

PORTANCE DES MICROPIEUX

**Mr. EJJAAOUANI
(LPEE)**

RESUME

Cet article rappelle le dimensionnement des micropieux et donne un exemple d'essai réalisé in-situ avec l'interprétation .

Il montre l'importance de l'exécution sur les valeurs prises en compte pour le prédimensionnement et la nécessité de réaliser des essais de contrôle .

Le D.T.U. 13,2 définit les micropieux comme des pieux forés de faible diamètre, inférieur à 250 mm.

On s'intéressera dans cet article aux micropieux de type II qui sont constitués en général d'armatures scellées dans le sol par injection d'un coulis .

Cette technique utilisée au Maroc pour plusieurs ouvrages de bâtiments, pour reprendre les efforts de sous - pressions sous les radiers (surtout à Casablanca), reste peu utilisée dans le cas de renforcement des fondations des ouvrages d'Art. La profondeur de ces micropieux est pour le premier cas relativement faible de 3 à 5 m, alors que pour les seconds elle est importante dépassant 12m.

Comme le suggèrent les différents règlements, DTU ou TA 86, les chantiers objet de micropieux doivent faire l'objet d'essais en vraie grandeur . Dans deux grands chantiers dernièrement réalisés, les essais de contrôle ont montré une surestimation de la portance et on était amené à doubler le nombre de micropieux initialement prévu .

Nous présentons dans cet article les différents paramètres qui rentrent dans le prédimensionnement des micropieux et les résultats d'un chantier vécu.

I PORTANCE DES MICROPIEUX

Les micropieux se dimensionnent comme les pieux au pointe et au frottement latéral. Toutefois le terme de pointe est souvent négligé à cause soit de sa faiblesse devant le frottement latéral soit du déplacement important pour sa mobilisation.

De ce fait les micropieux ne sont en général dimensionnés qu'au frottement latéral qui est donné par:

$$Q = n \cdot D_s \cdot L_s \cdot q_s$$

D_s : diamètre du bulbe de scellement fictif

L_s : longueur du scellement intéressée par l'injection

q_s : frottement latéral unitaire.

Le diamètre du bulbe de scellement est fonction de l'injection mise en oeuvre, pression et volume, et augmente en principe lorsque ceux-ci augmentent, mais sans dépasser certaines limites. Dans le T.A 86, on donne ce diamètre en fonction du diamètre du forage soit: (2).

$$D_s = a \cdot D_d$$

a ; est donné par le tableau ci - après:

Valeur du coefficient α pour le calcul du diamètre du bulle (Busiamante, 1984)

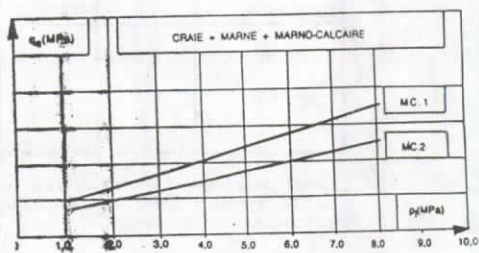
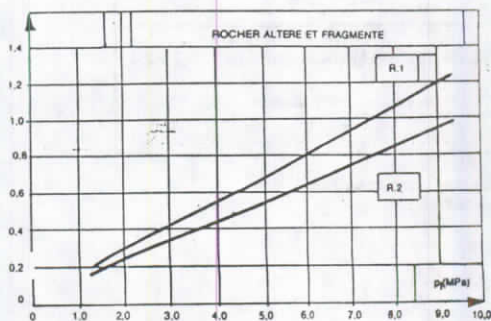
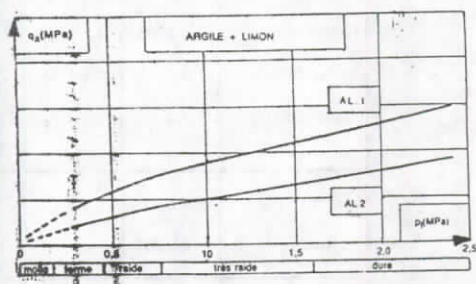
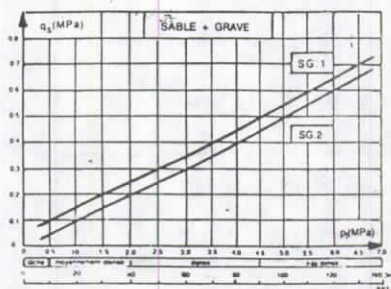
Sols	Coefficient " α "		Conditions d'application	
	IRS (1) ($p_i \geq p_l$)	IGU (2) ($p_i < p_l$)	Quantité usuelle de coulis à injecter V_i	Dosage coulis C/E
Graves	1,8	1,3 à 1,4	1,5 V_s	1,7 à 2,4
Graves sableuses	1,6 à 1,8	1,2 à 1,4	1,5 V_s	
Sables graveleux	1,5 à 1,6	1,2 à 1,3	1,5 V_s	
Sables grossiers	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s	
Sables moyens	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s	
Sables fins	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s	
Sables limoneux	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 à 2,0 V_s , pour IRS. 1,5 V_s pour IGU	
Limons	1,4 à 1,6	1,1 à 1,2	2,0 V_s pour IRS. 1,5 V_s pour IGU	1,7 à 2,4
Argiles	1,8 à 2,0	1,2	2,5 à 3,0 V_s pour IRS. 1,5 à 2,0 V_s pour IGU	
Marnes	1,8	1,1 à 1,2	1,5 à 2,0 V_s pour couche compacte	1,7 à 2,4
Marno-calcaires	1,8	1,1 à 1,2	2,0 à 6,0 V_s ou plus, si couche fracturée	
Craie altérée ou fragmentée	1,8	1,1 à 1,2		
Rocher altéré ou fragmenté.	1,2	1,1	1,1 à 1,5 V_s si couche finement fissurée 2,0 V_s ou plus, si couche fracturée	1,7 à 2,4

(1) IRS : injection répétitive et sélective sous pression élevée (voir remarque)

(2) IGU : injection globale et unique sous faible pression (voir remarque)

p : Pression en tête de forage .

Quant au frottement latéral mobilisable, il est donné par les abaques suivants:



II/ REALISATION D'ESSAI POUR LE VIADUC DES CHEMINS DE FER

Dans le cadre du dédoublement de la voie entre Rabat et Salé, il a été prévu la réalisation de micropieux pour le renforcement des fondations. Il s'agit de micropieux travaillant en compression à 65t, comme charge admissible. Pour confirmer cette charge en fonction de la nature du sol et du mode de réalisation il a été décidé la réalisation d'un essai in-situ .

11-1/ Réalisation de l'essai

Il s'agit d'un essai spécial qu'on ne peut classer ni dans le catégorie d'essais de reconnaissance ni dans la catégorie d'essais de contrôle. En effet, le micropieu destiné à l'essai a été exécuté à part, non choisi parmi ceux de la semelle et exécuté en même temps que les autres .

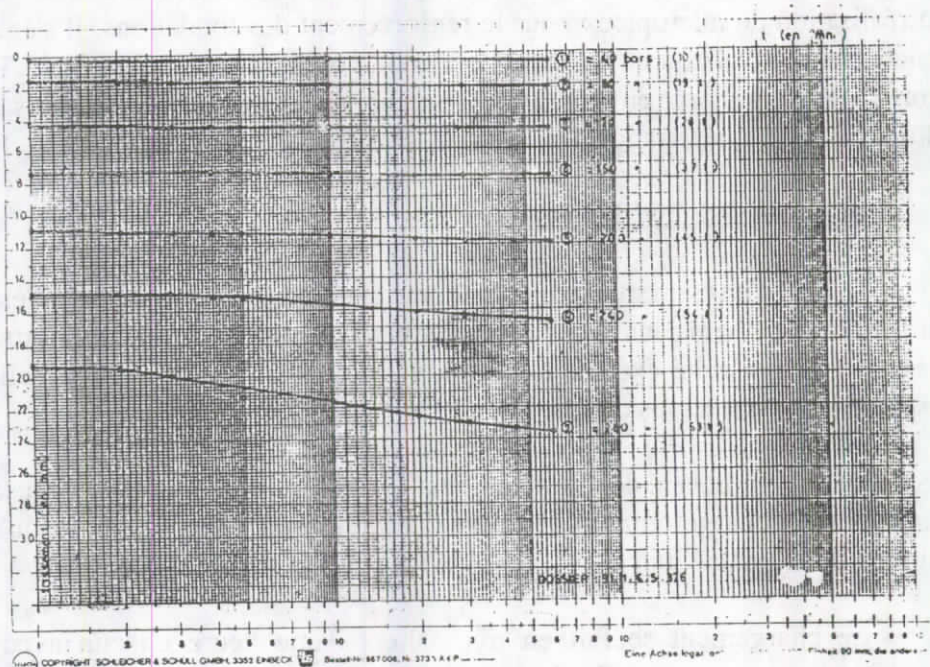
De ce fait, il a été décidé de charger le micropieu le premier jour jusqu'à 1,4 QN (QN charge admissible prévue) et de porter cette charge jusqu'à la rupture le deuxième jour .

Le chargement se fait en dix paliers d'une heure chacun avec un accroissement constant de la charge .

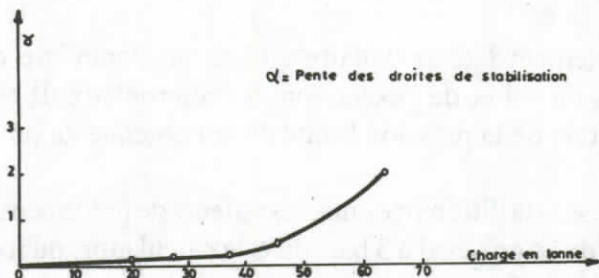
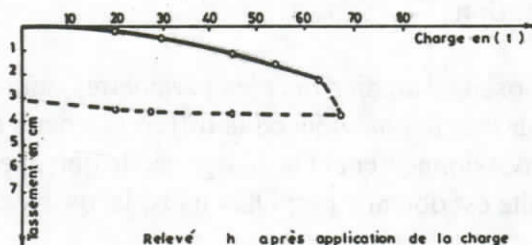
Le déchargement se fait en cinq paliers de cinq minutes chacun .

Ainsi et compte - tenu que la charge admissible du micropieu estimée à 65t, le premier chargement a été prévu jusqu'à 91t .

Le relevé des tassements moyens pour chaque charge en tête du micropieu est donné ci - dessous . (3)



On voit bien à partir des courbes ordonnées que le fluage a commencé à partir de 41t et la rupture est obtenue à 68t .



Par conséquent donc la charge admissible à prendre en compte est de l'ordre 32t au lieu de 65t initialement prévue et qui a été déterminée conformément à la méthode précédente .

II - 2/ Interprétation

Nous nous proposons d'étudier tous les paramètres qui rentrent dans le dimensionnement pour mettre en évidence la différence nette entre la charge trouvée lors du prédimensionnement et la charge réelle obtenue par l'essai. On sait que la charge limite est obtenue par: $QL = n Ds \cdot Is \cdot qs$ avec:

- Ls longueur de scellement. Dans le calcul elle était de 6,6m et lors de l'exécution elle a été de 8 m ce qui est très favorable pour la charge réelle.

- Des diamètre moyen du bulbe de scellement égal à 1,5 Df (Df diamètre de forage) pour les micropieux type IRS exécutés dans les sables et graviers . Le diamètre pris dans le calcul était de 140mm alors que celui du forage réel est de 194 mm ce qui constitue un deuxième élément favorable pour la charge réelle

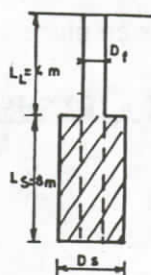
- qs : frottement latéral unitaire . C'est un paramètre qui dépend des caractéristiques du sol et de l'exécution des micropieux. Il est donné par un abaque en fonction de la pression limite du sol obtenue au pressiomètre .

En conclusion la différence entre les valeurs de prédimensionnement et de l'essai provient de qs pris égal à 3 bars dans le calcul alors qu'il est en moyen de 1,25 bar d'après l'essai (valeur adoptée généralement pour des pieux forés (non injectés)).

d'après l'abaque et si l'exécution du micropieu est normale ce frottement correspond à un sol de pression limite 7 bars. D'après les résultats géotechniques connus cette hypothèse est à écarter car le sol serait lâche et on n'aurait pas pu avoir des refus aux pénétrations à ces profondeurs, ce qui n'est pas le cas .

Par ailleurs dans tel cas la consommation du coulis aurait pu être importante avec les pressions appliquées, or, la consommation enregistrée dans tous les forages reste très faible, inférieure aux limites préconisées pour appliquer les abaques ci - dessus .

En effet la quantité injectée V_i doit être supérieure à 1,5 le volume de bulbe de scellement V_s . Dans notre cas on a :



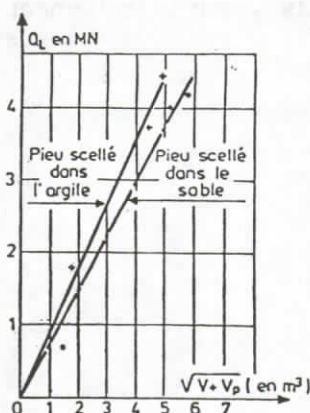
$$V_s = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot L_s = 0,532 \text{ m}^3$$

$$V_L = \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} \cdot L_L = 0,128 \text{ m}^3$$

Le volume total de coulis (toutes phases comprises) mis en place doit être supérieur à 0,91 m³ (1,5, $V_s + V_L$);

L'analyse des fiches des résultats montre qu'on est bien en dessous de cette valeur limite .

Alors que divers essais par ailleurs et à l'étranger ont montré que le volume injecté est un des paramètres déterminants de la capacité de scellement et il y a même une relation directe et linéaire entre celle - ci et la racine carrée du volume injecté (voir bibliographie)

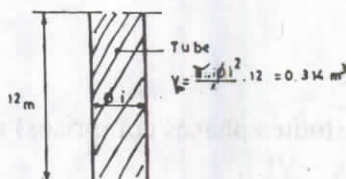


De ce fait, la valeur faible trouvée de la charge est due à notre avis à cette anomalie sous consommation du forage qu'il convient de voir les origines.

En effet, toutes les règles de dimensionnement du micropieu type IRG supposent une consommation du coulis minimale, qui n'a pas été atteinte dans notre cas.

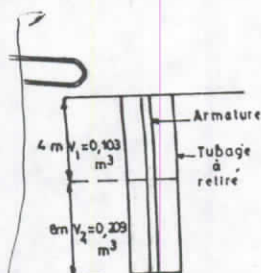
Analysons maintenant les détails des volumes mis en place:

* Forage et mise en place d'un tubage provisoire 182.5/193.7.7.



* Le volume du coulis de prèscellement mis en place doit rester de cet ordre de grandeur, voir légèrement inférieur. Or dans les fiches des relevés on note que ce volume est supérieur à cette valeur, de l'ordre 80 à 100%. L'explication à notre avis est due à une perte du coulis en tête après remplissage du tube.

* Mise en place de l'armature du micropieu 70/89 à l'abri du tubage qui sera retiré à la fin. Injection pour le scellement (phase la plus importante).



$$\begin{aligned} V_1 &= 1,5 \cdot V_s = 1,5 \cdot \left(\pi \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot L_s \right) \\ &= 1,5 \cdot \left[(1,5)^2 \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot \pi \cdot L_s \right] \\ &= 3,375 \cdot V_2 \end{aligned}$$

$$V_{s2} = V_1 - V_2 = 2,275 \cdot V_2 \approx 0,49 \text{ m}^3.$$

volume minimal à injecter pendant la phase de scellement.

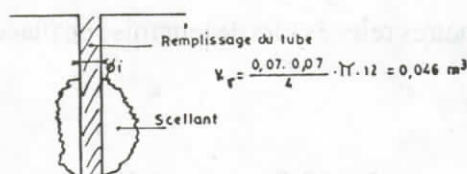
On a pour les huit mètres de scellement un volume théorique du forage de 0,209 m³, de ce fait le volume de scellement doit être de 0,47 m³ et celui à injecter de 0,704 m³. Le volume à injecter pendant cette phase (scellement) doit donc être supérieur à 0,49 m³, alors que d'après les fiches d'injection il est de l'ordre de 0,06 à 0,374 m³ avec:

* 3 forages inférieurs à 0,1 m³ (le cinquième du prévu)

* 9 forages compris entre 0,1 et 0,2 m³.

Ceci montre qu'on est très loin des valeurs minimales exigées par les réglementations .

* Remplissage après injection



Les valeurs relevées sont presque identiques aux valeurs théoriques et il n'y a pas de remarque particulière .

Quant à la pression d'injection, si elle est toujours intéressante à connaître elle ne peut remplacer la quantité injectée . La pression en tête n'a pas d'influence directe sur la capacité portante si ce n'est comme moyen d'augmenter le volume injecté . (I)

Et ce surtout à cause de la méconnaissance de la pression réelle de contact entre le coulis et le sol qui est de loin très inférieure à la pression d'injection mesurée au niveau de la pompe. Les pertes de charges atteignent facilement une dizaine de bars. Les plus importantes sont au niveau:

- des conduites d'amenée des coulis (fonction du diamètre, de la longueur, des coudes, des conduites, de la viscosité du coulis . . .).
- et des manchettes en caoutchouc .

III/ CONCLUSIONS

Nous avons présenté un exemple d'essai de micropieu qui a donné une charge inférieure à celle de dimensionnement. Ce cas n'est pas unique puisqu'on l'a rencontré dans d'autres chantiers .

Ceci montre l'importance des essais car, à la différence des pieux, la portance des micropieux dépend en premier de l'exécution et du matériel mis en oeuvre pour l'injection surtout pour les micropieux ou tirants type IRS (Injection répétitive et sélective) .

Tous les paramètres relevés lors de leur mise en place sont importants pour l'interprétation .

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Document SETRA - CETE méditerranéen Mars 86 "Les micropieux".
- (2) Recommandations TIRANTS D'ANCRAGES
Recommandations TA 86
- (3) Documents LPEE "Etude géotechnique des viaducs ONCF"