

# 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.*

# Effondrement d'un matériau de remblai compacté trop sec

## Collapse behaviour of a dry compacted embankment

P.DELAGE, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, CERMES, Paris, France

RESUME : On présente le cas d'un remblai d'accès à un pont, compacté trop sec et trop lâche. Des tassements soudains survenus peu après la fin des travaux et qui ont engendré un déplacement excessif du tablier sont identifiés comme étant dus à un effondrement du sol, suite à des précipitations et surtout à la remontée capillaire depuis la nappe.

### INTRODUCTION

L'importance d'un contrôle précis des caractéristiques de compactage des remblais est évidente, mais des problèmes dus à des contrôles défectueux peuvent toujours survenir. On présente ici un cas d'effondrement d'un remblai compacté en été dans un pays européen, et qui a présenté par la suite des problèmes de tassements de nature inhabituelle. L'étude a été menée en utilisant des concepts propres aux sols non saturés, qui ne sont pas souvent considérés dans les pays tempérés, mais peuvent parfois apporter des éléments de réponse.

### DESCRIPTION DU PROBLEME

Un remblai d'accès à un pont de 8 m de haut a été élevé en compactant un schiste résiduel, dont la granulométrie correspond à celle d'un sable limoneux. Peu après l'achèvement du remblai et la pose du tablier, des pluies importantes ont eu lieu, et des tassements soudains ont mis l'ouvrage hors service, du fait de déplacements excessifs du tablier. Au bout de 6 mois, les tassements totaux atteignaient des valeurs comprises entre 15 et 25 cm. L'observation a posteriori des relevés de chantier a montré que, du fait d'un été très sec et d'une énergie de compactage probablement trop faible, la teneur en eau et le poids volumique sec de mise en place étaient en fait beaucoup plus faibles que les caractéristiques Proctor : 6 % au lieu de 10,5 %, et 16 kN/m<sup>3</sup> au lieu de 19,8 kN/m<sup>3</sup>. De plus, les valeurs des teneurs en eau mesurées sur le site après coup se sont révélées être beaucoup plus élevées que celles de la mise en place, et comprises entre 15 et 25 %. Le poids volumique est quant à lui resté inchangé.

L'analyse des relevés pluviométriques a montré qu'une hauteur d'eau de 100 mm était tombée pendant 3 jours, et le calcul montre qu'une hauteur de 1000 mm aurait été nécessaire pour entraîner une augmentation de 10 points de la teneur en eau. Etant donné que la nappe était située au niveau du terrain naturel, l'éventualité d'une remontée capillaire a été prise en

compte, et le problème a été abordé sous l'aspect non-saturé.

Des échantillons de sol ont été extraits du massif à la pelle, et fournis au laboratoire secs et décompactés. La caractérisation du matériau a montré que son pourcentage argileux (5 % < 2 μm), et son indice de plasticité (I<sub>p</sub> = 5) étaient faibles.

### HYDRAULIQUE DU MASSIF NON-SATURE

La courbe de rétention d'eau a été déterminée de façon simplifiée en utilisant la méthode du papier filtre (GARDNER 1937), qui permet une mesure indirecte de la succion à l'intérieur d'une éprouvette ; cette méthode consiste à insérer dans l'échantillon étudié une feuille de papier filtre humide dont la courbe de rétention d'eau est étalonnée et connue. L'ensemble est ensuite reparaffiné ; au bout de quatre jours, l'équilibre hydraulique entre le sol et le papier filtre est atteint, et la succion au sein de ces deux matériaux est égale. On extrait alors le papier filtre, et la valeur de sa teneur en eau, mesurée par des pesées à 0,001 g près, permet, par le biais de sa courbe de rétention d'eau, de connaître la valeur correspondante de la succion dans le papier filtre, et donc dans le sol.

Cinq échantillons ont été compactés statiquement aux caractéristiques initiales (w = 6 %, γ<sub>d</sub> = 16 kN/m<sup>3</sup>), et les valeurs de succion au papier filtre obtenues pour chacun de ces échantillons sont présentées en figure 1. Cette courbe représente les variations de la pression interstitielle négative en fonction de la teneur en eau : s = f(w). La détermination de l'état d'équilibre hydraulique dans le massif non-saturé se fait en écrivant que le potentiel total de l'eau, égal à la somme des potentiels matriciels et de gravité, est constant dans tout le massif. En prenant l'origine des cotes à la base du massif, au niveau de la nappe, et en orientant Oz vers le haut, on a :

$$\phi = z + \frac{s}{\gamma_w} \quad (1)$$

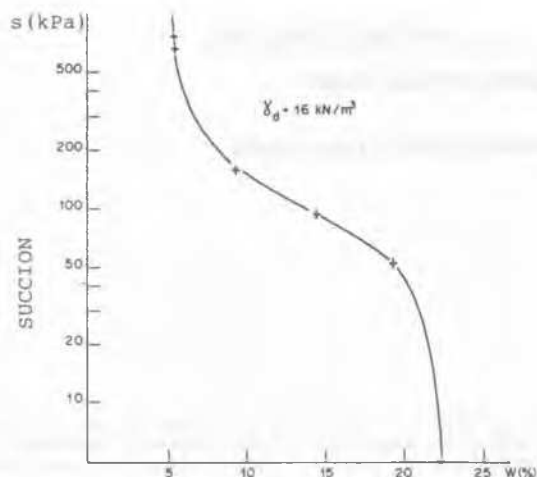


Fig. 1 : Courbe de rétention d'eau

avec  $\phi = 0$  en O, au niveau de la nappe.

d'où  $s = f(w) = -\gamma_w z$  et  $w = f^{-1}(-\gamma_w z)$

La connaissance de la courbe de rétention d'eau permet donc la détermination du profil de teneur en eau du massif à l'équilibre. En reportant les teneurs en eau ainsi calculées et en les comparant à celles observées sur le site, on obtient les courbes de la figure 2, qui montrent que les valeurs obtenues par ce calcul sont en bonne correspondance avec celles réellement mesurées une fois les désordres observés. Ceci confirme d'autre part l'hypothèse d'une remontée capillaire depuis la nappe.

#### CALCUL DES TASSEMENTS

Après avoir caractérisé l'aspect non saturé du problème hydraulique, on a abordé l'hypothèse de tassements par effondrement, phénomène typique des régions arides où on observe que, même sous faibles contraintes, des tassements considérables peuvent affecter des sols très secs soumis à un remouillage accidentel (fuites de canalisations d'eau par exemple). Les essais d'effondrement réalisés à l'oedomètre et présentés à la figure 3, ont consisté à mouiller l'échantillon, sous des contraintes de 50, 100 et 200 kPa, en mesurant le tassement engendré. On observe une tendance manifeste à l'effondrement du matériau, qui correspond dans la classification de Knight (1963), à un potentiel CP de 3,5 %, ce qui correspond à la rubrique "troubles modérés".

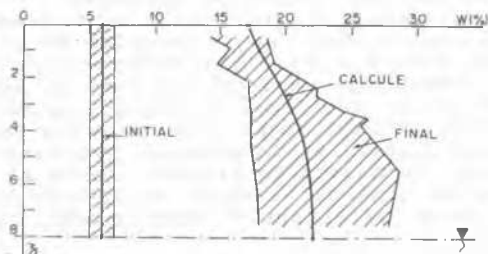


Fig. 2 : Calcul du profil de teneurs en eau

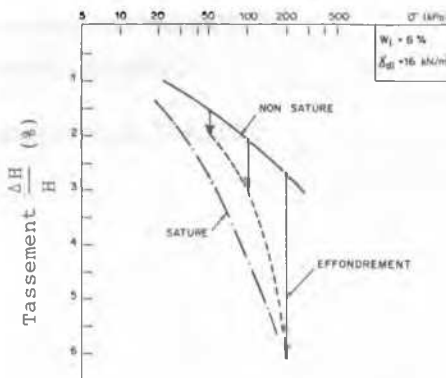


Fig. 3 : Essais oedométriques

Le calcul des tassements a été effectué en considérant 4 couches de 2 m, et en appliquant classiquement au milieu de chaque couche une valeur moyenne de la contrainte. Les chemins de contraintes ont été suivis précisément en tenant compte de l'histoire hydraulique et mécanique : pose du tablier et compression en non-saturé (120 kPa, tassement de 7 cm instantané); tassement de remouillage dû aux pluies et surtout à l'ascension capillaire, calculé aux trois niveaux de contraintes considérées d'après les effondrements mesurés à l'oedomètre; une valeur de 13 cm est obtenue. Le tassement total, de 20 cm, est du même ordre de grandeur que la fourchette de 15 - 25 cm mesurée in-situ.

#### CONCLUSION

Le problème de tassements inattendus du remblai est donc bien dû à un effondrement du matériau compacté trop lâche et trop sec. Ainsi les pluies qui ont eu lieu peu après le compactage ont dû engendrer d'abord l'effondrement de la couche supérieure et les mouvements initiaux du tablier. Ensuite s'est produite d'une part la redistribution de cette eau de pluie, qui correspond à 10 % de la quantité totale d'eau absorbée par le massif, et d'autre part l'ascension capillaire depuis la nappe, qui a engendré le développement progressif de l'effondrement dans tout le massif.

L'étude a été menée en utilisant des techniques de laboratoire peu courantes mais assez simples, qui ont permis une estimation satisfaisante des profils de teneur en eau finaux, et des tassements.

REMERCIEMENTS : à MM. F. Schlosser et A. Guilloix pour de fructueuses discussions.

#### REFERENCES

- Gardner, R. (1937). A method of measuring the capillary tension of soil moisture over a wide moisture range. *Soil Science*, 43, 277-283.
- Knight, K. (1963). The origin and occurrence of collapsing soils. *Proc. 3rd Reg. Conf. Africa SMFE*, 1, 127-130.