

ETUDE DES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES MATERIAUX LOCAUX DE LA REGION D'ADRAR UTILISES EN CONSTRUCTIONS ROUTIERES

H. Moulay Omar^{*}, M. Abbou, M. Akacem, B. Mekerta, A.
Semcha

Faculté des Sciences et de la Technologie, Université d'Adrar - Algérie
^{*}hassgte@yahoo.fr

Résumé - De très nombreux problèmes géotechniques font intervenir les chaussées en zones sahariennes sous l'action des conditions climatiques extrêmes et un trafic routier intense de poids lourds, les principaux entre eux sont la fissuration des couches de roulements et la fatigue des couches de bases et de fondations. Ce travail s'inscrit dans un cadre général visant la caractérisation et la valorisation des matériaux locaux (tufs, argiles et sable de dunes) de la région d'Adrar en vue de leurs utilisations en corps de chaussées, pour compenser le manque flagrant en graviers, et d'obtenir des meilleurs caractéristiques de l'optimum Proctor modifié à partir des pourcentages de mélanges (tuf-argile et tuf-argile-sable). Un travail expérimental a été effectué afin de comparer les caractéristiques optimales modifié du tuf avec celles des mélanges tuf plus 10, 20, 30, 40 et 50% d'argile, et aussi des mélanges de différents pourcentages de tuf, argile et sable. La représentation graphique des caractéristiques de l'indice de portance et de la résistance à la compression à l'optimum Proctor modifié des différents mélanges, permet d'illustrer l'intérêt de la valorisation des matériaux locaux en constructions routières.

Mots clés : Tuf, argiles, sable des dunes, valorisation, construction routière.

Abstract - Many geotechnical problems involving roadways in Saharian areas are due to the influence of extreme weather conditions and heavy traffic of truck. The main ones are the cracking bearing stratum and the fatigue of base and foundations stratum. This work is part of a general framework for the characterisation and recovery of local materials (tufts, clays and dunes sand) of the Adrar region for their use in pavement to compensate the glaring lack in gravel, and to get the best characteristics of the optimum Proctor modified from the percentages of mixtures (clay-tuff and tuff-clay-sand). An experimental work was carried out to compare the modified optimal characteristics of the tuff and mixtures tuff with 10, 20, 30, 40 and 50% clay, and also mixtures of different percentages of tuff, clay and sand. The graphical representation of the characteristics of lift index and

compressive strength to the modified Proctor optimum different blends, illustrates the interest of the promotion of local materials in road construction.

Keywords: Tuffs, clays, dunes sand, valorisation, pavement.

INTRODUCTION

Les processus sédimentaires dans le cycle géologique des milieux de dépôt, l'étude de leurs évolutions sédimentaires au cours du temps et la reconstitution de l'architecture des différents environnements au sein d'un bassin de sédimentation, peuvent être la source d'explications de la variation de la nature des sols argileux. Ces processus sont la source d'influence sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques des sols formés ; ils ont un rôle très important dans les critères de choix des matériaux de construction dans le domaine du génie civil.

Ce travail a pour objectif de caractériser les matériaux locaux de la région d'Adrar dans le domaine géotechnique, en ciblant la réalisation des chaussées. Nous rechercherons un optimum par rapport à des mélanges tuf-argile et tuf-argile-sable, qui doit répondre aux exigences du trafic routier, les techniques de combinaison de tuf et sable de carrière [1], et tuf sable de dunes [2] ont semblé donner des résultats encourageants.

Cependant, la technique envisagée nécessite de nombreux essais sur des échantillons de sol avant de pouvoir être mise en œuvre. Ces essais consistent dans une première étape à identifier et classer les matériaux utilisés. La deuxième étape a consisté à rechercher la composition optimale des mélanges tuf-sable-argile, tuf-argile sur la base des résultats de portance et de résistance à la compression simple.

MATERIELS ET METHODES

Identification des matériaux

Une première partie expérimentale a été effectuée, elle concerne l'identification des sols à l'aide des essais simples de laboratoire. Ces essais d'identification permettent non seulement de classer les sols, mais aussi de cerner leur comportement

mécanique, qui donne une idée sur les possibilités d'utilisations en constructions plus particulièrement dans le domaine des travaux routiers, les essais sur les matériaux est la première spécification qu'il faut respecter en matière de fourniture des granulats pour la réalisation des couches de chaussées en remblai.

Les deux carrières choisies dans cette étude sont souvent utilisées en construction routière ou en bâtiments dans la région centre de la wilaya d'Adrar :

Carrière de tuf, elle est située à l'approximation de l'aérodrome de la ville d'Adrar, le matériau est de couleur blanche. Ce gisement a été utilisé dans de nombreux projets.

Carrière d'argile, c'est une carrière qui se trouve à quelques kilomètres au nord de la ville d'Adrar (Est de la RN6). Le matériau a une couleur rouge et sert à alimenter la briqueterie d'Adrar. A noter que les argiles traitées dans cette étude sont considérées comme matériaux locaux disponibles dans la région qu'on doit caractériser pour une utilisation en construction routière.

Ces matériaux sont subis à une série d'expériences. Il s'agit des essais géotechniques normalisés couramment utilisés pour la caractérisation des tufs, sable et argile, cette série comporte les essais suivants :

- Poids volumique sec.
- Analyse granulométrique :
 - Par tamisage sec.
 - Par sédimentométrie.
- Limites d'Atterberg.
- Equivalent de Sable.
- Essai au Bleu de Méthylène.
- Poids spécifique des grains solides.

Essais de portance et de résistance mécanique

La deuxième partie de l'expérimentale traite les caractéristiques mécanique de l'optimum Proctor Modifié des mélanges notamment les essais de portance (indice CBR) et de la résistance à la compression simple.

Sur la base la norme NFP 94-078, l'indice CBR ($ICBR$) est utilisé pour estimer l'épaisseur d'un corps de chaussée. On le détermine immédiatement après le compactage ou après quatre jours d'immersion.

L'essai consiste à poinçonner dans le moule CBR des éprouvettes confectionnées à une énergie de compactage 55 coups par couche, et à desteneurs en eau correspondant à l'optimum de l'essai Proctor modifié (figure 1). D'après les courbes qui représentent la pression du piston en fonction de son enfoncement, on détermine l'indice CBR. Ceci permet de représenter la variation la force appliquée par le piston en fonction de l'enfoncement de ce dernier dans l'échantillon à une vitesse 1.27mm/min. L'indice CBR égale à la plus grande valeur entre la contrainte d'enfoncement de 2.5mm et 5mm.



Fig. 1. Compactage et poinçonnement des éprouvettes

Cet essai a été adapté aux matériaux sahariens pour leur exploitation en techniques routières. Il est réalisé sur la fraction < 5mm. L'essai consiste à confectionner des éprouvettes des différents mélanges tuf, sable et argile compactés à l'optimum Proctor modifié, en mesurant l'évolution de la résistance à la compression simple dans le temps (figure 2) [1].

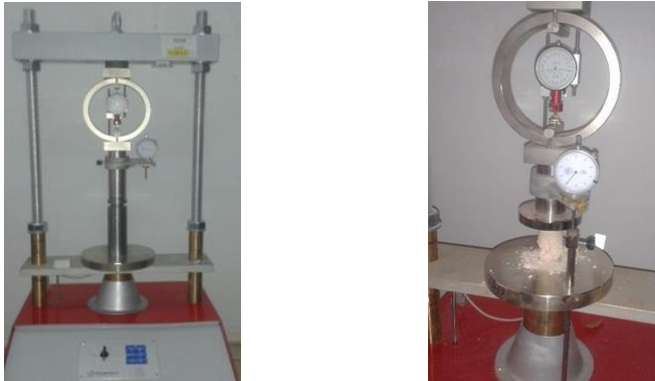


Fig. 2. Préparation et écrasement des éprouvettes

Après le compactage statique de tuf ou de mélange à l'OPM dans un moule à double piston permettant d'homogénéiser la contrainte sur toute la hauteur de l'éprouvette. Des essais de compression simple ont été réalisés à différents âge (7, 14 et 28 jours). En effet, chaque éprouvette est soumise à un effort de compression appliqué parallèlement à l'axe du cylindre à l'aide d'un piston à une vitesse constante 1,27 mm/min jusqu'à la rupture.

RÉSULTATS

D'après les classifications le guide technique [3], ce tuf est un matériau de classe : B41ts. Les résultats des essais d'identification sont rassemblés dans le tableau 1.

Tableau 1. Paramètres d'identification du tuf étudié [4]

Paramètres	Tuf	
Tamisât < 80µm	6	%
Tamisât < 2mm	43	%
Los Angeles	36	%
Equivalent de sable	14.63	%
Valeur de bleu de méthylène	0.4	
Poids volumique sec maximal	20.3	KN/m ³
Teneur en eau optimale	9.02	%
Tamisât < 80µm	6	%

Selon les classifications LCPC et le guide technique réalisation des remblais et des couches de forme [3], cette argile est très plastique At, de classe A3 ts. Le tableau 2 résume les résultats d'identification de l'argile traitée.

Tableau 2. Paramètres d'identification de l'argile [4]

Paramètres	Argile	
Poids volumique des grains solides	KN/m ³	26.6
Limite de liquidité	%	77
Limite de plasticité	%	36
Indice de plasticité	%	41
Limite de retrait	%	12.87
Tamisât < 2µm	%	47
Activité des argiles	%	0.87
La valeur de bleu de méthylène		8

Il est à noter que le sable utilisé est propre et mal gradué, il a été prélevé au niveau de la région de Bouda (wilaya d'Adrar).

Technique de mélanges des sols

Les tufs d'encroûtements incorporés par différents pourcentages d'argile et/ou de sable, paraissent pouvoir encore fournir une solution acceptable et sans utilisation de liants, à condition de trouver des formulations optimales qui donnent de meilleurs résultats.

De nombreux travaux antérieurs ont donné de bons résultats qui nous encouragent à les reprendre. L'objectif de ces études est de tester les possibilités d'amélioration des caractéristiques de tuf par une technique de stabilisation économique permettant de valoriser à la fois l'argile et le sable de dune. Les résultats antérieurs ont montré qu'un ajout de 25% de sable de dune a permis d'atteindre un gain de l'ordre de 25 % en eau de compactage, de 17% en densité sèche et de 30% en portance (figure 3) [5]. Mais par contre l'incorporation du sable et d'argile à différents pourcentages dans nos résultats expérimentaux, a montré une diminution de la résistance à la compression simple, et les meilleurs résultats restent celle du tuf sans ajout (figure 4).

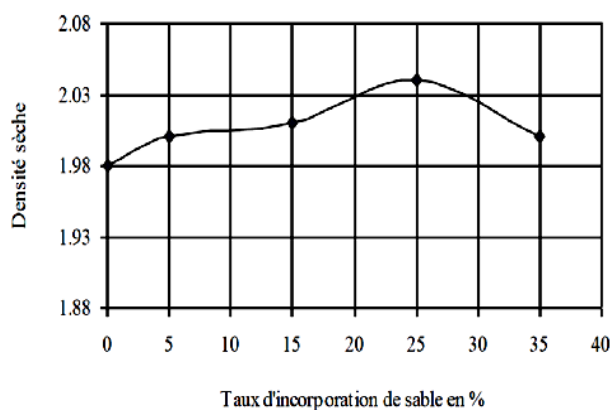


Fig. 3. Influence du taux d'incorporation de sable sur la densité sèche [5]

Mélange tuf - argile - sable

Nous nous sommes intéressés dans cette partie, à étudier l'effet de l'incorporation du sable et de l'argile à différents pourcentages sur les caractéristiques optimales de compactage. Cette incorporation a permis d'améliorer légèrement le poids volumique sec maximum du tuf (pour les faibles taux), d'augmenter considérablement l'indice CBR et

malheureusement de réduire la résistance en compression simple.

Essai de portance CBR

L'essai de portance est réalisé conformément à la norme NFP 94-078 pour les différents mélanges Tuf-Argile-Sable. L'indice CBR est déterminé immédiatement juste après le compactage. Le tableau 3 récapitule les différentes portances des différents mélanges.

Tableau 3. La portance de tuf en fonction de pourcentage de sable et d'argile à ajouter

Mélanges	Indice CBR
100% Tuf	138.3
50% T+50%S	132.75
50% T+25%S+25%A	152.13
50% T+30%A+20%S	150.5
50% T+20%A+30%S	124.8

Évolution de la résistance à la compression simple

L'évolution de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge des différents mélanges est représentée sur la figure 4. Ces résultats montrent que la résistance à la compression simple croît d'une manière rapide, elle atteint des valeurs maximales à l'âge de 14 jours, puis elle diminue.

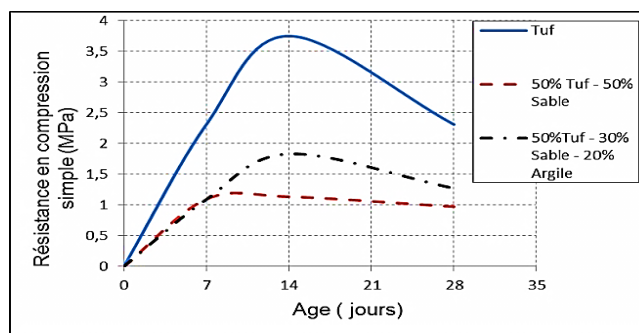


Fig. 4. Influence des taux d'incorporation de sable et d'argile sur la résistance à la compression [6]

Mélange tuf - argile

Dans le même contexte, nous proposons aussi cette deuxième partie d'étude basée sur l'incorporation d'argile à différents pourcentages, tout en cherchant l'amélioration de la portance des tufs et sa résistance à la compression.

Essai de portance

L'essai a été réalisé selon la norme citée précédemment. Les résultats obtenus montrent que l'incorporation de l'argile, tend à améliorer la portance des mélanges en comparaison à celles du tuf sans ajout. La figure 5 montre cette amélioration.

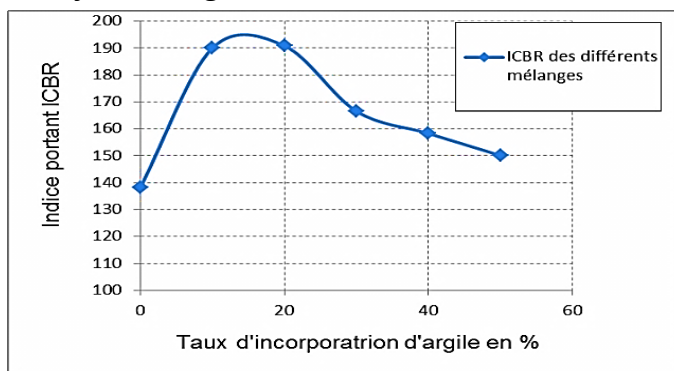


Fig. 5. Influence de taux d'incorporation d'argile sur la portance des mélanges [6]

La résistance à la compression simple

La préparation, la conservation et l'écrasement des éprouvettes sont faits de la même façon que précédemment. Le tableau 4 indique les valeurs de la résistance à la compression à 28 jours correspondantes aux différents mélanges.

Tableau 4. Valeurs de la résistance à la compression des mélanges étudiés

Mélanges	Résistance à la compression à 28 jours (Mpa)
100% Tuf	3.75
90% T + 10% A	1.54
80% T + 20% A	1.4
70% T + 30% A	1.77
60% T + 40% A	1.686
50% T + 50% A	1.523

DISCUSSION

Essai CBR

Sur la base des normes françaises, l'indice CBR (ICBR) est utilisé pour estimer l'épaisseur d'un corps de chaussée. On le détermine immédiatement après le compactage ou après quatre jours d'immersion selon la norme NFP 94-078.

Les essais réalisés consistent à poinçonner immédiatement dans le moule CBR des éprouvettes de tuf confectionnées à l'optimum Proctor modifié, de les comparer avec celles de tuf incorporé par l'argile, le sable ou les deux à différents pourcentages, avec les mêmes conditions de compactage.

Le Tableau 3 représente la variation de l'indice CBR immédiat en fonction du pourcentage de sable et d'argile à ajouter à la fois. Il montre que la portance immédiate croît en fonction de pourcentage desable ajouté, et elle atteint sa valeur maximale à 25%, au-delà de ce pourcentage de sable l'indice CBR décroît et donne des valeurs inférieures à celles de tuf seul. Pour l'argile, l'indice CBR croît aussi jusqu'à un pourcentage de 25%.

Les valeurs maximales de l'indice de portance immédiat sont obtenues par le mélange composé de 50% de tuf, 25% d'argile et de 25% de sable. On peut justifier ces résultats par l'augmentation de la compacité des mélanges par rapport au tuf.

La variation de l'indice CBR immédiat en fonction du pourcentage d'argile à ajouter est représentée sur la Figure 5, elle montre la croissance remarquable de l'indice CBR jusqu'à 15% d'incorporation qui présente un pourcentage de fine

suffisant pour que le tuf atteigne sa compacité maximale. Puis il commence à diminuer pour des pourcentages d'argile supérieures à 20%, car les tufs comportent aussi des fines.

Essai de résistance à la compression simple

Cet essai a été adapté aux matériaux sahariens algériens pour leur exploitation en techniques routières, il est réalisé sur la fraction $< 5\text{mm}$. L'essai consiste à suivre le phénomène de durcissement, appelé auto-stabilisation, des éprouvettes des différents mélanges tuf-sable-argile compactés en mesurant l'évolution dans le temps de la résistance à la compression simple [7].

Les résultats présentés sur la figure 4, montrent que la résistance à la compression du tuf croît d'une manière rapide au jeune âge inférieur à 10 jours, ceci s'explique par la diminution rapide de la teneur en eau due au séchage rapide des zones de surface. Elle atteint une valeur maximale à 14 jours, puis elle commence à diminuer. Cette figure confirme les résultats des travaux antérieurs et que l'ajout de sable [5] et l'argile diminuent considérablement la résistance à la compression.

Pour les mélanges tuf-argile-sable la croissance de la résistance à la compression croît d'une manière moins rapide. De plus le mélange composé de 50% tuf, 50% sable présente une diminution de 50% de la résistance à la compression.

Pour les mélanges tuf-argile représentés dans le tableau 4, on remarque qu'il y a une diminution de la résistance à la compression à 28 jours en fonction du pourcentage d'argile ajouté, elle continue sa décroissance pour atteindre une réduction d'environ 50% à des pourcentages supérieurs à 40%.

L'incorporation du sable et ou de l'argile dans le tuf diminue la résistance à la compression simple, car l'auto-stabilité et le durcissement des tufs sont basés sur deux paramètres essentiels ; la teneur en eau et la teneur en carbonate de calcium. L'ajout de sable et d'argile au tuf présente un inconvénient.

CONCLUSION

L'objectif de cet article est de montrer la possibilité de l'amélioration des caractéristiques mécaniques du tuf par des techniques de stabilisations économiques.

Les essais de compactage et de portance effectués sur le tuf, des mélanges tuf-sable-argile et tuf- argile ont montré que la teneur en eau optimale diminue et la densité maximale augmente légèrement avec l'ajout du sable et ou de l'argile.

L'étude de l'indice de portance a montré l'existence des formulations optimales binaires et d'autres ternaires.

La formulation optimale composée de 85% de tuf et 15% d'argile a donné un indice CBR de 190, avec un taux d'augmentation de 40% par rapport au tuf seul.

Par ailleurs, les essais de la résistance à la compression simple ont montré que la valeur optimale est obtenue pour le tuf sans incorporation.

La résistance à la compression diminue considérablement pour tout pourcentage d'ajout de sable et ou d'argile, elle atteint des valeurs minimales à l'âge de 28 jours avec un taux de réduction de 50% d'environ.

Le point faible de ces formulations réside dans la chute de la résistance à la compression simple. Pour compenser et expliquer ce défaut, une analyse chimique des différentes formulations doit être effectuée.

Un traitement avec un faible pourcentage de liant hydraulique est nécessaire. Ce traitement au ciment, à la chaux ou les deux à la fois a montré dans des travaux antérieurs, une amélioration notable des performances mécaniques des mélanges optimisés.

REFERENCES

[1]. Goual I., 2012 - Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat application en construction routière. Thèse de doctorat En Sciences. Université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen. 264 p.

- [2]. Morsli M., Bali A., Bensaïbi M., Gambin M., 2010 - Etude du durcissement d'un tuf gypso-calcaire de Hassi-Messaoud, Algérie. *Revue Européenne de Génie Civil*. Vol. 11 :1219-1240.
- [3]. GTR. 1992 - Guide technique des Travaux Routiers. LCPC-SETRA, Réalisation des remblais et des couches de formes. Fascicule II annexes techniques. 204 p. Document réalisé par le laboratoire central des ponts et chaussées LCPC et le service d'études techniques des routes et autoroutes SETRA.
- [4]. Moulay Omar H., Abbou M., Mekerta B., Semcha A., 2015 - Valorisation des matériaux locaux de la région d'Adrar en construction routière. 3ème colloque international sur les sols non saturés UNSAT, Batna.
- [5]. Morsli M., 2007 - Contribution à la valorisation des tufs d'encroutements en technique routière saharienne. Thèse de doctorat d'état en génie civil. Ecole nationale polytechnique. 162 p.
- [6]. Moulay Omar H., Abbou M., Belaidi K., Mekerta B., Semcha A., 2016 - Etude du contexte géologique des gisements d'argiles d'Adrar dans des applications en génie civil. 5th International Symposium on Sediment Management (I2SM Montreal 2016).
- [7]. Goual I., Goual M.S., Taïbi S., Abou-Bekr N., 2012 - Amélioration des propriétés d'un tuf naturel utilisé en technique routière saharienne par ajout d'un sable calcaire. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Vol. 16, No. 6 : 744-763.