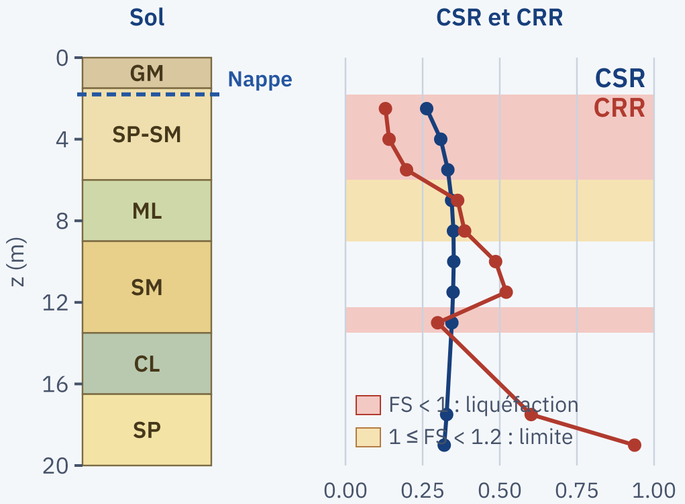
EXEMPLE

Données

Sondage BH-1	**Niveau de la nappe $z_w = 1.80$ m ; 0–1.5 m de remblai (GM) : $\gamma = 18.5$; 1.5–6 m de sable lâche (SP-SM) : $\gamma = 18.0$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³, FC = 8 %**
Essai	**$z = 4.0$ à $N_{30} = 10$ m (sous le niveau de la nappe)**
Séisme et armatures	**$a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$; ER = 60 % ($C_E = C_B = C_S = 1$), longueur de la tige = $z + 1.5$ m ; $FS_{req} = 1.20$**

À DÉTERMINER

Contraintes, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (par itération), **CSR**, **CRR** et **FS**.



Solution (1/5)

SOLUTION

1 Contrainte verticale totale (couche par couche ; nappe à 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \mathrm{kPa}$$

2 Pression interstitielle et contrainte effective

$$u = \gamma_w (z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \mathrm{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \mathrm{kPa}$$

L'essai se situe à **2.20 m** sous le niveau de la nappe : σ_V = 76.05, u = 21.58, **σ'_V = 54.47 kPa**.
Ce point est celui où le FS du sondage est le plus faible (figure de la page de l'énoncé).

Solution (2/5)

SOLUTION

3 Correction de la longueur des tiges et N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 Augmentation de la teneur en fines

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 Correction de la contrainte des terres sus-jacentes : C_N dépendant de $(N_1)_{60cs}$, une itération est nécessaire (σ'_v = 54.47 kPa)

Itération	n (donnée d'entrée)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

Convergence en 8 itérations : **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

Solution (3/5)

SOLUTION

6 Coefficient de réduction des contraintes r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 Rapport de contrainte cyclique

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max} r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

À cette profondeur, le séisme applique une contrainte de cisaillement cyclique égale à **30.9** pour cent de la contrainte effective (CSR = 0.3087).

Solution (4/5)

SOLUTION

8 Résistance de référence, pour M = 7.5 et σ′ = 1 atm ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 Coefficients de magnitude et de contrainte verticale

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996\ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331** ; MSF = **1.0000** ; K_σ = **1.0619** : le produit de ces trois nombres donne CRR (diapositive suivante).

Solution (5/5)

SOLUTION

10 Résistance et coefficient de sécurité

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1 : dans cet essai, la liquéfaction est **déclenchée**. L'essai représente l'intervalle 3.25 – 4.75 m (points médians entre l'essai situé au-dessus, à 2.5 m, et celui situé en dessous, à 5.5 m). Les mêmes dix étapes sont répétées pour chaque essai.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Sondage BH-1	**13 SPT :** $z = 1.0$ **–** 19.0 **m ; nappe** 1.80 **m ;** $z_{max} = 20$ **m ;** $PI_{lim} = 7$
Couches	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML** $PI = 5$ **(6–9), SM (9–13.5), CL** $PI = 18$ **(13.5–16.5), SP (16.5–20)**

À DÉTERMINER

Pour chaque essai, la décision **évalué / non évalué** et sa justification.

Solution

SOLUTION

z (m)	N_{30}	Sol	PI	NAPPE ?	Argileux ?	Décision
1.0	9	GM	–	**au-dessus**	–	**non évalué** : au-dessus du niveau de la nappe
2.5	7	SP-SM	–	sous	non	est évalué
4.0	10	SP-SM	–	sous	non	est évalué
5.5	16	SP-SM	–	sous	non	est évalué
7.0	21	ML	5	sous	non	est évalué
8.5	22	ML	5	sous	non	est évalué
10.0	27	SM	–	sous	non	est évalué
11.5	29	SM	–	sous	non	est évalué
13.0	25	SM	–	sous	non	est évalué
14.5	13	CL	18	sous	oui	**non évalué** : de type argileux (PI ≥ 7)
16.0	15	CL	18	sous	oui	**non évalué** : de type argileux (PI ≥ 7)
17.5	40	SP	–	sous	non	est évalué
19.0	44	SP	–	sous	non	est évalué

3 essais sur 13 sont écartés : 1.0 m (au-dessus de la nappe) et 14.5 et 16.0 m (CL, PI = 18 ≥ 7). La couche ML (PI = 5 < 7) n'est pas considérée comme de type argileux ; les essais à 7.0 et 8.5 m sont **évalués** (FC = 62 %). Les essais écartés figurent néanmoins dans les tableaux.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Sondage	**BH-1 et les paramètres de l'Exemple 1 ; dix étapes identiques pour chaque essai**
Règle de zone	**chaque essai s'étend, dans sa propre couche, jusqu'au point médian des essais voisins ; il s'arrête à la limite de couche et à la nappe phréatique**

À DÉTERMINER

Tableau de tous les essais ; **zones liquéfiées**, **épaisseur liquéfiée** et FS minimal.

Solution (1/2)

SOLUTION

z (m)	N_{30}	Sol	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	État
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*Au-dessus du niveau de la nappe*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	Se liquéfie
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**Liquéfie**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	Se liquéfie
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	À la limite
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	À la limite
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	Sûr
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	Sûr
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	Se liquéfie
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*de type argile (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*de type argile (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	Sûr
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	Sûr

Plus petit FS = 0.458 (z = 4.0 m). Zones de liquéfaction : **1.80 – 6.00 m** et **12.25 – 13.50 m** ; en limite : 6.00 – 9.00 m. Épaisseur liquéfiée = 5.45 m. La ligne 4.0 m correspond à l'Exemple 1 résolu à la main.

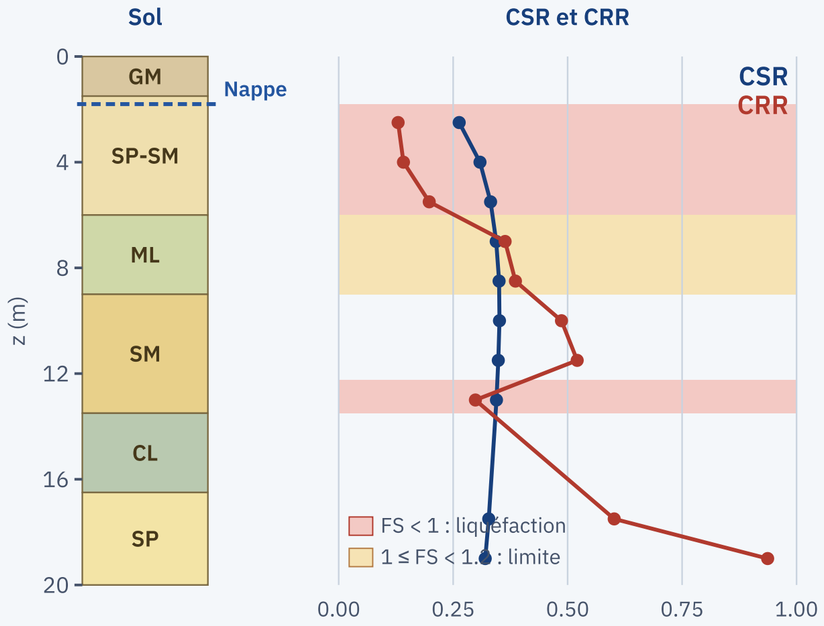
Solution (2/2)

SOLUTION

1 Chaque essai représente son propre intervalle ; les intervalles voisins de même résultat sont fusionnés

Zone	Plage (m)	Épaisseur (m)	Essais	Plage de FS
Liquéfiable 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
À la limite	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
Liquéfiable 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
Total liquéfié		**5.45**		

Exemple : l'essai à 4.0 m représente 3.25 – 4.75 m ; l'essai à 2.5 m couvre 1.80 – 3.25 m (s'arrête à la nappe), l'essai à 5.5 m couvre 4.75 – 6.00 m (s'arrête à la limite de couche) : total **4.20 m**. L'épaisseur liquéfiable du sondage est de 5.45 m.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Cas de base	**BH-1 :** $a_{max} = 0.35g$**, $M = 7.5$, NES 1.80 m, ER = 60 %**
Variables	**un seul à la fois :** $a_{max} = 0.25g$ **/** $0.45g$ **;** $M = 6.5$ **/** 8.0 **; niveau de la nappe** 3.0 **m /** 1.0 **m ; ER 45 % / 80 %**

À DÉTERMINER

Le **FS minimal** et l'**épaisseur liquéfiée** de BH-1 ; vérification manuelle du MSF pour l'essai à 4.0 m.

Exemple 4 · Tableau de sensibilité

Solution (1/2)

SOLUTION

État	Modification	FS minimal	z (m)	Épaisseur liquéfiée (m)	À la limite (m)
Base	a_{max} 0.35g ; M 7.5 ; nappe 1.8 ; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} diminue	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} augmente	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
La magnitude diminue	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
La magnitude augmente	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
Le niveau de la nappe s'approfondit	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
La nappe phréatique s'élève	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
L'énergie diminue	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
L'énergie augmente	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max} est la donnée d'entrée la plus influente : à 0.25g, l'épaisseur liquéfiable est de 4.20 m ; à 0.45g, de 8.45 m. L'effet de l'**énergie du marteau** est étonnamment important : avec ER = 45 %, N_{60} diminue et l'épaisseur liquéfiable passe à 15.20 m. **Connaître** le rapport d'énergie mesuré est donc essentiel.

Solution (2/2)

SOLUTION

1 Facteur de correction de magnitude pour M = 6.5 et M = 8.0 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 Au même essai (4.0 m) FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

Une faible magnitude signifie moins de cycles : MSF augmente et FS passe de 0.458 à **0.510** ; pour M = 8.0, FS vaut 0.436. r_d comme MSF dépendent de la magnitude ; les deux agissent dans le même sens.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Sondages	**BH-1 (nappe à 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m) ; mêmes paramètres**
Coupe	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

À DÉTERMINER

Le **FS minimal** de chaque sondage, les épaisseurs **liquéfiées** et **limites** ; synthèse du projet.

Solution

SOLUTION

Sondage	NSE (m)	Essai	Écarté	FS minimal	z (m)	Zones liquéfiées (m)	Épaisseur (m)	À la limite (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

La liquéfaction est déclenchée **dans les trois sondages**. Plus petit FS = 0.458 (BH-1, 4.0 m) ; le sol liquéfié le plus épais se trouve dans BH-1 (5.45 m). Sur 39 essais, 27 ont été évalués et 12 écartés (au-dessus du niveau de la nappe ou de type argileux).

Si une ligne de coupe est présente, la bande de couleur est interpolée linéairement entre les sondages ; la zone grise correspond au terrain non évalué.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Synthèse

Points à retenir

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R ; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), C_N est obtenu par itération

Exemple (BH-1, 4.0 m) : σ'_v 54.47 kPa ; N_{60} 8.50 ; C_N 1.378 ; $(N_1)_{60cs}$ 12.08 ; CSR 0.3087 ; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

Filtrage : les essais situés au-dessus de la nappe, au-dessous de z_{max} ou de type argileux (PI ≥ 7) ne sont pas pris en compte dans le calcul ; **zone** : chaque essai s'étend jusqu'aux points médians voisins

Sensibilité : a_{max} et l'énergie mesurée du marteau sont les données qui modifient le plus le résultat ; les conséquences de la liquéfaction relèvent d'un calcul distinct

Références bibliographiques

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

REMARQUE

Tous les exemples numériques ont été produits avec le moteur de calcul propre du module ; le module donne les mêmes valeurs. Le projet initial du module est constitué de ces trois sondages (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

GeoTerva

Calculs géotechniques en ligne

De la théorie à la pratique

Saisir dans GeoTerva les sondages, les résultats SPT, la nappe et les paramètres sismiques ; le module fournit ensemble, pour chaque essai, les corrections, CSR, CRR, FS, les zones, l'épaisseur liquéfiable et la coupe à bandes colorées, ainsi que la solution pas à pas et le rapport.

Ouvrir le module →

Page de théorie →

Ouvrir sur smartphone
Les modules d'essai ne nécessitent pas d'inscription.

Si vous souhaitez les utiliser dans vos cours : info@geoterva.com