

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Influence des surcharges sur la tension des ancrages

Influence of the surcharges on the tension of anchorings

F. BLONDEAU, Directeur Général Adjoint, Terrasol, France
M. CHRISTIANSEN, Ingénieur-Conseil, France

RESUME Quelques incidents survenus sur la tenue d'ancrages de soutènement nous ont amené à réfléchir à l'incidence des tassements induits par les surcharges sur la tension initiale de ces éléments.

Cette étude théorique présente le modèle d'interaction entre le sol (supposé élastique linéaire - plastique) et l'élément d'ancrage du soutènement (supposé élastique), et propose des abaques d'évaluation de la variation relative de tension en fonction de paramètres adimensionnels, lorsque le tassement du sol est uniforme.

INTRODUCTION

L'objet de cette étude est de trouver une explication à certaines ruptures d'ouvrages de soutènement, en analysant l'incidence du tassement du sol sur la tension des éléments d'ancrages.

La figure 1 montre un schéma typique de rideau de soutènement (pour mur de quai par exemple) ancré par un lit de tirants en tête et soumis à une surcharge. Si le sol, situé à l'arrière du rideau et traversé par la partie "libre" des tirants, tasse sous l'effet de la surcharge, le tirant subit une pression latérale et se déforme. Sa longueur augmente ainsi que sa tension. Sous certaines conditions limites de frottement longitudinal et de pression normale entre le sol et le tirant, la tension du tirant peut atteindre sa limite de rupture.

On présente, dans ce document, l'analyse du phénomène dans diverses configurations schématiques et on donne des abaques permettant de déterminer simplement l'augmentation de tension relative de l'ancrage en fonction de paramètres adimensionnels liés aux paramètres géométriques et géotechniques du site, lorsque le tassement est uniforme.

MODELISATION

On adopte les hypothèses et approximations suivantes :

- A l'origine le tirant de longueur L est tendu sous une traction T_0 uniforme. Il est parfaitement flexible (rigidité transversale $EI = 0$). Le déplacement du sol s est supposé satisfaire aux conditions de la déformation plane et l'étude est faite dans le plan contenant la position initiale du tirant. Le déplacement p d'un point du tirant est

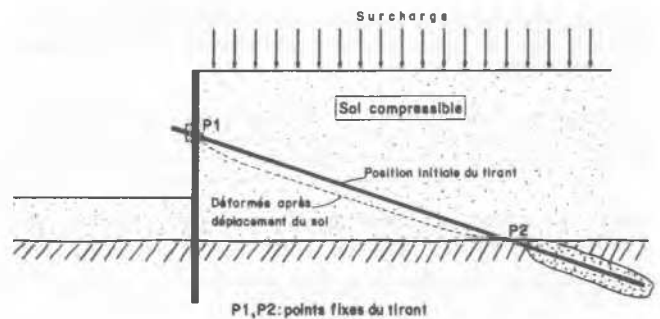


Figure 1

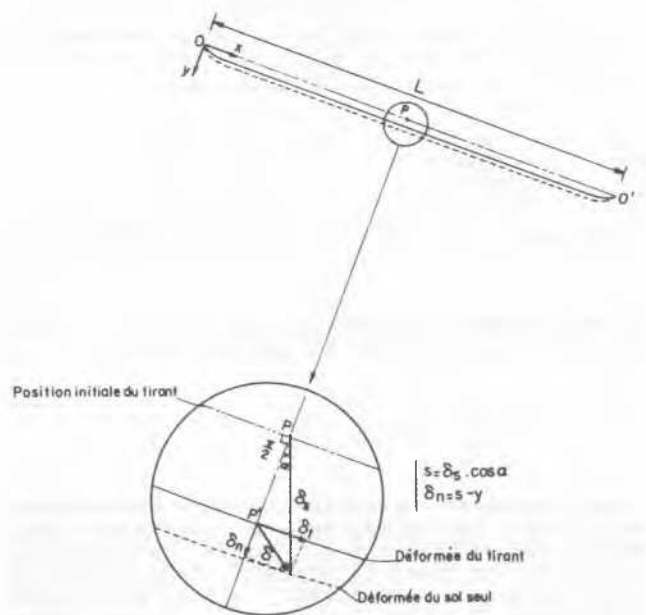


Figure 2

supposé normal à la position initial de celui-ci (fig. 2). La déformation du tirant est supposée faible pour que l'on puisse raisonner en coordonnées d'EULER dans un système d'axe OX, OY lié à sa position initiale. On définit alors les composantes normale δ_n et tangentielle δ_t du déplacement relatif sol-tirant :

$$\vec{\delta} = \vec{\delta}_s - \vec{\delta}_p$$

dans ce système d'axes. En pratique, seule la composante normale δ_n est prise en compte sous la forme :

$$\delta_n = s - y$$

avec $s = \delta_s \cos \alpha =$ composante normale du déplacement du sol seul

$y = \delta_p =$ déplacement du tirant

- Le comportement du tirant est supposé élastique linéaire défini par la rigidité EA de la section d'acier.

- La composante normale de l'interaction sol-tirant est de type élasto-plastique défini par la loi (fig. 3) :

$$P = E_s (s - y)$$

et $P < P_l$

dans laquelle P est pression par unité de longueur, P_l la valeur limite de P, E_s le coefficient de réaction sol-tirant.

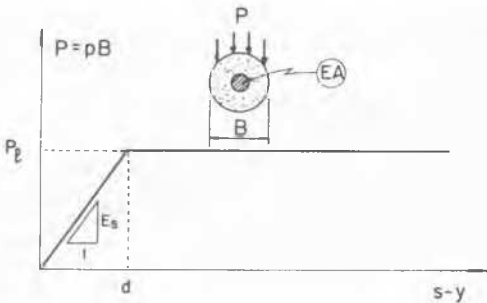


Figure 3

Le déplacement critique au-delà duquel le sol se plastifie autour du tirant est noté :

$$d = \frac{P_l}{E_s}$$

- La composante tangentielle de l'interaction sol-tirant est assimilée à un frottement sec défini par sa valeur f par unité de longueur, constante sur toute la longueur. Ceci revient à admettre que le déplacement relatif sol-tirant nécessaire à la mobilisation de f est très petit par rapport à d. Par ailleurs, la confi-

guration généralement adoptée pour les tirants, leur conférant une inclinaison sensible vers le bas, implique que le frottement dû au tassement du sol s'exerce de la tête vers la zone de scellement. La tête d'ancrage ainsi que le point représentatif de la zone de scellement sont supposés fixes. Toutefois, un processus itératif permettrait de prendre en compte un déplacement relatif de ces deux extrémités du tirant.

EQUATIONS D'EQUILIBRE - PRINCIPES GENERAUX DE SOLUTION

Deux conditions sont à réaliser :

Si T_x et T_y sont les composantes de la traction T s'exerçant dans le tirant déformé (T est supposé orienté vers les x positifs), l'équilibre sol-tirant se traduit par :

$$\frac{d T_x(x)}{dx} = -f$$

soit

$$\textcircled{1} \quad \begin{cases} T_x(x) = T_x(o) - f x \\ \frac{d T_y}{dx} = -p(y) \end{cases}$$

La flexibilité du tirant impose :

$$\textcircled{2} \quad \frac{T_y}{T_x} = \frac{dy}{dx}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} \quad T_x(o) - f(x) y'' - f y' = -P(y)$$

L'équation $\textcircled{3}$ définit l'équilibre sol-tirant. L'allongement du tirant est déterminé par :

$$\Delta L = \frac{1}{EA} \int_0^L [T(x) - T_o] dx$$

avec $T(x) = T_x(x) \sqrt{1 + y'^2}$

qui avec $\textcircled{1}$ donne

$$T(x) = [T_x(o) - f x] \sqrt{1 + y'^2}$$

De plus $L + \Delta L = \int_0^L \sqrt{1 + y'^2} dx$

ce qui conduit à l'équation d'équilibre interne du tirant :

$$\textcircled{4} \quad \int_0^L \left[\frac{T_x(o) - f x}{EA} - 1 \right] \sqrt{1 + y'^2} dx = \left[\frac{T_o}{EA} - 1 \right] L$$

La solution du problème passe par la résolution simultanée de $\textcircled{3}$ et $\textcircled{4}$. Compte tenu de la loi d'interaction sol-tirant, l'intégration doit être faite séparément sur les zones dites élastiques où $P_l < P$ et sur les zones dites

plastiques où $P = P_0$. Certains cas simples peuvent, moyennant quelques approximations, être résolus facilement, notamment le cas du tassement uniforme décrit ci-après.

CAS DU TASSEMENT UNIFORME

Ce cas correspond à :

$$s(x) = s = c^{te}$$

Il peut être résolu très facilement si l'on admet les simplifications suivantes :

- les effets de la pression normale et du frottement sont découplés ce qui revient à admettre que l'incidence de f sur la solution de (3) et (4) est faible, ce que confirment les calculs. La tension dans le tirant est alors défini comme la somme :

$$(5) \quad T = T_0 + \Delta T_f + \Delta T_p$$

avec T_0 , tension initiale ; ΔT_f , augmentation de tension due au frottement seul ; ΔT_p , augmentation due à la pression normale. Le frottement étant supposé nul, ΔT_p est indépendant de x .

- la déformée du tirant est suffisamment proche de sa position initiale pour que l'on puisse admettre :

$$\sqrt{1 + y'^2} = 1 + \frac{y'^2}{2}$$

$$T = T_x$$

La valeur maximale de T_f à la tête d'ancrage vaut alors :

$$(6) \quad T_f(0) = f \frac{L}{2}$$

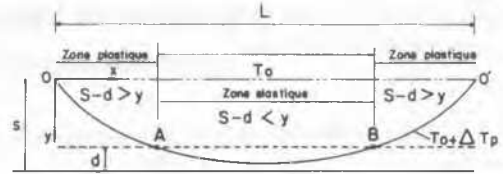
Les hypothèses simplificatrices adoptées et la symétrie de la déformée par rapport à l'abscisse $L/2$ conduisent à une expression mise sous forme adimensionnelle valable lorsque le sol n'est pas entièrement plastifié le long du tirant, ce qui est le cas général (fig. 4a).

$$(7) \quad \left[\frac{\Delta T_p}{T_0} \right]^2 \cdot \left(\frac{\Delta T_p}{T_0} + 1 \right) - \Lambda_{ep} = 0$$

dans laquelle

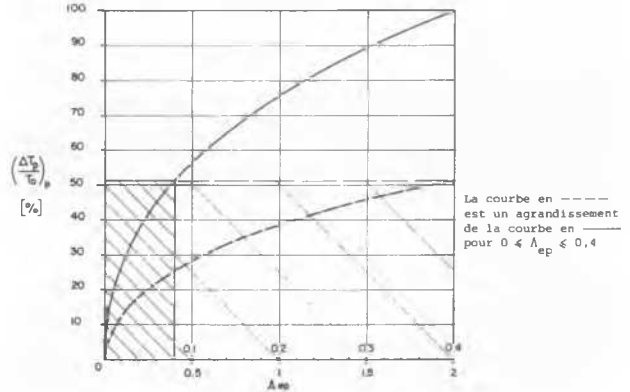
$\Delta T_p = T - T_0 =$ augmentation de tension due à la pression latérale

$$\Lambda_{ep} = \frac{1}{9} \cdot \frac{E_s (EA)^2 d^4}{T_0^3 L^2} \cdot \left[\left(2 \frac{s}{d} - 1 \right)^{3/2} + \frac{1}{2} \right]^2$$



$$d = \frac{P_f}{E_s} = \frac{p \ell}{k} \quad S > d$$

(a)



(b)

Variation relative de tension provoquée par un tassement uniforme s du sol autour du tirant lorsque le déplacement relatif sol-tirant est inférieur au déplacement d de réaction plastique dans la zone centrale.

Figure 4

$$\left(d = \frac{P}{E_s} = \text{déplacement sol-tirant provoquant la plastification} \right)$$

L'abaque de la figure 4b donne la variation de $\Delta T_p/T_0$ en fonction de Λ_{ep} .

Le tassement critique correspondant à la plastification complète (fig. 5a) est donné par :

$$\frac{s_c}{d} = 1 + \frac{1}{8} \frac{L^2 E_s}{T_0^2} \frac{1}{1 + \left(\frac{\Delta T}{T_0} \right)}$$

dans laquelle $\Delta T/T_0$ est solution de l'équation (8).

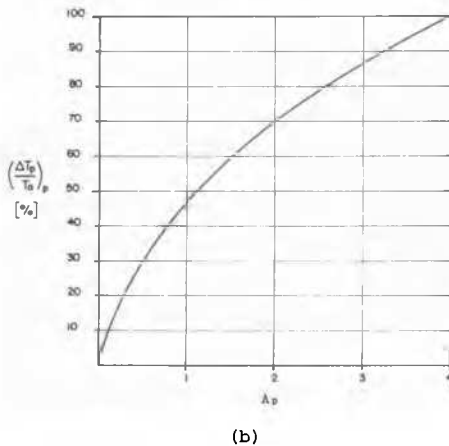
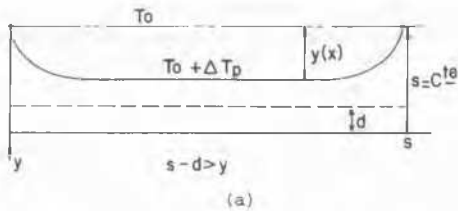
$$(8) \quad \frac{\Delta T_p}{T_0} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T_p}{T_0} \right)^2 - \Lambda_{ep} = 0$$

avec

$$\Lambda_{ep} = \frac{1}{24} \frac{(P_0 \cdot L)^2 EA}{T_0^3}$$

La figure 5b donne la variation de $\Delta T_p/T_0$ dans cette hypothèse. Elle représente la borne supérieure de l'accroissement de tension que peut avoir à subir le tirant.

Tant que $s < s_c$, c'est l'abaque de la figure 4 qu'il convient d'utiliser.



Variation relative de tension provoquée par un tassement uniforme s autour du tirant lorsque le déplacement relatif sol-tirant est partout supérieur au déplacement d de réaction plastique.

Figure 5

On note que lorsque le tassement devient important par rapport à d , le paramètre Λ_{ep} peut s'écrire :

$$\Lambda_{ep} \approx \frac{8}{9} \frac{P_l (EA)^2}{T_0^3 L^2} \cdot s^3 \cdot \left(1 - \frac{3d}{2s}\right)$$

On peut aussi l'exprimer à l'aide de la contrainte initiale de l'acier $\sigma_0 (= T_0/A)$

$$\textcircled{9} \quad \Lambda_{ep} \approx \frac{8}{9} \frac{P_l \cdot E^2}{\sigma_0^2 \cdot T_0 \cdot L^2} \cdot s^3 \cdot \left(1 - \frac{3d}{2s}\right)$$

Il apparaît clairement d'après $\textcircled{9}$ que Λ_{ep} , donc $\Delta T/T_0$ est très sensible au tassement s et que le moyen d'en réduire l'incidence, toutes choses égales par ailleurs, est d'augmenter la valeur de σ_0 , c'est-à-dire de prendre des aciers de haute limite élastique et d'augmenter T_0 c'est-à-dire de concentrer l'ancrage sur un faible nombre de tirants, ce qui est

malheureusement contraire au souci habituel de "répartition du risque" par multiplication des éléments d'ancrage.

On note aussi que les tirants longs sont moins sensibles que les tirants courts.

Les exemples d'application courante montrent qu'une augmentation relative $\Delta T_p/T_0$ de 30 à 50 % peut être atteinte pour un tassement de l'ordre de 5 à 10 cm.

CONCLUSION

L'étude présentée ici montre que le déplacement du sol autour d'un tirant peut induire une augmentation sensible de tension de celui-ci au point d'en provoquer éventuellement la rupture. On sépare l'origine de la surtension en deux parties distinctes :

- l'effet du frottement provoqué par la composante tangentielle du mouvement. Dirigé de la tête vers le scellement, cet effet provoque une surtension relative, maximale en tête qui peut être de l'ordre de 10 à 30 % de la tension initiale ;

- l'effet de la pression provoqué par la composante normale du déplacement. Un abaque permet de déterminer très simplement l'accroissement relatif de tension dû à cet effet, dans l'hypothèse du tassement uniforme au droit de la "zone libre" du tirant.

Cet effet croît comme le cube de la valeur du tassement et peut atteindre 50 % pour 10 cm de déplacement absolu du sol (composante normale à la position initiale du tirant). Il diminue comme l'inverse du carré de la longueur libre. En cas d'augmentation sensible du tassement, la rupture du tirant intervient au voisinage de la tête d'ancrage. Pour limiter l'incidence relative de tels effets, il convient a priori d'utiliser des aciers à haute limite élastique et/ou de concentrer les ancrages sur des tirants de forte capacité.