

Au sujet de l'article de J. MONNET : Étude théorique de l'équilibre élastoplastique d'un sol pulvérulent autour du pressiomètre (RFG n° 67, 2^e trimestre 1994)

Réponse de l'auteur à Michel Gambin

Discussion

Je remercie M. Gambin de ses remarques, et c'est bien évident dans les notations en page 5 qu'il fallait écrire $(1+n)/(1-N) = \alpha$ et non a . Il s'agit d'une faute de frappe qui a échappé à deux relectures.

M. Gambin indique que pour la détermination de la pression limite conventionnelle à partir de $u_{a/q}$, c'est-à-dire à partir des équations (39) ou (46) selon le nombre de zones plastiques, il faut écrire :

$$u_a = a(\sqrt{2} - 1) \quad \text{et non pas } u_a = a/2$$

Le doublement de volume de la sonde correspond alors au doublement de surface de la section courante du forage et la valeur de la déformation radiale devient effectivement :

$$u_a/a = \sqrt{2} - 1$$

Dans ces conditions, l'expression de la pression limite conventionnelle sera donnée par la relation suivante pour deux zones plastiques :

$$P_{lim} = \gamma z^2 \sqrt{\left[(1+n)(\sqrt{2}-1) - C_1 \right] \left[(1-N)(1+n) \gamma z - 2\mu C_1 \right]} \quad (51 \text{ bis})$$

en référence à la formule (51), et dans le cas d'une seule zone plastique :

$$P_{lim} = 2K_0 \gamma z / (1+n) \sqrt{\left[(1+n)(\sqrt{2}-1) - C_1 \right] \left[K_0 \gamma z (1-N)(1+n) - 2\mu C_1 (1+N) \right]} \quad (54 \text{ bis})$$

en référence à la formule (54) de la publication.

M. Gambin indique que la comparaison entre la valeur expérimentale ou théorique conventionnelle de la pression limite avec celle qu'on peut déduire de la formule donnée par S. Amar et ses co-auteurs du CTRE 4 en 1991 ne lui paraît pas admissible parce qu'il s'agit d'une corrélation empirique, établie dans le but de déterminer un angle de frottement valable pour un calcul de poussée sur un écran de soutènement à partir de la pression limite mesurée, et non pour être utilisée dans le sens inverse.

Dans le cas le plus général, le cisaillement se produit dans le plan principal horizontal, entre les contraintes radiales et circonferentielles. La contrainte verticale reste une contrainte moyenne en plasticité. Pour un sol uniquement frottant, la contrainte de cisaillement maximum doit alors être proportionnelle à la contrainte qui agit perpendiculairement au plan cisailé, comme le montre les relations (51) et (54) de la pression limite conventionnelle. Cette règle d'homogénéité n'est pas respectée par la relation de S. Amar *et al.* du CTRE 4 :

$$P_{lim} = 250.2(\Phi - 24^\circ)/4 + K_0 \gamma z \quad (52)$$

Cette dernière relation est manifestement calée sur une profondeur moyenne de 13 m. Elle donnera lieu à une surestimation de la pression limite et à une sous-estimation de l'angle de frottement dans les cotes inférieures à 13 m, puisque la pression verticale est alors surévaluée. Elle donnera lieu à une sous-estimation de la pression limite et à une surestimation de l'angle de frottement dans les cotes supérieures à 13 m, puisque la contrainte verticale, normale au plan de cisaillement, est alors sous-estimée. Lorsqu'on prend cette relation pour trouver des pressions limites, comme dans notre article, cette relation surestime P_{lim} pour les faibles cotes (tableaux I et II de l'article). Si on la prend dans le sens préconisé par M. Gambin, on arrive à une sous-estimation de Φ pour les faibles cotes (inférieures à 11 m) et à une surestimation pour les couches profondes (supérieures à 16 m), comme indiqué dans les deux tableaux de calcul ci-après.

TABLEAU I Comparaison des angles de frottement proposés avec ceux produits par la formule du CTRE 4, dans le cas où deux zones plastiques se développent.

Essai	Cote (m)	Pression limite effective expéri. (kPa)	Pression limite totale expéri. (kPa)	$K_0 \sigma_z$ (kPa)	Angle de frottement Φ CTRE 4 ⁽¹⁾ (degré)	Angle de frottement Φ proposé (degré)	Écart (degré)
WH_06	6	520	520	70	27	35	8
WH_08	8	225	245	90	21	30	9
WH_09	9	1 330	1 360	100	33	34	1
WH_10	10	1 930	1 970	115	36	45	9
WH_11	11	620	670	125	28	30	2
WH_12	12	930	990	140	31	30	-1
WH_13	13	2 480	2 550	150	37	45	8
WH_14	14	3 350	3 430	160	39	45	6
WH_15	15	1 875	1 970	170	35	40	5
WH_16	16	1 400	1 470	180	33	35	2
WH_18	18	1 370	1 490	205	33	32	-1
WH_19	19	2 120	2 250	215	36	33	-3
WH_21	21	1 550	1 700	240	34	34	0

(1) Avec une hypothèse de sol structuré noyé, le sol étant une grave alluviale, nappe à 5,90 m.

TABLEAU II

Comparaison des angles de frottement proposés avec ceux produits par la formule du CTRE 4, dans le cas où deux zones plastiques se développent.

Essai	Cote (m)	Pression limite effective expéri. (kPa)	Pression limite totale expéri. (kPa)	$K_0 \sigma_v$ (kPa)	Angle de frottement Φ CTRE 4 ⁽¹⁾ (degré)	Angle de frottement Φ proposé (degré)	Écart (degré)
PR1_8	8	1 445	1 480	120	34	44	10
PR1_9	9	1 025	1 070	130	32	38	6
PR1_11	11	1 580	1 645	160	34	31	-3
PR1_12	12	950	1 025	175	31	28	-3
PR1_13	13	910	990	190	31	33	2
PR1_14	14	1 415	1 510	205	34	35	1
PR2_8	8	1 330	1 360	120	33	32	-1
PR2_9	9	940	980	130	31	31	0
PR2_10	10	1 650	1 700	150	35	37	2
PR2_11	11	1 100	1 165	160	32	33	1
PR2_12	12	1 045	1 120	175	32	26	-6
PR2_13	13	540	625	190	27	26	-1
PR2_14	14	625	720	205	28	24	-4

(1) Avec une hypothèse de sol structuré noyé, le sol étant un sable marin, nappe à 4,50 m.

Discussion

Les écarts d'angle de frottement dans la plage de 12 à 16 m sont dues au fait que, dans la relation du CTRE 4, le modèle d'élasticité du sol n'intervient pas, alors que son influence est importante. Il est proportionnel à la déformation radiale du terrain, et à angles de frottement constants, s'il augmente, il faudra une pression plus élevée pour déformer le forage jusqu'à une valeur de $(\sqrt{2} - 1)$. Cette règle est respectée dans la relation que nous proposons.

M. Gambin précise que dans le texte de 1991 comme dans les documents plus anciens qui la mentionnent, cette corrélation est toujours représentée graphiquement avec un intervalle de corrélation de $\pm 2^\circ$ selon les matériaux en allant des sols secs structurés aux sols noyés à structure lâche, cet intervalle n'ayant semble-t-il pas été pris en compte dans l'étude. Il ne lui paraît donc pas étonnant que dans les tableaux I et II les écarts puissent varier entre plus de 100 % et -50 % entre la pression limite expérimentale et « pression limite CTRE 4 ».

La théorie présentée dans notre article est écrite en contrainte effective, le sol étant supposé se drainer au cisaillement et se dilater sans générer de pressions interstitielles négatives. Cette hypothèse semble valide pour les sols dont la perméabilité est supérieure à 10^{-8} m/s comme le montre Cambou *et al.* (1993). La distinction entre sols secs ou noyés n'a donc pas lieu d'être dans le cadre de cette théorie. La différence

entre les sols structurés ou non, qui se traduit par un écart de $\pm 2^\circ$ pour le CTRE 4, correspond pour notre théorie à l'influence du module d'élasticité du sol dans la relation de la pression limite, la structuration du sol correspondant à une plus ou moins grande raideur élastique dans notre théorie.

Pour finir on voit dans les tableaux I et II précédents, que les angles de frottement sont très souvent différents, l'écart pouvant être de 10° dans les zones superficielles du terrain, la relation du CTRE 4 étant très pénalisante pour les faibles profondeurs.

Cambou Bahar - Utilisation de l'essai pressiométrique pour l'identification de paramètres intrinsèques du comportement d'un sol, *Revue Française de Géotechnique*, n° 63, p. 39-50.

Un dernier mot de Michel Gambin

Les deux premiers points de la réponse de J. Monnet sont satisfaisants.

Toutefois, si les deux nouveaux tableaux qu'il nous soumet sont très intéressants, les valeurs de l'angle de frottement qu'il nous propose correspondent à des orientations de plans de glissement qui ne sont pas ceux auxquels se réfère la formule (52) dont le caractère, rappelons-le, est tout à fait empirique pour déterminer l'angle de frottement à partir de la pression limite mesurée au pressiomètre.