

J. FLORENTIN

Ancien Élève de l'École Polytechnique
et

G. L'HÉRITEAU

Ingénieurs Civils de l'École Nationale
des Ponts et Chaussées

27 6 30

R
MÉCASOL

SOCIÉTÉ À RESPONSABILITÉ LIMITÉE AU CAPITAL DE 20.000 N.F.

Ingénieur-Conseil en Mécanique du sol

R. C. SEINE 57 B 17.506 - C. C. P. PARIS 7279-18

50, RUE GÉRARD - PARIS-13^e

TÉL. POR. 70-76

Paris, le -5 JUIN 1962 19

JF.D./ CZ./

101-61

Sondage de BELLONNE

COMPTE - RENDU des ESSAIS

I - INTRODUCTION

A l'occasion d'un sondage d'essais et recherches dans les craies de BELLONNE (Pas-de-Calais), le B. R. G. H. nous a demandé de procéder à quelques mesures sur des échantillons intacts extraits à diverses profondeurs.

M. BERKALOFF et RICOUR nous ont rendu visite le 28 Juillet 1961 pour nous préciser le programme des essais.

Le B. R. G. H. cherche à tirer le maximum de renseignements de ce sondage assez exceptionnel puisqu'il s'agit d'un carottage continu, très soigné, jusqu'à une profondeur de l'ordre de 150 m. Ces renseignements peuvent être d'ordre minéralogique, physique, hydrologique, etc....

.../

27 6 30

- 4 -

R

En fait nous n'avons jamais observé une tendance à l'essorage par gravité. L'eau d'imbibition est retenue par capillarité et ne disparaît que par évaporation à la surface des morceaux de craie. On ne peut donc pas parler de la porosité efficace des blocs compacts.

Si la craie en place est fissurée il peut alors y avoir une porosité efficace. Mais il est impossible de distinguer les fissures naturelles des fractures dues au carottage, et même dans le cas où cette distinction pourrait être faite, le volume de la fissure naturelle et l'eau qu'elle contient ne peuvent être conservés après carottage.

Nous avons donc limité les essais aux mesures de teneur en eau (w %) et densité sèche (γ_d) sur des blocs de craie intacts, de volumes compris entre 50 et 150 cm³.

La porosité e , qui est le rapport entre le volume des vides et le volume total a pour expression : $e = 1 - \frac{\gamma_d}{\delta}$ où δ est le poids spécifique de la matière solide constituant le squelette du matériau.

On définit aussi la teneur en eau w_s à la saturation, qui est le poids d'eau qui occuperait tout le volume des vides. On a la relation :

$$w_s = \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\delta} \right) \gamma_w \quad \text{où } \gamma_w \text{ est le poids spécifique de l'eau.}$$

Pour chacune des carottes 13 à 22 on a mesuré :

- Teneur en eau et densité sèche de la craie à l'état "naturel" c'est-à-dire à l'ouverture des carottes.
- Teneur en eau et densité sèche après immersion d'au moins 24 heures dans l'eau.
- Densité sèche après séchage à l'étuve à 105° pendant 24 heures.

.../

La contribution de MECASOL porte plus particulièrement sur certaines caractéristiques physiques et mécaniques : porosité, résistance à la compression simple, limites d'Atterberg, perméabilités verticale et horizontale, compressibilité et résistivité (l'étude des craie de Bellonne comporte des sondages électriques).

II - ECHANTILLONS RECUS au LABORATOIRE

Nous avons reçu quatre carottes, ϕ 4 pouces, de craie intacte, enveloppées de carton paraffiné, correspondant aux profondeurs suivantes :

- carotte n° 7 : profondeur 29,30 à 29,60 m,
- carotte n° 13 : profondeur 45,10 à 46,10 m,
- carotte n° 21 : profondeur 66 à 67,10 m,
- carotte n° 22 : profondeur 69,10 à 70,10 m.

Sur la carotte n° 7, qui n'a que 30 cm de long, on a cherché surtout à mettre au point les modes opératoires les plus appropriés pour les mesures de poids spécifique apparent, de compressibilité, de perméabilité et de résistivité.

Description des échantillons :

- Carotte n° 7 - (longueur 0,30 m) : Craie blanche très légèrement verdâtre, homogène, compacte, relativement peu fissurée ou fracturée.

Bien que légère la fracturation nous a conduit à la diviser en six tronçons que nous avons notés de haut en bas A_7 , B_7 , C_7 , D_7 , E_7 et F_7 . Seule la fraction F_7 semble avoir souffert du carottage.

- Carotte n° 13 (longueur 1 m) : Craie presque blanche, homogène, analogue à la précédente. La fissuration est faible. On a cependant divisé la carotte en 6 tronçons (A_{13} à F_{13}) pour mieux repérer la position des échantillons d'essais.

- Carotte n° 21 (longueur 1,10 m) : Craie grise, grossière et hétérogène. Elle présente des pores assez grossiers, mais elle est moins dure que la craie blanche des carottes 7 et 13. On y a trouvé de la pyrite de fer et des fossiles. La teneur en insolubles dans l'HCl dilué atteint 3,5 % (surtout grains vert foncé de glauconie). La fissuration est faible.

- Carotte n° 22 (longueur 1 m) : Craie grise mais d'un grain plus fin que la précédente. Elle est aussi plus homogène. Elle contient 2,5 % d'insolubles dans l'HCl. Il n'y a pratiquement pas de fissuration.

III - ESSAIS EXECUTES et RESULTATS

Nous avons renvoyé en annexe les définitions des principales caractéristiques mesurées en laboratoire.

Les résultats des essais sont rassemblés dans un tableau récapitulatif.

III, - Tensure en eau et densités sèches : MM. BERKALOFF et RICOUR nous ont demandé de mesurer des porosités dites "efficaces". Il s'agit du pourcentage des vides non capillaires, c'est-à-dire suffisamment gros pour que l'eau puisse s'en échapper par gravité.

Cette mesure permet d'évaluer la capacité de la roche en tant que réservoir dans l'hypothèse d'une variation du niveau de la nappe phréatique.

.../

27 6 30

Pratiquement la variation relative de densité au mouillage ou au séchage est égale, au signe près, à la variation relative du volume de l'éprouvette. Les variations trouvées sont très faibles compte tenu de la précision des mesures de volume par immersion. Pour réduire les erreurs on a procédé par immersion dans le mercure d'éprouvettes de grand volume (50 à 150 cm³).

Nous commentons ci-dessous les résultats dont les détails sont sur le tableau :

- Les carottes 7 et 13 sont homogènes et donnent des résultats assez groupés :

- Carotte 7 = w entre 22,2 % et 22,7 % (moyenne 22,5 %),

γ_d entre 1,64 et 1,69 (moyenne 1,67).

- Carotte 13 = w entre 18 % et 22 % (moyenne 19%),

γ_d entre 1,68 et 1,74 (moyenne 1,72), à l'exclusion de deux valeurs exceptionnelles (1,78 et 1,79).

Les teneurs en eau de saturation correspondant aux densités moyennes sont $w_g = 22,9$ % pour la carotte n° 7 et $w_g = 21,1$ % pour la carotte n° 13.

On voit que la craie de la carotte 13 n'est pas saturée. Comme on a pu le constater pour les carottes 21 et 22 cela vient d'une perte d'eau absorbée par la première feuille de carton au contact de la craie.

- La carotte 21 est particulièrement grossière et hétérogène d'où une grande dispersion dans les résultats. La densité sèche va de 1,67 (tronçon F₂₁) à 2,2 (tronçons D₂₁ fossilifère). Les densités les plus fréquentes sont comprises entre 1,7 et 1,9 sans que l'on puisse donner une valeur moyenne.

- La carotte 22, tout aussi glauconieuse que la précédente, présente cependant un grain plus fin et plus homogène. Les densités sèches sont comprises entre 1,72 et 1,78 avec une moyenne de 1,75 et quelques valeurs exceptionnelles : 1,67 sur une passe de craie blanche (E₂₂) et 1,90 sur le F₂₂.

Pour toutes les carottes, les teneurs en eau mesurées après immersion

27 6 30

- 6 -

R

dans l'eau sont proches de la teneur en eau de saturation à deux exceptions près (D_{13} et D_{21}). On n'a constaté aucune tendance au gonflement dans l'eau.

Le retrait après séchage est très faible, de l'ordre de 1 % pour la carotte 21 et certainement inférieur à 1 % pour les autres carottes (les mesures de volume sont faites à 0,5 % près environ).

III₂ - Résistance à la compression simple : L'essai est fait à la presse sur des éprouvettes parallélépipédiques. Entre les plateaux de la presse et les faces des éprouvettes on a interposé des plaques de carton et de caoutchouc toilé.

En général les résultats sont dispersés à cause de la microfissuration et de l'hétérogénéité du matériau naturel :

- 40 à 140 kg/cm² sur la carotte 7
- 45 à 110 kg/cm² sur la carotte 13
- 50 à 100 kg/cm² sur la carotte 21
- 70 à 130 kg/cm² sur la carotte 22.

III₃ - Limites d'Atterberg : Les essais sont faits sur une pâte obtenue après broyage de la craie. Les résultats peuvent donc dépendre de ce broyage qui est fait au pilon de caoutchouc et qui est suivi d'un pétrissage énergique à la truelle.

La craie blanche (carottes 7 et 13) a, une fois broyée, une plasticité non négligeable. On trouve : LL = 30 et 28

IP = 10,5 et 10

Par contre la craie grise (carottes 21 et 22) a un indice de plasticité pratiquement nul. On trouve : LL = 19 et 20

IP = 2 et 3.

III₄ - Compressibilité : L'exécution des essais de compressibilité était prévue à l'œdomètre, comme pour les terres. Dès les premiers essais sur la carotte n° 7 on a pu se rendre compte de l'insuffisance de l'appareil œdométrique.

En effet, d'une part on ne peut ajuster exactement l'éprouvette dans l'appareil et s'il subsiste des vides l'essai est perturbé du fait des dilatations transversales, d'autre part les charges appliquées sont limitées à 8 kg/cm² et les déplacements mesurés correspondent à la phase de "mise en place" des éprouvettes.

La compression à l'œdomètre a donc été remplacée par des mesures de déformations lors des essais de compression simple. Evidemment la dilatation transversale n'est pas mesurée, mais à l'œdomètre elle est tout aussi incontrôlable à cause du mauvais ajustement latéral.

On a tracé des courbes effort - déformation pour treize échantillons des carottes 7, 13, 21, 22. Les courbes ne sont pas absolument rectilignes. Elles ne permettent de définir un module d'élasticité qu'une fois passé la phase de mise en place de l'éprouvette.

En opérant par cycles compression - décompression entre 30 et 80 kg/cm² on trouve un module d'élasticité assez constant (20.000 à 30.000 kg/cm²) pour toutes les craies, sauf la carotte 21 qui donne 10.000 kg/cm².

III₅ - Perméabilité : Les perméabilités verticales et horizontales ont été mesurées à l'œdomètre sur l'échantillon E₇. Pour éviter les cheminements de paroi on a coulé du brai autour des éprouvettes. Les coefficients $K_v = 0,6 \cdot 10^{-6}$ cm/s et $K_h = 1 \cdot 10^{-6}$ cm/s portés au tableau des résultats n'en

.../

27 6 30

- 8 -

R

restent pas moins douteux et les essais suivants (carottes 13 à 22) ont été faits dans une cellule triaxiale, l'éprouvette cylindrique de 70 mm de diamètre étant enfermée dans une membrane de caoutchouc dont l'adhérence est assurée grâce à la pression qui règne dans la cellule. Quand la pression latérale est nettement supérieure à la charge hydraulique interne, il ne peut y avoir de cheminements préférentiels latéraux. On trouve en 10^{-6} cm/sec :

Carotte	K_v	K_h	K_h / K_v
7	0,6	1	1,7
13	0,5	0,8	1,6
21	2,5	4	1,6
22	0,6	1	1,7

Le rapport K_h/K_v reste voisin de 1,65. C'est là une faible différence qu'il serait hasardeux de généraliser étant donné l'hétérogénéité du matériau.

III₆ - Résistivité électrique : Les essais sont faits sur des éprouvettes prismatiques d'environ 10 cm² de section et 10 cm de longueur. Les électrodes sont en graphite saturé d'eau. Au contact des électrodes la craie est enduite de pâte de graphite. Les éprouvettes munies de leurs électrodes sont paraffinées pour éviter toute évaporation.

On a fait des mesures en courant continu avec correction de f. c. e. m. et en courant alternatif 50 Hz. Les intensités utilisées sont de l'ordre de 0,5 mA.

.../

R

- 9 -

27 6 30

La craie sèche a une faible conductivité et les résultats dépendent de la salinité de l'eau d'imbibition et du taux de saturation des éprouvettes. Les carottes 13 et 22 ont perdu une partie de leur eau naturelle et nous avons complété nos mesures sur les carottes 21 et 22 par des lectures faites après mouillage des éprouvettes à l'eau distillée. Evidemment les résultats obtenus dans ces conditions ne peuvent fournir qu'un ordre de grandeur de la résistivité en place.

- Pour la carotte 13 dont le taux de saturation est compris entre 85 et 95 %, on trouve $\rho = 2.000 \Omega \text{cm}$ sur le haut de la carotte, $3.500 \Omega \text{cm}$ au milieu, 5.500 à $6.000 \Omega \text{cm}$ en bas.

- Pour la carotte 21, $\rho = 4.500 \Omega \text{cm}$ avant mouillage et $3.500 \Omega \text{cm}$ après mouillage.

- Pour la carotte 22, $\rho = 3.000$ à $3.500 \Omega \text{cm}$ avant mouillage et 2.000 à $2.500 \Omega \text{cm}$ après mouillage.

Fait à Paris, le 5 Juin 1962

MÉCASOL (S.A.R.L.)

Un Gérant,

S. Hent

Sondage de
BELLONNE

DEFINITION des ESSAIS de LABORATOIRE

Teneur en eau naturelle (w %) : Elle est exprimée en pourcentage du poids sec de l'échantillon après dessiccation à l'étuve à 105°.

Poids spécifique apparent sec (γ_d) : Appelé aussi "Densité sèche". Il s'agit du poids de la matière sèche contenue dans l'unité de volume en place. Cette caractéristique donne un indice de la compacité du matériau.

Poids spécifique absolu (δ) : Il correspond à la matière solide constituant le squelette du matériau.

Saturation (S %) : La teneur en eau de saturation, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il faudrait pour saturer l'ensemble des pores d'un échantillon de sol est calculée par la relation :

$$v_s = 100 \left(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\delta} \right)$$

Les caractéristiques intervenant dans cette formule ont déjà été déterminées pour γ_d et δ .

Le pourcentage de saturation est donné par :

$$S \% = \frac{100 w}{v_s}$$

Limites d'Atterberg : Ces limites se déterminent sur la fraction inférieure à 0,4 mm. Elles correspondent à des teneurs en eau caractéristiques de pâtes remaniées fabriquées avec le matériau et permettant le classement de celui-ci.

- La limite de liquidité (LL) est la teneur en eau au-dessus de laquelle une pâte remaniée de matériau se comporte comme un semi-liquide.

- La limite de plasticité (LP) est la teneur en eau au-dessous de laquelle une pâte remaniée de matériau n'a plus de comportement plastique.

- L'indice de plasticité (IP) est la différence entre les deux limites. Il définit le domaine de comportement plastique du matériau; il est pratiquement nul pour les sables fins dont la limite de liquidité et la limite de plasticité sont très voisins. Il croît nettement avec la teneur en limon, argile et colloïdes.

Perméabilité : Le coefficient de perméabilité "K" est celui qui intervient dans la loi de Darcy $V = Ki$, où V représente la vitesse apparente, c'est-à-dire le débit par unité de surface, et i le gradient hydraulique ou pente de charge unitaire.

K a les dimensions d'une vitesse.