

EFFET DU SABLE SUR LES CBR DES ARGILES GONFLANTES DE L'EXTREME NORD CAMEROUN

SAND EFFECT ON CBR OF SWELLING CLAYS OF FAR NORTH REGION CAMEROON

M. Baana Abouar¹, Pr Mamba Mpélé², Pr Danwé Raïdandi³

^{1,2,&3}Laboratoire de Mécanique, Matériaux et Structures, École Nationale Supérieure Polytechnique, Yaoundé, Cameroun, babouar@yahoo.com, mamba_mpele@yahoo.fr, rdanwe@yahoo.fr.

RÉSUMÉ – L'indice CBR est un paramètre fondamental utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des assises de chaussées. Les mesures réalisées sur les sols argileux gonflants montrent qu'il demeure très faible. Les essais des mesures de CBR réalisés sur les mélanges de l'argile gonflante et du sable, dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun, indiquent qu'avec une proportion de 40% de sable et une énergie de compactage de 25 coups, le CBR de l'argile gonflante de Maroua passe de 1,27 à 5,58 et celle de Fotokol de 2,18 à 5,26. Pour une proportion de 30% de sable (resp. 40%) et une énergie de compactage de 55 coups, l'argile gonflante de Maroua passe de 4,3 à 5,31 (resp. 4,3 à 7,9) et celle de Fotokol de 3,54 à 5,69 (resp. 3,4 à 7,59) pour des valeurs des teneurs en eau comprises entre 12,11% et 19,79%.

MOTS-CLES: Argile gonflante, sable, CBR. Maïs

ABSTRACT - Index CBR is a fundamental parameter used in the construction of the earth works or the subgrades of roadways. The measurements carried out on the swelling clay soils show that it remains very weak. The tests of measurements of CBR carried out on the mixtures of swelling clays and sand, in the far North region of Cameroon, indicate that with a proportion of sand 40% and an energy of compaction of 25 blows, the CBR of the swelling clay of Maroua passes from 1.27 to 5.58 and that of Fotokol from 2.18 to 5.26. For a proportion of sand 30% (resp. 40%) and an energy of compaction of 55 blows, the swelling clay of Maroua pass from 4.3 to 5.31 (resp. 4.3 to 7.9) and that of Fotokol from 3.54 to 5.69 (resp. 3.4 to 7.59) for values of the water contents ranging between 12.11% and 19.79%.

KEY WORDS : Swelling clay, sand, CBR.

1. Introduction et problématique

Située entre le 10^e et 13^e parallèle, la région de l'extrême-Nord du Cameroun regorge des sols constitués principalement des argiles gonflantes.

Cette région où ce type de matériau est prédominant, subit les conséquences à travers les ouvrages édifiés notamment les infrastructures routières. La durée de service de ces ouvrages se trouve réduite à cause des caractéristiques mécaniques faibles en l'occurrence l'indice CBR de ce sol surtout quand il est proche de la saturation. La plate forme des chaussées est constituée généralement d'argile gonflante dont le nom usuel dans la région est 'karal'.

Les infrastructures routières construites dans cette région connaissent des dégradations dues au trafic des poids lourds, des aléas climatiques et surtout de la nature du sol support. Ce sol est soumis à des variations de volume plus ou moins conséquentes, fortes augmentation de volume (phénomène de gonflement) lorsque la teneur en eau augmente, et inversement, rétraction (phénomène de retrait) en période de déficit pluviométrique marqué (Ministère français de l'écologie, 2007). Les travaux de Baana et al. (2015), sur les retraits du karal lithostabilisé au sable, des échantillons provenant de cette région, montrent une nette diminution du retrait lorsque la proportion du sable augmente. De même, les travaux de A. Hachichi et al. (2009), sur les phénomènes des retraits gonflements des sols gonflants montrent que pour des proportions de 40% de sables de mer et de carrière, le gonflement est réduit de manière considérable.



Figure 1. Localisation des sites de prélèvement des échantillons dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun (www.editions2015.com).

Les ouvrages construits sur ce type de sol, notamment les routes, subissent des dégradations importantes à l'instar des nids de poule, des fissurations et des déformations de divers ordres. L'emploi de ce matériau comme sol support est à déconseiller d'une façon générale lorsqu'il y a des risques de saturation en raison du potentiel de gonflement de cette argile qui est d'autant plus élevé que le compactage est plus poussé (Rapport général-FED, Etudes des chaussées économiques en Afrique, Communauté Economique Européenne, 1967).

Cet état de fait a amené les pouvoirs publics à adopter plusieurs méthodes en vue d'améliorer la capacité portante du sol support. Les techniques utilisées concernent notamment la stabilisation par les liants (ciment, chaux,...), et les hydrophobants (ISTED, 1988), ou l'utilisation des géo membranes qui requièrent des coûts onéreux. Malgré ces investissements supportés par le gouvernement local ou les bailleurs de fonds à l'instar du Fonds Européen de Développement (FED), les infrastructures routières continuent de subir des dégradations à un rythme effréné. C'est dans ce contexte que le présent article est rédigé en vue d'étudier le comportement du CBR du sol argileux gonflant lithostabilisé au sable.

2. Méthodologie

2.1. Les matériaux

Les sols étudiés sont issus de deux sondages réalisés dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun: l'un réalisé dans la proche banlieue de Maroua en un point dont les coordonnées géographiques se trouvent à 10°38'20'' latitude Nord et 14°24'53'' longitude Est. L'autre à Fotokol en un point dont les coordonnées géographiques se trouvent à 12°22'20'' latitude Nord et 14°14'25'' longitude Est.

Le sable utilisé provient du fleuve Sanaga. Il a été choisi du fait qu'il a la même texture que le sable utilisé dans la partie septentrionale.

Tableau 1. Paramètres d'identification des échantillons de karal en provenance de Maroua et Fotokol.

Echantillon	Fraction argileuse en %	Limite de plasticité Wp(%)	Limite de plasticité Wp(%)	Indice de Plasticité IP(%)
Argile gonflante de Maroua (K1)	45	31,64	56,84	25,2
Argile gonflante de Fotokol (K 2)	35	27,06	53,49	26,43

Les échantillons des argiles gonflantes de Maroua et de Fotokol appartiennent à la catégorie de sol ayant un potentiel de gonflement fort au sens de Holtz et al (1973).

2.2. Le matériel

Le matériel utilisé respecte la norme NF P 94-078

Le matériel de confection des éprouvettes comprend :

- Le moule CBR
- La dame de compactage Proctor modifié
- Les accessoires (rehausse, disque d'espacement, règle à araser,..)
- Le matériel d'usage courant (balances, étuves, bacs,

Le matériel de poinçonnement comprend une presse équipée :

- D'un poinçon cylindrique en acier de 49,6mm de diamètre
- D'un dispositif permettant l'enfoncement du poinçon dans le matériau à une vitesse de 1,27mm/min
- D'un dispositif de mesure de l'enfoncement du poinçon
- D'un dispositif de mesure des efforts de poinçonnement

Le matériel de mise en immersion constitué de plusieurs bacs de hauteur suffisante pour assurer l'immersion complète des éprouvettes.

2.3. Les essais réalisés

Les essais granulométriques, sédimentométriques, Proctor et CBR ont été réalisés sur les échantillons d'argiles gonflantes mélangés au sable.

2.3.1. Essais granulométriques et sédimentométriques

Les essais granulométriques et sédimentométriques réalisés sur les échantillons du sable, d'argile gonflante de Maroua et de Fotokol ont été réalisés conformément à la procédure préconisée par la norme ASTM D 422-63.

2.3.2. Essais Proctor Modifié et CBR

Les essais Proctor Modifié et CBR ont été effectués conformément à la procédure préconisée, respectivement, par la norme NF P94-093 et la norme NF P 94-078.

Ces essais ont été réalisés sur les échantillons d'argiles gonflantes provenant de Maroua (Karal 1), de Fotokol (Karal 2), et sur les mélanges de ces mêmes argiles avec : 0%, 10%, 20%, 30% et 40% du sable Sanaga.

L'immersion est faite de sorte que l'éprouvette est recouverte par une hauteur d'eau de 20mm environ et qu'une lame d'eau de 10mm de hauteur est présente sous le moule. Après quatre jours d'immersion, le moule et l'éprouvette du bac à immersion sont retirés et après égouttage, le poinçonnement est exécuté.

Pour le calcul de l'indice CBR, l'essai consiste à mesurer les forces (pressions) à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1,27mm/min) dans une éprouvette de matériau. On relève les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5mm et 5mm. On rapporte ces valeurs à celles obtenues sur un matériau de référence pour en déduire la valeur de l'indice portant recherché.

Les pressions de référence sont 7 et 10,5Mpa pour les enfoncements respectifs de 2,5mm et 5mm.

On définit les valeurs caractéristiques suivantes :

$$I_1=(\text{Effort de pénétration à } 2,5\text{mm}\times 100)/7 \text{ et } I_2=(\text{Effort de pénétration à } 5\text{mm})\times 100/10,5$$

L'indice CBR recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs : $\max (I_1 ; I_2)$.

Dans ce qui suit nous désignerons par les lettres « K1 (resp. K2) » les échantillons d'argile gonflante en provenance de Maroua (resp.de Fotokol) et par la lettre « S » les échantillons de sable Sanaga.

3. Résultats et discussion

3.1. La granulométrie

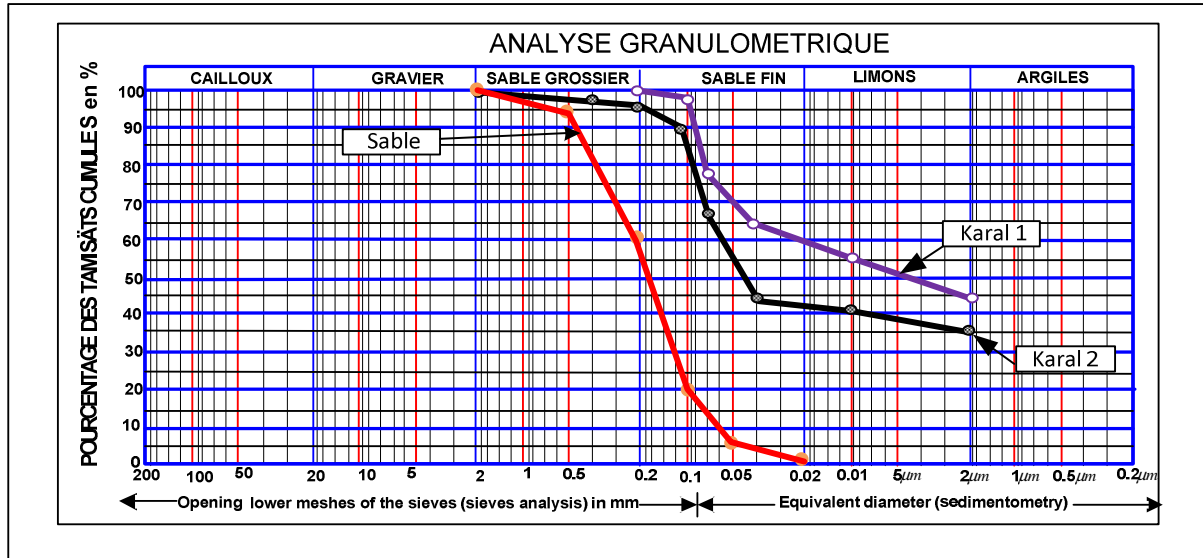


Figure 2. Résultats d'analyse granulométrique.

Les résultats d'analyse granulométrique qui sont résumés par la Figure 2 et le Tableau 1 indiquent que les karals 1 et 2 contiennent respectivement 45% et 35% des matériaux argileux. Ces teneurs en argiles sont confirmées par les travaux de Gwet H. (1992) qui montrent que les karals prélevés sur la route Maroua-Yagoua, dans la ville de Moulvoudaye qui se trouve à l'extrême Nord du Cameroun, contiennent plus de 30% de matériaux argileux.

3.2. Les densités sèches à l'optimum proctor

Les densités sèches à l'Optimum Proctor Modifié des mélanges du sable(S) et du kara1(K) en provenance des villes de Maroua « K1 », et de Fotokol « K2 » en fonction de la teneur en eau sont données par le tableau 2.

Tableau 2. Valeurs des densités sèches et des teneurs en eau optimales des différents mélanges de K1 et K2 à l'optimum Proctor Modifié.

Mélanges du sable (S) avec le kara1 K1					
	0%	10%	20%	30%	40%
$w_{opt}(\%)$	8,4	10	8,2	9	7,96
$\gamma_{opt}(t/m^3)$	1,97	2,07	2,1	2,115	1,98
Mélanges du sable (S) avec le kara1 K2					
$w_{opt}(\%)$	10,6	9,98	9,95	9,2	10
$\gamma_{opt}(t/m^3)$	1,99	2,01	2,105	2,075	2,06

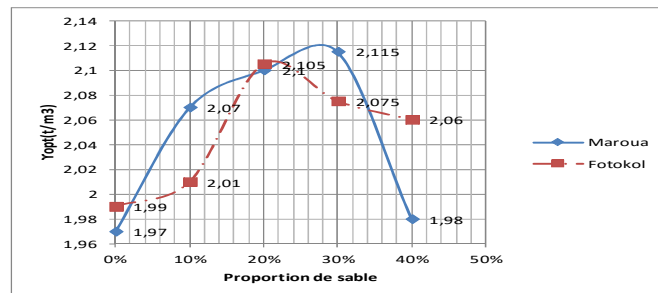


Figure 3. Densité sèche à l'Optimum Proctor Modifié des mélanges en fonction des pourcentages du sable ajouté.

Le tableau 2 et la figure 3 indiquent que pour l'argile K1 en provenance de Maroua, la densité sèche maximale à l'Optimum Proctor Modifié est obtenue lorsque 30% de sable sont mélangés à 70% d'argile. La valeur de la densité obtenue est alors de 2,115t/m³ avec une teneur en eau optimale de 9% et pour l'argile K2 en provenance de Fotokol, la densité sèche maximale à l'Optimum Proctor Modifié est obtenue lorsque 20% de sable sont mélangés à 80% d'argile. La valeur de la densité obtenue est alors de 2,105t/m³ avec une teneur en eau optimale de 9,95%.

3.3. Les indices CBR

3.3.1. Les indices CBR en fonction du nombre de coups

Les résultats donnant les valeurs des indices CBR après immersion sont résumés dans le tableau 3 et les figures 4 à 6.

Tableau 3. Evolution du CBR en fonction de la proportion du sable.

Proportion du sable	0%			10%			20%			30%			40%		
	Nombre de coups			Nombre de coups			Nombre de coups			Nombre de coups			Nombre de coups		
	10	25	55	10	25	55	10	25	55	10	25	55	10	25	55
Maroua	0,76	1,27	4,3	2,05	2,81	4,18	2,34	3,02	4,02	3,19	3,57	5,31	3,87	5,58	7,9
Fotokol	1,85	2,18	3,54	1,52	2,58	3,49	1,97	2,96	4,18	2,51	3,49	5,69	3,26	5,26	7,59

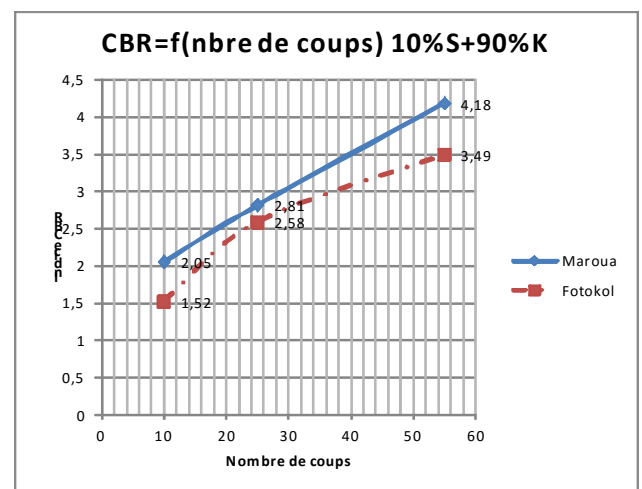
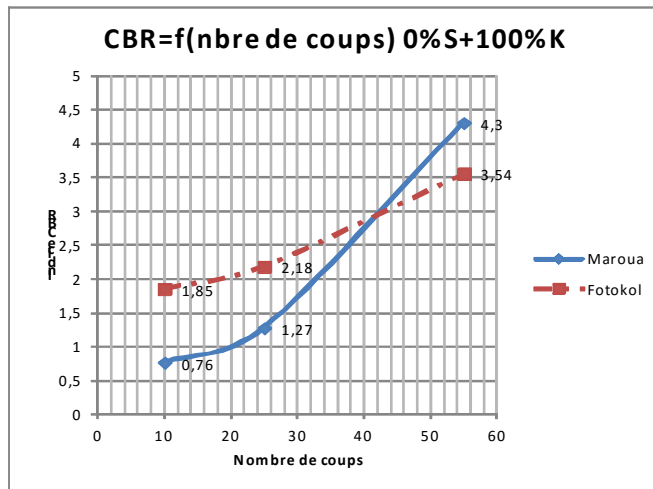


Figure 4. Indices CBR en fonction du nombre de coups pour les mélanges : 0%S+100%(K1 et K2), 10%S+90%(K1 et K2).

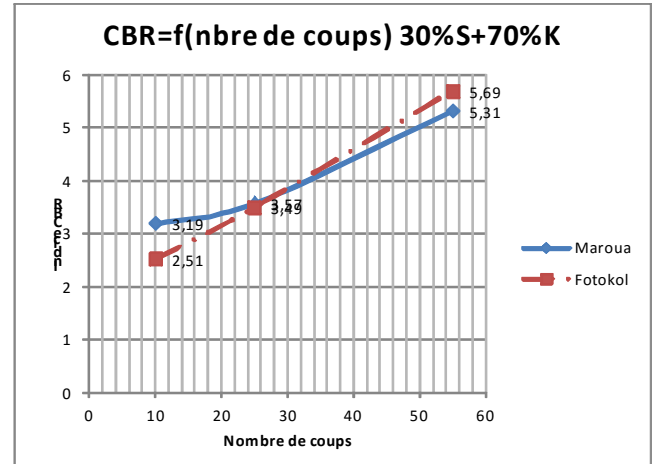
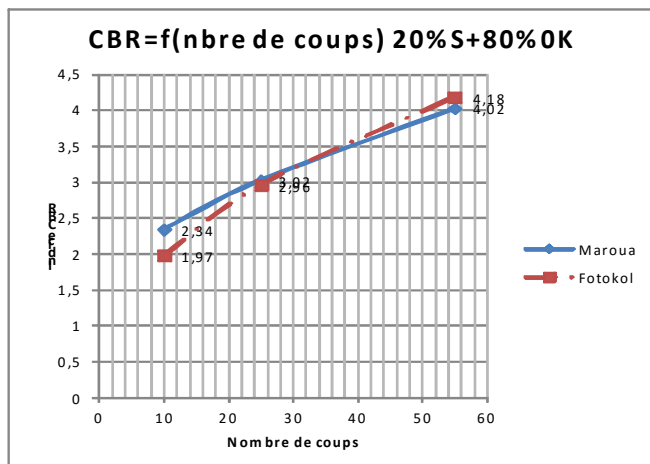


Figure 5. Indices CBR en fonction du nombre de coups pour les mélanges : 20%S+100%(K1 et K2), 30%S+90%(K1 et K2).

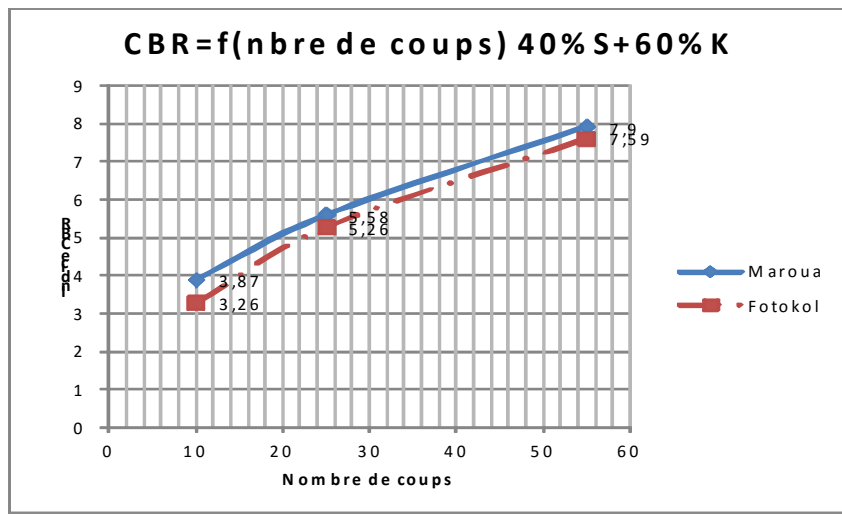


Figure 6. Indices CBR en fonction du nombre de coups pour le mélange 40%S+60%(K1 et K2).

On constate que les indices CBR augmentent en fonction du nombre de coups (énergie de compactage).

3.3.2. Les indices CBR en fonction de la proportion du sable

Les tableaux 4 à 6 et les figures 7 à 9 récapitulent les résultats donnant les indices CBR des mélanges du sable(S) et du karal(K) en provenance des villes de Maroua « K1 », et de Fotokol « K2 » en fonction de la proportion du sable et du nombre de coups.

Tableau 4. Evolution du CBR en fonction de la proportion du sable, pour 10 coups.

Proportion du sable	0%	10%	20%	30%	40%
Maroua	0,76	2,05	2,34	3,19	3,87
Fotokol	1,85	1,52	1,97	2,51	3,26

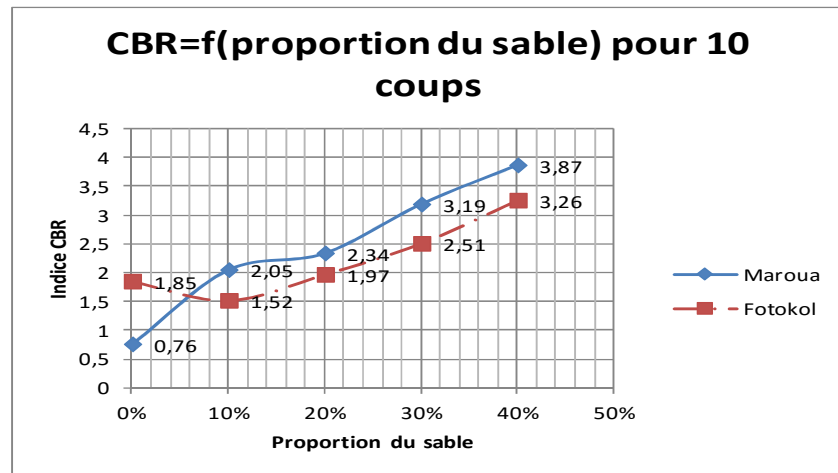


Figure 7. Indices CBR en fonction de la proportion du sable pour 10 coups (K1 ou K2)

Tableau 5. Evolution du CBR en fonction de la proportion du sable, pour 25 coups.

Proportion du sable	0%	10%	20%	30%	40%
Maroua	1,27	2,81	3,02	3,57	5,58
Fotokol	2,18	2,58	2,96	3,49	5,26

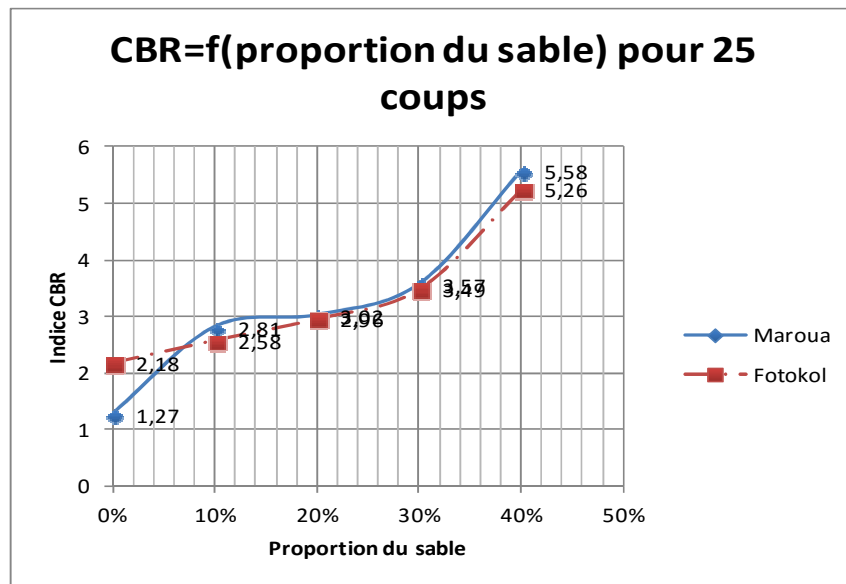


Figure 8. Indices CBR en fonction de la proportion du sable pour 25 coups (K1 et K2)

Tableau 6. Evolution du CBR en fonction de la proportion du sable, pour 55 coups

Proportion du sable	0%	10%	20%	30%	40%
Maroua	4,3	4,18	4,02	5,31	7,9
Fotokol	3,54	3,49	4,18	5,69	7,59

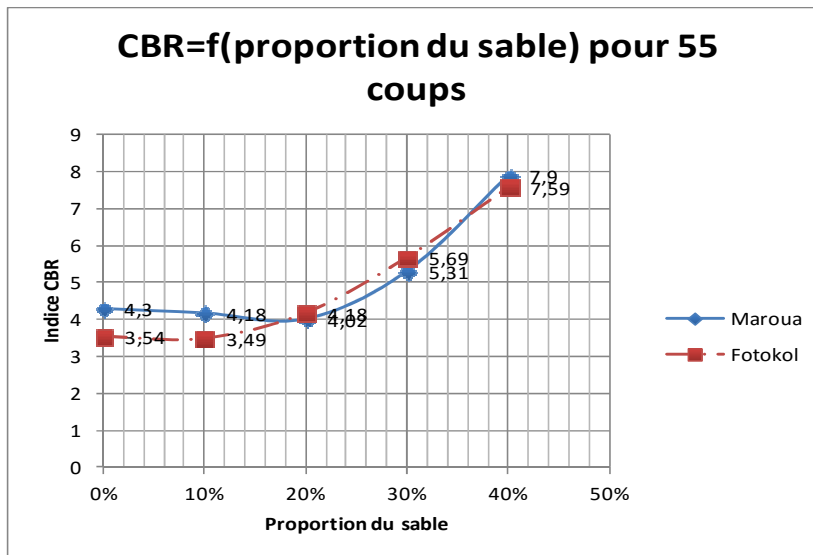


Figure 9. Indices CBR en fonction de la proportion du sable pour 55 coups (K1 et K2)

Les résultats obtenus qui sont résumés par les tableaux 4 à 6 et les figures 7 à 9 nous permettent de tirer les renseignements suivants :

- La variation est minime entre le CBR de Maroua et celui de Fotokol pour les proportions de sable supérieures ou égales à 30% et une énergie de compactage supérieure ou égale à 25 coups
- Les indices CBR augmentent à partir d'une proportion de 30% de sable quelle que soit l'énergie de compactage

- Les plus grandes valeurs des indices CBR sont atteintes avec une proportion de 40% de sable et une énergie de compactage de 55 coups ; l'indice CBR de Maroua passe de 4,3 à 7,9 et celui de Fotokol de 3,54 à 7,59 soit une augmentation, par rapport à l'argile seule, respectivement de 83,72% et 114,41%.

L'ajout du sable améliore nettement la portance de l'argile gonflante. Les figures 7 à 9 illustrent cette assertion avec pour référence les indices CBR des argiles gonflantes sans ajout du sable. Nous remarquons que le CBR varie peu, quelle que soit l'énergie de compactage (nombre de coups), pour une proportion du sable allant de 0 à 20%. Au-delà de 20% et ce jusqu'à 40% de proportion du sable, le CBR augmente considérablement. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la texture du mélange, avec la diminution des fines et l'ajout d'une proportion du sable (de 20% à 40%), contribue à la réduction du gonflement et du retrait du mélange (Baana et al, 2015) dont le comportement est peu plastique. Cette texture confère une meilleure résistance à l'argile lithostabilisée.

4. Conclusions

Les caractéristiques mécaniques de l'argile gonflante sont améliorées lorsqu'on ajoute une certaine proportion du sable au matériau initial. Ainsi, les densités sèches Optimales à l'essai Proctor Modifié de l'argile gonflante augmentent lorsqu'on y ajoute du sable. Avec une proportion de 20% pour l'échantillon de Maroua, la densité sèche maximale obtenue est de 2,105t/m³ et avec une proportion de 30% pour celui de Fotokol, elle est de 2,115t/m³. La plus grande valeur de l'indice CBR est obtenue pour une proportion en sable de 40% et une énergie de compactage de 55 coups; elle passe de 4,3 à 7,9 pour l'échantillon de Maroua et de 3,54 à 7,59 pour celui de Fotokol pour une teneur en eau respectivement de 12,11% et 17,56%.

5. Références bibliographiques

- ASTM D 422-63, 2002. A Standard Method for particles size Analysis of soil. Vol. 04(8) American Society for Testing Materials West Pennsylvania PA 19428 USA.
- BAANA ABOUAR et al., 2015, « Effet du sable sur les retraits des argiles gonflantes de l'Extrême-Nord du Cameroun ». *International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation (IJETSI)*, Volume 1, Issue:03
- GWET Hiob Aron Elie, Etude des caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques des argiles gonflantes : Application au karal du Nord Cameroun, Mémoire de DEA, École Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé Cameroun, 1991.
- HACHICHI A. et al., 2009. « Etude des phénomènes retrait-gonflement et stabilisation des sols gonflants de la région d'Oran ». *19^e Congrès Français de Mécanique*, Marseille, 24-28 août 2009
- Communauté Économique Européenne - Commission, Étude de chaussées économiques en Afrique. Rapport général, Série Développement de l'Outre-Mer, 1967.
- ISTED (Institut des Sciences et des Techniques de l'Équipement et de l'Environnement pour le Développement), Sols argileux gonflants, site expérimental de Waza-Maltam. Rapport de synthèse, 1988.
- Ministère Français de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, Le retrait-gonflement des argiles. Prévention risques naturels majeurs, 2007.
- NF P94-078, AFNOR 1997, Sols: reconnaissance et essais. Indice CBR après immersion, Indice CBR immédiat, Indice portant immédiat.
- NF P94-093, AFNOR 1993, Sols: reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau.