

Études géotechniques d'un échantillon de sol latéritique prélevé à Mamini (Centre de la Côte d'Ivoire) pour une utilisation comme remblai

Kouassi B. Raoul Ulrich*, Djomo Agré Séraphin, Thieblesson Lydie Marcelle

Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, BP Daloa 150, Côte d'Ivoire

Reçu : 07 Novembre 2024 / Reçu sous sa forme révisée : 16 Avril 2025 / Accepté : 19 Juin 2025

Résumé :

Pour prévenir la dégradation prématurée des ouvrages en génie civil, une connaissance approfondie des matériaux en amont de leur mise en œuvre est indispensable. C'est dans ce cadre que cette étude a été initiée. Elle vise à déterminer les propriétés physiques et mécaniques de la latérite de Mamini, une localité située au centre de la Côte d'Ivoire, en vue de son utilisation optimale dans ouvrages locaux. Les échantillons prélevés dans la carrière ont fait l'objet d'une caractérisation géotechnique complète, incluant : l'analyse granulométrique, les essais de consistance, l'essai Proctor, le test de « California Bearing Ratio » (CBR) et les tests de densité *in situ*. La classification LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) a permis l'identification de ce sol comme étant une grave argileuse (GA) en raison de sa limite de liquidité (w_L) et de son indice de plasticité (w_P) qui sont respectivement de 33% et 16%. L'optimum Proctor est observé pour une densité sèche maximale de $2,14 \text{ t/m}^3$ pour 8,20% d'eau. Enfin, l'indice CBR obtenue avec ce matériau est de 88%. Tous ces résultats indiquent que ce sol peut être utilisé comme remblai et couche de base pour le pavage des routes. Pour étendre ses possibilités d'utilisation, il serait nécessaire d'optimiser sa granulométrie par l'incorporation de sols fins.

Mots-clés : Latérite ; Caractérisation géotechnique ; Remblai ; Côte d'Ivoire.

Abstract:

A thorough understanding of materials before their use is essential to prevent the premature deterioration of civil engineering structures. This study was therefore conducted to determine the physical and mechanical properties of laterite from Mamini, a locality in central Côte d'Ivoire, for its optimal use in local civil engineering works. Samples collected from the quarry underwent a comprehensive geotechnical characterization, including particle size analysis, Atterberg limits tests, the Proctor compaction test, the California Bearing Ratio (CBR) test,

*Auteur correspondant:

Adresse e-mail : kbraoul@yahoo.fr (U.R.B. Kouassi)

<https://doi.org/10.70974/mat09125039>

Cette œuvre est sous licence Creative Commons Attribution 4.0. International.



and *in situ* density measurements. Based on the LCPC (French Road and Bridge Central Laboratory) classification, the soil was identified as a clayey gravel (GA). This classification is supported by its liquid limit (wL) of 33% and plasticity index (PI) of 16%. The Proctor compaction test revealed an optimum at a maximum dry density of 2.14 t/m³ and an optimum moisture content of 8.20%. Finally, the material yielded a California Bearing Ratio (CBR) value of 88%. These results indicate that this soil is suitable for use as embankment fill and as a base course in pavement structures. To further extend its potential applications, its particle size distribution could be optimized by incorporating fine-grained soils.

Keywords: Laterite; Geotechnical characterization; Embankment; Côte d'Ivoire.

1 Introduction

La latérite est un matériau issu d'une altération intense des roches sous-jacentes en conditions tropicales. Elle est couramment utilisée pour la construction routière (remblai, barrage en terre, etc.) [1]. Toutefois, ses propriétés géotechniques sont variables car influencées par le climat, les processus géologiques et le degré de latérisation. Elles sont aussi évolutives à cause de leur friabilité plus ou moins forte [2]. Grâce à sa proximité des chantiers, sa disponibilité et son coût relativement bas, la latérite est fréquemment utilisée dans les Bâtiments et Travaux Publics (BTP). Cependant, toutes les formations latéritiques ne disposent pas de matériaux convenables. C'est le cas par exemple des latérites riches en argile [3]. L'utilisation de la latérite est conditionnée par des spécifications techniques basées sur des essais d'identification (limite de plasticité, compactage, poinçonnement) [4]. Ces spécifications s'expriment à travers des critères précis comme le fuseau granulométrique, l'indice de plasticité, l'optimum Proctor modifié et l'indice de

portance CBR (California Bearing Ratio). Pour garantir la pérennité des infrastructures en latérite, une gestion rigoureuse des matériaux est cruciale. Cela exige non seulement d'actualiser les spécifications des gisements existants, dont les données sont souvent dépassées, mais aussi de mener des études de caractérisation approfondies pour chaque nouveau gisement potentiel. Cette démarche est la clé pour prévenir la détérioration des ouvrages ou l'émergence précoce de défauts.

La présente étude vise à déterminer les caractéristiques géotechniques de la latérite de Mamini en vue d'une utilisation optimale dans les projets de construction.

2 Matériel et méthode

2.1 Matière première

La latérite, matière première de cette étude, est un dépôt ferrugineux caractérisé par sa structure vésiculaire, non stratifiée et

poreuse. Sa couleur jaune ocre caractéristique s'explique par sa haute teneur en fer [5].

Le gisement de latérite étudié est localisé au centre de la Côte d'Ivoire, dans la région du Gbêkê (Fig. 1). Le prélèvement a été effectué sur le site du village de Mamini, qui se trouve dans le département de Bouaké, à 35 km à l'est de la ville et au nord de Brobo, chef-lieu de la sous-préfecture. L'accès au site se fait par la route nationale A8, en prenant la

direction nord depuis le village de Mamini. La période d'utilisation de la latérite dans la région remonte à l'an 1966. A cette époque, ce matériau se présentait comme la meilleure alternative à l'amendement au sable pour la construction des couches de base [6]. Le site de prélèvement retenu, présenté à la figure 2, est situé à une centaine de mètre du village Mamini. Il est dans le plan de lotissement du village et s'étend sur une superficie de 2 ha.



Fig. 1. Carrière latéritique.

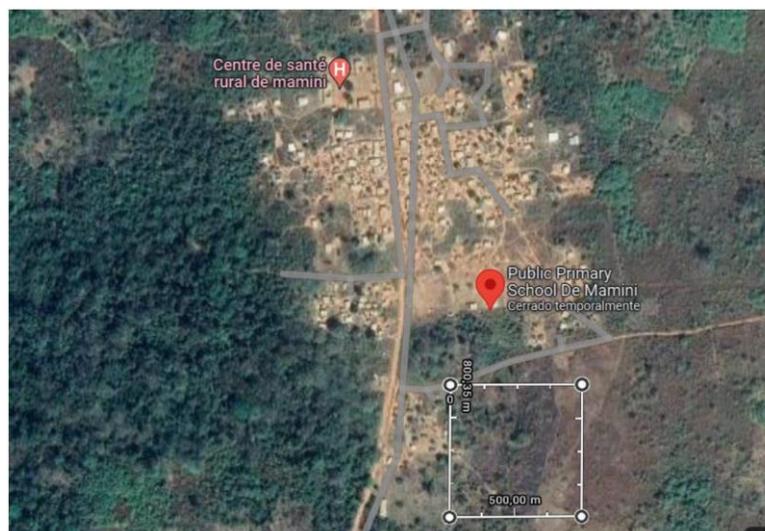


Fig. 2. Localisation du site de prélèvement.

2.2 Méthodologie

2.2.1 Essai d'analyse granulométrique

2.2.1.1 Par tamisage

L'analyse granulométrique est un essai qui permet de connaître la répartition granululaire des sols. L'équipement utilisé se compose d'une colonne de tamis qui repose sur un agitateur mécanique présenté à la figure 3. Les tamis sont emboîtés les uns dans les autres par ordre croissant des ouvertures des mailles. L'échantillon de sol sec est renversé dans le tamis supérieur et l'agitateur permet d'entraîner les particules du sol vers le bas. Les masses des différents refus sont relevées, cumulées et rapportées à la masse initiale du matériau pour obtenir les pourcentages des refus cumulés. Ces résultats sont exploités graphiquement sous la forme d'une courbe granulométrique, qui permet de déterminer les types de particules dominants et la classe granululaire du matériau.

2.2.1.2 Par sédimentométrie

Cet essai consiste à disperser une suspension formée par les particules du sol et à analyser leurs décantations en fonction du temps. Elle s'effectue avec un défloculant en l'occurrence une solution d'hexamétophosphate (HMP) de sodium à 5%. L'opération consiste à mesurer la densité de la suspension à l'aide d'un densimètre (Fig. 4). Les lectures se font à différents temps (10 s, 20 s, 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 20 min, 30 min, 1 h, 1 h 20 min, 2 h, 4 h et 24 h). À l'aide de la loi de Stock [7] qui lie le diamètre des grains à la vitesse de sédimentation, il est

possible de tracer la courbe granulométrique de la fraction fine de l'échantillon.



Fig. 3. Équipement de l'analyse granulométrique.



Fig. 4. Densimètre.

2.2.2 Limites d'Atterberg

Les essais de consistance ont pour but de déterminer les teneurs correspondant aux limites de liquidité (wL) et de plasticité (wP) appelées limites d'Atterberg. Ces limites combinées à l'analyse granulométrique permettent de classer les sols. wL est déterminée à l'aide de l'appareil de Cassagrande (Fig. 5) et wP, grâce à un rouleau de sol de 3 mm de diamètre confectionné à la main.



Fig. 5. Appareil de Cassagrande.

2.2.3 Essai Proctor

L'essai Proctor permet de déterminer la teneur en eau optimale d'un matériau pour obtenir sa densité sèche maximale par compactage [8]. C'est l'un des essais les plus utilisés en géotechnique. Pour une énergie de compactage donnée, l'essai Proctor établit la relation entre la teneur en eau d'un sol (w) et son poids volumique sec (γ_d). Le principe consiste à compacter, avec une énergie standardisée, plusieurs échantillons du même sol préparés à différentes teneurs en eau. Pour chaque échantillon, on mesure le poids volumique sec obtenu. En reportant ces résultats sur un graphique (la courbe Proctor), on identifie le sommet de la courbe, qui correspond au poids volumique sec maximal ($\gamma_{d, \max}$) et à la teneur en eau optimale (w_{opt}).

2.2.4 Essai CBR

L'essai permet de déterminer la capacité de portance d'un sol compacté, en estimant sa résistance au poinçonnement, en fonction de son état, sa densité, son humidité et des charges appliquées. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol sous conditions d'humidité et de densité contrôlées et du niveau de compactage variable. Après avoir compacté le matériau, on lui applique une charge voisine de ce que sera la charge de service. Ensuite, on le poinçonne par un piston tout en mesurant les efforts et déplacements résultants (Fig. 6). Il existe plusieurs types de CBR mais c'est le CBR immédiat qui a été réalisé dans cette étude. Il permet de déterminer l'indice de portance immédiat (IPI), et se réalise juste après le compactage du matériau. Le tableau 1 présente les valeurs de l'indice CBR associées à d'autres critères

granulométriques pour l'utilisation de la latérite dans les couches de la chaussée.



Fig. 6. Appareil de poinçonnement.

2.2.5 Mesure de densité *in-situ*

Cet essai vise à contrôler la compacité et la teneur en eau du matériau directement sur le chantier après sa mise en œuvre. Le principe consiste à déterminer la masse volumique en place en mesurant le volume d'une cavité grâce à un sable étalonné. Le protocole opératoire est le suivant : un trou d'environ 12 à 13 cm de profondeur est creusé dans le matériau compacté, et la matière extraite est immédiatement pesée. Ensuite, ce trou est rempli avec un sable de masse volumique connue, dont une quantité initiale (par exemple, 8000 g) a été pesée au préalable. En pesant le sable restant, on en déduit la masse de sable utilisée pour combler le trou, et donc son volume. La compacité est finalement calculée en rapportant la masse du matériau excavé à ce volume. Un échantillon de 500 g du matériau extrait est prélevé pour en déterminer la teneur en eau. Cette valeur est ensuite indispensable pour calculer les densités humide et sèche du matériau en place.

Tableau 1

Recommandations des sols latéritiques ivoiriens [6].

Valeurs mesurées et seuils	Ip	I _{CBR,95%OPM}	C _{80µm} (%)
Itinéraire J (Moyenne)	23	27	26
Couche de fondation	< 20	> 30	< 20
Couches de base	< 12	> 60	< 15

3 Résultats et discussion

3.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique réalisée sur les échantillons étudiés a donné les pourcentages cumulés des passants qui ont permis de tracer la courbe granulométrique présentée à la figure 7.

3.1.1 Identification du sol

L'analyse de la courbe d'analyse granulométrique indique que le sol étudié est composé de : 18% de particules fines (diamètre inférieur à 80 µm) ; 26% de sable (diamètre compris entre 80 µm et 2 mm) et 56% de grave (diamètre compris entre 2 mm et 63 mm).

Avec une teneur supérieure à 50%, le sol étudié correspond à une grave. Cette grave latéritique pourrait être utilisée pour constituer la couche de fondation ou de base d'une chaussée comme réalisée par Houemavo *et al* [9]. Par ailleurs, la projection de 8% et 92% des passants indiquent que les plus petites particules de ce sol notées « d » ont un diamètre de 0,003 mm et que celui des plus grandes particules notées « D » atteignent 10 mm. La classe granulaire de ce sol serait donc 0/10 confirmant la nature du

sol (grave) selon la norme de référence NF P 18-545. La classification du matériau comme graveleux latéritique est encore confirmée par sa couleur rousse. En effet, Bohi [6] explique que cette teinte caractérise les horizons de surface des sols latéritiques, où le fer est oxydé sous forme ferrique (Fe(OH)₃), par opposition aux horizons profonds, jaunâtres, où domine le fer ferreux (Fe(OH)₂, FeO).

3.1.2 Classification du sol

Les données de la courbe granulométrique permettent de calculer les coefficients de courbures et d'uniformité. Les valeurs obtenues sont respectivement 72 et 5000. Selon le système unifié de classification des sols (USCS), le sol étudié est classé comme une grave mal graduée (GP). Ainsi, sa granulométrie serait discontinue avec la prédominance d'une fraction particulière en l'occurrence, les graves. En outre, le tamis de 80 µm correspondant à 15% (supérieur à 12%) indique que cette grave pourrait être qualifié de polluée. Ainsi, il peut s'agir soit d'une grave argileuse soit d'une grave limoneuse. Les résultats des limites d'Atterberg permettront de déterminer la nature du polluant grâce au diagramme de Cassagrande.

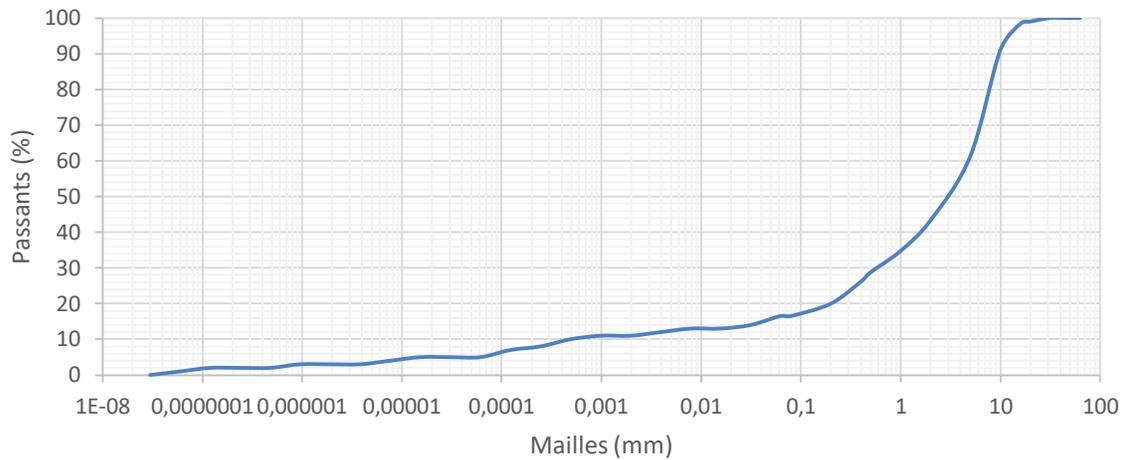


Fig. 7. Courbe d'analyse granulométrique.

3.2 Limite d'Atterberg

Les valeurs moyennes des limites d'Atterberg sont : une limite de liquidité (wL) de 33% et une limite de plasticité (wP) de 17%, ce qui donne un indice de plasticité (IP) de 16%. La projection de ces valeurs dans le diagramme de Cassagrande (Fig. 8) permet de conclure que le polluant de la grave est l'argile. Le sol serait donc une grave argileuse (GA). Ces sols sont communément désignés sous le terme de "graveleux latéritique", une appellation qui reflète leur processus de formation dominé par une altération d'intensité moyenne à forte [10]. Ce type de sol est un matériau de premier choix pour la construction routière en Afrique subsaharienne, où il est largement employé dans les programmes de développement d'infrastructures. En raison de son intérêt économique, il est couramment utilisé pour constituer les couches de fondation et de base des chaussées [6].

3.3 Essai Proctor

Les résultats de l'essai Proctor sont présentés à la figure 9. L'optimum Proctor

est observé pour masse volumique sèche maximale de 2,14 t/m³ pour 8,20% d'eau. Ce paramètre confère au matériau de bonnes caractéristiques de compactage et garantie une bonne portance au sol.

3.4 Indice de portance CBR

La valeur moyenne du CBR obtenue est de 88%. Cette valeur supérieure à 80% indique que le sol constitue une sous couche de haute qualité. Il est donc un matériau apte à être utilisé en couche de fondation (CBR > 30%) et même en couche de base (CBR > 60%) [11]. Toutefois, une analyse comparative de ses propriétés (indice CBR, granulométrie) avec les spécifications ivoiriennes pour les couches de chaussée [6], détaillées dans le tableau 1, montre que son usage optimal serait en couche de base.

3.5 Essai de densité *in-situ*

Les résultats des essais de densité *in situ* réalisés sur le remblai à différents endroits sont consignés dans le tableau 2. Les valeurs des indices de compacité présentées également dans le tableau 2 sont comprises

entre 95,05 et 97,17%. Les résultats obtenus sont conformes aux exigences du CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières), qui spécifie une compacité minimale de 95 % de la référence Proctor. La

compacité satisfaisante du matériau indique une faible perméabilité, une caractéristique essentielle qui les rend aptes à être utilisés en couche de remblai.

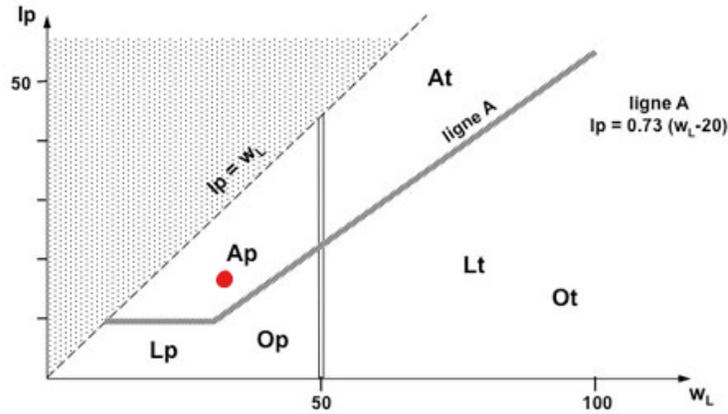


Fig. 8. Diagramme de Casagrande

Ap : Argile peu plastique ; At : Argile très plastique ; Lp : Limon peu plastique ; Lt : limon très plastique ; Op : sol organique peu plastique, Ot : Sol organique très plastique.

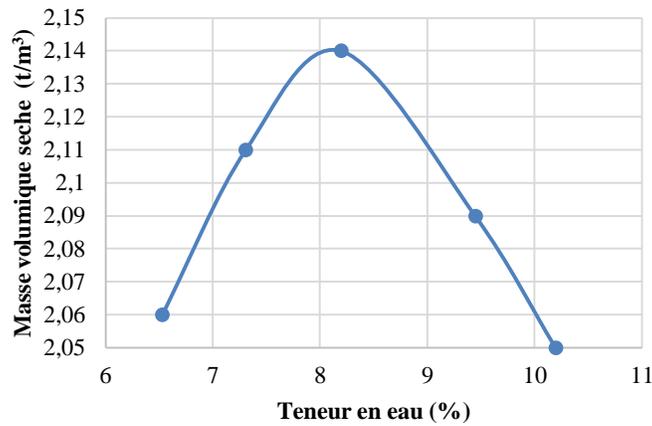


Fig. 9. Courbe Proctor.

Tableau 2

Résultats de l'essai de densité *in situ*.

Teneur en eau (%)	Densité humide	Densité sèche	Proctor de référence	Compacité
12,11	1,89	1,68	1,77	95,48
17,65	2,02	1,72	1,77	97,17
13,64	1,92	1,69	1,77	95,48
13,56	1,93	1,68	1,77	95,05

4 Conclusion

Cette étude visait à déterminer les caractéristiques géotechniques du gisement latéritique de Mamini en vue de son utilisation en construction routière. Pour ce faire, une caractérisation complète a été menée, reposant sur des essais d'identification (analyse granulométrique, limites d'Atterberg) et sur l'évaluation de ses performances mécaniques (essais Proctor, CBR, densité *in situ*). Les investigations ont montré que le sol latéritique de Mamini est un graveleux latéritique de haute qualité. Sa nature sableuse et sa plasticité modérée (IP=16%) sont combinées à d'excellentes caractéristiques mécaniques, notamment une densité sèche maximale de 2,14 t/m³ et un indice de portance CBR exceptionnel de 88%. Ces performances le qualifient sans ambiguïté pour une utilisation en couche de remblai et de fondation dans les projets de construction routière.

Pour garantir une utilisation optimale et durable de ce granulat, des recherches futures devraient se concentrer sur la définition de ses spécifications de mise en œuvre. Ces travaux permettraient de formuler des recommandations techniques précises pour son utilisation en couche de fondation, à destination des projets routiers régionaux.

Références bibliographiques

[1] A. Boustila, Modélisation du champ des contraintes autour d'une excavation souterraine : cas métro d'Alger, Thèse de Doctorat, université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie (2020).

- [2] J.F.N. Bayamack, V.L. Onana, A.T.N. Mvindi, A.N. Zea, H.N. Ohandja, R.M. Eko, *Assessment of the determination of Californian Bearing Ratio of laterites with contrasted geotechnical properties from simple physical parameters*, ELSEVIER - Transportation Geotechnics 19 (2019) 84–95.
- [3] M.S. Issiakou, N. Saiyouri, Y. Anguy, C. Gaborieau, R. Fabre, Etude des matériaux latéritiques utilisés en construction routière au Niger : méthode d'amélioration, Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne, France (2015), fhal-01167576.
<https://hal.science/hal-01167576/document> (consulté le 20/12/2024).
- [4] M.T.M. Mbengue, A.L. Gana, A. Messan, A. Pantet, *Geotechnical and Mechanical Characterization of Lateritic Soil Improved with Crushed Granite*, Civil Engineering Journal 8(5) (2022) 843-862.
- [5] G. Bourgeon, Y. Gunnell, *La latérite de Buchanan*, Etude et gestion des sols 2(2) (2005) 87-100.
- [6] Z.P.B Bohi, Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routières : cas de la région de l'Agnéby (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, France (2008).
- [7] S. Paumier, Facteurs déterminant l'organisation et la rhéologie du système argile-eau pour des suspensions de smectites, Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, France (2007).
- [8] A.A. Assande, Valorisation des latérites de Côte d'Ivoire : fabrication de briquettes de parement à base de latérite

stabilisée à froid à l'aide d'un liant hydraulique : le ciment portland, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire (2007).

- [9] D. Houemavo, T. Ouahbi, Y.T. Kiki, S. Taibi, *Chaussées souples à assise en matériaux latéritiques : Modélisation de la déflexion par la méthode des éléments finis*, Academic Journal of civil engineering 42(1) (2024) 509-518.
- [10] A. Nzabakurikiza, Caractérisation minéralogique, géochimique et géotechnique des granulats et des sols latéritiques nodulaires de l'Est et du Sud camerounais dans l'optique des travaux routiers, Thèse de Doctorat, Université Yaoundé I, Cameroun (2018).
- [11] M. Ndiaye, J. magnan, L. Cissé, A. Mbengue, Caractérisation géotechnique des graveleux latéritiques du Sénégal, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, communication aux Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur – Champs – sur – Marne (2018). <https://www.ifsttar.fr/collections/ActesInteractifs/AII3/pdfs/167421.pdf> (consulté le 20/12/2024).