NOUVELLLE APPROCHE POUR LA DETERMINATION DE Tmax ET Famin DANS UN ELEMENT EN TERRE ARMEE

T. AYADAT
PhD en Génie Civil, Enseignant,CU. de M'sila
I. SAFER
Magister en Génie Civil, Enseignant,C.U de M'sila

Résumé

Cette recherche introduit des nouvelles expressions de prédiction de Tmax et Famin connues comme les principaux paramètres qui gouvernent l'étude de la stabilité interne d'un élément de terre armée. Ensuite, une évaluation et une comparaison entre les expressions de prédictions existantes, est représentée.

Mots clés : frottement • poussée des terres • armatures • terre armée.

1 INTRODUCTION

La terre armée consiste à l'association à un sol pulvérulent, des armatures résistant à la traction, qui confèrent ainsi au matériau une cohésion anisotrope, dans la direction des armarures. Cette technique, depuis quelques années, n'a cessé d'intéresser les scientifiques et les décideurs, pour les solutions et l'économie qu'elle procure.

De nombreux chercheurs ont établi des expressions de détermination, ou à vrai dire de prédiction de l'effort maximal de traction Tmax et du coefficient minimal de sécurité Famin, vis-à-vis de la rupture et de l'adhésion des armatures. Ces expressions découlent essentiellement de trois approches connues. Ce sont la méthode de Rankine, la méthode des forces de Coulomb et la méthode des moments de Coulomb. Dans ce qui suit, nous allons aborder une nouvelle approche dans la détermination de Tmax et Famin et puis nous procéderons à la comparaison des résultats de cette dernière par rapport à ceux des expressions connues.

2 RESUME DES EXPRESSIONS EMPIRIQUES

La quantification des forces générées dans les éléments de renforcement, de leur résistance à la tension et de leur aptitude à l'adhésion, a permis l'établissement des expressions de prédiction et qui peuvent être résumées comme suit :

- Forces maximales de tension Tmax :

$$T_1max = k_a . \gamma_1 . H . \Delta H . \Delta S \qquad (1)$$

$$T_2max = k_a . \gamma_1 . H . \Delta H \left[1 + k_a \left(\frac{H}{B}\right)^2\right] \qquad (2)$$

$$T_3max = k_a . \gamma_1 . H . \left[\frac{\Delta H}{1 - \frac{k_a}{3}\left(\frac{H}{B}\right)^2}\right] \qquad (3)$$

$$T_4max = \frac{m}{m-1} . k_a . \gamma_1 . H . \Delta H . \Delta S \qquad (4)$$

$$T_5max = \frac{m^2}{m^2-1} . k_a . \gamma_1 . H . \Delta H . \Delta S \qquad (5)$$

- Coefficients minimaux de sécurité Famin :

En prenant la longueur effective de l'armature l = B, on obtient :

$$Fa_1 \min = \frac{2.b.f.B}{ka . \Delta H . \Delta S} \qquad (6)$$

$$Fa_2 \min = \frac{4 . b. f. \Delta H}{ka . H^2 . \Delta S} \text{ x}$$

$$\sum_{i=1}^{m} \left[i.\left(B - (m-i) . \Delta H . \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\right)\right] \qquad (7)$$

Nous remarquons que si Z = 0, W et e sont max et puisque $\delta = 0$, q = 0 et Ms = 0 nous obtenons :

$$W_{max} = B \, . \, H' \, . \, \gamma_1$$

$$e_{max} = \frac{K \, . H'^2 \, . \, \gamma_2}{6 \, . \, B \, . \, \gamma_1}$$

comme :

$$\gamma_1 \approx \gamma_2 \qquad e_{max} = \frac{K \, . \, H'^2}{6 \, . \, B}$$

et :

N.ΔS = 1.5 m (écaille 1.5 x 1.5)

on obtient :

$$T_{max} = \frac{ka \, . \, \gamma_1 \, . \, H' \, . \, \Delta H \, . \, \Delta S}{\left(1 - \frac{K}{3} \, . \, \frac{H'^2}{B^2}\right)} \tag{13}$$

3.2.2 Estimation du coefficient de securité à l'adhésion (Famin).

avec :

$$\sigma = \frac{W}{B} \qquad \text{et} \qquad L_a = \frac{B}{2} - e$$

$$Famin = \frac{B - L_a}{L_r} = \frac{b \, . \, f}{ka \, . \, \Delta H \, . \, \Delta S} \, . \, \left(\frac{B^2 - 4 \, . \, e^2}{B}\right)$$

Nous remarquons alors que si e est maximale, Fa est minimale.

$$Famin = \frac{b \, . \, f}{ka \, . \, \Delta H \, . \, \Delta S} \, . \, \left[B - \left(\frac{K}{3}\right)^2 \, . \, \frac{H'^4}{B^3}\right] \tag{14}$$

Le lieu géométrique des points de traction maximale (ligne de rupture potentielle) pouvant être traduit par la longueur active L_a, est un facteur très important ainsi que la longueur résistante L_r et la longueur minimale L_m de l'armature, et que le concepteur devra impérativement connaître. Ils sont exprimés comme suit :

$$L_a = \frac{B}{2} - e_z$$

Nous remarquons que si Z = 0 donc L_a est minimale

$$L_a = \frac{B}{2} - e_0 = \frac{B}{2} - e_{max}$$

$$L_{amin} = \frac{3 \, . \, \gamma_1 \, . \, B^2 - K \, . \, \gamma_2 \, . \, H'^2}{6 \, . \, \gamma_1 \, . \, B} \tag{15}$$

$$L_r = \frac{ka \, . \, \Delta H \, . \, \Delta S}{2 \, . \, b \, . \, f \, . \left(1 - \frac{K \, . \, \gamma_2 \, . \, H'^2}{3 \, . \, \gamma_1 \, . \, B^2}\right)} \tag{16}$$

$$L_{amin} = L_a + L_r = \frac{3 \, . \, \gamma_1 \, . \, B^2 - K \, . \, \gamma_2 \, . \, H^2}{6 \, . \, \gamma_1 \, . \, B} + \frac{ka \, . \, \Delta H \, . \, \Delta S}{2 \, . \, b \, . \, f \, . \left(1 - \frac{K \, . \, \gamma_2 \, . \, H'^2}{3 \, . \, \gamma_1 \, . \, B^2}\right)} \tag{17}$$

En conclusion, nous avons obtenu de nouvelles expressions de détermination de l'effort maximal de traction, du coefficient minimal de sécurité à l'adhésion et de la ligne de rupture potentielle, qui s'ajoutent aux expressions déjà connues et que nous appelons :

$$T_6 \max = \frac{ka \, . \, \gamma_1 \, . \, H' . \, \Delta H \, . \, \Delta S}{\left(1 - \frac{K}{3} \, . \, \frac{H'^2}{B^2}\right)} \tag{13}$$

$$Fa_5 \min = \frac{b \, . \, f}{ka \, . \, \Delta H \, . \, \Delta} \left[B - \left(\frac{K}{3}\right)^2 \, . \, \frac{H'^4}{B^3}\right] \tag{14}$$

Remarque importante :

Ces formules peuvent être appliquées à n'importe quel niveau Z de l'ouvrage et ce en remplaçant H' par (H'-Z).

4 EVALUATION ET COMPARAISON DES EXPRESSIONS DE PREDICTION

Quand les résultats des méthodes empiriques (paragraphe 2) furent comparés aux données expérimentales, les premières constatations furent la large différence des résultats et l'incohérence de ces derniers.

Donc nous avons estimé nécessaire de comparer les résultats des expressions de la nouvelle approche à ceux des expressions empiriques et plus particulièrement aux résultats des abaques [3].

4.1 Données

Les paramètres communs qui régissent les différentes expressions de détermination de Tmax et Famin, sont le coefficient de poussée ka, l'espacement vertical des couches d'armatures ΔH et conséquement le nombre des couches d'armatures m.

Les valeurs considérées pour calculer Tmax et Famin sont données dans les tableaux 1, 2 et 3 :

γ_1 (kN/m^3)	γ_2 (kN/m^3)	ø (°)	f	q (kPa)
16.00	20.00	25.00	0.40	10.00

Tableau 1

H' (m)	H(m)	B (m)	Δ S (m)	b (m)	e (m)
12.00	9.00	8.40	0.25	0.08	0.002

Tableau 2

ka	0.20	0.25	0.30	0.35
Δ H(m)	0.250	0.375	0.500	0.750
m	36	24	18	12

Tableau 3

4.2 Evaluation et comparaison des expressions de Tmax

Nous avons calculé les différentes valeurs de Tmax en kN, dont les résultats sont représentés dans le tableau 4.

4.3 Evaluation et comparaison de expressions de Famin

On a aussi calculé les différentes valeurs de famin, dont les résultats sont représentés dans le tableau 5.

Enfin, on a calculé la longueur active L_a (ligne de rupture potentielle), la longueur résistante L_r et la longueur minimale L_m, en utilisant les données précédentes avec ka = 0.30, ΔH = 0.75 m et m = 12, et prenant ø et γ_1 comme indiqué dans les tableaux 6 et 7 :

Nous pouvons ainsi comparer les résultats suivant les tableaux 6 et 7 :

5 DISCUSSION

La comparaison des résultats de calcul, des forces maximales de traction (Tableau 4) et des coefficients de sécurité minimaux (Tableau 5), découlants de la nouvelle approche, des autres expressions et ceux trouvés par l'utilisation des abaques (Safer et Ayadat) [3], laisse apparaître les remarques suivantes :

- **Comparaison des valeurs de Tmax :**
- Nous constatons pratiquement l'uniformité des résultats de toutes les expressions.

ka	Δ H (m)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tabaq
0.20	0.250	1.80	8.85	7.80	1.80	1.80	3.31	3.50
0.20	0.375	2.70	13.28	11.70	2.70	2.70	4.97	5.20
0.20	0.500	3.60	17.71	15.59	3.60	3.60	6.63	6.90
0.20	0.75	5.40	26.56	23.39	5.40	5.40	9.94	10.50
0.25	0.250	2.25	11.58	9.95	2.25	2.25	4.14	4.30
0.25	0.375	3.37	17.37	14.93	3.37	3.37	6.21	6.50
0.25	0.500	4.50	23.17	19.90	4.50	4.50	8.28	8.70
0.25	0.75	6.75	34.75	29.86	6.75	6.75	12.43	13.00
0.30	0.25	2.70	14.52	12.20	2.70	2.70	4.97	5.20
0.30	0.375	4.05	21.78	18.30	4.05	4.05	7.46	7.80
0.30	0.500	5.40	29.04	24.40	5.40	5.40	9.94	10.40
0.30	0.750	8.10	43.56	36.60	8.10	8.10	14.91	15.70
0.35	0.250	3.15	17.66	14.55	3.15	3.15	5.80	6.10
0.35	0.375	4.72	26.49	21.82	4.72	4.72	8.70	9.10
0.35	0.50	6.30	35.33	29.10	6.30	6.30	11.60	12.20
0.35	0.750	9.45	52.99	43.65	9.45	9.45	17.40	18.30

Tableau 4

ka	Δ H (m)	Fa1	Fa2	Fa3	Fa4	Fa5	Fabaq
0.20	0.25	32.26	< 0	< 0	32.95	14.90	14.50
0.20	0.375	21.50	< 0	< 0	21.97	9.93	9.70
0.20	0.50	16.13	< 0	< 0	16.48	7.45	7.25
0.20	0.750	10.75	< 0	< 0	10.98	4.97	4.85
0.25	0.25	25.80	< 0	< 0	24.93	11.92	11.60
0.25	0.375	17.20	< 0	< 0	16.62	7.95	7.75
0.25	0.50	12.90	< 0	< 0	12.46	5.96	5.80
0.25	0.75	8.60	< 0	< 0	8.31	3.97	3.90
0.30	0.25	21.50	< 0	< 0	19.85	9.93	9.70
0.30	0.375	14.34	< 0	< 0	13.23	6.62	6.50
0.30	0.50	10.75	< 0	< 0	9.92	4.97	4.90
0.30	0.75	7.17	< 0	< 0	6.62	3.31	3.23
0.35	0.25	18.43	< 0	< 0	16.37	8.52	8.30
0.35	0.375	12.29	< 0	< 0	10.91	5.68	5.50
0.35	0.50	9.22	< 0	< 0	8.19	4.26	4.20
0.35	0.750	6.14	< 0	< 0	5.46	2.84	2.80

Tableau 5

ø	25	30	35	40
γ_1 (kN/m^3)	15	16	17	18

Tableau 6

ø	γl	La	La.abaq	Lr	Lr.abaq	Lm	Lmabaq
25	15	2.66	2.80	1.85	1.70	4.51	4.50
25	16	2.75	2.90	1.79	1.70	4.54	4.60
25	17	2.84	2.90	1.73	1.70	4.57	4.60
25	18	2.91	3.00	1.69	1.60	4.60	4.60
30	15	2.93	3.10	1.68	1.60	4.61	4.70
30	16	3.01	3.20	1.63	1.50	4.65	4.70
30	17	3.08	3.20	1.60	1.50	4.68	4.70
30	18	3.14	3.20	1.57	1.50	4.71	4.70
35	15	3.17	3.40	1.55	1.40	4.72	4.80
35	16	3.23	3.40	1.52	1.40	4.76	4.80
35	17	3.29	3.50	1.50	1.40	4.79	4.90
35	18	3.34	3.50	1.47	1.40	4.81	4.90
40	15	3.37	3.60	1.46	1.40	4.83	5.00
40	16	3.42	3.60	1.44	1.40	4.86	5.00
40	17	3.47	3.70	1.42	1.30	4.89	5.00
40	18	3.51	3.70	1.40	1.30	4.91	5.00

Tableau 7

Les valeurs de T_{1max} T_{4max} et T_{5max}, sont confondues mais trop optimistes, en effet ces dernières sont faibles de moitié par rapport aux valeurs des abaques.

- Les valeurs de T_{2max} et T_{3max}, sont trop pessimistes, et sont supérieures aux valeurs des abaques de 2.5 fois.

- Les valeurs de T_{6max} sont intermédiaires par rapport à celles des autres expressions, et mieux encore elles sont continuellement très proches des valeurs des abaques (valeurs théoriques), donc nous pensons qu'elles sont acceptables.

• **Comparaison des valeurs de Famin :**

- Les valeurs de Fa_{2min} et Fa_{3min}, sont à écarter puisqu'elles sont négatives.

- Les valeurs de Fa_{1min} et Fa_{4min}, sont trop optimistes par rapport aux valeurs des abaques, lesquelles sont supérieures de 2 fois.

- Les valeurs de Fa_{5min}, c'est-à-dire celles de la nouvelle approche, sont constamment très proches des valeurs des abaques (valeurs théoriques).

• **Comparaison des valeurs des longueurs de l'armature :**

Nous remarquons que les valeurs des longueur active, résistante et minimale sont très proches des valeurs respectives obtenues en utilisant les abaques.

6 CONCLUSION

De ce qui précède, nous pouvons affirmer qu'il n'y a pas de dépendance visible des résultats par rapport au choix des valeurs des paramètres influants, ce qui montre une certaine qualité d'objectivité de la méthode découlant de la nouvelle approche.

Donc, nous recommandons l'utilisation de cette nouvelle méthode analytique dont les résultats sont acceptables, ou à la rigueur, nous pouvons lui associer des coefficients de majoration ou de minoration.

Ces nouvelles expressions peuvent être appliquées pour n'importe quel ouvrage (mur et culée de pont) et à n'importe quel niveau Z de la hauteur de l'ouvrage, vu leur fiabilité que nous jugeons suffisante, et l'intérêt qu'elles représentent pour les maîtres d'ouvrages soucieux de l'économie procurée, et aussi pour de nombreux chercheurs dans ce domaine.

Par ailleurs, nous avons espéré comparer nos résultats découlants de la nouvelle approche à des résultats expérimentaux, mais faute de résultats pratiques publiés, nous nous contentons de la comparaison faite aux résultats théoriques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] J.J. LABA et J.B. Kennedy : "*Reinforced earth retaining wall analysis and design*". Pub. CGJ, Canada, vol 23, N°3, P 317-326, 1986.

[2] I. Juran : "*Dimensionnement interne des ouvrages en terre armée*". Thèse de doctorat, LCPC, France, 1977.

[3] I. Safer et T. Ayadat : "*Nouvelle méthodologie pour le dimensionnement des ouvrages en terre armée*". 1er Conrès maghrébin de Mécanique, Ghardaia 23-26 Mars, 1996.