

Détermination de la masse volumique des matériaux de fondation contenant des granulats de grandes dimensions

PROBLÉMATIQUE

Quand on réalise un essai de laboratoire pour déterminer une masse volumique devant servir de référence pour le contrôle du compactage en chantier, on présume que la densification en laboratoire est équivalente à celle sur le terrain. Cependant, dès que le matériau contient des gros granulats qu'il faut écarter pour réaliser l'essai, cette présomption est faussée. Il existe plusieurs méthodes pour prendre en compte l'effet des gros granulats sur la masse volumique de référence; la technique retenue doit être clairement établie afin de réduire les sources potentielles de conflit.

L'étude dont il est question dans le présent bulletin vise à comparer trois méthodes de détermination de la masse volumique maximale et de la teneur en eau optimale d'un matériau granulaire contenant des granulats supérieurs à 20 mm. Les méthodes ne s'appliquent pas lorsque la proportion de ces granulats est supérieure à 30 % et inférieure à 10 %.

MÉTHODES DE CORRECTION

La méthode par correction de pierres consiste à remplacer les granulats retenus sur le tamis de 20 mm par une masse équivalente de granulats compris entre 5 mm et 20 mm; les quantités de fractions granulaires à ajouter (5-10 mm, 10 14 mm et 14 20 mm) sont proportionnelles aux pourcentages de particules retenues sur les tamis 5, 10 et 14 mm, déterminés au préalable par l'analyse granulométrique. Cette procédure est celle de la méthode D de la norme d'essai NQ 2501-255-M92 « Sols – Détermination de la relation teneur en eau masse volumique – Essai Proctor modifié », pour laquelle le moule de 152,4 mm est utilisé.

La méthode de l'écrêtage consiste à séparer le matériau sur un tamis déterminé et à mesurer la masse volumique sèche maximale et la teneur en eau optimale du matériau passant le tamis. Généralement, le tamis d'écrêtage est le tamis de 5 mm, mais dans cette étude le tamis de 20 mm a été choisi. Les valeurs de masse volumique et de teneur en eau obtenues sont corrigées au moyen d'équations mathématiques qui prennent en considération l'influence des gros granulats qui ont été retirés du matériau original. Deux équations mathématiques sont utilisées, soit celle de la méthode d'essai ASTM D 4718-87 et celle de la méthode d'essai AASHTO T224-86 (tableau 1).

On peut enfin réaliser l'essai avec un moule plus grand permettant d'admettre des granulats plus gros que 20 mm. Un moule de

305 mm de diamètre a été utilisé dans cette étude, dans lequel peuvent être insérés des granulats de 63 mm.

TRAVAUX RÉALISÉS

La détermination de la relation entre la masse volumique et la teneur en eau a été réalisée en suivant la méthode d'essai du Proctor modifié, dont l'énergie de compactage est de 2700 kN m/m³. Des échantillons de MG-20 et de MG-56 ont été prélevés dans différentes sources d'approvisionnement en fonction de la densité des particules. Les types de granulats sont un granite, deux types de basaltes (un basalte A relativement sain et un basalte B relativement altéré), une diabase et un calcaire provenant tous de carrières avec un pourcentage de fragmentation de 100 %. Deux autres échantillons de MG-20 et de MG-56 proviennent d'une gravière et sont constitués d'un gravier avec prédominance de grès et de schiste métamorphique dur avec un pourcentage de fragmentation d'environ 70 %.

La relation entre la masse volumique et la teneur en eau a été déterminée pour chacun des matériaux MG-20 (original, correction de pierres et écrêté) dans les moules de 152,4 mm et de 305 mm. Le matériau MG-56 original a été analysé seulement dans le moule de 305 mm, tandis que les échantillons corrigés pour la pierre et les échantillons écrêtés ont été analysés dans les deux moules. La masse volumique maximale et la teneur en eau optimale des échantillons MG-20 et MG-56 analysés dans le moule de 305 mm sont considérées comme les valeurs de référence.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Le MG-20 original a été analysé dans les deux moules afin de vérifier l'effet du gros moule sur la relation masse volumique/ teneur en eau. Les valeurs obtenues dans le moule de 152,4 mm sont inférieures d'environ 2 % à celles obtenues dans le moule de 305 mm, et la teneur en eau y est plus faible d'environ 10 %.

Les échantillons de MG-56 recueillis respectent les spécifications du MTQ, mais le pourcentage retenu sur le tamis de 20 mm dépasse souvent 30 %. Le basalte B et le gravier schisteux se situent à 30 % et 32 %, alors que les autres matériaux présentent des pourcentages variant entre 36 % et 50 %. Les particules retenues au tamis de 20 mm d'une courbe granulométrique voisine de la limite inférieure du fuseau de spécification du MG-56 atteignent même 60 %! Pour tous ces cas excédant la limite

d'application, les essais devraient être réalisés dans un moule de 305 mm.

Pour les deux matériaux répondant aux critères d'application des méthodes de correction, la méthode par correction de pierres donne des masses volumiques de 5 % à 6 % inférieures à la masse de référence dans le moule de 152,4 mm, alors que les valeurs sont inférieures de 3 % à 5 % dans le moule de 305 mm. La méthode de l'écrêtage donne des masses de près de ± 2 % de la masse de référence pour les deux moules.

Pour les autres matériaux, la méthode par correction de pierres n'est vraiment pas applicable : elle donne des masses inférieures de 5 % à 12 %. L'équation de l'ASTM présente, pour les deux moules, des masses supérieures de 2 % à 9 %, alors que l'équation de l'AASHTO fournit des valeurs s'approchant de ± 3 % de la valeur de référence mesurée dans le moule de 305 mm. L'équation de l'AASHTO peut s'appliquer pour des proportions de gros granulats (> 5 mm) atteignant 70 %. Cependant, il faut porter une attention particulière à la forme de la courbe granulométrique résultant de l'opération d'écrêtage; une courbe écrêtée homogène (pratiquement droite) ou comportant une forte proportion de granulats fins (< 5 mm) donnera une masse volumique trop élevée, et la correction mathématique accentuera cette différence pour obtenir une valeur impossible à atteindre sur le chantier.

CONCLUSION

Les limites d'application des différentes méthodes de correction de la masse volumique doivent être bien suivies. L'utilisation d'un gros moule de 305 mm est la manière la plus appropriée pour obtenir une masse volumique réelle quand l'échantillon comporte une forte proportion de granulats plus gros que 20 mm. La méthode de correction par écrêtage, en utilisant l'équation de l'AASHTO, est celle qui fournit ensuite les meilleurs résultats. La méthode par correction de pierres présente les valeurs de masse volumique s'éloignant le plus des valeurs de référence mesurées dans le moule de 305 mm.

RÉFÉRENCE

Walsh, K.D., Houston, S.L., Wilson, G.P. 1994, « Rock Correction Issues Compaction Specifications for High Gravel Content Soil », Arizona State University, *Transportation Research Record 1462*, p. 3-9.

RESPONSABLE : Claude Robert, ing. M.Sc.
Service des matériaux d'infrastructures

DIRECTEUR : _____


Michel Labrie, ing.

Norme	Équation
AASHTO T224	$\rho_{sc} = \frac{1000}{\frac{Pr}{G_m} + \frac{1000(1-Pr)}{R \rho_p}}$
ASTM D4718	$\rho_{sc} = \frac{100(G_m \rho_p \rho_w)}{(\rho_p Pr) + (G_m(1-Pr) \rho_w)}$
<p>ρ_{sc} = masse volumique sèche corrigée du matériau original ρ_p = masse volumique du matériau soumis à l'essai ρ_w = masse volumique de l'eau à 20 °C (1000 kg/m³) Pr = pourcentage des gros granulats retenus sur le tamis d'écrêtage (en décimale) G_m = densité des gros granulats R = facteur de correction pour prendre en compte l'effet des gros granulats</p>	

Tableau 1 : Équations mathématiques pour la correction de la masse volumique

	Moule (mm)	Granite	Basalte A	Basalte B	Calcaire	Diabase	Gravier schisteux
Référence	305	2333	2456	2388	2277	2577	2281
Correction de pierres	152,4	2231 -4,4 %	2172 -12 %	2266 -5,1 %	2017 -11 %	2311 -10 %	2148 -5,8 %
	305	2318 -0,6 %	2285 -7,0 %	2309 -3,3 %	2094 -8,0 %	2448 -5,0 %	2235 -2,0 %
Écrêtage + ASTM	152,4	2431 +4,2 %	2640 +7,5 %	2439 +2,1 %	2427 +6,6 %	2630 +2,1 %	2254 -1,2 %
	305	2453 +5,1 %	2673 +8,8 %	2437 +2,1 %	2460 +8,0 %	2660 +3,2 %	2311 +1,3 %
Écrêtage + AASHTO	152,4	2250 -3,6 %	2529 +3,0 %	2344 -1,8 %	2289 +0,5 %	2529 -1,9 %	2146 -5,9 %
	305	2281 -2,2 %	2563 +4,4 %	2342 -1,9 %	2326 +2,2 %	2560 -0,7 %	2204 -3,4 %

Tableau 2 : Valeurs des masses volumiques mesurées (kg/m³) pour les différents matériaux