

PROBLÉMATIQUE

Le dimensionnement d'une chaussée selon une méthode mécaniste empirique requiert la détermination des propriétés mécaniques des matériaux de la chaussée. Cette approche permet de dimensionner l'épaisseur de chaque couche de la structure en fonction des contraintes et des déformations que subit la chaussée sous l'action du trafic et du climat (approche mécaniste), de même qu'en fonction des modèles d'endommagement des matériaux corrigés pour tenir compte des conditions *in situ* (approche empirique). Ce type d'approche permet d'évaluer la performance d'une chaussée avant sa construction, selon les matériaux utilisés et les sollicitations prévues.

Le comportement mécanique d'un matériau granulaire de chaussée est généralement défini par son module réversible (M_r) et son coefficient de Poisson réversible (v_r). Le ministère des Transports du Québec (MTQ) utilise un équipement triaxial à chargement déviatorique répété (figure 1) pour déterminer ces propriétés selon la méthode LC 22-400 (1).

MODULE RÉVERSIBLE

Le comportement mécanique des matériaux granulaires est généralement considéré comme élasto-plastique non linéaire (figure 2). La déformation réversible est la déformation récupérée (élastique) à la suite de l'application de la contrainte sans considération de la déformation accumulée (plastique). Le M_r est le rapport entre la contrainte déviatorique ($\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$) et la déformation axiale réversible (ϵ_{1r}), tel qu'il est présenté à l'équation [1], et le v_r est le rapport entre la déformation radiale réversible ϵ_{3r} et ϵ_{1r} , tel qu'il est présenté à l'équation [2] (figure 3).

$$M_r = \sigma_d / \epsilon_{1r} \quad [1] \quad v_r = \epsilon_{3r} / \epsilon_{1r} \quad [2]$$

Puisque σ_d est faible comparativement à la résistance du matériau granulaire et qu'il est répété plusieurs fois, la déformation est presque complètement récupérée. Ainsi, le M_r et le v_r sont utilisés comme propriétés élastiques pour le dimensionnement de chaussée.

ESSAI TRIAXIAL À CHARGEMENT RÉPÉTÉ

L'équipement triaxial à chargement déviatorique répété est constitué d'une cellule triaxiale permettant d'appliquer une pression de confinement constante σ_3 avec de l'air et d'une presse hydraulique permettant d'appliquer une contrainte axiale déviatorique σ_d de forme sinusoïdale uniquement en compression.

L'échantillon a une hauteur de 300 mm et un diamètre de 150 mm. Le ϵ_{1r} est mesuré par deux capteurs de déplacement positionnés de part et d'autre le long de l'échantillon, à 50 mm des plateaux de chargement, donc espacés de 200 mm. Le ϵ_{3r} est mesuré par un capteur de déplacement installé sur un câble ceinturant le centre de l'échantillon. Un capteur de succion matricielle peut être installé au centre de l'échantillon lors du compactage.

L'échantillon est densifié avec un marteau vibrant en 7 couches, 30 s de vibration par couche, à une teneur en eau supérieure d'environ 2 % à l'absorption. Le matériau granulaire est écrêté au tamis 31,5 mm et doit avoir moins de 20 % passant le tamis 80 μm avec un indice de plasticité inférieur à 10. En moyenne, la masse volumique est environ 97 % de celle du proctor modifié avec 17 % de porosité et 27 % de saturation (2). L'échantillon est recouvert d'une membrane afin d'appliquer différentes pressions de confinement.

Le M_r et le v_r sont caractérisés à 15 états de contrainte (tableau 1), puisque le comportement mécanique des matériaux granulaires est non linéaire (figure 2), donc fonction de l'état de contrainte ou de déformation. Chaque état de contrainte est appliqué pendant 60 cycles et les 5 derniers cycles sont retenus pour déterminer les M_r et v_r moyens. Le temps de chargement est de 1 s suivi d'un temps de repos de 1 s. L'échantillon est conditionné par 10 000 cycles de chargement avant sa caractérisation. Le M_r et le v_r sont caractérisés à la teneur en eau initiale de compactage, à la teneur en eau du matériau saturé à environ 90 % et à la teneur en eau du matériau drainé par gravité. Le drainage est ouvert lors des essais.

COMPORTEMENT NON LINÉAIRE

Le comportement non linéaire de M_r (fonction de l'état de contrainte) est généralement déterminé en fonction de la contrainte totale θ par l'équation [3] où $\theta = \sigma_d + 3\sigma_3$. Le v_r est considéré comme constant pour le dimensionnement de chaussée.

$$M_r = 10^b \theta^a [3] \quad M_r = a \theta + b [4] \quad v_r = a \epsilon_{1r} + b [5]$$

La méthode LC 22-400 propose de déterminer le comportement non linéaire de M_r en fonction de θ selon la relation [4] et de v_r en fonction de ϵ_{1r} selon la relation [5] (2). La figure 4 présente un exemple de résultats de M_r obtenus à différentes teneurs en eau et indique l'effet de la succion matricielle (2). Une

diminution de la succion matricielle, donc une augmentation de la teneur en eau, entraîne une diminution de M_r (2).

CONCLUSION

La méthode LC 22-400 permet la détermination du M_r et du v_r des matériaux granulaires de chaussée. Ces propriétés sont nécessaires pour le dimensionnement des chaussées, notamment pour analyser l'influence de l'intensité des charges répétées (trafic) et des variations saisonnières de teneur en eau (dégel) sur la fissuration par fatigue du revêtement bitumineux. Ces propriétés permettent également l'évaluation de la performance des matériaux granulaires avant leur mise en œuvre, la comparaison de la performance de différents matériaux granulaires, la validation des spécifications de ces matériaux, l'évaluation du préjudice encouru en cas de non-conformité et l'étude du comportement de nouveaux matériaux de fondation.

RÉFÉRENCES

- (1) MTQ, *Méthode LC 22-400, Détermination du module réversible des matériaux granulaires*, Les Publications du Québec, décembre 2004, 15 p.
- (2) Doucet F. et G. Doré, *Module réversible et coefficient de Poisson réversible des matériaux granulaires C-LTPP*, 57^e Congrès canadien de géotechnique, Québec, 2004.

RESPONSABLE : Félix Doucet, ing. M. Sc. A.
Service des matériaux
d'infrastructures

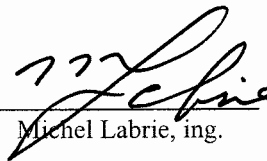
DIRECTEUR : 
Michel Labrie, ing.



Figure 1 : Équipement triaxial à chargement déviatorique répété

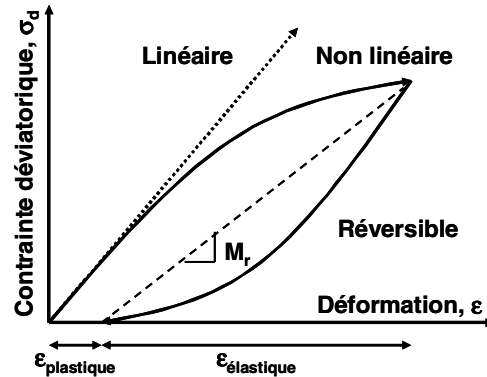


Figure 2 : Comportement réversible d'un matériau granulaire

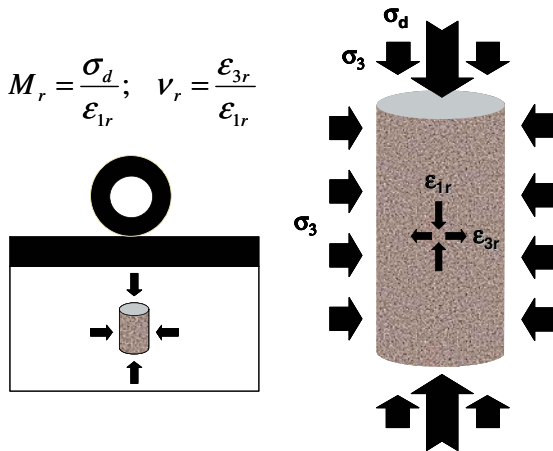


Figure 3 : Chargement triaxial des matériaux granulaires

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{1r}}; \quad v_r = \frac{\epsilon_{3r}}{\epsilon_{1r}}$$

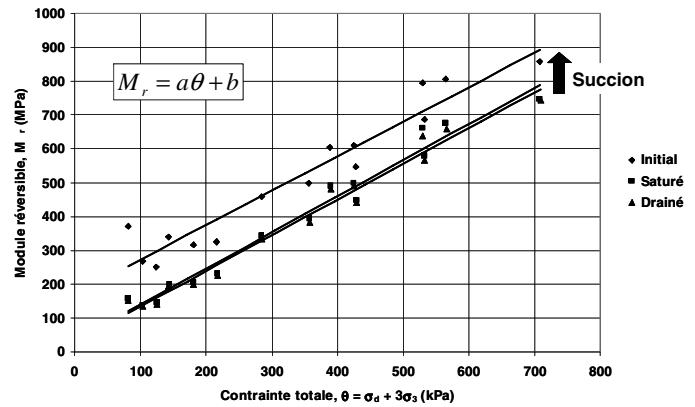


Figure 4 : Module réversible non linéaire

σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)		θ (kPa)			
20	20	40	60	80	100	120
35	35	70	105	140	175	210
70	70	140	210	280	350	420
105	70	105	210	385	420	525
140	105	140	280	525	560	700

Tableau 1 : États de contrainte pour la détermination du M_r