

LES REMBLAIS DE SUBSTITUTION

Par :

A. BENDJEBBOUR

Directeur Technique du Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (L.T.P.O.)

Secrétaire Général du Comité Algérien de Mécanique des Sols et des Roches (C.A.M.S.O.R.).

1 INTRODUCTION

En 1978, lors de l'élaboration de certaines études géotechniques routières, les ingénieurs attiraient l'attention des concernés sur la nécessité en outre de leur proposer une méthode précise de prédimensionnement des épaisseurs de couche de chaussée celles qu'ils avaient vu appliquer jusqu'alors leur paraissant peu satisfaisantes voire injustifiées.

La méthode que nous leur proposons maintenant avec un recul et après réflexions, détermine h épaisseur de la couche de forme en graves non traitées comme la plus forte des trois valeurs suivantes :

- h_1 déterminé par un des trois critères court termes, garantissant des caractéristiques minimales à la plateforme, en vue d'assurer la possibilité d'une mise en oeuvre correcte de la chaussée.
 - * soit un module $E_{v2} > 500$ bars, E_{v2} mesuré à l'essai de plaque (mode opératoire L.C.P.C. Dunod 73), préféré comme critère à celui de la déflexion inférieure à 2 mm au deflectographe LACROIX, car se prêtant mieux à une analyse théorique de mécanique des sols.
- h_2 déterminé par des critères de portance à long terme et donné par le tableau IV-a de la notice d'utilisation du catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves, page 22.
- h_3 déterminé par la vérification au gel-dégel suivant les directives de cette même notice. Ce critère est expres-

sément introduit pour prendre en charge ce phénomène qu'on a pris l'habitude d'ignorer injustement, à notre avis, en Algérie. Le froid des hauts plateaux (Tiaret-Bayadh-Setif...) par sa rudesse, doit forcément pénaliser les chaussées dans ces régions. On y observe souvent des déradations qu'on ose pas attribuer à l'effet du gel et du dégel ?

L'évaluation de h_1 pouvait se poser en ces termes généraux : détermination de l'épaisseur h de couche de forme en graves non traitées dotées d'un module "intrinsèque" E_{v2}^1 , compactées à 95% de l'optimum Proctor modifié, pour obtenir un module E_{v2}^3 du bicouche, valeur prise comme critère de réception, le sol de fondation présentant lui un module E_{v2}^2 (cf figure 1).

Les évaluations de h_2 et h_3 étaient alors conformes à la notice d'utilisation du catalogue 77.

Nous proposerons dans notre conclusion des améliorations pour celle de h_2 .

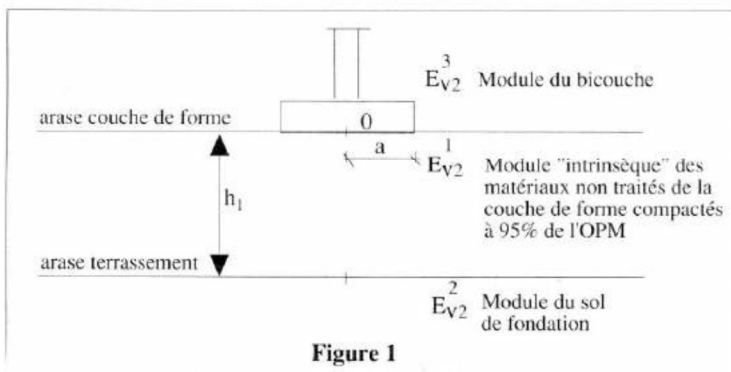
Nous avons dans un premier temps essayé d'apporter une réponse théorique à la détermination de h_1 en utilisant les abaques d'Odemark (Figure 2).

* E_{v2}^1 étant fixé, le rapport E_{v2}^1 / E_{v2}^2 était une donnée, pour une grave de E_{v2} donné, à un certain degré de compactage.

* à chaque valeur de E_{v2}^3 et donc de $Fw = E_{v2}^2 / E_{v2}^3$ correspondait une valeur de h_1/a et donc de h_1 .

Ce travail nous a conduit aux courbes représentées sur la figure 3, avec le très net sentiment qu'elles conduisaient à des valeurs très pessimistes de h_1 pour les faibles valeurs de E_{v2}^2 .

D'autres approches théoriques du même type conduisaient aux mêmes résultats, nettement pessimistes (BURMISTER par exemple).



D'autre part, depuis début 79, nous nous attachions à relever un certain nombre de résultats expérimentaux. Le report de ces résultats sur les abaques issus d'Odemark montre effectivement la surestimation de h_1 qu'ils entraînent.

Le paragraphe ci-après développe une approche théorique personnelle du problème, donnant des valeurs de h_1 concordant bien avec les résultats expérimentaux.

2 APPROCHE THEORIQUE PROPOSEE

2.1 Relation générale entre E_{v2}^1 , E_{v2}^2 et E_{v2}^3

Par définition :

$$E_{v2}^3 = 1,5 p a / W$$

W tassement de la plaque

p contrainte

a rayon

or W peut être considéré comme la somme :

- du tassement en O en supposant h infini

$$W_1 = 1,5 p a / E_{v2}^1$$

- de la différence des tassements en O estimés pour deux milieux présentant respectivement des modules de E_{v2}^2 et E_{v2}^1 , différence pouvant s'écrire :

$$W_2 = 1,5 p a \left[1 / E_{v2}^2 - 1 / E_{v2}^1 \right]$$

en faisant les hypothèses suivantes :

1° - si h est petit, la raideur de la plaque se transmet au disque de rayon a centré sur O' et on néglige le tassement en O' imprimé par la couronne extérieure au cercle de rayon a centré sur O' , et p' est estimé comme au § 2.2.

2° - si h est grand p' est faible et W_2 devient négligeable.

Dans ces conditions, on peut écrire, tous calculs faits :

$$1 / E_{v2}^3 = 1 / E_{v2}^1 + P' / P \left[1 / E_{v2}^2 - 1 / E_{v2}^1 \right] \quad (1)$$

2.2 Estimation de P' / P

Les estimations de P' / P par les théories de l'élasticité donnent des résultats nettement discordants avec la réalité.

Nous proposons la méthode suivante classique dans les études de cadres enterrés.

Sur la figure 4, considérons l'équilibre d'un disque élémentaire.

$$\pi a^2 \sigma_v = \pi a^2 (\sigma_v + d\sigma_v) + \tau H \times 2 \pi a \times dz$$

avec :

$$\tau H = K_0 \sigma_v \operatorname{tg} \varphi$$

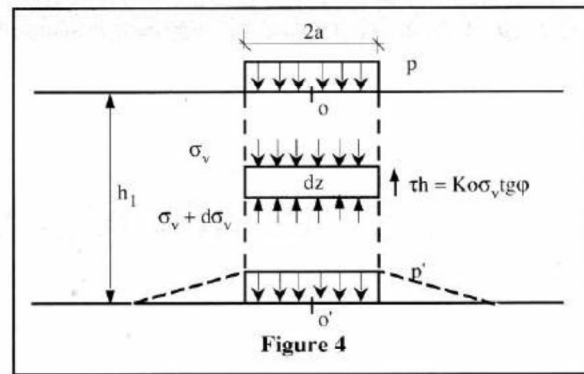


Figure 4

K_0 coefficient de poussée des terres au repos
 φ angle de frottement interne des graves non traitées de la couche de forme

d'où :

$$d\sigma_v = - (2/a) K_0 \sigma_v \operatorname{tg} \varphi dz$$

et

$$P' = P e^{-2 (h/a) K_0 \operatorname{tg} \varphi}$$

avec $K_0 = 0,5$ et $\operatorname{tg} \varphi = 1$, nous obtenons :

$$p' = p e^{-h/a} \quad (2)$$

Sur la figure 5, nous avons représenté l'évolution de P' / P fonction de h/a à partir de cette relation et à partir

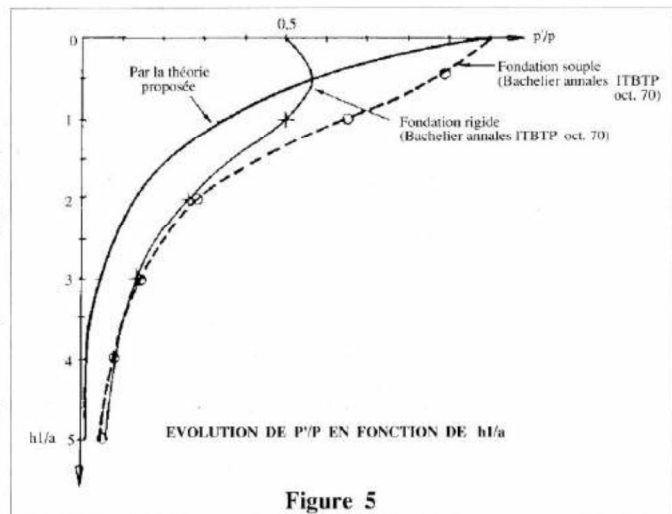


Figure 5

des approches de BACHELIER. La relation (2) donne une décroissance très rapide de la contrainte plus conforme avec les constatations expérimentales.

2.3 Conclusions

La relation proposée entre E_{v2}^1 , E_{v2}^2 , E_{v2}^3 et h_1 vient donc :

$$1 / E_{v2}^3 - 1 / E_{v2}^1 = e^{-h_1/a} \left[1 / E_{v2}^2 - 1 / E_{v2}^1 \right] \quad (3)$$

$$h_1 = - a \log \left[\frac{1 / E_{v2}^3 - 1 / E_{v2}^1}{1 / E_{v2}^2 - 1 / E_{v2}^1} \right] \quad (4)$$

Nous avons schématisé sur la figure 6 les courbes théoriques donnant h_1 fonction de E_{v2}^3 pour différentes valeurs de E_{v2}^2 et pour $E_{v2}^1 = 2000$ bars et reporté certaines valeurs expérimentales. On constate un bon accord avec les estimations théoriques, sauf pour la courbe $E_{v2}^2 = 30$ bars, où la sous-estimation théorique vient de ce que les matériaux au contact du sol de fondation ne présentent pas un E_{v2}^1 de 2000 bars, en raison de l'impossibilité de compacter les matériaux à 95% de l'O.P.M. par défaut d'effet d'enclume.

La confrontation entre les estimations théoriques et les résultats expérimentaux nous permet de suggérer d'adopter les relations 3 et 4 pour l'estimation des épaisseurs de couche de forme en graves non traitées présentant un module E_{v2}^1 , compactées à 95% de l'O.P.M., épaisseurs permettant a priori d'obtenir un module à la plaque cible E_{v2}^3 sur le bicouche, satisfaisant un critère de réception donné, le sol de fondation présentant un module à la plaque E_{v2}^2 , avec une petite majoration pour les sols de fondation peu compacts, majoration due à l'impossibilité de compacter correctement la première couche.

3 CONCLUSIONS

3.1) Sur le plan pratique, la détermination de h_1 pourra se dérouler comme suit :

a) E_{v2}^3 , la valeur de 500 bars devant être considérée comme une borne inférieure, sera pris égal à 800 bars.

b) E_{v2}^2 sera estimé à partir des études géotechniques et affecté des coefficients α , β , γ et δ explicités ci-dessous et également donnés par les études géotechniques préalables.

$$E_{v2}^2 = 30 \text{ à } 50 \text{ CBR}$$

$$E_{v2}^2 = 3 \text{ à } 5 \text{ Ep}$$

Ep : Module mesuré au pressiomètre .

α : Coefficient d'abattement pour remaniement mécanique de l'arase terrassée.

β : Coefficient d'abattement lié à une évolution possible de la teneur en eau du sol de fondation (par exemple par effet piscine de la couche de forme ou par équilibre hydrique.

γ : Coefficient tenant compte d'une consolidation possible des sols de fondation.

δ : Coefficient tenant compte d'une décompression possible des sols de fondation (par exemple grands déblais dans des argiles gonflantes).

c) E_{v2}^1 pourra soit être connu par des expériences déjà réalisées avec les mêmes matériaux, soit estimé à partir des résultats de VOSS donnés sur la figure 8, on constate de plus en comparant les courbes des figures 6 et 7, qu'il y a peu de différence entre $E_{v2}^1 = 2000$ bars et $E_{v2}^1 = 1500$ bars dans la plage $E_{v2}^2 = 0 - 500$ bars.

d) enfin h_1 sera estimé à partir de la relation :

$$h_1 = -a \log \left[\frac{1/E_{v2}^3 - 1/E_{v2}^2}{1/E_{v2}^2 - 1/E_{v2}^1} \right] + 3 \left[\frac{1/E_{v2}^2 - 1/E_{v2}^3}{1/E_{v2}^2 - 1/E_{v2}^1} \right] ; h_1 \text{ et } a \text{ en m.}$$

Le deuxième terme tenant compte de l'impossibilité de compacter la première couche correctement dans le cas de sols de fondation peu porteurs.

3.2) Une détermination plus précise de h_2 pourrait être également réalisée à partir des mêmes relations 3 et 4, les remarques suivantes étant faites :

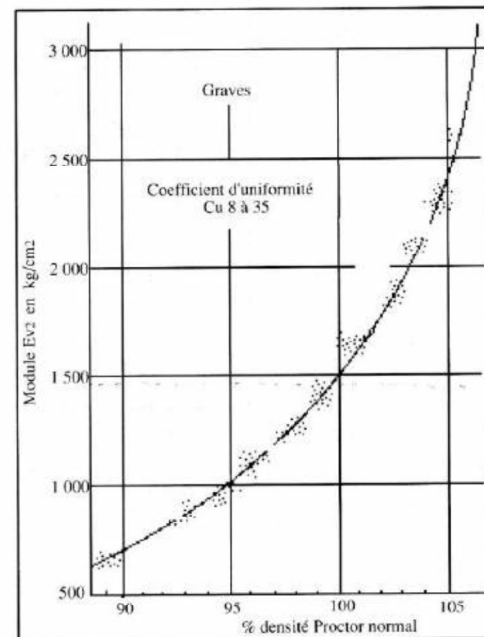
- le dimensionnement précédent conduit à une épaisseur h_1 de couche de forme permettant de classer la plate-forme en PF 2 s'il n'y a pas perte de portance soit des matériaux de couche de forme, soit des sols de fondation.

- s'il y a perte de portance, sans que le module du bicouche E_{v2}^3 descende en dessous de 350 bars, le dimensionnement à h_1 conduit à une plate-forme PF 1.

- si on peut craindre une perte de portance telle que h_1 conduise à un E_{v2}^3 inférieur à 350 bars, alors il faut dimensionner h_2 pour qu'avec les E_{v2}^2 et E_{v2}^1 après évolution, on ait un minimum de 350 bars.

- enfin, si l'on souhaite avoir une plate-forme PF 3, il faut alors calculer h_2 pour qu'avec les caractéristiques E_{v2}^2 et E_{v2}^1 prévisibles à long terme, on ait un minimum de E_{v2}^3 de 1 200 bars.

3.3) Enfin, nous avons représenté figure 9, des abaques permettant l'estimation de h_1 ou h_2 à partir de E_{v2}^2 du sol de fondation pour un E_{v2}^1 de 2 000 bars et pour différentes valeurs cibles du E_{v2}^3 du bicouche \odot



Variation de E_{v2}^1 (graves non plastiques) en fonction de la densité relative Proctor.

Figure 8

