

discussion

avantages et inconvénients de l'utilisation d'un système d'antifretage dans l'essai triaxial de compression*

discussion par :
P. HABIB**

I. — Il est tout à fait essentiel de pouvoir disposer de la meilleure loi de comportement possible et il est pour cela nécessaire de réaliser des essais de compression (ou d'extension) triaxiale avec des champs de contraintes parfaitement homogènes. Tant que les essais de laboratoire avaient pour but d'obtenir les caractéristiques du domaine linéaire (module de Young - Coefficient de Poisson) ou du critère de résistance maximale (σ_{mx} , C_{mx}), la réponse classique des expérimentateurs a consisté à utiliser des éprouvettes longues avec des conditions d'appui pas toujours très bien définies mais telles que des extensomètres placés dans la partie centrales des éprouvettes, comme l'a rappelé récemment BURLAND, permettent d'avoir une mesure de déformation correcte dans un champ assez homogène. Il s'agit là d'une application intuitive du principe de saint Venant. Pour la rupture, on admet implicitement que la longueur de l'éprouvette est suffisante si un plan de glissement peut se développer librement entre les plaques d'appuis, l'éclatement des éprouvettes étant toutefois limité par les risques de flambage. Ces conditions acceptées par tous les laboratoires, correspondent à des élancements compris entre 2 et 2,5. Des conditions expérimentales correctes sont devenues plus difficiles à assurer à partir du moment où les exigences théoriques ont rendu nécessaire la connaissance de lois de comportement parfaites, par exemple dans le cas du radoucissement ou pour le comportement véritablement triaxial et où il a fallu s'assurer de la normalité des contraintes exercées sur les faces d'un cube. De nombreuses solutions ont été proposées (lubrification par les graisses, lubrification solide, coussins hydrauliques, coussins de roulements à billes, appuis par des brosses, éprouvettes en ligne de jet ...) pour des matériaux aussi différents que les sables, les argiles, les roches ou les bétons et avec des succès certains, mais il convient de rappeler que le problème de l'antifretage est délicat.

Prenons l'exemple élémentaire de la compression simple. Au contact des faces d'appuis, existent des liaisons avec frottement d'où en cours d'écrasement un retrait aux bases qui augmente la résistance par fretage et entraîne une déformation en tonneau. Si on lubrifie des faces d'appui avec un liquide placé entre deux feuilles de caoutchouc, sous l'effet de la contrainte normale, il se produit une pression dans l'huile qui tend à être expulsée latéralement. Par viscosité, elle transmet une force tangentielle radiale divergente à la tête de

l'éprouvette, assimilable à une traction biaxiale ce qui diminue la résistance du matériau. Ce serait évidemment la même chose avec une graisse molle. En définitive, *une éprouvette courte n'est bien antifrettée que lorsqu'elle donne la même résistance qu'une éprouvette longue non antifrettée* et étant entendu que les deux essais doivent donner le même résultat pour les modules de déformation mesurés au centre de l'éprouvette. Plus subtilement, on peut dire aussi que la déformation d'une éprouvette antifrettée doit rester homogène, c'est-à-dire qu'un cylindre doit rester un cylindre ; mais ce n'est pas toujours facile d'apprécier la qualité de cette déformation et en tous cas, un bon résultat obtenu en grande déformation ne signifie pas qu'un bon résultat ait été obtenu en petite déformation. Pour les essais triaxiaux sur matériaux un peu résistants, nous avons opté au L.M.S. (HABIB 1984) pour une lubrification solide par du bisulfure de molybdène sur des confettis d'aluminium de façon à ne pas introduire de résistance à la traction parasite sur les faces d'appui des éprouvettes.

II. — Lorsqu'il existe un radoucissant associé à l'apparition d'une ou de plusieurs surfaces de glissement, il n'est pas possible de parler de loi de comportement (σ , ϵ) puisque la déformation devient discontinue. Elle est pratiquement nulle dans les monolithes situés de part et d'autre des plans de glissement ; elle est infinie dans le voisinage même des plans de glissement. Ceci entraîne que la pente de la courbe effort-déformation dans la partie radoucissante n'a pas une détermination unique et qu'elle dépend de l'élancement des éprouvettes, c'est-à-dire que l'expérimentateur ne peut pas donner de loi de comportement au cours du radoucissement ou plutôt qu'il peut donner n'importe quoi. Il semble (VAN MIER 1985) que le paramètre qui donne une signification physique à la pente du radoucissement soit le déplacement relatif des morceaux situés de part et d'autre du plan de glissement.

III. — Pour les applications pratiques de la Mécanique des Sols, il convient de rappeler que les valeurs de résistance maximale obtenues dans les essais triaxiaux sont des résultats sûrs correspondant à des valeurs σ_{mx} et C_{mx} correctes du critère de rupture et que les valeurs résiduelles σ_r et C_r obtenues après un long glissement dans un appareil de cisaillement (par exemple par torsion) sont aussi des valeurs sûres, c'est-à-dire reproductibles.

* (Mars 1986) J.L. COLLIAT - J. DESRUES - E. FLAVIGNY, Revue Française de Géotechnique, n° 34, Paris, 1986.

** École Polytechnique, Laboratoire de Mécanique des Solides, 91128 Palaiseau Cedex.

La méthode proposée pour la mesure du module d'Young qui consiste à déduire de la déformation mesurée, la déformation du système d'appui avec anti-fretage est tout à fait aléatoire car elle consiste à séparer deux quantités du même ordre de grandeur et chacun sait qu'une telle correction est très imprécise. En particulier, il est nécessaire de conserver strictement tous les modes opératoires (dimensions des éprouvettes, épaisseur des gaines, épaisseur des films de graisse, qualité de la graisse, etc.) sauf à réétalonner chaque fois les corrections à faire par les longues séries expérimentales proposées par COLLIAT, DESRUES et FLAVIGNY.

IV. — Les résultats expérimentaux obtenus par les auteurs sont extrêmement intéressants et il faut souligner l'importance pour les applications numériques d'avoir des lois de comportement parfaitement représentatives de la relation entre les efforts et les déformations des matériaux réels.

Il n'en reste pas moins vrai qu'en pratique, ce ne sont pas les déformations $\frac{\Delta l}{l}$ de 20 % des sols qui sont

intéressantes mais ce sont celles qui sont soit inférieures à 3 % car les désordres correspondants dans les structures sont déjà tout à fait inadmissibles : les déformations de services sont le plus souvent inférieures à 1 et 2 % ; soit celles qui sont extrêmement grandes, peut-être supérieures à 1 000 % et qui correspondent aux écoulements plastiques permanents (vidange des silos,

écoulement rhéologique des pâtes, états de la matière dans les surfaces de glissement, etc.).

V. — Enfin, il reste un commentaire à faire sur les essais « parfaits » ayant pour but de réaliser un champ homogène sans permettre l'apparition « prématurée » d'une surface de glissement. Le but est louable, rappelons-le, pour avoir une loi de comportement parfaite à des fins d'analyse numérique. Mais la réalité de tous les jours nous montre le développement de surface de glissement, sous une fondation rompue, au pied d'un talus artificiel ou dans le glissement d'une pente naturelle. Il est donc particulièrement important de pouvoir disposer d'essai permettant le développement et l'analyse des surfaces de glissement en particulier pour la connaissance des résistances résiduelles, dont on comprend bien que la détermination ne passe pas par l'analyse fine de ce qui se produit immédiatement avant ou après le maximum de résistance.

RÉFÉRENCES

- P. HABIB (1984), *Les surfaces de glissement en Mécanique des Sols*, Revue Française de Géotechnique, n° 27, pp. 7-21.
- J. VAN MIER (1985), *Strain Softening of Concrete under Multiaxial Loading Conditions*, Thèse de Doctorat, Technische Hogeschool Eindhoven.

avantages et inconvénients de l'utilisation d'un système d'antifretage dans l'essai triaxial de compression

réponse des auteurs par :
J.L. COLLIAT - J. DESRUES - E. FLAVIGNY*

Nous remercions le Professeur HABIB pour son commentaire de notre article consacré aux avantages et inconvénients de l'utilisation de systèmes d'antifretage dans l'essai de compression, qui montre pour l'essentiel une convergence de nos points de vue respectifs, tout en appelant quelques remarques que nous faisons ici.

Les points I et III du commentaire de M. HABIB soulignent diverses difficultés liées à l'utilisation de systèmes d'antifretage. Le titre même de notre article, qui évoque explicitement les inconvénients de ces systèmes en même temps que leurs avantages, indique que les difficultés sont partie intégrante de notre propos. Nous présentons notamment une étude détaillée de celle qui paraît actuellement la plus grave, à savoir l'erreur sur les modules liée à la mise en place de l'antifretage en début d'essai.

En ce qui concerne ce point particulier, il est exact que la démarche envisagée dans l'article doit être appuyée sur une base expérimentale assez large, permettant pour un matériau donné et pour un dispositif d'antifretage donné, d'estimer la correction à apporter aux mesures effectuées sur les échantillons antifrettés. Les alternatives à cette démarche consistent soit à effectuer des essais spécifiques, en condition frettée, pour le domaine des très petites déformations, soit à faire des mesures de déformation locales, par exemple dans la partie centrale de l'échantillon antifretté. Dans la première alternative on sera conduit à faire grosso modo le même nombre d'essais que ceux nécessaires à caler une correction, avec en outre, la difficulté d'avoir à raccorder les courbes petites déformations-grandes déformations. Dans la seconde, l'instrumentation à mettre en œuvre est importante, délicate, et enfin ne donne qu'une ou quelques mesures locales, sujettes à caution quant à leur représentativité sauf à multiplier le nombre de capteurs. Le choix est donc difficile, et l'option présentée, susceptible d'être discutée.

En ce qui concerne les éventuelles contraintes de cisaillement sur la tête de l'échantillon, consécutives à l'expulsion radiale de la graisse utilisée en sandwich dans le dispositif d'antifretage, il convient de noter que, si l'on observe effectivement une expulsion de la graisse, en revanche il n'est pas évident que les contraintes d'origine visqueuse induites soient significatives, compte tenu du fait que les vitesses sont faibles (à discrétion de l'expérimentateur). En tout état de cause elles sont bien inférieures à celles résultant du fretage.

Il demeure certain que tout ce qui pourrait réduire la compressibilité axiale du sandwich et sa tendance à l'expulsion radiale est profitable, et de ce point de vue la technique de lubrifiant solide sur confettis d'aluminium étudiée au L.M.S. est très intéressante et mériterait d'être testée sur des matériaux courants.

Dans son point II, M. HABIB rappelle que l'apparition d'hétérogénéités caractérisées dans l'échantillon, sous la forme de surfaces de glissement, interdit toute exploitation directe des résultats en terme de comportement élémentaire. Il est clair que c'est bien notre point de vue, et que l'un des avantages décisifs de l'essai antifretté est de réduire autant que se peut les causes d'amorçage prématuré de ces hétérogénéités « en grand ». Les tomographies d'échantillons déformés nous semblent à cet égard très illustratives.

En revanche, nous devons faire remarquer par rapport au point V du commentaire, que les conditions de l'essai antifretté, fût-il parfait, n'interdisent en rien l'apparition d'une surface de glissement ; elles ne font qu'éviter de l'induire artificiellement dans une situation, où comme le montrent nos tomographies, la déformation non localisée est possible. Certes la localisation de la déformation est un phénomène capital qu'on ne doit plus rejeter au rang des incidents d'essai mais reconnaître pour un trait du comportement au sens large des matériaux ; et on peut adhérer ou ne pas adhérer à l'idée que ce phénomène puisse découler du comportement élémentaire, tel qu'on essaie de le mesurer dans les essais « parfaits » et de le formuler dans les lois de comportement. En revanche, il est douteux qu'on puisse progresser beaucoup en étudiant le comportement élémentaire sur des essais conçus non élémentaires, et reconnus non reproductibles du fait de la localisation induite par le fretage.

Enfin, concernant le point IV, il est certain que les déformations courantes dans les ouvrages sont faibles en général, sauf dans les zones de concentration où elles atteignent des valeurs considérables une fois le processus de localisation consommé. Ainsi on peut penser qu'il suffit de savoir caractériser les petites déformations en masse, et les très grandes sur des surfaces de discontinuité (lois d'interface). Cette démarche est parfaite dans tous les cas où l'on connaît à priori le lieu de la discontinuité, et de tels cas existent (le problème des pieux et tirants d'ancrage par exemple). En revanche, dans les grandes masses de sol, on ne connaît pas ce lieu et le problème reste entier. Il faut alors rechercher le mécanisme de blocs et surfaces parmi l'infinité des solutions possibles. Des espoirs, dont l'avenir dira si ils étaient fondés, sont placés actuellement dans l'étude de la transition du champ de déformation continuant hétérogène au champ localisé. Cette étude passe par la connaissance du comportement élémentaire du matériau depuis les déformations petites jusqu'aux grandes (celles pour lesquelles on peut estimer tendre asymptotiquement vers un comportement résiduel en sollicitation monotone). D'où l'intérêt d'essais élémentaires capables de fournir des résultats reproductibles sur cette étendue de déformation, dans des conditions d'homogénéité satisfaisantes.

* Institut de Mécanique de Grenoble - Laboratoire (U.A.G.) associé au C.N.R.S., Domaine Universitaire, B.P. n° 68, 38402 Saint Martin d'Hères.