



Corrélation entre l'essai à la plaque statique belge et l'essai à la plaque dynamique

Introduction

L'essai à la plaque statique belge, développé par le CRR, est depuis très longtemps la référence en matière de contrôle du compactage et de mesure de la portance des sols, des sous-fondations et des fondations dans la construction routière. Les cahiers des charges types des différentes Régions de Belgique contiennent des valeurs de référence pour le module M1 mesuré par l'essai à la plaque pour les sols et les remblais ($M1 \geq 11$ MPa et 17 MPa), pour les sous-fondations ($M1 \geq 35$ MPa) et pour les fondations ($M1 \geq 110$ MPa, et depuis peu également $M1 \geq 80$ MPa pour les pistes cyclables et les fondations perméables).

Cet essai à la plaque statique a donc déjà prouvé son utilité et restera la référence pendant de nombreuses années, mais il présente toutefois un inconvénient majeur : en effet, la réalisation de l'essai peut s'avérer assez fastidieuse, notamment en raison de la nécessité d'un contrepoids pour effectuer l'essai, en particulier sur les fondations (où la pression doit atteindre 0,55 MPa), et du temps nécessaire pour le réaliser correctement selon la méthode de mesure MF 40/78 du CRR (Centre de Recherches Routières [CRR], 1978) ou selon les méthodes qui s'en inspirent fortement dans les cahiers des charges types. De ce fait, les essais nécessaires ne sont pas toujours réalisés avec la fréquence requise ou conformément aux prescriptions. Dans certains cas, comme pour les tranchées ou les fouilles de dimensions limitées, il est même impossible de réaliser l'essai.

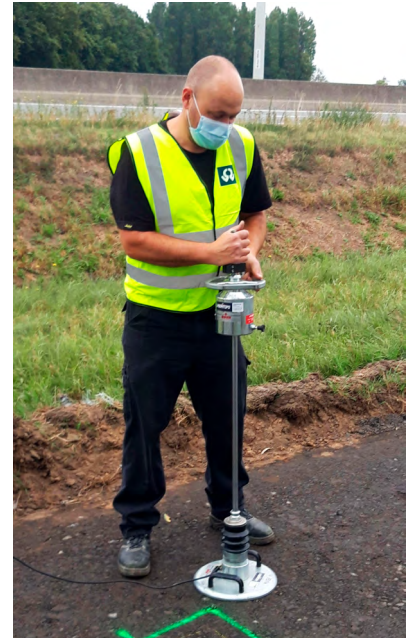
Pour les tranchées et les fouilles, cela peut éventuellement être compensé en remplaçant l'essai à la plaque par la sonde de battage. Dans les autres cas, un essai à la plaque beaucoup plus rapide pourrait constituer une solution, en particulier pour les fondations liées au ciment (Ia et IIa), où l'on dispose de très peu de temps pour effectuer l'essai à la plaque et ensuite compacter si nécessaire avant le durcissement du ciment. Une option serait alors de faire un contrôle à l'aide d'un essai à la plaque dynamique, qui consiste à laisser tomber une masse sur une plaque afin de pouvoir obtenir rapidement un module dynamique Evd.

C'est pourquoi, depuis 2012, le CRR a commencé à étudier plus en détail cet essai à la plaque dynamique et à rechercher d'éventuelles corrélations avec l'essai à la plaque statique belge existant.

Différences entre l'essai à la plaque dynamique et à la plaque statique

L'essai à la plaque dynamique est réalisé conformément à la norme TP Bf-stB, part B 8.3 « Dynamic Plate Load Testing with Light Drop-Weight Tester » (Road and Transportation Research Association (FGSV), Working Group Earthworks and Foundations, Committee Testing Equipment, 2012). Cet essai consiste à laisser tomber une masse (10 kg ou 15 kg) d'une certaine hauteur sur une plaque, trois fois en précharge, trois fois pour la mesure. Lors des trois derniers « impacts », le déplacement de la plaque est mesuré à l'aide d'un accéléromètre, ce qui permet de calculer le module. Le module Evd correspond alors à la valeur moyenne de ces trois impacts.

Il s'agit donc ici d'une première différence : le module M1 de l'essai statique est mesuré lors du premier cycle de chargement, tandis que dans le cas de l'essai à la plaque dynamique, trois précharges sont d'abord effectuées en laissant tomber la masse trois fois, puis la mesure est effectuée lors de trois nouvelles « chutes ».



Figures 1 et 2 – Essais à la plaque statique (à gauche) et dynamique (à droite)
© CRR

Autres différences

- Les valeurs des charges appliquées sont différentes : dans l'essai à la plaque statique, le module est calculé à partir de la différence de tassement observée à une pression de charge comprise entre 0,05 MPa et 0,15 MPa pour le sol, entre 0,15 MPa et 0,25 MPa pour une sous-fondation et entre 0,25 MPa et 0,35 MPa pour une fondation. Dans le cas de l'essai à la plaque dynamique, le module est calculé à partir de la différence de tassement entre 0,00 et 0,10 MPa pour la masse de 10 kg et entre 0,00 et 0,15 MPa pour la masse de 15 kg. Il s'agit donc d'une différence importante, certainement dans le cas d'une sous-fondation et encore plus dans le cas d'une fondation.
- Il existe une différence dans la formule de calcul du module : $A \cdot r \cdot (\Delta\sigma / \Delta\text{tassement})$, avec $A = 2$ pour l'essai à la plaque belge et $A = 1,5$ pour l'essai à la plaque dynamique.
- Le diamètre de la plaque. Il est de 30 cm pour l'essai dynamique et de 16 cm ou 30 cm pour l'essai statique belge. Dans la pratique, la plupart des essais sont réalisés avec la petite plaque de 16 cm (200 cm²), bien que cela ne soit pas toujours correct selon la méthode de mesure. Cela signifie donc que, dans ce cas, l'effet de la plaque de 30 cm est plus profond que celui de la plaque de 16 cm. En contrôlant une couche rigide assez mince de 15 à 25 cm d'épaisseur sur un sol meuble, la plaque plus grande va donc « mesurer » une rigidité totale relativement plus faible.
- En outre, l'un des essais est statique et l'autre dynamique : les sols, et certainement les sols limoneux et argileux, réagissent très différemment sur une force statique et sur une force dynamique, en fonction de leur teneur en particules limoneuses et argileuses, mais surtout en fonction de leur teneur en eau. Il ne semble donc pas judicieux de vouloir établir une corrélation pour ces sols. Cela signifie également que si, comme mentionné ci-dessus, l'essai à la plaque est réalisé sur une couche mince plus rigide, telle qu'une sous-fondation sur un sol meuble, ce sol meuble peut réagir différemment de manière dynamique et statique, ce qui peut à son tour influencer le résultat.

Planches d'essais

Comme mentionné précédemment, le contrôle du compactage des fondations liées au ciment dans un délai court est une problématique très actuelle. Comme ces fondations sont généralement constituées de matériaux dont la rigidité dépend peu de la teneur en eau, répondant à des normes assez strictes (donc avec peu de variabilité) et une sensibilité moindre à la teneur en eau, il a été décidé de se concentrer principalement sur une corrélation pour les fondations. De plus, une fondation repose par définition sur une sous-fondation ou au moins sur un sol avec une capacité portante M1 de minimum 35 MPa, donc la nature du sol support et la taille de la plaque (différent entre les essais statique et dynamique) auront moins d'influence sur la corrélation.

De 2015 à 2018, trois planches d'essais spécifiques ont été organisées sur des chantiers existants et deux en dehors de chantiers existants où l'espace et un délai suffisant ont été accordés pour pouvoir effectuer et suivre de manière contrôlée la mise en place, le compactage des fondations et la réalisation des essais à la plaque, même à plus long terme (parfois quelques jours, parfois plusieurs semaines) afin de pouvoir suivre l'évolution dans le temps. Des mesures de densité gamma ont également été effectuées afin de pouvoir comparer les résultats des essais à la plaque au degré de compactage des empièvements de fondation. Parfois, des carottages ont également été effectués à différents moments, suivis par des essais de compression et éventuellement des essais de traction indirecte.

En dehors de ces planches d'essais spécifiques, des essais comparatifs ont également été réalisés sur un grand nombre de chantiers plus petits (7) lors de la mise en place des fondations, sans trop entraver la production. La possibilité de réaliser des essais approfondis était donc réduite, se résumant en général à une comparaison entre l'essai statique et l'essai dynamique.

Nous nous limiterons ici aux résultats des essais statiques et dynamiques à la plaque.

Comme déjà mentionné, l'essai à la plaque dynamique peut être réalisé avec une masse de 10 kg ou 15 kg. Selon au moins un fabricant, la masse de 10 kg permettrait de mesurer l'Evd de manière suffisamment reproductible jusqu'à une valeur de 70 MPa, au-delà de laquelle il faudrait utiliser la masse tombante de 15 kg. Au cours des premières planches d'essais, des mesures ont été effectuées avec les deux poids et aucune différence significative n'a été constatée entre les deux, du moins pas plus que la variabilité des mesures constatée sur les surfaces relativement petites de ces planches d'essais. Etant donné qu'il n'est pas vraiment possible dans la pratique d'utiliser les deux masses en même temps sur le chantier et que la masse de 15 kg est de toute façon plus difficile à transporter, il a été décidé de ne faire la corrélation qu'avec la masse de 10 kg.

Une première corrélation a été établie, comme indiqué ci-dessous (Figure 1). Les résultats obtenus sur des fondations composées d'agrégats d'enrobés étant assez divergents, ceux-ci n'ont pas été utilisés pour cette corrélation. Ces résultats divergents s'expliquent probablement par le fait que l'enrobé est un matériau viscoélastique, et que, de ce fait, la rigidité mesurée avec une charge statique est inférieure à celle mesurée avec une charge dynamique. De plus, les débris d'enrobés bitumineux sont de moins en moins utilisés dans les fondations.

Il convient de noter qu'une partie des points de mesure sont déjà des moyennes de plusieurs mesures effectuées sur une même planche d'essais.

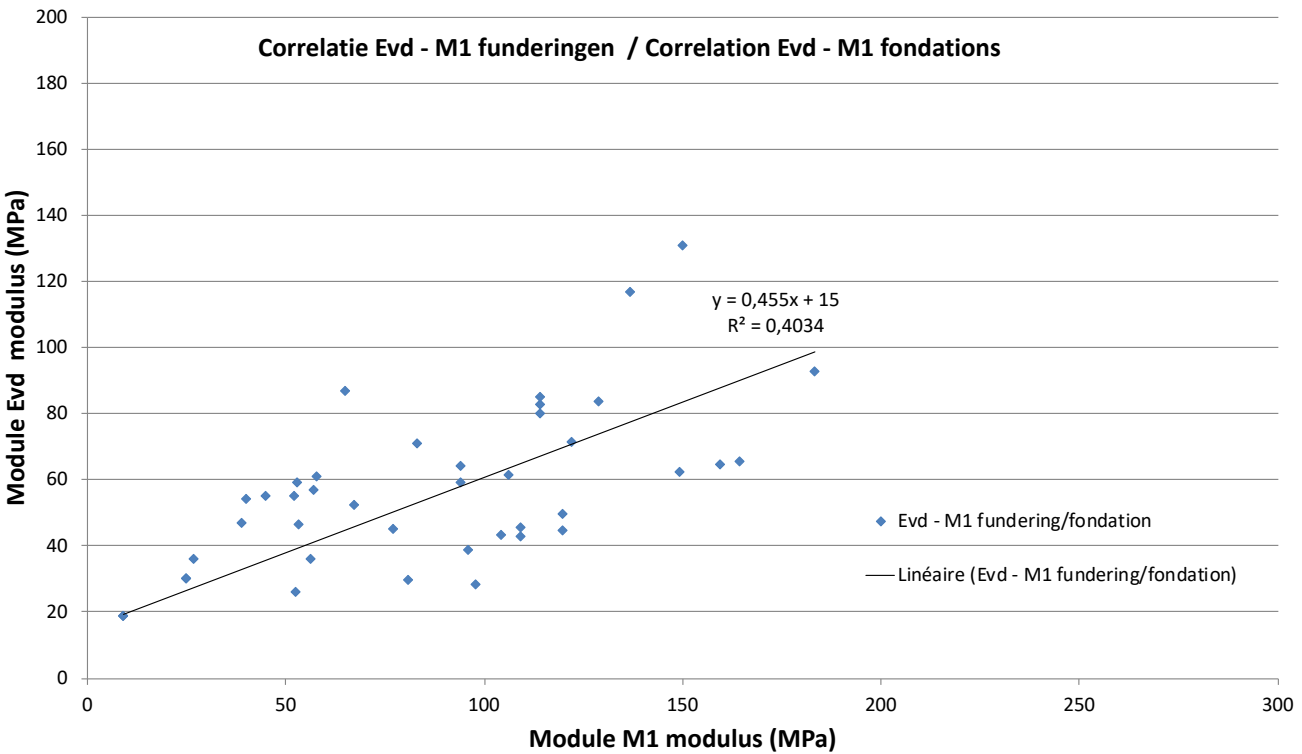


Figure 3 – Corrélation entre M1 et Evd, avec tous les résultats

Une première analyse de ces résultats ne révèle pas de corrélation vraiment significative ($R^2 = 0,403$), mais un examen plus approfondi indique un écart systématique entre les résultats mesurés sur des fondations posées en deux couches et ceux mesurés sur des fondations posées en une seule couche (et donc plus épaisses). Ceci est clairement visible à la figure 4.

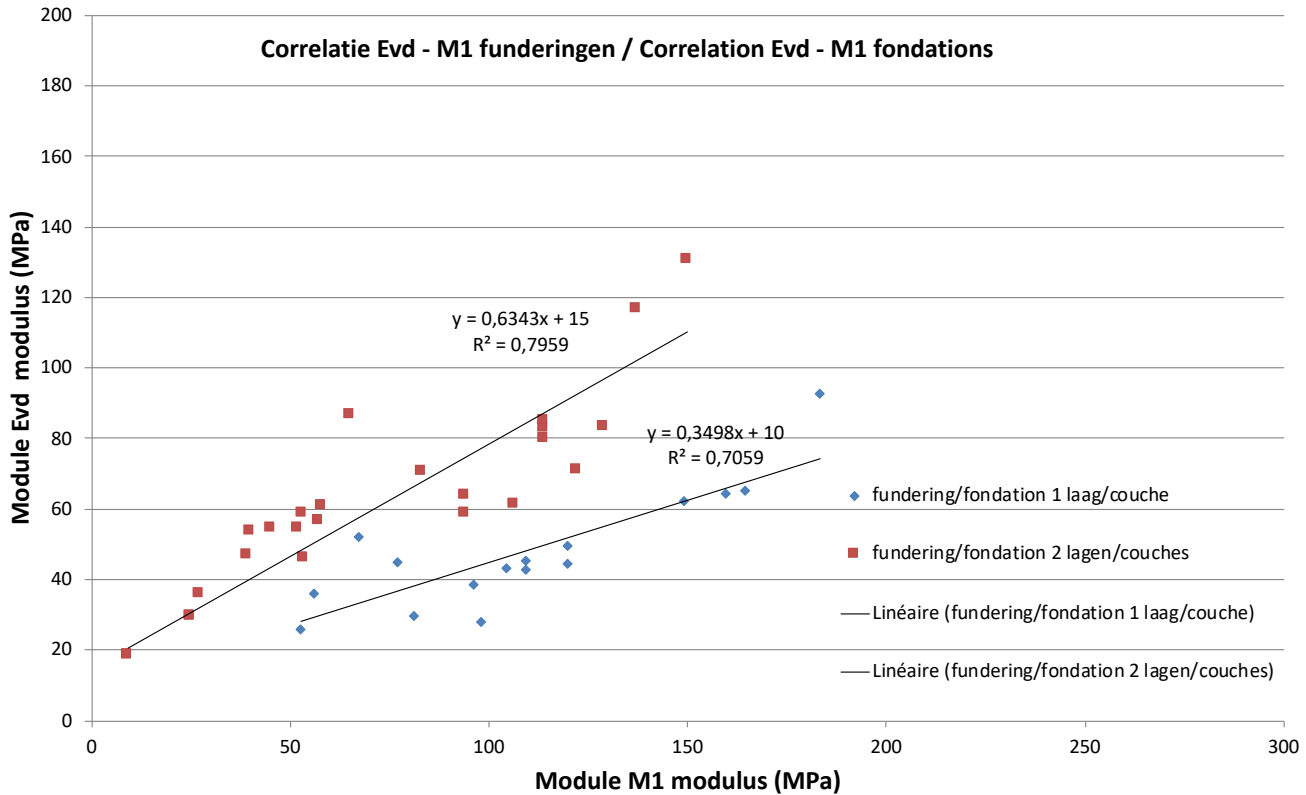


Figure 4 – Corrélation entre M1 et Evd, avec distinction entre une pose en 1 et en 2 couches

Cette différence s'explique probablement par le fait que, dans le cas d'un compactage en une seule couche, la partie inférieure de la fondation est moins bien compactée que la partie supérieure. Ce compactage moindre résulte en une rigidité moindre et, en raison des différents diamètres des plaques (16 cm pour l'essai statique et 30 cm pour l'essai dynamique), cette couche inférieure moins rigide sera davantage « ressentie » par la plaque plus grande, ce qui se traduira par un résultat de mesure relativement plus faible.

À noter que sur tous les chantiers suivis, les fondations, généralement d'une épaisseur de 20 ou 25 cm, ont été réalisées en deux couches, la deuxième couche étant mise en œuvre immédiatement après le compactage de la première. Les résultats obtenus avec les fondations en une seule couche proviennent d'une seule zone d'essai spécialement aménagée. Cela signifie donc que la plupart des entrepreneurs préfèrent spontanément la réalisation en deux couches, probablement parce qu'elle offre des avantages tels que : la possibilité d'utiliser des rouleaux plus légers, une ségrégation moins importante sur les bords, un profilage plus facile à maîtriser, etc.

C'est pourquoi la corrélation obtenue lors de l'application en deux couches (avec $R^2 = 0,796$, soit $R = 0,89$) est retenue comme corrélation à utiliser.

Conclusion

La corrélation suivante (démontrée pour des fondations liées au ciment mises en œuvre en deux couches sur une sous-fondation) entre le Evd mesuré avec la plaque dynamique et le M1 mesuré avec la plaque statique belge a été établie :

$$Evd = 0,65 M1 + 15$$

Cela signifie que M1 = 110 MPa correspond à Evd = 86,5 MPa ou, arrondi, à Evd = 85 MPa. Cette valeur est déjà intégrée dans les cahiers de charges types SB250 et IRISROADS pour le contrôle des fondations liées et non liées.

Il convient de noter que le rapport entre Evd et M1 n'est pas constant dans toute la plage de mesure. Pour des valeurs M1 plus élevées, Evd est inférieur à M1 ; pour des valeurs M1 plus faibles, Evd est supérieur et entre les deux il est similaire.

Auteur



Frank Theys

+32 2 766 03 20

fr.theys@brrc.be

Références

Centre de Recherches Routières (CRR). (1978). *Mode opératoire essai de chargement à la plaque pour le contrôle du compactage* (Méthode de Mesure CRR No. MF 40/78).

Road and Transportation Research Association (FGSV), Working Group Earthworks and Foundations, Committee Testing Equipment. (2012, translation 2018). *Technical testing regulations for soil and rock in road construction: TP BF-StB. Part B 8.3: Dynamic plate load testing with the light drop-weight tester* (FGSV No. 591/B 8.3 E).
https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/591_B_8_3_E.v.pdf