

GÉNIE AÉROPORTUAIRE

ATR-026

**EXAMEN DES MÉTHODES DE
DÉTERMINATION
DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE
MAXIMALE**

PROJET 914222
R et D DE MÉTHODES ET
D'EXIGENCES D'ESSAI DES MATÉRIAUX
PHASE II

Jean A. Richard, ing.
Chef, Fondations et matériaux
TPSGC, SAG, Transport aérien
Région de l'Atlantique

James R. Scarlett
Ingénieur civil et des matériaux
TPSGC, SAG, Génie aéroportuaire
Ottawa

JUIN 1997

Copyright © Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 1997

Avertissement

Cette publication est distribuée à titre documentaire seulement et ne correspond pas nécessairement à la politique du Gouvernement du Canada et ne constitue ni une approbation ni une recommandation de produits ou de sociétés commerciaux.

Le ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tactile, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisation, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le ministre ou Sa Majesté du chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

TABLE DES MATIÈRES

1.0 INTRODUCTION.....	1
2.0 PORTÉE DES TRAVAUX	1
3.0 MÉTHODE D'ESSAI STANDARD DE TPSGC	2
4.0 AUTRES ORGANISMES	4
4.1 Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick	4
4.2 Ministère des Transports et des Communications de la Nouvelle-Écosse	4
4.3 Ministère des Transports et des Travaux publics de l'Île-du-Prince-Édouard	5
4.4 Ministère des Travaux, des Services et des Transports de Terre-Neuve	5
4.5 Ministère des Transports du Québec (MTQ).....	5
4.6 Ministère des Transports de l'Ontario (MTO).....	6
5.0 RECHERCHES EN LABORATOIRE	7
5.1 Introduction	7
5.2 Programme d'essais	8
6.0 ANALYSE ET RECOMMANDATIONS	12
6.1 Formules de correction pour cailloux.....	12
6.2 Programme de laboratoire	12
6.3 Recommandations	16

EFILE: ATR025F.LWP 18 juin 1997

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

1. INTRODUCTION

Un comité de vérification des normes (CVN) a effectué en 1995 une révision du manuel sur la construction ASG-06¹, rédigé par l'unité du Transport aérien, Services d'architecture et de génie (SAG), Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. Ce comité se composait de gens du secteur privé et de membres du personnel de l'unité du Transport aérien. La vérification avait pour but de mettre à jour le manuel au regard des pratiques industrielles courantes et des développements technologiques. La nouvelle version du manuel ASG-06 (septembre 1996)² tient compte de certaines des recommandations du CVN. Celles auxquelles on n'a pas donné suite seront soumises à une seconde évaluation comme convenu. Le bureau national de Transport aérien, SAG, TPSGC, a demandé à la région de l'Atlantique de lui prêter son concours pour cette évaluation et de lui présenter un rapport a posteriori.

2. PORTÉE DES TRAVAUX

Les travaux nécessaires comportaient les trois éléments suivants :

- w La comparaison des méthodes d'essai ASTM D1557³ et ASTM D4718⁴ avec la méthode de détermination en laboratoire de la masse volumique décrite au paragraphe 2.4.1 du manuel ASG - 06².
- w L'étude de la méthode d'essai Rice modifiée, telle que proposée par le programme Canadian Asphalt Mix Exchange (CAMEP), et sa comparaison avec la méthode d'essai de détermination de la masse volumique maximale des mélanges de revêtements bitumineux (ASTM D2041-95). Un rapport est présenté sous pli séparé.
- w La révision et l'évaluation de l'essai Micro-Deval. Un rapport est présenté sous pli séparé.

Le présent rapport fait état de la revue des méthodes d'essai et de l'étude documentaire connexe proposées par plusieurs organismes d'essai des matériaux aux fins de la détermination en laboratoire de la masse volumique sèche maximale des couches granulaires. Une enquête auprès d'autres organismes, y compris plusieurs ministères provinciaux canadiens des transports, a également été réalisée afin de comparer les différentes méthodes utilisées par ces derniers. Le rapport présente aussi les résultats des essais en laboratoire sur des matériaux

¹ ASG-06, Sept. 1994. Construction de chaussées. Matériaux et essais, normes canadiennes et pratiques recommandées en génie aéroportuaire, TPSGC, SAG, Transport aérien.

² ASG-06, Sept. 1996. Construction de chaussées. Matériaux et essais, normes canadiennes et pratiques recommandées en génie aéroportuaire, TPSGC, SAG, Transport aérien.

³ D1557-91. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soils Using Modified Effort, 1996 ASTM Annual Book of Standards.

⁴ D4718-94. Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Contents for Soils Containing Oversize Particles, 1996 ASTM Annual Book of Standards.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

granuleux de fondation type, effectués par TPSGC, et une analyse des méthodes de détermination en laboratoire de la masse volumique sèche maximale des couches granulaires que TPSGC devrait recommander.

3. MÉTHODE D'ESSAI STANDARD DE TPSGC

Les normes de compactage des couches granulaires des chaussées d'aérodrome, élaborées par TPSGC, sont énoncées à la section 2.3 et à l'annexe H du manuel ASG-06². Ces exigences de compactage se fondent sur la masse volumique sèche maximale corrigée en laboratoire telle que précisée au paragraphe 2.4.1 du manuel ASG-06². La masse volumique sèche maximale corrigée est calculée à l'aide de l'équation empirique suivante :

$$D = (F1 \times D1) + (0.9 \times D2 \times F2) \quad (1)$$

D = masse volumique sèche maximale corrigée (kg/m³).

F1 = fraction (décimale) des échantillons prélevés sur place passant à travers un tamis de 4,75 mm.

F2 = fraction (décimale) des échantillons prélevés sur place retenus par un tamis de 4,75 mm (égal à 1.00 - F1).

D1 = masse volumique sèche maximale (kg/m³) des matériaux passant à travers un tamis de 4,75 mm, conformément à la méthode A de l'ASTM D1557³ (quel que soit le pourcentage du refus de tamisage F2)

D2 = masse volumique apparente (kg/m³) des matériaux retenus par le tamis de 4,75 mm, égale à 1000 G, où G est la densité apparente (base sèche) des matériaux lorsque soumis à l'essai ASTM C127⁵.

Aucune donnée antérieure n'indique à quel moment ni pour quelle raison on a adopté l'équation de correction de la masse volumique sèche (1). On trouve une mention de cette équation dans le manuel de Conception technique⁶ de Transports Canada. On en a déduit qu'elle est utilisée pour les chaussées des aérodromes canadiens depuis 1965.

⁵ C127-93. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, 1996 ASTM Annual Book of Standards.

⁶ Section 7 (1965). Construction Control of Base, Sub-base and Subgrade. Conception technique, Services aériens, Ministère des Transports, Canada.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

On a trouvé dans un article de Norman McLeod⁷, qui a effectué des travaux de recherche pour le ministère des Transports au milieu des années 1940, une indication de l'origine de l'équation 1. Étant donné l'incidence considérable de la résistance au cisaillement du terrain de fondation et des couches granulaires sur le calcul de l'épaisseur des chaussées des aérodromes, les exigences de compactage énoncées dans les normes nord-américaines ont toujours été rigoureuses. Les couches portantes inférieures et les couches granulaires doivent présenter une résistance au cisaillement suffisamment grande pour écarter toute défaillance de la structure de chaussée. Pour que les couches portantes inférieures et les couches granulaires puissent atteindre leur propre stabilité, on doit en augmenter la masse volumique sèche par compactage au moment de la construction.

Il semble que la masse volumique sèche maximale D1 de l'équation 1 soit fondée sur la norme T180^{8,7} de l'AASHTO. La méthode d'essai T180⁸ ressemble à l'ancienne méthode d'essai ASTM D1557³ (avant 1991), communément appelée l'essai Proctor modifié, qui proposait, entre autres solutions, le prètamisage et le remplacement⁹. Rien n'indique que cette solution ait été reprise par les normes canadiennes sur les aérodromes. La masse volumique sèche maximale (D1) est déterminée en fonction des matériaux qui passent à travers un tamis de 4,75 mm quel que soit le pourcentage de granulats grossiers (> 4.75 mm) que contient l'échantillon global. La masse volumique sèche maximale corrigée (D) semble fondée sur la norme T224¹⁰ de l'AASHTO, laquelle propose une méthode dans laquelle la masse volumique sèche maximale (D1) est rajustée afin de compenser l'écart des pourcentages des granulats grossiers de l'échantillon global retenus dans le tamis de 4,75 mm.

⁷ Norman W. McLeod, "Flexible Pavement Thickness Requirements", The Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings (1956).

⁸ AASHTO T180. Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54kg Rammer and a 457mm Drop, American Association of State Highway and State Officials.

⁹ Rock Correction Issues in Compaction Specifications for High Gravel Content Soil. Transportation Research Record 1462, Kenneth D. Walsh. (Reference USBR 5515-89).

¹⁰ AASHTO T224. Standard Method of Test for Correction for Coarse Particles in the Soil Compaction Test, American Association of State Highway and State Officials.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

4. AUTRES ORGANISMES

4.1 Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick

Personne-ressource : Lester Foreman, Laboratoire des matériaux, (506) 453-2619.

Les normes¹¹ du ministère des Transports du Nouveau-Brunswick précisent que le compactage des couches granulaires doit être conforme à la norme ASTM D698¹², communément appelée essai Proctor normal. L'utilisation de la norme ASTM D1557³ n'est spécifiée que sur demande spéciale pour les remblais structuraux. Le choix des méthodes d'essai (A, B ou C) est déterminé d'après la granulométrie du matériau et la correction pour refus de tamisage est effectuée conformément à la norme ASTM D4718⁴.

4.2 Ministère des Transports et des Communications de la Nouvelle-Écosse

Personne-ressource : Wayne MacAskill, Services techniques, (902) 860-2999.

Le cahier des charges¹³ du ministère des Transports et des Communications de la Nouvelle-Écosse recommande que le compactage des matériaux granulaires soit conforme à la norme ASTM D698¹². Le choix des méthodes d'essai (A, B ou C) est déterminé d'après la granulométrie du matériau. La correction pour refus de tamisage est effectuée conformément à la méthode proposée par Humphres¹⁴. Le ministère envisage présentement le recours à des bandes d'essai de contrôle in situ pour la vérification du compactage des couches de matériaux granuleux.

¹¹ Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick, General Specification Book, janvier 1995.

¹² ASTM D698. Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM Annual Book of Standards.

¹³ Ministère des Transports et des Travaux Publics de la Nouvelle-Écosse. Standard Specification Highway Construction and Maintenance, avril 1996.

¹⁴ Hubert W. Humphres, A Method for controlling Compaction of Granular Materials.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

4.3 Ministère des Transports et des Travaux publics de l'Île-du-Prince-Édouard

Personne-ressource : Terry Kelly, (902) 368-4750.

Le cahier des charges¹⁵ du ministère des Transports et des Travaux publics de l'Î.-P.-É. recommande que le compactage des matériaux granulaires soit conforme à la norme AASHTO T-99¹⁶, communément appelée l'essai Proctor normal. On y prescrit la méthode A quel que soit le pourcentage de refus de tamisage 4,75 mm. La correction pour refus de tamisage (> 4.75 mm) est calculée conformément à la méthode proposée dans ASSHTO T-224¹⁰.

4.4 Ministère des Travaux, des Services et des Transports de Terre-Neuve et du Labrador

Personne-ressource : Keith S. Foster, (709) 729-2441.

Le cahier des charges¹⁷ du ministère des Travaux, des Services et des Transports de Terre-Neuve et du Labrador recommande que le compactage des matériaux granuleux soit conforme à la norme ASTM D698¹². Le choix de la méthode d'essai (A, B ou C) est déterminé par la granulométrie des matériaux et la correction pour refus de tamisage est effectuée conformément à la norme ASTM D4718⁴.

4.5 Ministère des Transports du Québec (MTQ)

Personne-ressource : Claude Robert, Laboratoire des chaussées, (418) 644-0181.

Le cahier des charges¹⁸ du MTQ recommande que le compactage des matériaux granuleux naturels soit conforme à la norme BNQ-2501-255¹⁹, laquelle est semblable à la norme ASTM D1557, avant 1991, proposant la méthode de prètamisage et le remplacement. Le choix de la méthode d'essai (A, B ou C) est déterminé par la granulométrie des matériaux et la correction pour refus de tamisage est effectuée conformément à la norme ASTM D4718⁴. Lorsque des matériaux de carrière sont employés, on effectue des contrôles par bandes d'essai.

¹⁵ Ministère des Transports et des Travaux Publics de l'Île-du-Prince Édouard, Contract Specifications for Highway Construction, avril 1994.

¹⁶ AASHTO T99. Standard Method of Test for the Moisture-Density Relations of Soils Using a 2.5 kg Rammer and a 305 mm Drop, American Association of State Highway and State Officials.

¹⁷ Ministère des Travaux, des Services et des Transports de Terre-Neuve, Highway Design Division, Specifications Book, Avril 1995.

¹⁸ Ministère des Transport du Québec, Cahier des charges et devis généraux, 1993.

¹⁹ BNQ-2501-255, 1993, Détermination de la teneur en eau/ masse volumique, Essai Proctor modifié.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

4.6 Ministère des Transports de l'Ontario (MTO)

Personne-ressource : Stephen A. Senior, ingénieur principal des granulats, (416) 235-3743.

Depuis l'été 1996, le MTO prescrit des contrôles par bandes d'essai du compactage des matériaux granuleux et des matériaux de remblai.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

5. RECHERCHES EN LABORATOIRE

5.1 Introduction

Le contrôle du compactage des remblais artificiels s'effectue habituellement en comparant la masse volumique sèche des matériaux mis en oeuvre avec une masse volumique sèche de référence. La plupart des méthodes de laboratoire employées actuellement pour déterminer cette valeur de référence sont dérivées de la méthode qui a été mise au point par le service des routes de la Californie (California Highway Department²⁰) au début des années 1930, et qui est connue sous le nom d'essai Proctor normal ASTM D-698¹². La méthode permet de déterminer le rapport entre la teneur en eau et la masse volumique sèche (courbe de compactage).

L'essai de compactage en laboratoire vise à établir une courbe humidité-masse volumique comparable à celle du même matériau compacté en place suivant une méthode et à l'aide d'un matériel existants. L'essai Proctor normal a été mis au point pour la construction générale des routes au moyen de matériel de compactage léger. Pour les routes à volume de trafic plus élevé et l'utilisation de matériel lourd, on a mis au point la norme ASTM D1557³ (AASHTO T180⁸), connue sous le nom d'essai Proctor modifié. D'après notre recherche documentaire, l'essai Proctor modifié est considéré par un grand nombre comme la norme pour déterminer la masse volumique sèche de référence aux fins du contrôle du compactage des chaussées d'aérodrome^{21,20,7}. Pour les besoins de notre étude, nous avons jugé que la méthode d'essai ASTM D1557³ était une méthode appropriée aux fins de la détermination en laboratoire d'une masse volumique sèche de référence.

Le recours à une masse volumique sèche de référence, déterminée en laboratoire, s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle le matériau compacté en laboratoire est le même que le matériau compacté sur le chantier. Les moules (101,6 mm ou 152,4 mm) utilisés pour l'essai Proctor modifié limitent la taille maximale des particules pouvant être mises à l'essai. En conséquence, on doit tenir compte de l'effet des particules grossières sur la masse volumique sèche maximale obtenue en laboratoire. Par suite de l'analyse des différentes méthodes de détermination de la masse volumique sèche corrigée, réalisée par le CVN, il a été convenu de réévaluer l'incidence des particules grossières sur la détermination d'une masse volumique sèche maximale de référence. Les deux membres du secteur privé faisant partie du CVN ont recommandé dans leur analyse^{22,23} de remplacer l'équation 1 par la méthode ASTM D4718⁴, combinée à l'essai ASTM D1557³, pour déterminer la masse volumique sèche maximale corrigée. Ils ont également recommandé, entre autres choses, que la méthode d'essai ASTM D1557³ tienne

²⁰ Soils Mechanic in Engineering Practice, Terzaghi and Peck, John Wiley and Sons, 1967.

²¹ NAVFAC, Naval Facilities Engineering Command, Design Manual 7.1 and 7.2, 1986.

²² Review and Recommendations to PWGSC Pavement Construction Manuals, Terra Engineering Ltd, February 14, 1995.

²³ Recommandation de modifications techniques, Manuel sur la construction des chaussées ASG-06 de TPSGC, JEGEL, 21 février, 1995

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

compte de la granulométrie du matériau. À partir de ces recommandations, TPSGC a exécuté un programme limité d'essais en laboratoire afin de comparer la masse volumique sèche maximale corrigée obtenue avec l'équation 1 et celle obtenue avec la méthode ASTM D1557³ combinée à la méthode ASTM D4718⁴.

5.2 Programme d'essais

On a prélevé trois échantillons de gabbro broyé dans les tas de pierres concassées de la carrière du chemin Gorge, Moncton, N.-B. Selon la convention en usage à cet endroit, ces échantillons sont désignés 75 mm et moins, 37,5 mm et moins et 19 mm et moins. Ce type de matériau est employé comme remblai structural et couches de base pour les routes de la région. La carrière a déjà fourni des matériaux granuleux pour plusieurs projets de chaussées d'aérodrome.

On a effectué des analyses granulométriques préliminaires de chaque échantillon global afin de déterminer celui qui présenterait la granulométrie la plus représentative aux fins des essais subséquents. On a choisi l'échantillon global de la catégorie 19 mm et moins pour des essais comparatifs, de même que des matériaux représentatifs des refus de tamisage (de 4,75 mm à 19 mm) dans les catégories 75 mm et moins et 37,5 mm et moins. Le tableau 1 présente les résultats des deux analyses granulométriques des échantillons globaux de la catégorie 19 mm et moins.

Tableau 1
Granulométrie moyenne (19 mm et moins)
Échantillon global

<u>Ouverture de la maille</u> <u>(mm)</u>	<u>Pourcentage passé (%)</u>
37,50	100,00
19,00	98,90
9,50	71,50
4,75	51,80
2,00	33,10
0,43	14,70
0,08	7,00

L'échantillon global 19 mm et moins a ensuite été passé au tamis 4,75 mm. Le tableau 2 présente les résultats des deux analyses granulométriques représentatives du matériau de refus 4,75 mm qui ont été effectuées avant les essais Proctor. On a pu obtenir une quantité suffisante de matériau représentant les fractions 4,75 mm à 19,0 mm pour les essais Proctor.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

Tableau 2

Granulométrie moyenne (4,75 mm et moins)

<u>Ouverture de la maille</u> <u>(mm)</u>	<u>Pourcentage passé (%)</u>
9,5	100,00
4,75	99,40
2,00	60,90
0,43	24,80
0,08	10,30

Le programme d'essais en laboratoire comprenait 18 essais Proctor modifiés. On a utilisé les méthodes A et C de la norme ASTM D1557-91. Pour les besoins de l'étude, on a supposé que les deux méthodes fourniraient suffisamment de données pour les évaluations. La méthode B a été exclue. Les couches de matériaux granuleux des chaussées d'aérodrome contiennent habituellement plus de 20 % en poids de matériau refusé sur tamis de 9,5 mm; c'est pourquoi TPSGC n'utilise pas la méthode B décrite dans la norme ASTM D1557-91³.

On prendra note que la méthode de prètamisage et de remplacement n'est plus proposée dans la nouvelle version de la norme ASTM D1557-91. Elle consistait à enlever des moules tous les granulats de plus de 19 mm et à les remplacer par une quantité égale de granulats de 4,75 mm à 19 mm de grosseur.

Méthode A

On a effectué trois essais séparés selon la méthode A décrite dans la norme ASTM D1557 (matériau passant à travers un tamis de 4,75 mm). On a tassé le matériau dans un moule de 101,6 mm de diamètre à l'aide d'une masse de 4,5 kg qu'on laissait tomber d'une hauteur de 457 mm. On a placé le matériau en cinq couches successives que l'on tassait en laissant tomber la masse 25 fois. Pour chaque essai, on a augmenté à cinq reprises la teneur en eau de l'échantillon. On a déterminé les masses volumiques sèches maximales (optimales) à partir des courbes de compactage.

Méthode C

On a effectué quinze essais séparés selon la méthode C décrite dans la norme ASTM D1557. On a tassé le matériau dans un moule de 152,4 mm de diamètre à l'aide d'une masse de 4,5 kg qu'on laissait tomber d'une hauteur de 457 mm. On a placé le matériau en cinq couches successives que l'on tassait en laissant tomber la masse 56 fois. Pour chaque essai, on a augmenté à cinq reprises la teneur en eau de l'échantillon. On a déterminé les masses volumiques sèches maximales (optimales) à partir des courbes de compactage.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

Le matériau utilisé pour les essais répartis en cinq groupes de trois contenait des cailloux dans des proportions variant de 10 à 60 p. 100 (10, 20, 30, 40 et 60). La taille des cailloux allait de 4,75 mm à 19,0 mm. La granulométrie du matériau inférieur à 4,75 mm n'a pas été modifiée alors que le pourcentage en poids du matériau supérieur à 4,75 mm a été graduellement augmenté. Les masses volumiques sèches maximales obtenues sont présentées au tableau 4.

Tableau 4

<u>Programme d'essais en laboratoire</u>			
<u>Résultats - ASTM D1557-91</u>			
Méthode	% des granulats grossiers 4,75-19 mm	Masse volumique sèche maximale kg/m ³	Masse volumique sèche moyenne kg/m ³
A	0,00	2152,00	
		2145,00	
		2145,00	2147,00
C	10,00	2158,00	
		2155,00	
		2147,00	2153,00
C	20,00	2175,00	
		2173,00	
		2165,00	2171,00
C	30,00	2204,00	
		2206,00	
		2198,00	2203,00
C	40,00	2209,00	
		2202,00	
		2195,00	2202,00
C	60,00	2236,00	
		2239,00	2238,00

La qualité du matériau a été évaluée au moyen de trois essais d'Atterberg²⁴, de deux essais d'abrasion²⁵ et de quatre essais de densité et d'absorption²⁶. Les valeurs moyennes obtenues sont présentées au tableau 3.

²⁴ ASTM D4318-95, Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 1996 ASTM Annual Book of Standards.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

Tableau 3
Résultats des essais qualitatifs

<u>Essai</u>	<u>Résultat</u>
Essai d'Atterberg ²⁴	Fines non plastiques
Essai d'usure au rattler ²⁵	22,0%
Densité apparente ²⁶	
de 4,75 mm à 19,0 mm	2,67
de 19,0 mm à 75,0 mm	2,64
Absorption ²⁶	
de 4,75 mm à 19,0 mm	1,25%
de 19,0 mm à 75 mm	0,8%

²⁵ ASTM C131-89, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

²⁶ ASTM C127-88, Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, 1996 ASTM Annual Book of Standards.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

6. ANALYSE ET RECOMMANDATIONS

6.1 Équations de correction pour cailloux

Les organismes d'essai des matériaux ont mis au point plusieurs équations empiriques dans le but de prendre en compte l'effet des particules grossières sur la masse volumique sèche de référence obtenue en laboratoire. Ces équations sont communément appelées équations de correction pour cailloux, pour refus de tamisage ou pour fragments grossiers. Dans ces équations, on utilise des paramètres tels que la masse volumique sèche maximale des fragments fins, le pourcentage des fragments grossiers et, parfois, la nature des fragments fins, pour déterminer la masse volumique sèche maximale approximative du matériau dans son ensemble. Le tableau 5 présente les équations de correction les plus couramment utilisées.

6.2 Programme de laboratoire

Le programme de laboratoire connexe à la présente étude se limitait à comparer les résultats des calculs effectués à l'aide de l'équation 1, de TPSGC, à ceux obtenus par la méthode C décrite dans la norme ASTM D1557-91³. La figure 1 montre l'incidence des particules grossières sur les masses volumiques sèches maximales corrigées, déterminées à l'aide de l'équation 1 et au moyen de la méthode C³ décrite dans la norme ASTM D1557.

Dans tous les cas, la masse volumique sèche maximale corrigée, calculée à l'aide de l'équation 1, était supérieure à celle obtenue à l'aide de la méthode C³, décrite dans la norme ASTM D1557. La figure 1 montre également que le pourcentage de la masse volumique sèche maximale corrigée augmente à mesure que le pourcentage de particules grossières augmente. Les résultats obtenus à l'aide de l'équation 1 étaient de 1,0 à 2,7 % plus élevés que ceux obtenus à l'aide de la méthode C³ de la norme ASTM D1557. Cette tendance a été également observée par d'autres⁹.

Les proportions maximales et minimales de refus sur tamis de 19 mm que TPSGC a établies pour les couches granulaires sont de 50 p. 100 et 25 p. 100 respectivement. La figure 2 montre l'incidence des particules grossières (> 19 mm < 75 mm) sur les masses volumiques sèches maximales corrigées, calculées à l'aide des équations 1 et 3.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

Tableau 5
Équations de correction

<u>Référence</u>	<u>Équation</u>	<u>Remarques</u>
AASHTO T224 ¹⁰ / TPSGC ASG-06 ²	1) $D = (F1 \times D1) + (0,9 * \times F2 \times D2)$	D1 déterminée d'après la fraction de matériau de 4,75 mm, à l'aide des méthodes ASTM D1557 / AASHTO T180.
AASHTO T224 ¹⁰	2) $D = 1 / ((F2/D2) + (F1/r D1))$	D1 déterminée d'après la fraction de matériau de 4,75 mm, à l'aide de la méthode AASHTO T180.
ASTM D4718 ⁴	3) $D = 1 / ((F2/D2) + (F1/D1))$	D1 déterminée à l'aide de la méthode ASTM D1557.
USBR 5515 ⁹	4) $D = 1 / ((F2/D2) + (F1/r_u D1))$	D1 déterminée à l'aide de la méthode USBR 5500.
NAVFAC ²¹	5) $D = (1 - (0,05 \times F2)) / ((F2/D2) + (F1/D1))$	D1 déterminée à l'aide de la méthode ASTM D1557. Si F2 est supérieur à 60 %, faire au besoin des rajustements supplémentaires.

D = Masse volumique sèche maximale corrigée (kg/m³)

D1 = Masse volumique sèche maximale de la fraction des fines (kg/m³)

D2 = Masse volumique des particules grossières (1000 x densité apparente) (kg/m³)

F1 = Fraction des fines (décimale) de l'échantillon global prélevé sur place.

F2 = Fraction des particules grossières (décimale) de l'échantillon global prélevé sur place (égale à 1,00 - F1).

* = 0,9 est un coefficient empirique dépendant de la valeur de F2. Un coefficient de 0,9 est normalement considéré approprié pour le contrôle in situ du compactage de la couche granulaire; toutefois, si un rajustement plus précis est requis, l'AASHTO recommande d'utiliser l'équation 2.

r = Coefficient dont la valeur est dépendante de F2.

r_u = Coefficient dont la valeur dépend de F2 et de la plasticité des fines.

Certaines normes telles que l'AASHTO T180-93 et l'ancienne version de la norme ASTM D1557 (avant 1991) proposent la méthode de prêtamisage et de remplacement du matériau.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

Figure 1

Masse volumique sèche maximale par rapport au % > 4,75mm

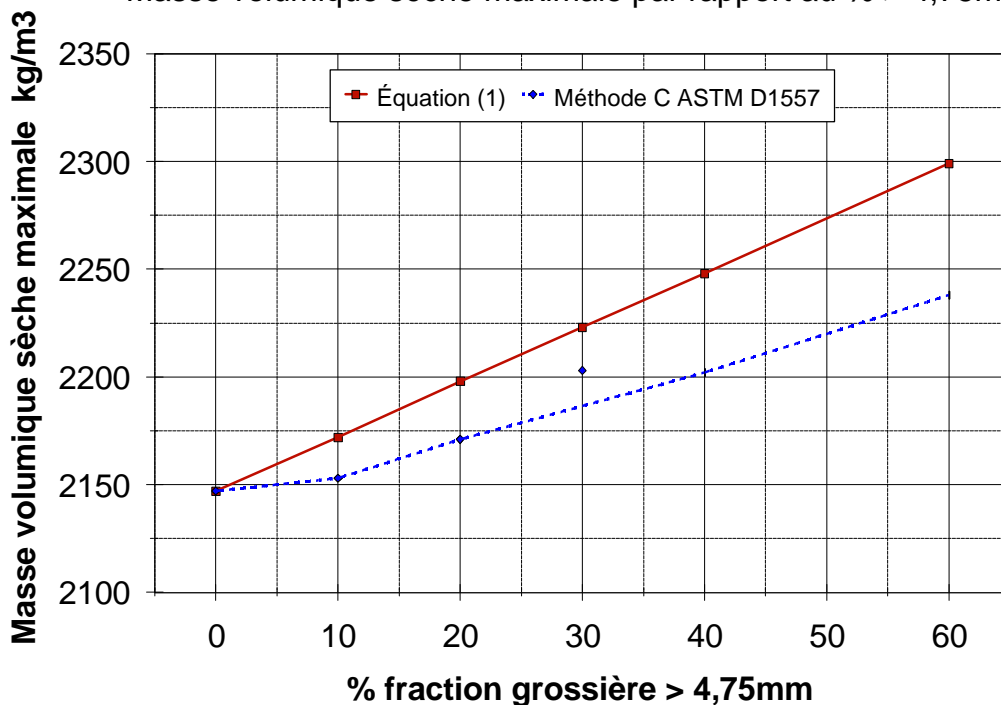
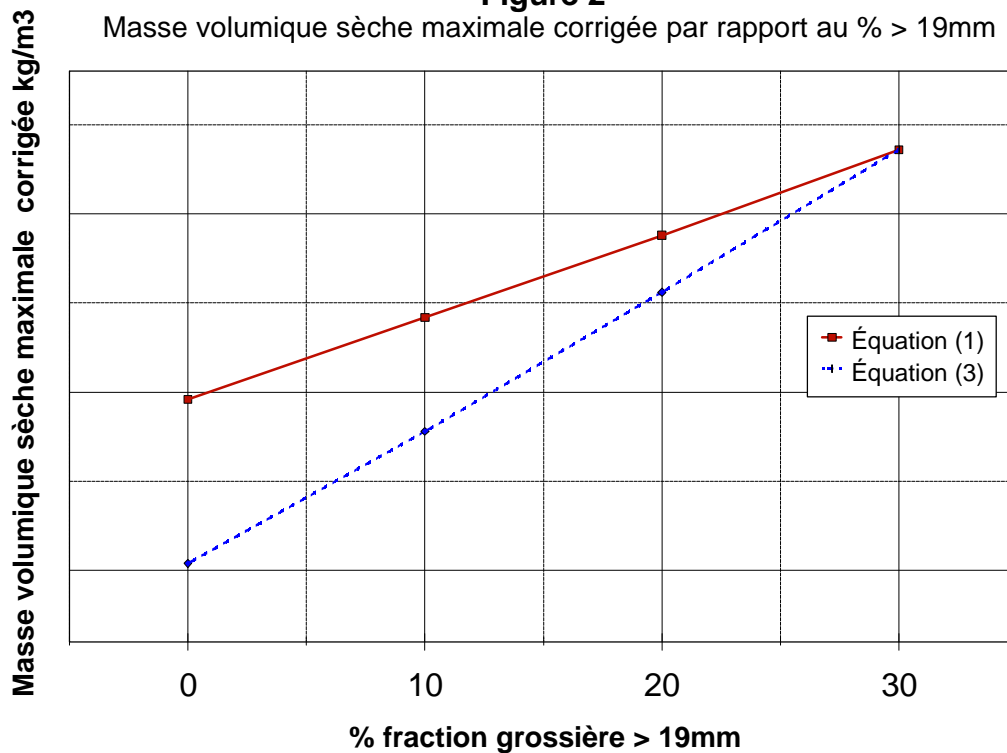


Figure 2

Masse volumique sèche maximale corrigée par rapport au % > 19mm



EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

Les masses volumiques sèches maximales corrigées, calculées à l'aide de l'équation 3 et présentées dans la figure 2, sont fondées sur le principe qu'un matériau granuleux type contient environ 40 p. 100 de particules dont la taille varie de 4,75 mm à 19 mm, après enlèvement des refus de tamisage (>19 mm). En conséquence, pour les besoins des comparaisons, on a utilisé la valeur de 2201 kg/m³ (D1) indiquée à la figure 1 dans l'équation 3. La figure 2 montre clairement que le pourcentage de la masse volumique sèche maximale corrigée, calculée à l'aide de l'équation 3, augmente à mesure que le pourcentage de particules grossières (>19 mm) augmente lui aussi. Cela est dû au fait qu'un coefficient de correction empirique est appliqué à la masse volumique des particules grossières dans l'équation 1 mais pas dans l'équation 3. Les valeurs de l'équation 1 ont été de 2,7 % plus élevées que celles de l'équation 3, pour les fractions de particules grossières (>19 mm). Toutefois, on remarque que l'équation 3 donne des valeurs de plus en plus élevées que celles de l'équation 1 lorsque la fraction de particules grossières (>19 mm) dépasse les 30 %.

D'après les résultats de cette étude, nous concluons que l'adoption des méthodes décrites dans la norme ASTM D1557-91³ et de l'équation de correction pour refus de tamisage, d'après la norme ASTM D4718-94⁴, donnerait lieu à une majoration des résultats pouvant atteindre 2,7 % pour le même matériau compacté en comparaison des résultats obtenus à l'aide de l'équation de la masse volumique sèche maximale corrigée, laquelle est recommandée par le document ASG-06². Cela se traduirait pratiquement par l'acceptation de matériaux granuleux mis en oeuvre qui pourraient présenter une masse volumique jusqu'à 2,7 % plus basse que le seuil actuellement permis.

EXAMEN DES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE

6.3 Recommandations

Voici certains des avantages que présente le maintien dans les normes sur les chaussées d'aérodrome de TPSGC de l'équation 1 par rapport à l'adoption intégrale de la méthode décrite dans les normes ASTM D1557 et D4718 : d'après le programme d'essais en laboratoire, l'obtention de la masse volumique sèche maximale corrigée, calculée à l'aide de l'équation 1, demande un compactage in situ plus intense et, par conséquent, garantit une résistance au cisaillement maximale; seulement deux fractions ($< 4,75$ mm et $> 4,75$ mm) des échantillons prélevés sur le terrain et une seule taille de moule sont nécessaires pour le traitement en laboratoire, alors qu'en utilisant la méthode ASTM D1557 il faudrait séparer les échantillons en trois fractions ($< 4,75$ mm, $< 9,5$ mm et < 19 mm) et utiliser deux tailles de moule, ce qui théoriquement pourrait exiger des procédures différentes selon la variation du pourcentage de particules grossières dans le matériau.

La plupart des équations de correction sont considérées appropriées lorsque le pourcentage de refus de tamisage ($> 4,75$ mm) est inférieur à 60 % en poids^{9,21}; toutefois, la norme ASTM⁴ limite ce pourcentage à moins de 40 %. Cette norme considère valide la méthode de correction pour le matériau contenant jusqu'à 30 % de particules grossières lorsque la fraction des refus est supérieure à 19 mm. Le pourcentage maximal permissible des particules grossières est fonction de l'incidence négative de ces particules sur la masse volumique de la fraction des particules plus fines après compactage sur le terrain. Le moment où cette incidence se fait sentir varie selon les pourcentages des particules grossières et selon les types de matériau. C'est pourquoi, on devra étudier, au cas par cas, l'emploi de la masse volumique sèche maximale corrigée comme valeur de référence pour accroître les pourcentages de cailloux, surtout pour les matériaux granuleux grossiers des couches portantes inférieures. On devrait également recourir aux contrôles par bandes d'essai comme autre moyen d'assurer un contrôle représentatif et réalisable du compactage sur le terrain.

On a souligné, à propos de nombreux projets d'aéroports canadiens, qu'il faudrait des conditions optimales et du matériel idéal pour atteindre la masse volumique sèche maximale corrigée prescrite dans le document ASG-06. Le compactage donne rarement des résultats dépassant la valeur maximale (100 %).

L'équation 1 a toujours été une méthode prudente pour déterminer une masse volumique maximale de référence aux fins du contrôle du compactage des couches granulaires des chaussées d'aérodrome. Elle a d'ailleurs été utilisée avec succès pour atteindre, à l'aide des méthodes et du matériel de construction disponibles, les masses volumiques élevées exigées pour les couches granulaires. En conséquence, nous recommandons que TPSGC continue de prescrire l'équation 1 aux fins du contrôle du compactage du matériau granuleux de fondation et des couches portantes inférieures et de prévoir une disposition autorisant l'utilisation des contrôles par bandes d'essai lorsque la correction pour la fraction des particules grossières ne donne pas une image exacte de la masse volumique sèche maximale qu'il est possible d'atteindre sur le terrain.