

TASSEMENT DES SOLS : ASPECTS MECANIQUES

par Pierre **DELAGE**¹

Le tassement des sols résulte de la réorganisation de ses particules sous un chargement, qui se traduit par une diminution de porosité. A titre illustratif, on présente la microstructure d'une argile naturelle compressible du Canada, dans laquelle les pores sont particulièrement apparents, ainsi que les ponts argileux formés de plaquettes ($< 2 \mu\text{m}$) cimentées entre elles et reliant les agrégats, et dont la rupture engendre l'effondrement des pores et le tassement. On présente également un exemple de microstructure de limon des plateaux de l'Est parisien (grains de $10 - 50 \mu\text{m}$). La nature des liens inter-particulaires, qui gouverne la résistance de l'assemblage, est complexe ; elle dépend de paramètres physicochimiques et organiques qui seront abordés dans l'exposé de Daniel Tessier.

On rappelle la notion de contrainte et la différence entre les liquides et les solides, pour lesquels la contrainte normale à une facette dépend de son orientation, avec également des contraintes tangentielles. A une profondeur donnée, la contrainte verticale au sein d'un massif horizontal correspond au poids de la colonne de terre (densité de l'ordre de $1,8 - 2$). Ce n'est plus vrai dans le cas d'une surcharge localisée comme celle d'un pneumatique, dont l'effet sur les contraintes dans le massif nécessite, pour leur détermination, d'adopter un modèle de comportement reliant les déformations aux contraintes qui les engendrent. Dans l'hypothèse élastique, caractérisée par une relation contrainte/déformation réversible (approchée pour les sols, mais donnant une estimation raisonnable du champ de contraintes), une détermination analytique est possible. Les modèles élasto-plastiques, qui rendent compte des déformations irréversibles typiques du tassement des sols, nécessitent la mise en œuvre de modèles numériques, le plus souvent à l'aide de la méthode des éléments finis.

Le tassement des sols se caractérise simplement au laboratoire à l'aide d'un essai de compression œdométrique, dans lequel une galette de sol (20 mm de haut et 70 mm de diamètre) insérée dans un anneau rigide est comprimée par une charge verticale croissante. La loi phénoménologique gouvernant le tassement est assez simple, avec des déformations linéaires en fonction du logarithme de la contrainte appliquée. Une réponse élastique aux faibles contraintes est suivie d'une réponse plastique au-dessus d'un certain seuil de contrainte. Sous une augmentation de charge donnée, l'ampleur du tassement croît avec la compressibilité du sol, qui est définie par la pente de la courbe œdométrique. Elle est maximale pour un sol saturé. Ceci dit, le chargement rapide d'un sol saturé (passage d'un pneu) mobilise le mélange sol-eau sans expulsion d'eau, du fait de la faible perméabilité des sols. Le sol reste donc à volume constant et les fortes déformations irréversibles observées en surface (orniérage) sont dues aux intenses distorsions dues aux contraintes tangentielles. En revanche, un sol partiellement saturé en eau se comprimera du fait de l'expulsion d'air. Sa compressibilité sera d'autant plus faible que le sol est sec, du fait des échanges eau-atmosphère en surface (évaporation) et de l'absorption d'eau par les racines.

Les calculs confirment que la compression est d'autant plus forte, et que son effet se fait sentir à une profondeur d'autant plus grande, que la charge appliquée est forte. Il existe donc à

¹ Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France. Professeur et Directeur de recherche à l'École des Ponts.

certaines périodes de l'année des conditions de teneur en eau critiques telles que l'utilisation de gros engins agricoles est à considérer avec précaution, comme le détaillera Hubert Boizard.

THE SETTLEMENT OF SOILS : MECHANICAL ASPECTS

The settlement of soils is due to the collapse of pores, as illustrated by a scanning electron microscope photo of a soft natural clay. The notion of stress in solids is first recalled. In a horizontal mass of soil, the vertical stress is related to the weight of the soil column. This is no longer true for localised loads, like those applied by pneumatics. The calculation of the strains induced requires adopting a constitutive law that relates the strains to the changes in stress that they result from. The simpler approximate elastic hypothesis can be managed through analytical solutions, whereas more realistic elasto-plastic constitutive laws require using numerical methods, like the finite element method. Investigating soil compression in the lab is rather simple by using oedometers, in which a vertical compression of a soil disk is managed in a rigid cylinder. The compressibility, maximum in the water saturated state, decreases when the soil is submitted to drying due to evaporation or water extraction by roots. Note that rutting is a short-term action that occurs at constant volume, because no extraction of water occurs. Strain result from the intense shearing of the soil. In partially saturated state, there exist a critical state of soil moisture in which excessive irreversible settlement may occur at large depth. Heavy agricultural machinery, when used in such conditions, may cause some damage that cannot be easily repaired.