

Choix des matériaux locaux du sud Algérien pour le traitement et la stabilisation des sols en place

Anas Niou¹ et Lynda Amel Chaabane^{1,2 *†}

¹ Département de Génie Civil et Travaux Publics
Université Djillali Liabes, Faculté de technologie
Sidi Bel Abbes 22000, Algérie

² Laboratoire LGCE, Faculté de Technologie
Département de Génie Civil et Travaux Publics
Université Djillali Liabes, Sidi Bel Abbes 22000, Algérie

(reçu le 09 juin 2019 - accepté le 27 Juin 2019)

Résumé - *Le traitement des sols permet d'améliorer les caractéristiques d'un sol, afin de le rendre apte à supporter une chaussée, sans avoir de gros travaux. Dans le domaine du Génie Civil, l'étude des sols est la première étape de l'étude pour développer un bâtiment qui correspond à la nature de la zone dans laquelle nous voulons le construire. Pour cela l'étude de ces sols doit faire l'objet de la détermination de certaines caractéristiques propres au sol avant et après traitement et la possibilité de joindre aussi à son aspect économique. A cela s'ajoute, les ouvrages mal conçus et ne qui respectent pas l'architecture climatique saharienne. Dans ce souci, il est nécessaire de connaître mieux leurs comportements lors de leur usage dans le domaine de Génie civil (la construction de bâtiments et routes). Pour atteindre cet objectif, nous menons cette étude en utilisant des matériaux locaux situés dans la région de Touggourt (Wilaya de Ouargla) sélectionnée pour l'étude dans le sud-est.*

Abstract - *Soil treatment makes it possible to improve the characteristics of a soil, in order to make it able to support a roadway, without having big jobs. In the field of the Civil engineering, the soil study is the first step of the study to develop a building that corresponds to the nature of the area in which we want to build it, for this the study of these soils must be the subject of the determination of certain characteristics of the soil before and after treatment and the possibility of also attach to its economic aspect. In addition, poorly designed structures do not respect the Saharan climate architecture, in this regard, it is necessary to better understand their behavior during their use in the field of Civil Engineering (construction of buildings and roads) To achieve this goal, we are conducting this study using local materials located in the region of Touggourt (Wilaya of Ouargla) selected for study in the southeast.*

Mots-clés: Matériaux locaux - Essais physiques - Essais mécaniques - Traitement des sols.

1. INTRODUCTION

La solution aux problèmes géotechniques passe par une bonne connaissance de l'origine et des propriétés des matériaux en présence [1]. Par ce fait, nous avons pensé à exploiter les ressources locales qui auront pour but d'améliorer les caractéristiques du sol en place. Toutefois vu que l'Algérie possède une vaste superficie englobant une hétérogénéité de matériaux locaux qui méritent d'être valorisés, à titre d'exemple ceux localisés dans la région sud- est du pays à savoir, le sable de dunes, les argiles, le tuf et autres qui sont, encore mal valorisés.

La plupart des matériaux de construction utilisés actuellement dans les régions sahariennes sont, mal adaptés aux conditions climatiques environnementales et économiques. Etant donné que nous désirons respecter l'architecture climatique

* lindaamel.bouayad@univ-sba.dz

† chaabane25@hotmail.com

saharienne et le souci de connaître mieux leur comportement lors de leur usage dans le domaine de Génie Civil (construction de bâtiments et routes), alors il faut veiller à minimiser l'instabilité de la structure est le principal facteur qui explique leur sensibilité à l'action dégradante des pluies et à l'érosion hydrique [1].

Les méthodes courantes d'analyse de stabilité de pente constituent des outils très répandus et relativement bien connus et documentés [2-7]. Les essais intensifs conduisent à la diminution des teneurs en eau pour les sols argileux raides et limoneux accentuant ainsi l'instabilité de leur structure [8].

Pour la détermination des paramètres géotechniques appropriés, à partir d'essais de laboratoire ou de terrain, représente un volet critique pour l'analyse de la stabilité, une caractérisation partielle ou incomplète des matériaux (et des sites) ajoute à l'incertitude relativement à la stabilité des ouvrages [1].

Nous avons pu conclure que le fait, plus la quantité de particules fines est importante, plus la surface spécifique est grande induira que le matériau granulaire est alors en mesure d'absorber une plus grande quantité d'eau. Il est à noter aussi que les résultats de Proctor modifié obtenus suite aux essais peuvent être sujets à de légères variations, parfois, lors de la réalisation de différents échantillons, il est évident que le mélange contient une quantité d'eau trop importante.

Le but de cet article est la possibilité d'exploiter les matériaux locaux dont dégorge l'Algérie pour la promotion et le renforcement des sols et étudiera la possibilité de les exploiter techniquement et économiquement.

1. CARACTERISTIQUES D'IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES

Les essais de caractérisation géotechnique des matériaux granulaires utilisés, sont réalisés afin de connaître précisément les matériaux granulaires à l'étude et d'en déterminer les différentes propriétés. La connaissance de ces résultats peut éventuellement s'avérer utiles afin d'expliquer certains résultats obtenus. Les essais ont été effectués sur le sol de la région de Touggourt (Algérie), une ville située au sud d'Alger, à 600 km (au nord du désert algérien).

Tableau 1. Caractéristiques physiques des sols utilisés

Caractéristiques physiques	Sable	Argile	Tuf 1	Tuf 2
ES(%)	22.285	/	/	21.97
W(%)	15.52	2.08	2.06	4.26
VBS	0,36 ml/g	4 ml/g	0,35 ml/g	0,46 ml/g
ρ absolue(t/m3)	2.46	2.29	2.22	2.23
ρ apparente(t/m3)	1.29	1.23	1.08	1.03

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des sols utilisés

	sable	tuf 1	Argile	tuf2
Poids du résidu	0,858	0,092	0,696	0,733
(%) Insolubles	85,8	9,2	69,6	73,3
Poids du résidu	0,026	0,429	0,04	0,092
(%) SO3	0,8918	14,7147	1,372	1,1556
(%) SO4	1,0712	17,6748	1,648	3,7904
CaSO4, 2H2O	4,78998	79,03467	7,3692	16,94916
Volume NaOH	10	10	9,9	10
5%) CaCO3	0	0	1	0
pH(initial)	7,68	7,29	7,4	7,78
Volume moyen	167,2	75,5	617,6	132,6
(%) Cl-	0,9483	0,4282	3,503	0,7521
(%) NaCl	1,5552	0,7023	5,74492	1,2334

2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'objectif de cet essai est de déterminer la distribution granulométrique des matériaux granulaires à l'étude, ceci permet d'identifier les proportions de sable, argile et les variétés de tuf nécessaires à cette étude.

Les **tableaux 1** et **2** définissent la nature du sol d'un matériau granulaire en fonction de la taille des particules qui le compose. Ce fuseau granulaire détermine les exigences auxquelles les matériaux servant de couches de fondation et de sous-fondation doivent répondre selon la norme en vigueur [1].

Ces critères à respecter ont pour objectif d'uniformiser les matériaux utilisés lors de la construction des routes dans le but d'optimiser leurs performances mécaniques et de les rendre plus sécuritaires

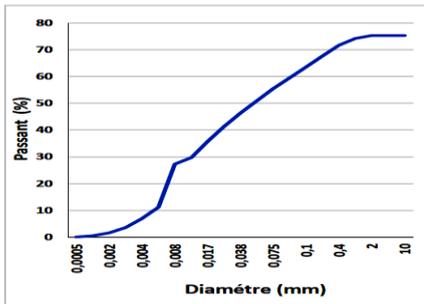


Fig. 1: Courbe granulométrique de l'argile

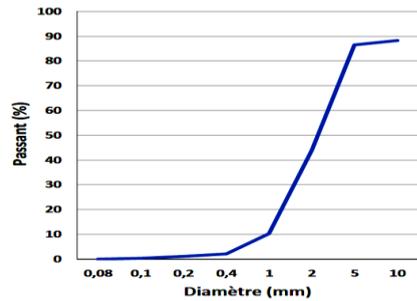


Fig. 2: Courbe granulométrique du sable

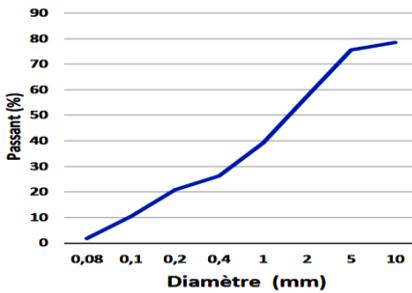


Fig. 3: Courbe granulométrique du tuf 01

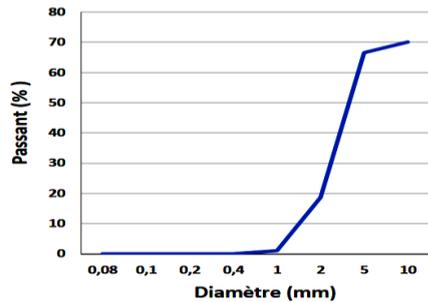


Fig. 4: Courbe granulométrique du tuf 02

Les tests illustrés par les essais granulométriques des figures 1 à 4 sont effectués permettant d'identifier les quatre sols étudiés pour ce projet, nous constatons par les formules, les conditions de conformité et de courbure que ce sont des sols d'origine limoneux présentant une granulométrie étalée.

2. CARACTERISTIQUES MECANIQUES

2.1 Essai du Proctor modifié

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un matériau granulaire donné dans des conditions de compactage fixées. Cette teneur en eau optimale permet un compactage plus efficace ce qui se traduit par l'atteinte de la densité sèche la plus élevée du matériau granulaire.



Fig. 5: Matériel de l'essai Proctor

2.2 Résultats d'essai Proctor de chaque matériau

Pour l'obtention d'un bon compactage, le matériau doit avoir une teneur en eau égale à la teneur en eau optimale. L'examen des courbes Proctor sera effectué à diverses énergies afin de montrer le comportement classique des quatre matériaux vis-à-vis du compactage.

2.1.1 Argile

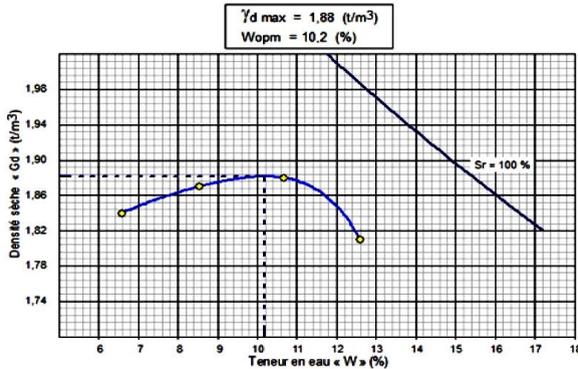


Fig. 6: Essai du Proctor modifié de l'argile

2.1.2 Le tuf 01

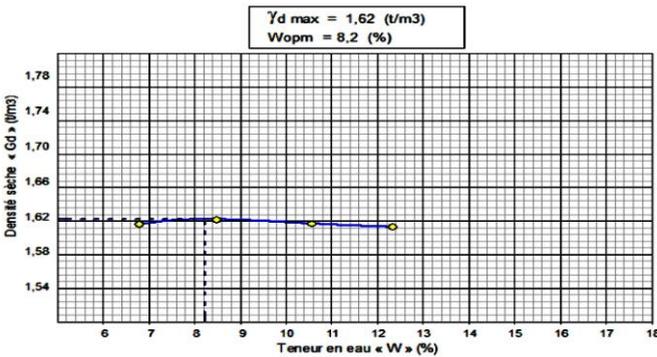


Fig. 7: Résultats de l'essai Proctor modifié du sol 'tuf 01'

Dans ce cas, la figure 6 présente une caractéristique des sols argileux. Le mélange est refait avec des quantités d'eaux inférieures jusqu'à l'obtention d'une valeur Proctor permettant un compactage optimal. Selon les résultats obtenus, il est possible de déduire que plus le matériau contient une quantité importante de particules fines (particules

ayant un diamètre inférieur à 80 μm) plus la quantité d'eau nécessaire pour avoir un compactage maximal.

Cette conclusion est due au fait que plus la quantité de particules fines est importante, plus la surface spécifique est grande. Le matériau est alors en mesure d'absorber une plus grande quantité d'eau.

2.1.3 Le tuf 02

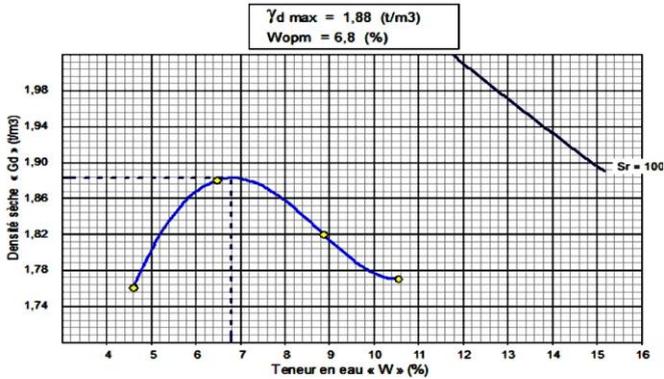


Fig. 8: Résultats de l'essai Proctor modifié du tuf 02

Selon les figures 7 et 8, elles indiquent que les deux matériaux sont de type limon sablonneux, d'autant plus que les courbes présentent la caractéristique qui est la densité du sol variant pour le tuf 01, 1,62 t/m³ et pour le tuf 02 de 1,88 t/m³ qui sont des sols peu compacts justifiés par leurs compositions granulométriques étalées égales à 1,6 [11, 12].

2.1.4 Le sable

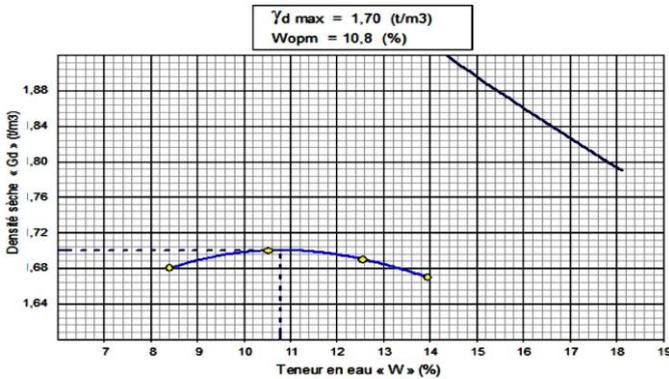


Fig. 9: Résultats de l'essai Proctor modifié du sable

3. Indice portatif Californien (Capacité portante (CBR modifié))

L'essai de la capacité portante selon [12a-12b] a pour objectif de déterminer la portance d'un matériau granulaire. Ce dernier est compacté à une teneur en eau optimale et donc à une densité maximale. Cet essai, est alors possible de définir la rigidité du matériau.. Les échantillons sont fabriqués exactement de la même manière et l'essai est réalisé suivant les mêmes conditions.

Les paramètres visés sont donc les mêmes, soit la force appliquée 2,5 mm et à 5 mm d'enfoncement. Pour tous les essais, la force à appliquer pour enfoncer le piston de 5

mm est toujours plus grande que celle à 2.5 mm, ce qui est logique, car pour enfoncer le piston d'une profondeur deux fois plus grande, cela nécessite une force plus importante.



Fig. 10: Matériel d'essai du CBR

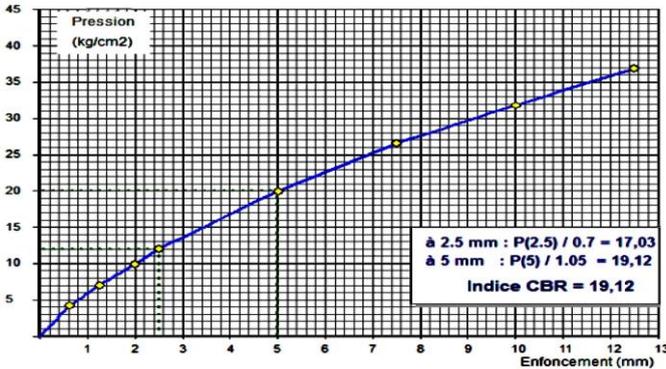


Fig. 11: Essai du CBR de l'argile

On doit noter sur la figure 11 que l'essai californien de l'argile pour une teneur en eau donnée du côté humide de l'optimum, la contrainte correspondant à $\epsilon = 5\%$ est inférieure pour les échantillons qui sont soumis à une énergie de compactage plus élevée.

Ce phénomène est représenté sur la figure 11 par des résistances évaluées à l'aide de l'essai CBR (California Bearing Ratio, indice portant californien). L'augmentation de l'énergie de compactage produit une valeur CBR plus élevée.

On peut noter également que la valeur du CBR est inférieure, sur les échantillons compactés avec une énergie plus grande dont l'enfoncement constaté à des enfoncements à 2.5 mm de 17.03 et à 5 mm est de 19.12 montre une progression de l'indice du CBR, ce qui indique aussi que la valeur de l'indice du CBR à des portances différentes donne des valeurs de la portance de cette argile considérée comme étant une argile raide dont l'indice CBR (IMDA /IMRS) classe ce sol dans le groupe S2 de portance moyenne.

Selon certains chercheurs, les essais intensifs conduiront à la diminution des teneurs en eau pour les sols argileux raides et limoneux accentuant ainsi l'instabilité de leur structure [8].

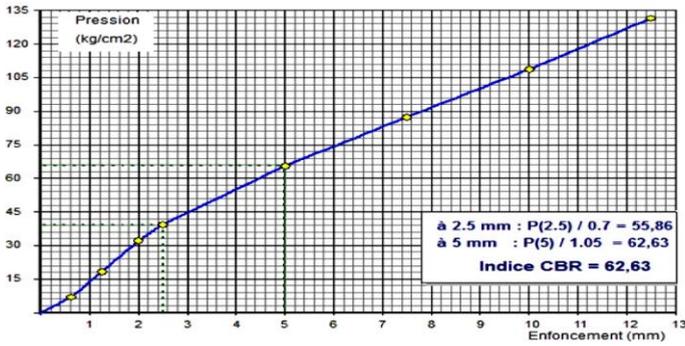


Fig. 12: Résultats de l'essai CBR immédiat de tuf 01

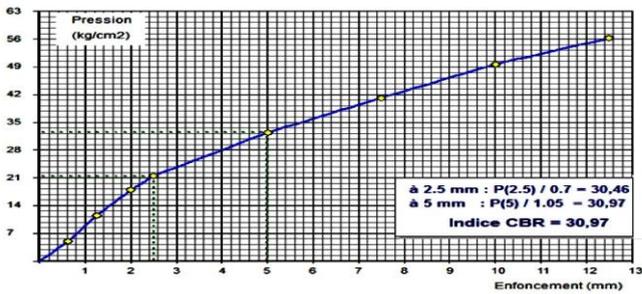


Fig. 13: Résultats de l'essai CBR imbibé de tuf 01

Les figures 12 et 13 montrent que la valeur de l'indice du CBR à des portances différentes donne des résultats indiquant que la valeur de la portance du tuf 01 est considérée comme étant un matériau faisant partie de la fourchette des limons et les argiles raides de portance très élevée. Les enfoncements constatés respectivement dans les figures 13 et 14 à des enfoncements à 2.5 mm et à 5 mm donnent les résultats, 62.63 et 30.97 montrant une progression de l'indice du CBR.

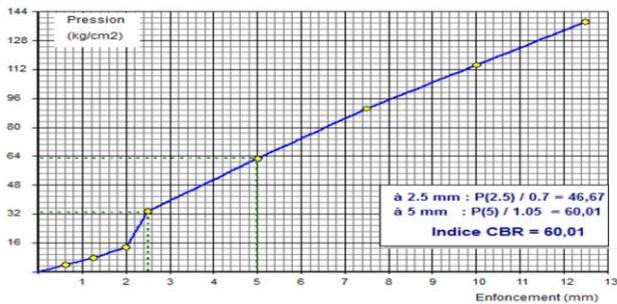


Fig. 14: Résultats de l'essai CBR immédiat du tuf 02

Les figures 14 et 15 montrent que la valeur de l'indice du CBR à des portances différentes donnent des résultats indiquant que la valeur de la portance du tuf 01 qui pourra être considérée comme étant un matériau faisant partie des limons et des argiles raides de portance très élevée.

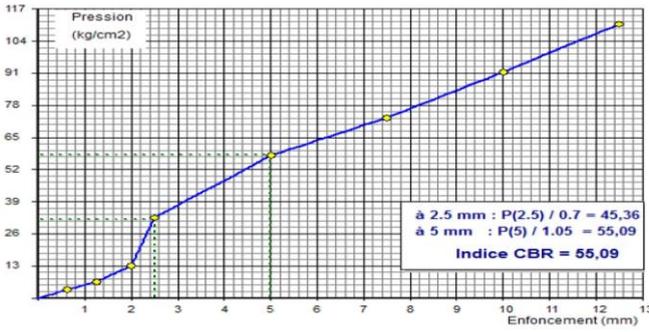


Fig. 15: Résultats de l'essai CBR imbibé de tuf 02

Les enfoncements constatés respectivement dans les figures 13 et 14 à des enfoncements à 2.5 mm et à 5 mm donnent les résultats: 30.97 et 60.01 -55.09 montre une progression de l'indice du CBR pour les deux matériaux.

Par contre, la variété du sol du type 2 du tuf a des valeurs plus faibles, ce qui indique que ce matériau présente des éléments plus fins et d'une portance plus faible. Par contre, la variété du sol du type 1 du tuf a des valeurs plus faibles, indiquant que ce matériau présente des éléments plus fins et d'une portance plus faible.

Les essais concernant les variétés de tuf présentés dans cette étude confirment que leur utilisation offre une meilleure portance du sol support et réduira les variations du régime hydrique.

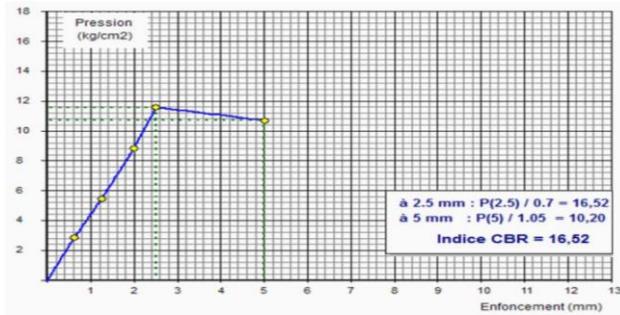


Fig. 16: Résultats de l'essai CBR immédiat de sable

Nous constatons sur les figure15 et 16 que la valeur de l'indice du CBR donne des valeurs qui indiquent que la portance de ce sable est faible selon les valeurs usuelles de l'indice du CBR qui classe le sable dans l'intervalle 8-30, ce qui a été confirmé par l'utilisation de ce sable par d'autres chercheurs.

La propriété de retrait du béton composé de sable de dune présente des valeurs médiocres par rapport à celles connues dans le béton ordinaire, ce qui pose une inquiétude relative à la composition de ce dernier [14].

Nous. pouvons confirmer sur la figure 16 et 17 dans cet essai que le matériau qui est le sable présentant une valeur de l'indice du CBR faible dont la valeur est 18.12 à 5 mm de profondeur, constatée aussi par l'essai de tamisage.

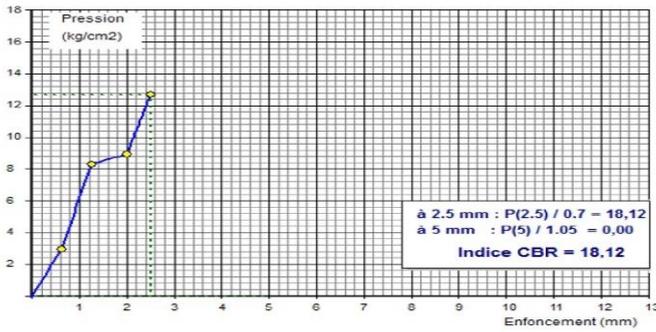


Fig. 17: Résultats de d'essai CBR imbibé du sable

4. RESULTATS D'ESSAI PROCTOR APRES LA SUBSTITUTION DES MELANGES

Dans cette partie, nous avons essayé d'effectuer des recherches en substituant les différents mélanges en nous basant sur la disponibilité des matériaux en optant toujours pour le sable, les deux variétés du tuf 01 et 02. Malaxer le sable et l'argile à sec a été choisi afin d'humidifier et homogénéiser le mélange [15, 16]. Ce qui permet de contourner les difficultés d'homogénéisation rencontrées par les autres méthodes, dans le cas des échantillons en couches horizontales ou inclinées d'environ 45° [17].

Les différentes couches sont préparées et compactées par une même énergie de compactage. Le but a été d'utiliser les matériaux les plus répandus et abondants dans le sud Algérien afin de déterminer les nouvelles caractéristiques mécaniques de ces nouveaux matériaux.

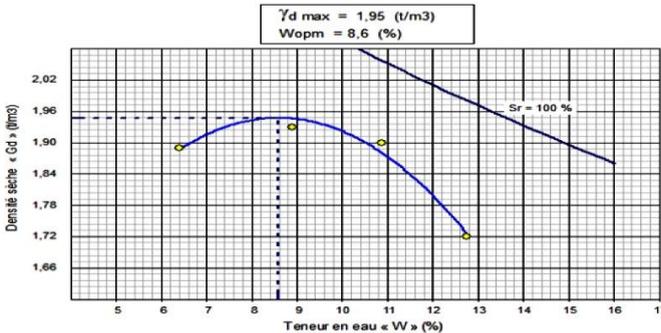


Fig. 18: Essai du Proctor après substitution du sable et de l'argile

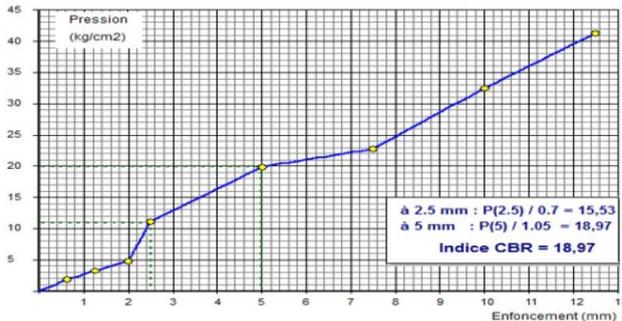


Fig. 19: Essai du CBR immédiat après substitution du sable et de l'argile

Nous constatons sur la figure 18 et 19 que la valeur de l'indice du CBR à des portances différentes donne des valeurs dont la portance du mélange sable-argile est stabilisée. Cela est dû peut être à la composition des deux matériaux qui n'a pas eu un effet néfaste sur les caractéristiques mécaniques de ce nouveau produit.

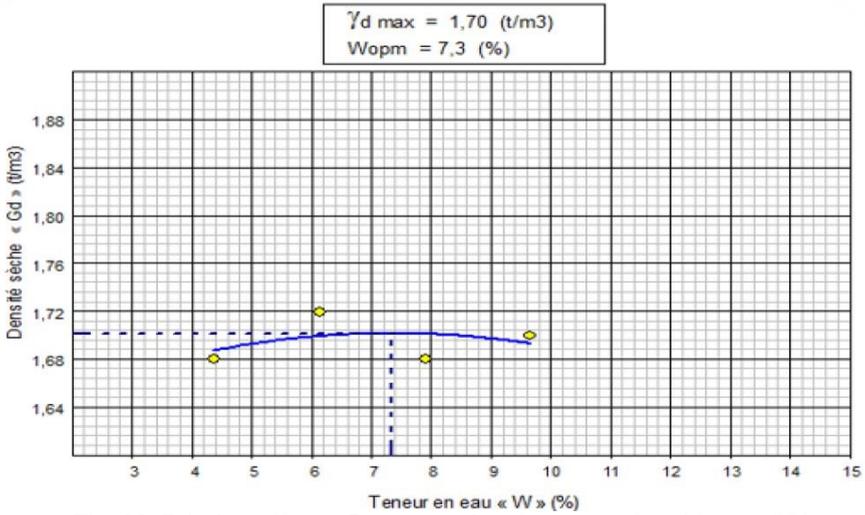


Fig. 20: Résultats d'essai Proctor après substitution du sable et tuf 01

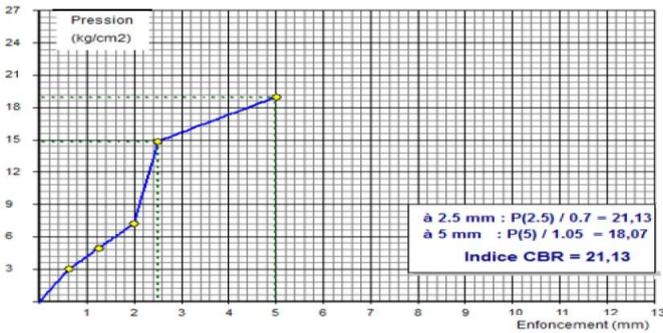


Fig. 21: Résultats de l'essai CBR imbibé après substitution du sable et tuf 01

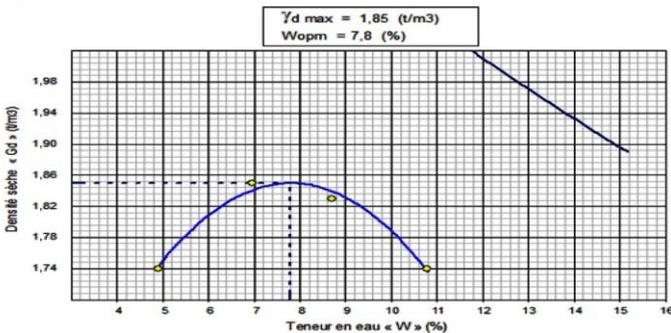


Fig. 22: Résultats de l'essai Proctor après substitution du sable et tuf 02

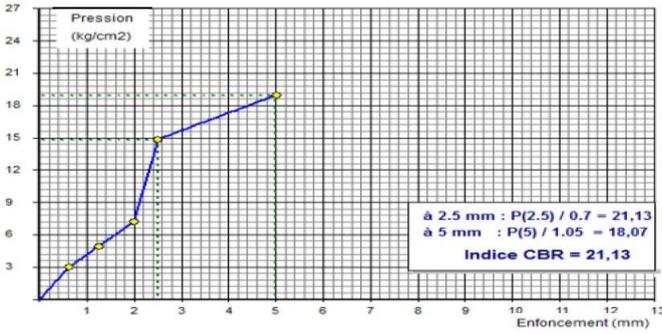


Fig. 23: Résultats de l'essai CBR immédiat après substitution du sable et le tuf 02

5. CONCLUSION

Les résultats que nous avons obtenus dans nos expériences sur les matériaux locaux de la région (Proctor - CBR) indiquent que ces matériaux sont adaptés à une utilisation, notamment dans le domaine des routes, ce qui nous permet de passer aux aspects économique et environnemental.

Il est possible de déduire que plus le matériau granulaire contient une quantité importante de particules fines (particules ayant un diamètre inférieur à 80 μm), plus la quantité d'eau nécessaire pour avoir un compactage maximal est grande.

Les essais ont montré que le matériau granulaire est alors en mesure d'absorber une plus grande quantité d'eau. Il est à noter que les résultats de Proctor modifié obtenus suite aux essais peuvent être sujets à de légères variations, et par ailleurs la structure granulaire fine du sable provoque lors de sa substitution avec les autres matériaux une chute significative de l'indice Portant Californien.

Toutefois ces recherches permettent une meilleure connaissance des sites et l'acquisition du respect de l'environnement, ainsi que tout en s'adaptant au climat de la région et de sa végétation, cela signifie que notre utilisation de matériaux locaux aura un impact environnemental et économique.

Ces travaux se poursuivent dans le même cadre afin de cerner la problématique de la stabilité des sols en place tout en exploitant les gisements naturels qui sont sur le site.

Remerciements- Nous tenons à remercier le Laboratoire LTP de Ouargla de nous avoir permis de mener à bien nos recherches.

REFERENCES

- [1] M. Aubertin , M. James, M. Mbonimpa, B. Bussièrè and R.P. Chapuis, '*Revue de divers aspects liés à la stabilité géotechnique des ouvrages de retenue de résidus miniers, Partie 2, Analyse et Conception*', Déchets Sciences et Techniques, N°64, pp. 39 - 50, Juin 2013
- [2] W.A. Hustrulid, M.K. Mac Carter and D.J.A. Van Zyl, '*Slope stability in surface mining*', Littleton, Colorado, SME., (Eds.), 2000.
- [3] J.M. Duncan and S.G. Wright, '*Soil strength and slope stability*', Wiley, 2005.
- [4] D.F. Mc Carthy, '*Essentials of Soil Mechanics and Foundations*', Prentice Hall, 7th Ed., 2007.

- [5] D'Appolonia Engineering, '*Engineering and Design Manual – Coal Refuse Disposal Facilities*', 2nd Edition, Mine Safety and Health Administration, (MSHA), Pittsburgh, PA, USA, 2009.
- [6] R. Chowdhury, P. Flentje and G. Bhattacharya, '*Geotechnical slope analysis*', CRC Press, Taylor & Francis, London, 2010.
- [7] J. Read and P. Stacey, '*Guidelines for open pit slope design*', (Eds), CRC Press, Taylor & Francis, London, 500 p., 2009.
- [8] M. Annabi, Y. Le Bissonnais, C. Francou, M. LeVillio-Poitrenaud et S. Houot, '*Utilisation de composts pour améliorer la stabilité structurale des sols limoneux*', Echo-Mo, N°56, Nov-Déc. 2005.
- [9] NF EN 933-1, Granulats - Analyse granulométrique par tamisage.
- [10] NF EN 1097-6, '*Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau*', Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption.
- [11] NF EN 13286, '*Détermination de la relation teneur en eau - masse volumique - essai proctor modifié. Standard*
- [12] NF EN1097- 6, '*Granulats -Détermination de la densité et de l'absorptivité du granulats fin*', Janvier 2014.
- [13] ASTM D 1883, '*Capacité portante (CBR modifié)*'.
- [14] Chaabane Lynda-Amel , El-Hadj Kadri, Yahia Sebaibi and Hamza Soualhi, '*Dune sand and pumice impact on mechanical and thermal light weight concrete properties*', Construction and Building Materials, Vol. 133, pp. 209 – 218, 2017.[
- [15] H. Tanaka, M. Tanaka and D.R. Shiwakoti, '*Characteristics of soils with low plasticity: Intermediate soil from Ishinomaki, Japan and lean clay from Drammen, Norway*', Soils and foundations, Vol. 41, N°1, pp. 83 - 96, 2001.
- [16] O. Boudlal, B. Melbouci, M. Khattaou and A. Pantet, '*Etude de la stabilité des massifs sable-argile de la grande kabylie (Algerie)*', Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, JNGG2014 – Beauvais 8-10 juillet 2014.
- [17] T.L. Nguyen, '*Etude expérimentale de la loi d'écoulement de matériaux anisotropes transverses*', Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France, 2008.