

---

# Etude de corrélations des caractéristiques mécaniques des graveleux latéritiques.

**Gansonré<sup>1</sup>, Breul<sup>2</sup>, Bacconnet<sup>3</sup>, Benz<sup>4</sup>, Gourvès<sup>5</sup>,**

<sup>1</sup> Institut Pascal. 4 avenue Blaise Pascal. 63178 Aubière, France. e-mail : [yassia.gansore@uca.fr](mailto:yassia.gansore@uca.fr)

<sup>2</sup> Institut Pascal. 4 Avenue Blaise Pascal. 63178 Aubière, France. e-mail : [pierre.breul@uca.fr](mailto:pierre.breul@uca.fr)

<sup>3</sup> Institut Pascal. 4 Avenue Blaise Pascal. 63178 Aubière, France. e-mail : [claud.bacconnet@uca.fr](mailto:claud.bacconnet@uca.fr)

<sup>4</sup> Sol-Solution. ZA des portes de Riom Nord. 63204 Riom, France. e-mail : [mbenz@sol-solution.com](mailto:mbenz@sol-solution.com)

<sup>5</sup> Sol-Solution. ZA des portes de Riom Nord. 63204 Riom, France. e-mail : [rgourves@sol-solution.com](mailto:rgourves@sol-solution.com)

---

*RÉSUMÉ. Les sols latéritiques sont les matériaux les plus répandus dans les régions tropicales et utilisés en technique routière pour la réalisation des assises de chaussées. Cependant, dans de nombreux pays, la qualité des routes et pistes latéritiques laisse à désirer. Ce niveau de qualité peut s'expliquer par des problèmes de mise en œuvre mais également par des insuffisances des méthodes de conception. En effet, la démarche actuelle de dimensionnement s'opère par le choix de structures de chaussées en fonction de la classe de trafic et de portance du sol caractérisée par l'indice CBR. La validation de ces structures est effectuée à l'aide de modèles numériques nécessitant l'utilisation de module élastique en donnée d'entrée. Cette donnée est obtenue le plus souvent par des corrélations empiriques avec l'indice de portance CBR proposé par le guide CEBTP. L'objectif de cette étude est de comprendre les insuffisances de cette démarche et de proposer une approche permettant d'améliorer la corrélation entre les mesures des caractéristiques in situ de ces matériaux et leurs caractéristiques mécaniques (module et indice CBR).*

....

*ABSTRACT. Lateritic soils are the most common materials in the tropical areas and used in road engineering for the construction of pavements. However, in many countries, the quality of roads and lateritic tracks is poor. This level of quality can be explained by problems of implementation, but also by inadequacies of the design methods. Indeed, the current approach of design is carried out by the choice of pavement structures according to the class of traffic and the soil bearing, characterized by the CBR index. The validation of these structures is carried out using numerical models requiring the use of elastic modulus in input data. This data is obtained by empirical correlation between the modulus and the CBR proposed by the CEBTP guide. The objective of this study is to understand the shortcomings of this approach and to propose an approach to improve the correlation between measurement of the in-situ characteristics of these materials and their mechanical characteristics (Modulus and CBR index).*

....

*MOTS-CLÉS : Dimensionnement, chaussées, sols latéritiques, pays tropicaux,*

*KEY WORDS: Design, pavements, lateritic soils, tropical countries*

---

## 1. Introduction

Dans les pays tropicaux, notamment en Afrique subsaharienne, la caractérisation de la portance des sols est basée sur l'indice CBR. De nombreuses corrélations ont été établies pour lier cet indice au module élastique des matériaux latéritiques (fig.1). Mais ces relations sont souvent appliquées à tous les matériaux latéritiques sans en connaître leur limite ou leur domaine d'application. En conséquence, l'estimation des modules par ce biais est relativement approximative. Par ailleurs, l'obtention de l'indice CBR nécessite des essais en laboratoire longs et parfois peu représentatifs des conditions du sol in situ. C'est pourquoi, pouvoir établir des relations permettant d'estimer les modules et l'indice CBR à partir d'essais pénétrométriques in situ s'avère intéressant. Après un rappel sur les principales caractéristiques des matériaux latéritiques, cette communication présente les études des paramètres mécaniques menées et les corrélations établies pour estimer les paramètres permettant le dimensionnement des chaussées. Elle décrit la démarche expérimentale employée pour étudier le comportement mécanique des échantillons latéritiques et enfin les résultats de corrélation entre les différents paramètres.

## 2. Généralités sur les matériaux latéritiques et les corrélations des caractéristiques mécaniques

Les matériaux latéritiques sont, par définition des matériaux issus de l'altération physico-chimique de la roche mère sous les climats tropicaux (Buchanan, 1807). En effet, ils sont particulièrement présents dans les zones intertropicales, notamment en Afrique, au Sud-est asiatique, en Inde, en Amérique du sud et en Australie. Cette distribution s'étend entre les 35° des latitudes Nord et Sud (Persons, 1970) et représente plus de 12% des sols émergés soit quelques 17 millions de km<sup>2</sup>. Cependant, bien qu'ils soient beaucoup utilisés dans le domaine des terrassement routiers, leur comportement a fait l'objet de très peu d'études scientifiques (Millogo, 2008).

Le guide CEBTP, référentiel technique local pour le dimensionnement, propose en fonction du trafic et de la portance de la plateforme, des structures de chaussées avec une liste de matériaux disponibles et pouvant servir de couches d'assises dans les pays tropicaux. La plateforme est caractérisée par la portance CBR et l'estimation de son module est possible à partir de corrélations entre le module statique et dynamique et la portance CBR. Mais du fait du manque d'études spécifiques sur les matériaux latéritiques relatives à la connaissance de leurs modules de déformations, il est souvent fait recours à la littérature qui présente de nombreuses corrélations entre le module et la portance CBR (Heukelom et Foster 1960 ; Régis 1972. Green et Hall 1975 ; CEBTP 1984 ; AASHTO 1993 ; ...) pour le calcul des structures de chaussées. Toutefois, ces corrélations sont souvent réalisées sur des matériaux de natures différentes, à l'aide de protocoles divers pour déterminer des modules de différentes natures. Aussi, il est nécessaire de déterminer des relations plus précises et plus fiables et d'essayer de les obtenir à partir d'essai in situ permettant de prendre en compte le sol dans son état naturel. C'est pourquoi, les études actuelles consacrent un rôle indispensable aux pénétromètres dans les études de tracés et de contrôle des remblais de plateforme en raison de leur simplicité, leur portabilité et de leur prix bon marché (Ampadu et Fiadjoe, 2015). Contrairement à la portance CBR, l'un des avantages des pénétromètres est que, ce sont des appareils d'essai in situ capables de tester le sol en place. Pour établir ces relations au cas des matériaux latéritiques du Burkina Faso, nous avons sélectionné deux (02) matériaux et étudié leurs propriétés élastiques, de portance et de résistance de pointe.

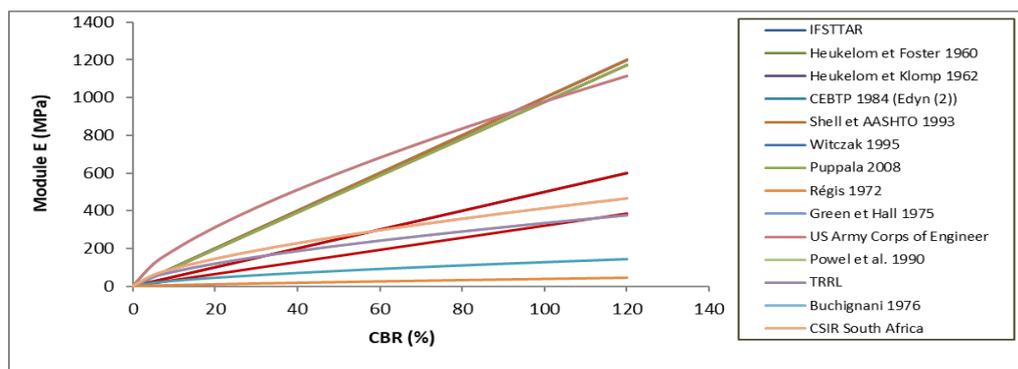


Figure 1 : les différentes corrélations de la littérature entre l'indice CBR et le module de déformation

### 3. Démarche et résultats expérimentaux

Les paramètres physiques des 2 matériaux étudiés ont permis de les classer en B6 selon le GTR français, A2-6 selon l'AASHTO et respectivement  $SLA_{S1}$  et  $SLP_{B1}$  selon la classification brésilienne. Ces matériaux sont donc très représentatifs puisque selon une étude menée à l'échelle du pays, plus de 2/3 des emprunts latéritiques sont classés B6. Deux matériaux ont été étudiés et ils sont tous classés.

#### 1.1. Démarche expérimentale

La démarche a consisté à étudier la portance CBR, le module élastique et la résistance de pointe des deux (02) matériaux pour 3 conditions hydriques et 5 densités différentes. Le tableau 1, donne les valeurs des cinq séries de densités dans lequel les sols ont été compactés. Les trois conditions hydriques (sèche, moyenne et humides) ont été établies en fonction de la teneur en eau à l'optimum Proctor modifié aux valeurs suivantes :  $0,8 \times w_{opt}$  à  $1,2 \times w_{opt}$  ( $w_{opt}$  étant la teneur en optimale). Les 5 densités varient de la densité sèche foisonnée à la densité sèche optimale. La réalisation des essais CBR pour chaque condition hydrique s'est conformée à la procédure NF P94-078.

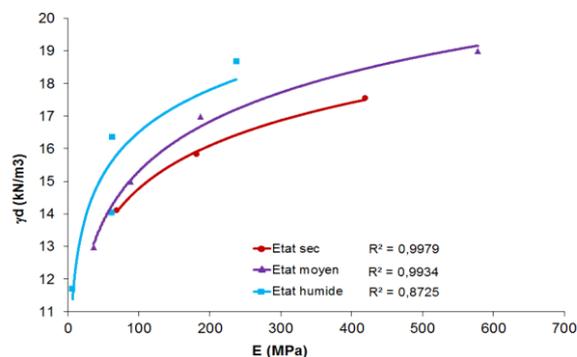
L'essai CBR, a été réalisé selon la norme NF P 94-79. La résistance de pointe et le module élastique ont été obtenus à partir d'essai réalisés dans un moule de calibration de diamètre  $\phi=38$  cm et de hauteur 80 cm. La mise en place des matériaux dans le moule a été réalisé par l'intermédiaire d'un chargement de type œdométrique par palier. Chaque palier de déchargement – rechargement permet de mesurer un module œdométrique pour un niveau de densité donné. Par la suite pour chaque moule de densité connue, des essais pénétrométriques permettant d'obtenir la résistance de pointe  $qd$  ont été réalisés.

**Tableau 1 : conditions hydriques et d'état de densités des essais**

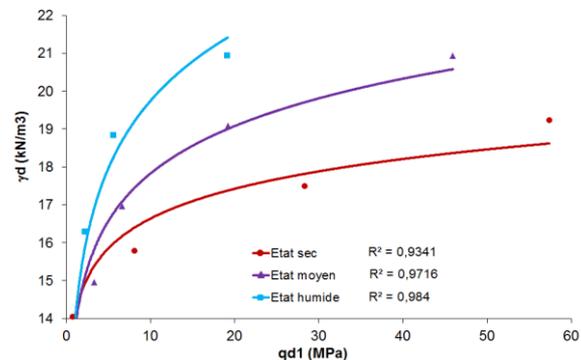
	Densités sèches en kN/m <sup>3</sup>				
Matériau 1	1,30±0,12	1,50±0,10	1,70±0,06	1,90±0,03	2,1
Matériau 2	1,25±0,12	1,50±0,10	1,80±0,04	2,05±0,02	2,3

#### 1.1. Résultats

Les figures 2 et 3 présentent respectivement l'évolution du module d'Young et de la résistance de pointe pour le matériau 1. Elles montrent comment ces paramètres dépendent à la fois de la densité et de la teneur en eau. Ce qui sous-entend l'existence une corrélation entre les paramètres, c'est-à-dire la portance CBR, le module élastique  $E$  et la résistance de pointe  $qd$ . Il faut noter que le module d'Young est lié au module œdométrique par la constante  $(1+\nu)(1-2\nu)/(1-\nu)$ .

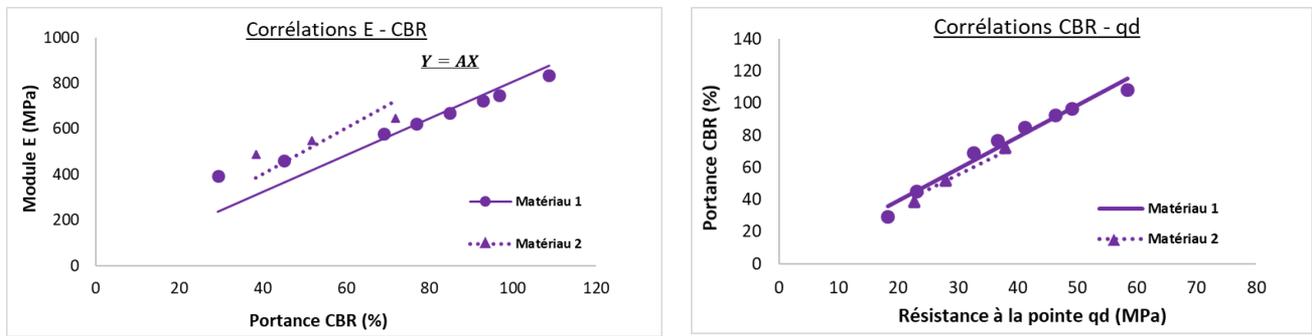


**Figure 2 : variation du module d'Young  $E$  en fonction de la densité sèche (matériau 1)**



**Figure 3 : variation de la résistance de pointe  $qd$  en fonction de la densité sèche (matériau 1)**

Partant des courbes exprimant le CBR, le module élastique ou la résistance de pointe en fonction de la densité, nous avons établi des corrélations entre le module élastique et la portance ( $E$  et CBR) puis entre la portance et la résistance de pointe (CBR et  $qd$ ) pour des états de densité de 90 ; 92 ; 95 ; 97 ; 98 et 100%  $\gamma_{dOPM}$ . Les corrélations obtenues sont de la forme  $E = A_1 \times CBR$  et de  $CBR = A_2 \times qd$ . Où  $A_1$  et  $A_2$  sont des constantes. La figure 4 présente l'évolution du module d'Young en fonction du CBR et du CBR en fonction de la résistance de pointe. En comparant ces résultats avec la littérature, nous trouvons qu'ils sont relativement proches de ceux obtenus par Witczak et Sutumaran 2002 et de ceux obtenus par Heukelom et Foster (1960) et adopté par AASHTO (1993) en ce qui concerne le module.



a. Relation entre E et CBR (matériau 1 et 2)

b. Relation entre CBR et qd (matériau 1 et 2)

**Figure 4 : Courbe de relation  $E = f(CBR)$  et  $CBR = f(qd)$**

Une existe de très bonnes corrélations entre E et CBR et entre CBR et qd. La relation E et CBR dépend du type de matériau alors que la relation CBR et qd reste la même pour les deux matériaux testés.

#### 4. Conclusion et recommandations

Comme dans le cas de nombreux matériaux, les paramètres mécaniques, tels que la portance CBR, le module et la résistance de pointe des matériaux latéritiques sont beaucoup influencés par la nature, les conditions hydriques et de compacité. Néanmoins, si ces conditions sont maîtrisées, on peut obtenir des corrélations très satisfaisantes entre ces paramètres mécaniques. A partir de ces corrélations obtenues, nous sommes à mesure de proposer une méthodologie de dimensionnement permettant de caractériser les plateformes au moyen de la résistance pénétrométrique et d'estimer le module d'young des matériaux latéritiques du pays pour les calculs de structures.

#### 5. Références bibliographiques

- AASHTO, A.A. of S., 1993. Guide for Design of Pavement Structures, 1993, 1993rd ed. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, Etats Unis.
- Ampadu, S.I.K., Fiadjoe, G.J.Y., 2015. The influence of water content on the Dynamic Cone Penetration Index of a lateritic soil stabilized with various percentages of a quarry by-product. *Transp. Geotech.* 5, 68–85.
- Buchanan, M.D., 1807. Journey from Madras through the countries of Mysore, Canara and Malabar vol 1. Cleveland row.
- CEBTP, 1984. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 1984th ed. Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, France.
- Heukelom, W., Foster, 1960. "Dynamic testing of pavements". *J. Struct. Div.*
- Heukelom, W., Klomp, A., 1962. Dynamic Testing as a means of controlling pavements during and after construction, International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. ed. Transportation Research Board (TRB), Michigan.
- Millogo, Y., 2008. Etude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du Burkina Faso améliorées aux liants hydrauliques: application au génie civil (bâtiment et route). Univ. Ouagadougou Th Doct Chim. Minérale 142.
- Persons, B.S., 1970. Laterite: Genesis, Location. Use Plenum N. Y.
- Puppala, J., 2008. Estimating Stiffness of Subgrade and Unbound Materials for Pavement Design, Synthesis of Highway Practice. ed, NCHRP, synthesis 382. Transportation Research Board (TRB), Washington, United States.
- Sutumaran, B., 2002. Suitability of Using CBR test to Resilient Modulus. Rowan Univ.
- Witczak, W., Mirza, W., 1995. Use of Non linear Subgrade Modulus in AASHTO Design Procedure. *J. Transportation Eng.* 10 pages.