

Etude de formulation d'un béton bitumineux à base de résidus miniers : cas des silex de Mboro

Adama DIONE, Mohamadou Moustapha THIAM, Moumar DIEYE, Hélène Diakhère MADIOUNE, Cheikh Mahmoud SYLLA

Laboratoire de Géomatériaux, Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta Diop de Dakar

Contact : adama15.dione@ucad.edu.sn

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier le rejet minier de silex comme nouveau matériau alternatif pour les chaussées souples. En effet, un échantillonnage et une épreuve de formulation ont été effectuées. Les premiers résultats ont montré un caractère inadhésif, de la surface des granulats de silex, relevé lors de l'étude. Ce qui justifie l'inconcevabilité d'un enrobé à base de ces silex sans dope ou matériaux d'adhésivité. L'ajout de 4 % de 0/3 basalte favorise considérablement l'adhésivité des silex. Les résultats donnent des valeurs de stabilité Marshall qui varient de 1151 à 1350 kg et un fluage qui varie de 2.72 à 2.24 mm. L'essai Duriez donne une valeur de $R'c/Rc$ de 0,76 et un pourcentage de vide de 7,83 % à 80 girations pour l'essai PCG. Cette étude sur les silex pourrait être très bénéfique dans certains des projets routiers et peut être utilisé comme matériau alternatif des chaussées souples.

Mots clefs : silex, matériau alternatif, rejet minier, adhésivité

Introduction

Au Sénégal, la latérite a été depuis très longtemps le matériau de référence en construction routière. Ce matériau présente l'avantage d'être en gisement d'extension très importante, affleurant dans toute la zone tropicale africaine, mais d'être d'une exploitabilité relativement facile (Fall, 1993). Aujourd'hui, vue la raréfaction de plus en plus accrue des latérites de qualité, les acteurs du domaine routier font recours à une amélioration ou à une stabilisation de ces matériaux latéritiques. Ces procédés ont tendance à augmenter les coûts des projets routiers. Face à cette situation, des recherches ont été menées au Sénégal en vue de découvrir des matériaux de substitution à la latérite et au basalte. Cependant, les études de Ba (2008) révèlent que le tout-venant de basalte 0/31,5 a été utilisé en couche de fondation au niveau de Colobane sur l'autoroute Patte d'Oie-Malick Sy. Par ailleurs pour nos couches de surface, le basalte de Diack reste depuis longtemps le matériau le plus reconnu et le plus employé pour la formulation d'enrobés de qualité. Mais le gisement de Diack est en voie d'épuisement.

Face à cet état de fait, des études ont été menées dans le but de trouver d'autres matériaux capables de se substituer au basalte. Parmi ces matériaux, il y a les quartzites de Bakel, les granodiorites de Mansadalla dans la région de Kédougou (déjà utilisées pour la formulation de grave-bitume) ainsi que les silex de Mboro actuellement utilisés

pour la confection de béton hydraulique et en stade d'étude pour leur utilisation éventuelle comme granulats de béton bitumineux (Sow, 2021).

En revanche, le Sénégal dispose d'autres matériaux dont leur utilisation pourrait être une alternative pour la réalisation de structures de chaussées à faible trafic. Parmi ces matériaux nous avons le silex qui est un matériau hypersiliceux se présentant sous forme de rognons ou groupées en passes plus ou moins horizontaux dans les niveaux phosphatés. Ils sont des résidus de l'exploitation minière du phosphate, située à Taïba dans la région de Thiès. Ils sont composés en moyenne en poids 91% de silex, 6 % d'induré de phosphate, 3% de fines à éléments phosphatés et argileux (Sidibé, 1995). Il n'est pas habituellement utilisé en technique routière du fait de sa forme aplatie et de sa surface assez lisse. Attribuer des performances mécaniques à des silex principalement à partir des mesures est cependant réducteur et pas toujours satisfaisant. C'est pourquoi nous étudions les performances mécaniques de ces silex afin de voir ses possibilités d'utilisation en chaussée souple.

1. - Méthodologie

L'Etude consiste à prélever des échantillons de silex. Il est obtenu à partir des rejets de la station de prétraitement, avec une distribution granulométrique estimée (Diémé, 1991). Le minerai abattu est livré par des camions de 100 tonnes ou dumpers sous forme d'un tout-venant de classe granulaire 0/2000 mm au niveau du crible n°1 encore appelé scalpeur ou épierreur qui le soumet à des jets d'eau à 20 bars pour séparer les blocs des particules minérales. Les blocs de dimension supérieure à 200 mm sont évacués au niveau des alvéoles d'où ils sont repris par les dumpers pour être disposés en petits amas dispersés. Le reste des éléments (0/200 mm) poursuit le processus de débouillage jusqu'au crible n°3 d'où, après soumission à des jets d'eau de 10 bars, il est scindé en une pulpe minérale ($d < 25$ mm) à destination de la station de laverie et en un résidu transporté par un convoyeur à stérile vers un terril (Sidibé, 1995). Ces échantillons ont été ensuite caractérisés au laboratoire et des études de formulations ont été effectuées (figure 1).

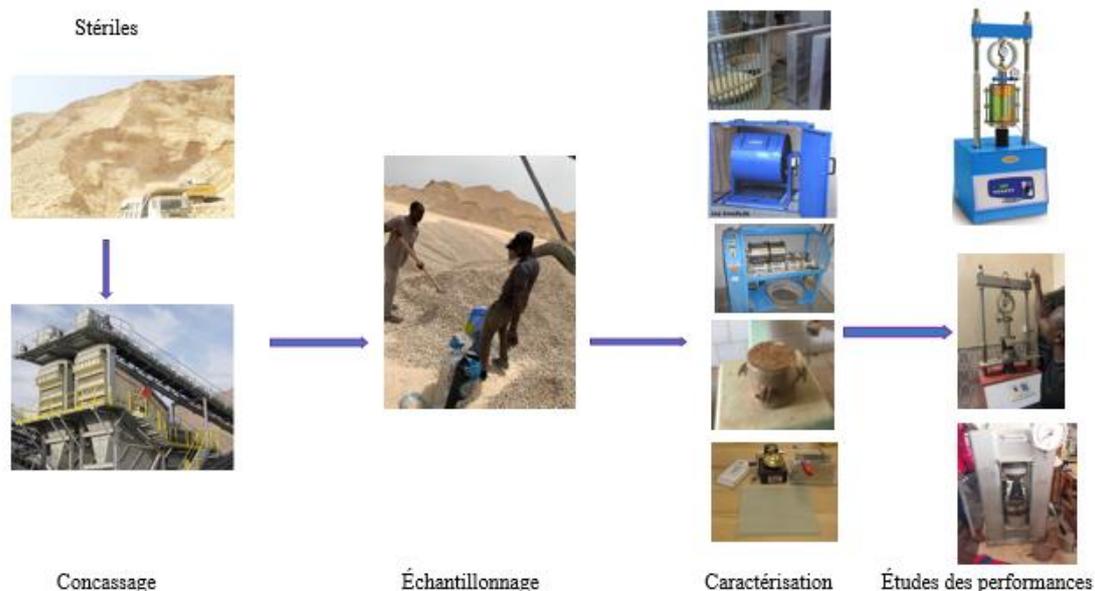


Figure 1. Méthodologie d'étude des silex

2. - Caractéristiques intrinsèques et de fabrication

Diverses fractions granulaires ont été prélevées à la carrière de Tanor Granulats et sont soumis à des essais pour la détermination des caractéristiques intrinsèques du matériau. Ces essais sont entre autres la granularité, la forme, la densité, la propreté et les résistances à la fragmentation et à l'usure selon les normes.

- Analyse granulométrique (NF EN 933-1) ;
- Micro Deval (EN 1097-1) ;
- Los Angeles (EN 1097-2) ;
- Détermination du poids spécifique (NF EN 1097-6) ;
- Densité apparente (NF EN 1097-3) ;
- Essai d'équivalent de sable (EN 933-8) ;
- VBS (NF EN 933-9) ;
- Détermination du coefficient d'aplatissement (EN 933-10).

Les résultats de ces essais sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1. - Caractéristiques intrinsèques et de fabrication du silex

Caractéristiques géotechniques	(Unités)	Classes granulaires (mm)			Spécifications	Conformité
		Silex 0/3	Silex 3/8	Silex 8/14		
MVR	(g/cm ³)	2.54	2.48	2.44	-	-
MVA	(g/cm ³)	1.35	1.29	1.29	-	-
VBS	(g/100g)	0.7	-	-	< 2	Conforme
Coefficient d'aplatissement	(%)	-	18.88	15.67	≤20	Conforme
Los Angeles (LA)	(%)	-	-	22.88	< 25	Conforme
Micro Deval (MDE)	(%)	-	-	18.2	< 20	Conforme
LA + MDE	(%)	-	-	41.08	< 45	Conforme

Le tableau 1 montre les paramètres intrinsèques du silex. Cependant, le silex est propre et sa forme n'est pas aplatie. Il présente également de bonne résistance à l'usure et à la fragmentation.

3 – Résultats et discussion

Pour son utilisation en enrobé une formulation de béton bitumineux 0/14 a été réalisée (figure 2).

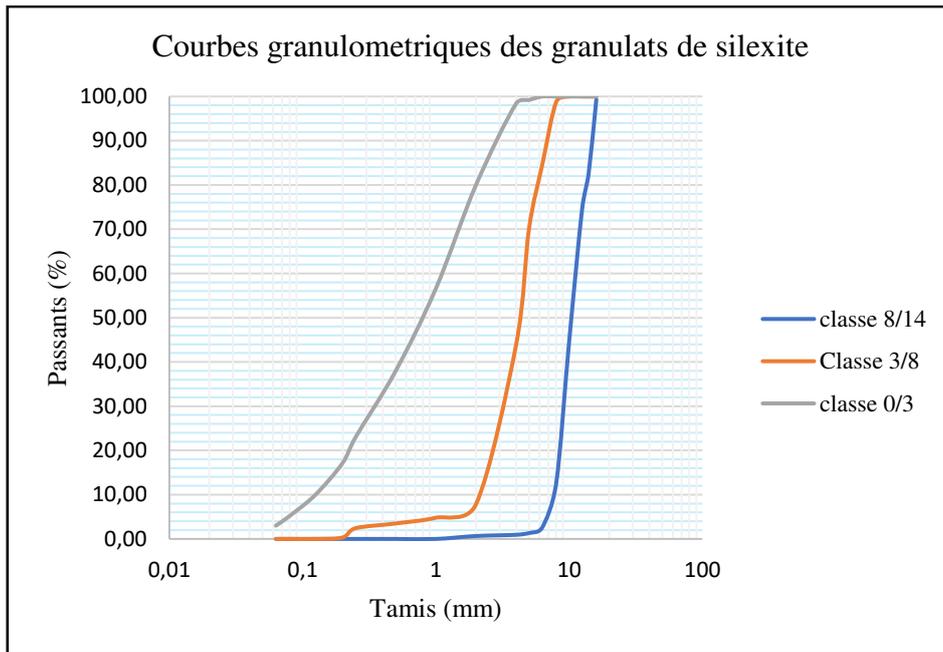


Figure 2. Courbes granulométriques des diverses classes granulaires

La formule est composée de 42 % de 8/14, 23 % de 3/8 et 35% de 0/3 avec une teneur en bitume 35/50 de 6,1 % obtenue suite à un calcul de teneurs en liants et à chaque fois vérifier la stabilité maximale (équation 1). En effet, les essais Marshall, Duriez et PCG ont été effectués afin d'évaluer leurs performances mécaniques (figures 3, 4 et 6).

$$T_{Lext} = K \times \alpha \times \sqrt[5]{\Sigma} \quad [1]$$

K : grandeur proportionnelle à l'épaisseur conventionnelle du film de liant hydrocarboné enrobant le granulat. K est indépendante de la masse volumique du mélange granulaire ;

Σ : surface spécifique, exprimée en m^2/kg , déterminée par la relation :

$$100 \Sigma = 0,25 G + 2,3 S + 12 s + 150 f$$

avec :

G : proportion d'éléments supérieur à 6,3 mm

S : proportion d'éléments compris entre 6,3 mm et 0,250 mm

s : proportion d'éléments compris entre 0,250 mm et 0,063 mm

f : proportion des éléments inférieurs à 0,063 mm

α : un coefficient correcteur relatif à la masse volumique des granulats

$\alpha = 2,65 / \rho_G$, avec ρ_G masse volumique réelle des granulats (g/cm^3).

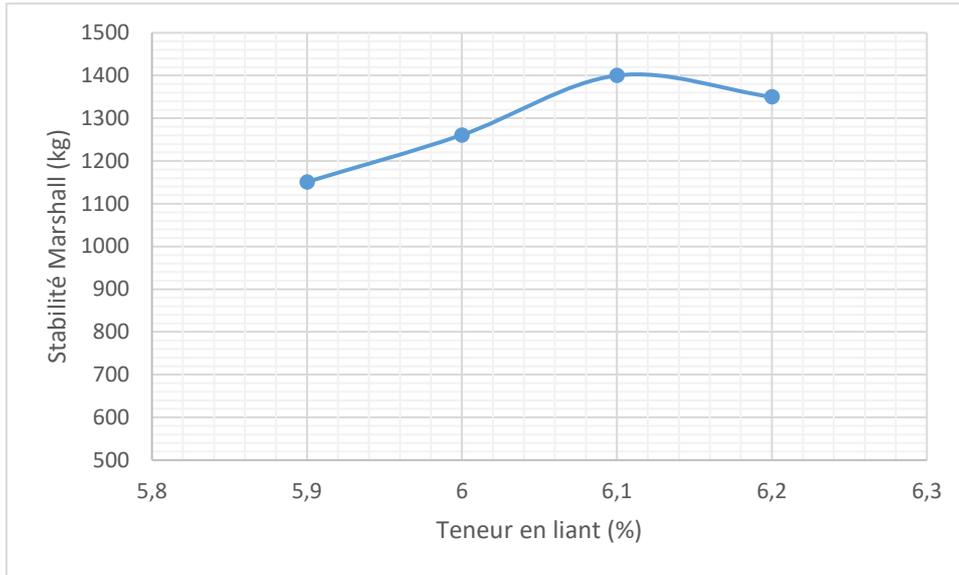


Figure 3 Evolution de la stabilité Marshall selon la teneur en la teneur en bitume

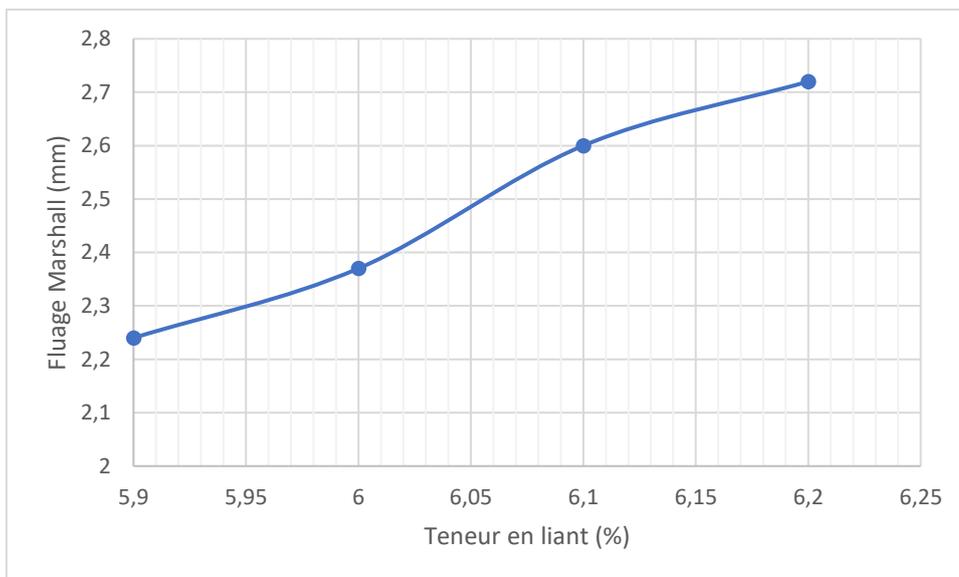


Figure 4 Evolution du fluage Marshall selon la teneur en la teneur en bitume



Figure 5 Evolution du rapport R'c/Rc selon la teneur en bitume

Les figures 3, 4 et 5 montrent respectivement l'évolution de la stabilité Marshall, du fluage et du rapport compression immersion selon la teneur en liant. En effet, elles montrent une augmentation de ces paramètres en fonction de l'augmentation de la teneur en bitume. La stabilité Marshall varie de 1151 à 1350 kg. Le fluage varie de 2,24 à 2,72 mm. L'essai Duriez donne une valeur de R'c/Rc de 0,76. Cependant, l'essai PCG donne un pourcentage de vide de 10,7 % à 80 girations. Par ailleurs, nous notons un problème de compactibilité du mélange. Ceci est dû à l'état de surface du silex qui est très lisse ce qui fait que son adhésion avec le bitume pose problème. En effet, deux techniques ont été utilisées, l'utilisation de dope et l'ajout de filler de basalte.

Une dope d'adhésivité Iterlen 400 de 1‰ à 2 ‰ a été utilisée pour suivre l'évolution de la sensibilité à l'eau (figure 6).

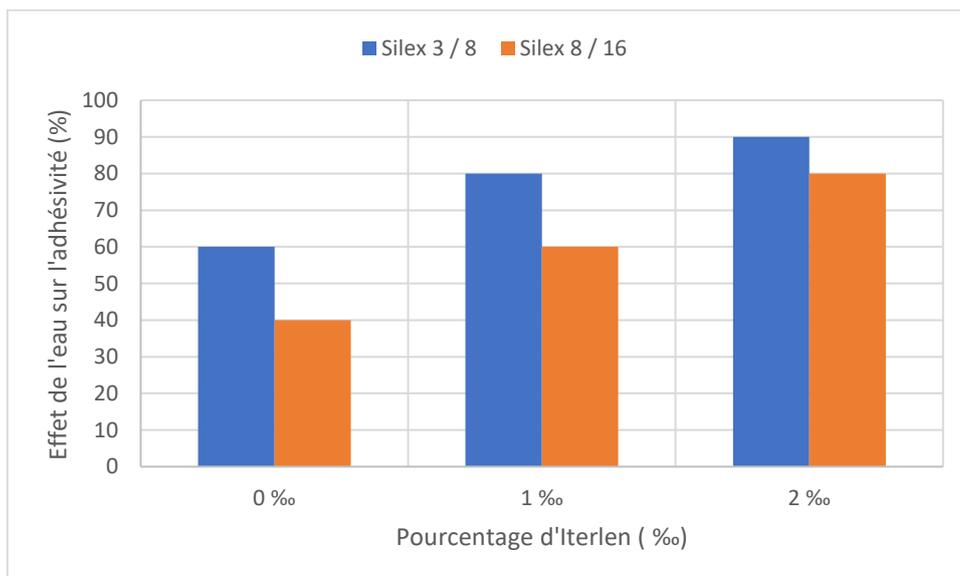


Figure 6 Effet de l'Iterlen sur la tenue à l'eau de l'enrobé

La figure 5 montre que l'ajout d'Iterlen réduit au fur et la mesure la sensibilité à l'eau et augmente l'adhérence silex-bitume. Cette méthode est couteuse pour le reste de l'étude la méthode naturelle est utilisée. Cette technique consiste à l'ajout de fillers de basalte ici 4 % sur le mélange à 6.1 % de bitume afin de faciliter d'adhérence entre le bitume et le silex. Après correction les résultats des essais de caractérisation mécanique Marshall, Duriez et PCG des enrobés bitumineux étudiés sont satisfaisants pour le mélange à base uniquement de silex. Avec l'essai Marshall, les valeurs de stabilité obtenues varient de 1151 à 1350 kg et sont supérieures à la valeur limite minimale recommandée qui est de 1000 kg. Pour le fluage, il varie de 2.72 à 2.24 et reste inférieur au fluage maximum fixé dans les spécifications, qui est égal à 4 mm. La compacité a donné une valeur de 96 % en moyenne et se trouve dans l'intervalle recommandée, qui varie de 94 à 97 %. Pour l'essai PCG, les résultats montrent que l'ajout de fillers de basalte réduit fortement le pourcentage de vide à 80 girations de 10,7 % à 7,83 % et augmente la compacité de 82, 32 % à 92,17 % (figure 7).

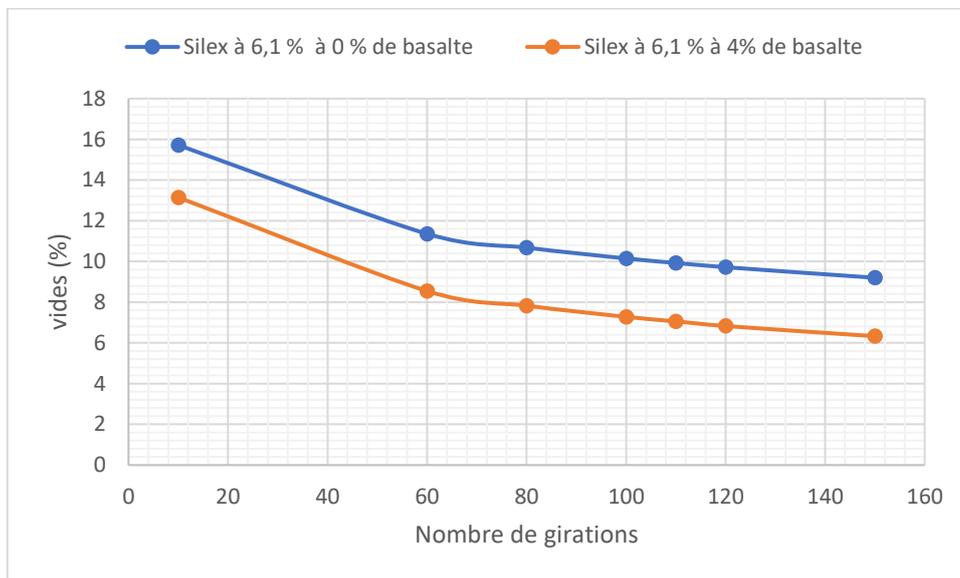


Figure 7. Evolution du pourcentage de vides selon le nombre de girations

Le basalte étant un matériau pulvérulent, constitué à l'interface bitume-silex, un matériau rugueux, facilitant ainsi l'adhérence des deux matériaux. Cependant, pour la durabilité de ce produit il faut mettre la chaussée à l'abris de l'eau pour éviter toute stagnation de celle-ci sur la chaussée.

Conclusion

L'étude de cette formulation à base de rejets miniers montrent que le silex présente de bonnes caractéristiques intrinsèques. Avec une teneur en liant de 6,1 %, les essais Marshall et Duriez sont concluants. L'essai PCG est valide après une correction de l'interface bitume-silex par du 0/3 basalte. L'utilisation du dope donne de bons résultats mais augmente le coût de la formulation. Cette étude montre alors que les rejets miniers de silex peuvent être une alternative au basalte en couche de surface pour les chaussées souples.

Références bibliographiques

BA . M. (2008). - Identification géotechnique de matériaux concassés-types en corps de chaussées et évaluation de leur qualité, Mémoire de DEA en Géosciences à UCAD.

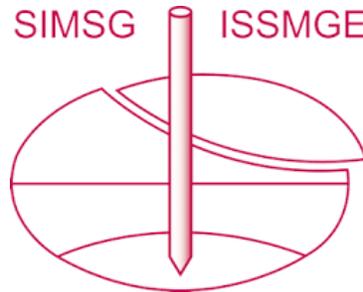
DIEME A. (1991). – « Etudes des performances de béton hydraulique a ciment nouveau (ciment portland a ajouté pouzzolanique C.P) et a granulats de type silexite : Utilisation des produit volcaniques du cap-vert et des déchets d’exploitation de la CSPT comme matériau de substitution ». PFE IST, Univ. CAD (Dakar) –59 pages.

FALL, M. (1993). - “Identification et Caractérisation Mécanique de Graveleux Latéritiques du Sénégal : Application au Domaine Routier,” Thèse de Doctorat INPL, 1993, p. 240.

SIDIBE M. (1995). – « Etude de l’utilisation des granulats de type silexite en géotechnique routière (notamment en couche de base et revêtement des couches de chaussées) » - mémoire, 142 pages.

SOW M. (2021) - Etude de formulation d’un béton bitumineux à base de résidus miniers : cas des granulats de silex de Mboro, mémoire DIC IST, 104 pages.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of the 18th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering and was edited by Abdelmalek Bekkouche. The conference was held from October 6th to October 9th 2024 in Algiers, Algeria.