

Caractérisation géotechnique des graveleux latéritiques du Sénégal

Geotechnical characterization of lateritic gravels of Senegal

Massamba NDIAYE¹, Jean-Pierre MAGNAN², Lamine CISSÉ³, Abdourahmane MBENGUE⁴

¹ École Supérieure Polytechnique (ESP) de Dakar, Sénégal.

² Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), Marne-la-Vallée, France.

³ Agence des travaux et de Gestion des Routes (AGEROUTE), Dakar, Sénégal.

⁴ Technosol Ingénierie, Dakar, Sénégal.

RÉSUMÉ - Cet article analyse les caractéristiques géotechniques des sols latéritiques utilisés actuellement pour la construction des routes au Sénégal. Une grande partie des graveleux latéritiques rencontrés sur le territoire sénégalais ne répondent pas aux spécifications usuellement utilisées au Sénégal, telles que proposées par le « Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) » en 1972 et 1984 et les rendent donc inutilisables à l'état naturel en couches de chaussée. Toutefois, le catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015 définit des spécifications qui rendent acceptables certains matériaux ne respectant pas tous les critères définis par le CEBTP de 1972 et de 1984.

ABSTRACT - This paper analyses the geotechnical characteristics of lateritic soils currently used for road construction in Senegal. A large part of the lateritic gravels encountered in Senegal do not respect the specifications generally used in Senegal, as proposed by the « Experimental Center of Building and Public Works (CEBTP) » in 1972 and 1984, which make them unusable in their natural state in pavement layers. Yet, the “catalogue for pavement design in Senegal” published in 2015 introduces new specifications which make acceptable certain materials which do not respect some of the CEBTP criteria of 1972 and 1984.

1. Introduction

La connaissance de l'état des carrières dans une zone ou un lieu donné joue un rôle important en phase d'étude d'un projet, car le coût de la construction d'une route dépend en grande partie de la disponibilité de matériaux sur le tracé et de leur conformité aux exigences.

L'objet de cette étude est le bilan des caractéristiques des carrières latéritiques du Sénégal en vue de leur utilisation en construction routière.

2. Caractéristiques géotechniques des matériaux étudiés

Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent des résultats d'essai de la thèse de Ndiaye (2013) et du laboratoire Technosol Ingénierie. Elles sont issues de 29 carrières latéritiques de 10 régions du Sénégal et reflètent les propriétés actuelles de ces matériaux sur l'ensemble du territoire sénégalais (figure 1).

Ces prélèvements sont constitués de sols ferrugineux dans la grande majorité du territoire sénégalais (pluviométrie est inférieure à 1 mètre par an et à saison sèche bien marquée) et de sels ferrallitiques dans les zones à climats chauds et humides notamment dans les régions de Ziguinchor et Sédiou.



Figure 1. Répartition des carrières d'où proviennent les graveleux latéritiques étudiés

Le tableau 1 résume les caractéristiques géotechniques des sols étudiés. Ces résultats montrent une grande variabilité des caractéristiques mesurées sur ces matériaux.

Tableau 1. Variations des caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques du Sénégal

	% fines (<0,08 mm)	Limites d'Atterberg		Proctor modifié		I_{CBR} à 95% OPM
		w_L	I_P	ρ_{dOPM} (g/cm ³)	w_{OPM} (%)	
Intervalle de variation	8,80-28,24	17,60-40,92	8,46-22,58	1,91-2,34	5,40-12,70	18-84
Valeur moyenne	16,88	30,72	15,14	2,07	9,28	46
Ecart type	4,82	6,79	3,78	0,13	1,82	16,84

D'après leurs limites d'Atterberg, ces matériaux se situent en général dans le diagramme de Casagrande dans le domaine des moyennes plasticités.

Pour analyser l'influence du compactage sur le comportement plastique de ces sols, les limites d'Atterberg ont été déterminées après le poinçonnement CBR. Les résultats obtenus montrent que les valeurs d'indice de plasticité restent dans le domaine des moyennes plasticités (figure 2).

De même, l'analyse de la variation des valeurs d'indice de plasticité avant et après compactage CBR permet de mieux comprendre le comportement plastique de ces matériaux une fois compactés in situ. L'analyse montre que :

- 84 % des matériaux ont des I_P qui diminuent et
- 16 % des matériaux ont des I_P qui augmentent.

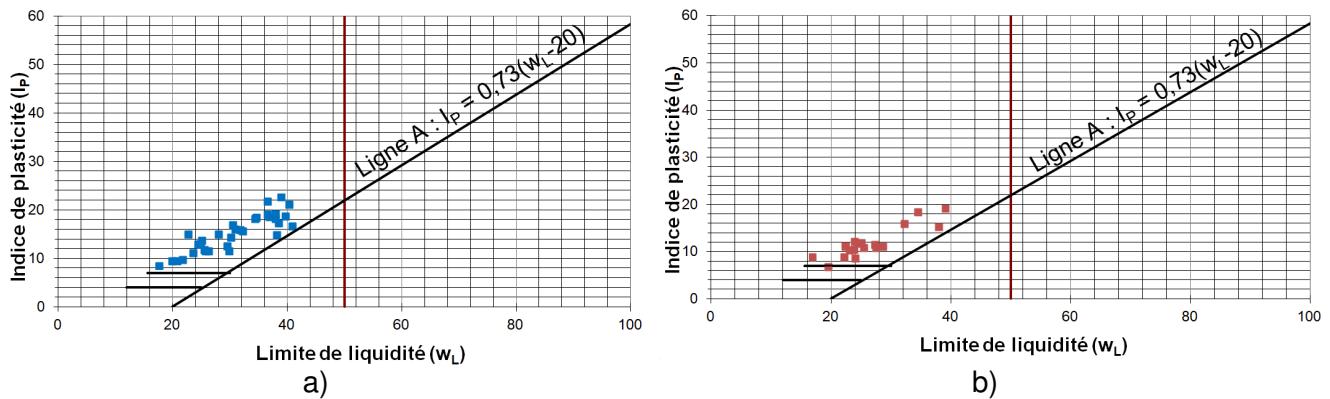


Figure 2. Position des graveleux latéritiques du Sénégal dans le diagramme de plasticité de Casagrande : a) avant compactage CBR ; b) après compactage CBR.

Ces observations montrent l'influence de la minéralogie des fines générées par le compactage sur le comportement plastique de ces sols. Il sera important de prendre en compte cette évolution lors de la révision des guides routiers africains et de poursuivre l'étude pour mieux comprendre le comportement plastique à long terme de ces matériaux sous chaussée.

L'analyse de la matrice de corrélation du tableau 2 montre qu'aucune corrélation significative ne peut être établie entre les paramètres d'identification usuellement utilisés pour la sélection de ces matériaux en technique routière.

Tableau 2. Tableau matrice de corrélation des paramètres d'identification des graveleux latéritiques du Sénégal avant compactage CBR

	% fines (<0,08 mm)	w _L	I _P	ρ_{dOPM}	w _{OPM}	I _{CBR} à 95% OPM
% fines (<0,08 mm)	1					
w _L	0,2489	1				
I _P	0,3423	0,875	1			
ρ_{dOPM}	-0,1799	-0,522	-0,479	1		
w _{OPM}	0,0362	0,615	0,452	-0,725	1	
I _{CBR} à 95% OPM	0,1524	0,277	0,281	-0,24	0,18	1

Il faut noter, par ailleurs, qu'il existe :

- une bonne corrélation ($r = 0,835$) entre les valeurs d'indice de plasticité avant et après compactage CBR (figure 3a) ;
- une bonne corrélation ($r = 0,875$) entre les valeurs d'indice de plasticité et de limite de liquidité avant compactage CBR (figure 3b) et
- une bonne corrélation ($r = 0,725$) entre les valeurs de la teneur en eau optimale (w_{OPM}) et la densité sèche optimale Proctor modifié (ρ_{dOPM}) (figure 4).

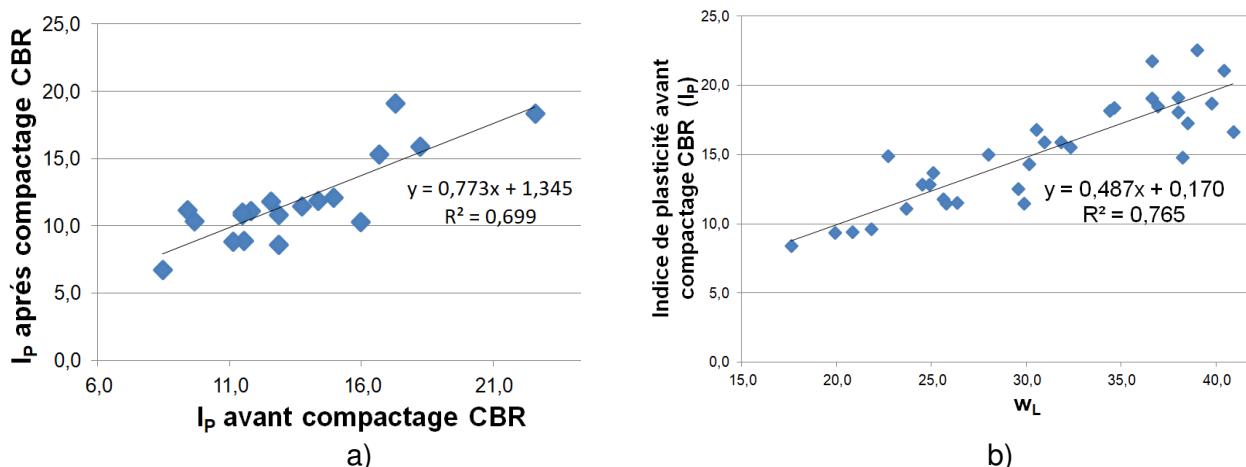


Figure 3. Études de corrélations : a) variation de l'indice de plasticité (I_p) après compactage CBR en fonction de l'indice de plasticité (I_p) avant compactage CBR b) variation de l'indice de plasticité (I_p) avant compactage CBR en fonction de la limite de liquidité (w_L)

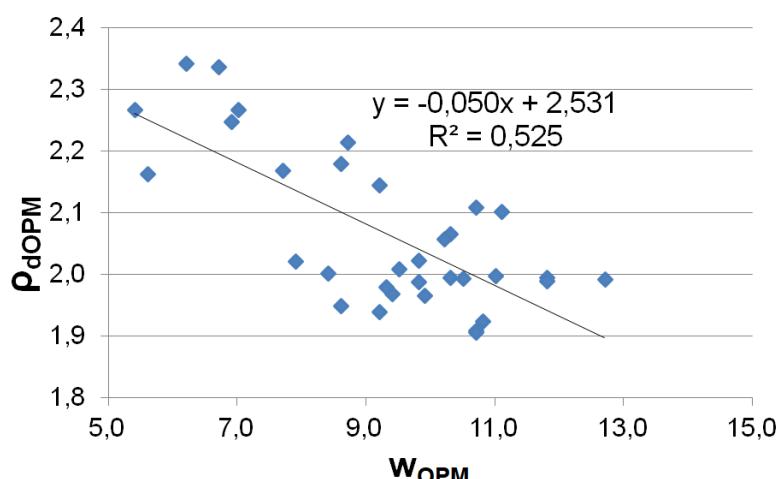


Figure 4. Corrélation entre la teneur en eau optimale (w_{OPM}) et la densité sèche maximale (ρ_{dOPM}) avant compactage CBR

L'histogramme des résistances au poinçonnement montre une large présence de graveleux latéritiques dont les indices CBR sont compris entre 30 et 60 et entre 60 et 80. Les latérites de bonne qualité ($I_{CBR} > 80$) ne sont présentes qu'en petites quantités (figure 5).

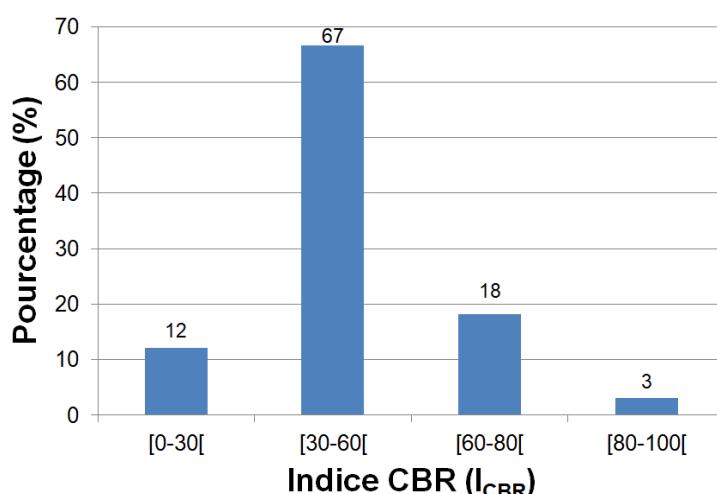
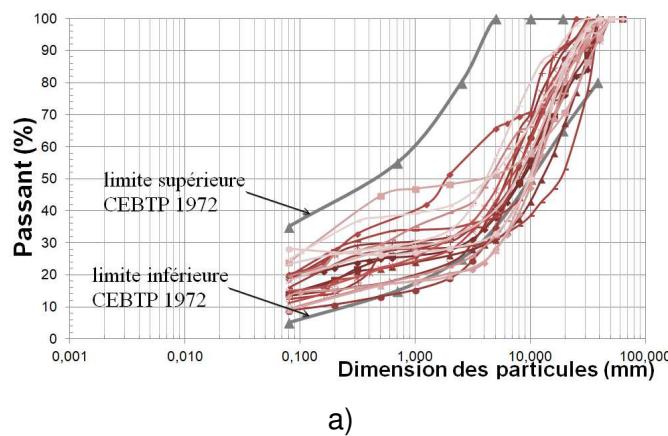


Figure 5. Répartition des valeurs d'indice CBR des graveleux latéritiques du Sénégal

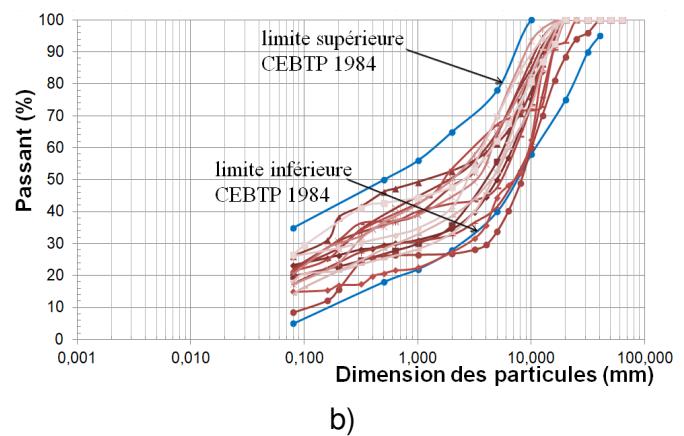
Les figures 10 à 13 montrent la position des courbes granulométriques de ces matériaux sur les fuseaux recommandés par le « Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) » en 1972 et 1984.

L'analyse de ces résultats montre :

- en couche de fondation
 - pour les spécifications de 1972, 36 % des données sortent du fuseau et 64 % des données entrent dans le fuseau (figure 6a) ;
 - pour les spécifications de 1984, 13 % des données sortent du fuseau et 87 % des données entrent dans le fuseau (figure 6b) ;
- en couche de base
 - pour les spécifications de 1972, 57 % des données sortent du fuseau et 43 % des données entrent dans le fuseau (figure 7a) ;
 - pour les spécifications de 1984, 100 % des données sortent du fuseau (figure 7b).

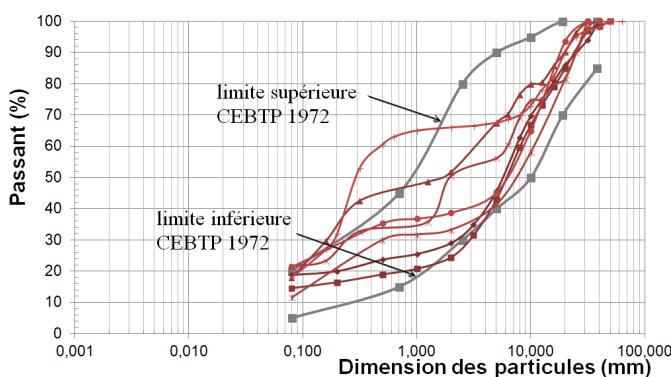


a)

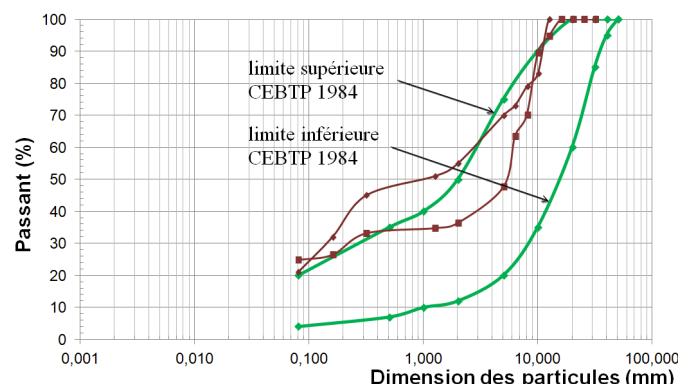


b)

Figure 6. Représentation des courbes granulométriques des graveleux latéritiques du Sénégal pour une utilisation en couche de fondation sur les fuseaux granulométriques a) du CEBTP de 1972 (22 matériaux d'indice I_{CBR} compris entre 30 et 60) ; b) du CEBTP de 1984 (16 matériaux d'indice I_{CBR} compris entre 30 et 60)



a)



b)

Figure 7. Représentation des courbes granulométriques des graveleux latéritiques du Sénégal pour une utilisation en couche de base sur les fuseaux granulométriques a) du CEBTP de 1972 (6 matériaux d'indice I_{CBR} supérieur à 60) ; b) du CEBTP de 1984 (2 matériaux d'indice I_{CBR} supérieur à 60)

La prise en compte des exigences de plasticité du CEBTP (1972 et 1984) pour les matériaux rentrants dans les fuseaux conduit à conclure que :

- en couche de fondation, 100 % des données entrant dans les fuseaux granulométriques sont utilisables en couche de fondation (tableaux 3 et 4) ;
- en couche de base, aucune carrière n'est utilisable à l'état naturel (tableau 5).

Tableau 3. Intervalles de variation des données analysées et seuils des indices de plasticité et indices CBR des spécifications du CEBTP de 1972 pour les couches de fondation

	Indice de plasticité I_p	I_{CBR} à 95% OPM
Intervalle de variation des données	8,46-18,22	31-58
Conditions pour couche de fondation	< 25	> 30

Tableau 4. Intervalles de variation des données analysées et seuils des indices de plasticité et indices CBR des spécifications du CEBTP de 1984 pour les couches de fondation

	Indice de plasticité I_p	I_{CBR} à 95% OPM
Intervalle de variation des données	9,40-18,22	31-59
Conditions pour couche de fondation	< 30 (pour les trafics inférieurs à 10^7) < 20 (pour les trafics supérieurs à 10^7)	> 30

Tableau 5. Intervalles de variation des données analysées et seuils des indices de plasticité et indices CBR des spécifications du CEBTP de 1972 pour les couches de base

	Indice de plasticité I_p	I_{CBR} à 95% OPM
Intervalle de variation des données	15,02-21,79	62-74
Conditions pour couche de base	< 15	> 60 (pour les trafics inférieurs à 10^7) > 80 (pour les trafics supérieurs à 10^7)

Par ailleurs, la représentation des courbes granulométriques des graveleux dont les valeurs d'indice CBR sont supérieures respectivement à 30 (en couche de fondation) et 60 (en couche de base), sur les fuseaux proposés par le catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015 (figures 8 et 9) semble donner des résultats plutôt satisfaisants. Les fuseaux proposés, définis avant compactage, résultent d'une adaptation des règles du CEBTP et tiennent compte de l'expérience locale et de la variabilité des caractéristiques mesurées sur des gisements latéritiques du Sénégal. Ils sont issus respectivement, en partie inférieure et supérieure, des valeurs limites basses des graves non traitées de classe 2 (GNT2) et des valeurs limites basses des graves non traitées de classe 3 (GNT3) définies par la norme française NF EN 13285 avec une adaptation pour la teneur en fines très variable.

L'analyse des résultats montre que :

- en couche de fondation, 18 % des données sortent du fuseau et 82 % des données entrent dans le fuseau (figure 8) ;
- en couche de base, 43 % des données sortent du fuseau et 57 % des données entrent dans le fuseau (figure 9).

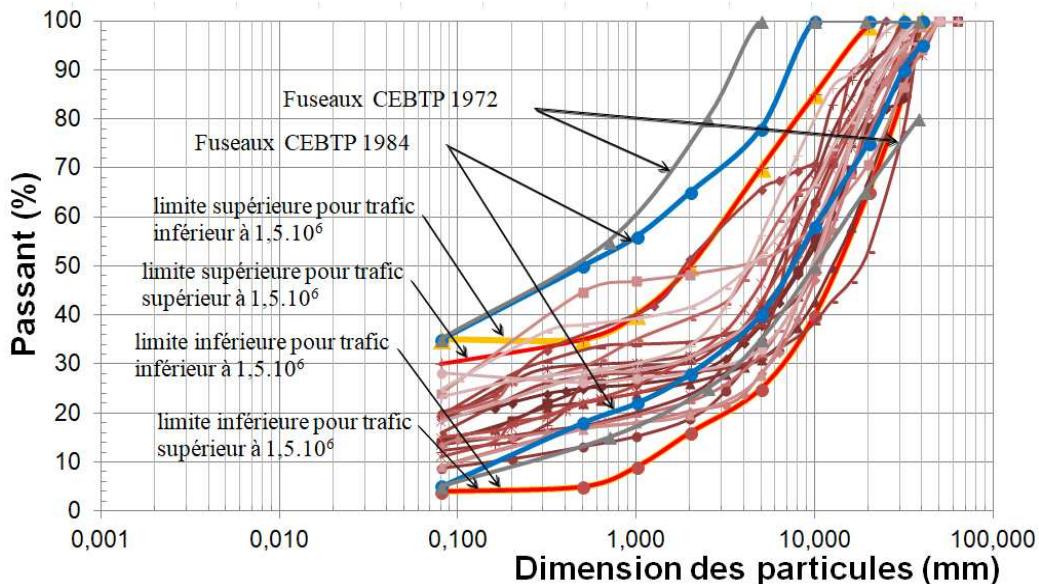


Figure 8. Représentation des courbes granulométriques des graveleux latéritiques du Sénégal sur le fuseau granulométrique du catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015 pour une utilisation en couche de fondation (22 données avec I_{CBR} compris entre 30 et 60)

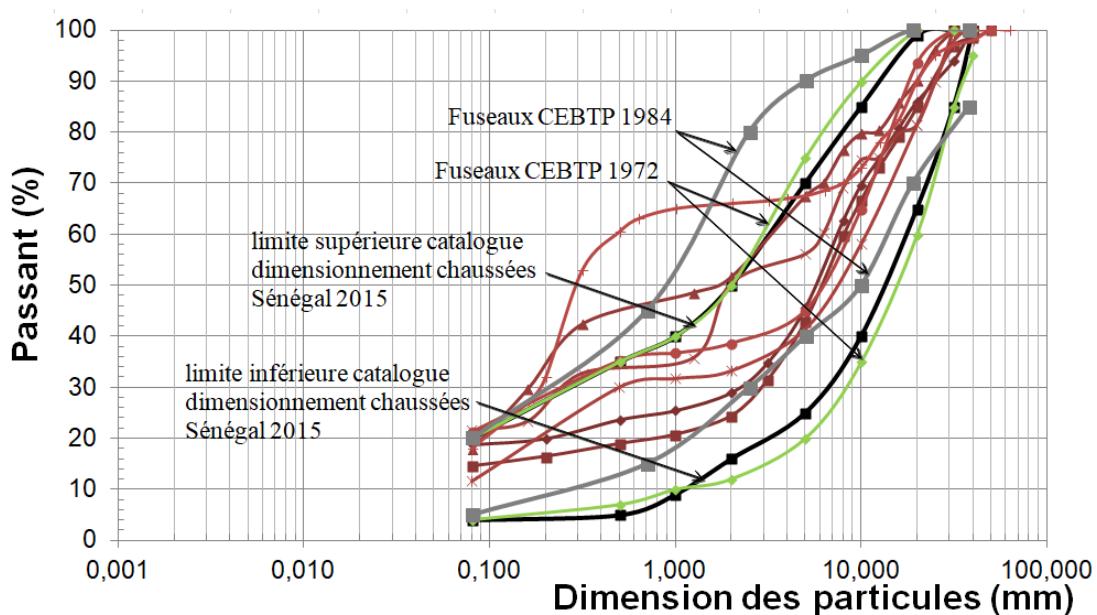


Figure 9. Représentation des courbes granulométriques des graveleux latéritiques du Sénégal sur le fuseau granulométrique du catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015 pour une utilisation en couche de base (7 données de I_{CBR} supérieur à 60)

La prise en compte des exigences de plasticité du catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal sur les matériaux entrant dans les fuseaux conduit à conclure que :

- en couche de fondation
 - 5,6 % des matériaux entrant dans les fuseaux granulométriques ont des valeurs d'indice de plasticité dépassant la valeur seuil de 20 et sont donc uniquement utilisables en couche de fondation pour trafic faible ($N < 10^7$ cycles de chargement) ;
 - 94,4 % des matériaux entrant dans les fuseaux granulométriques sont utilisables en couche de fondation pour trafic lourd ($N > 10^7$ cycles de chargement) (tableau 6) ;
- en couche de base
 - 33,3 % des matériaux sont utilisables en couche de base pour trafic faible ;

- 66,7 % des matériaux ne sont pas utilisables en couche de base à l'état naturel (tableau 7).

Tableau 6. Comparaison des indices de plasticité et CBR avec les valeurs seuils des spécifications du catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015

	Indice de plasticité I_p	I_{CBR} à 95% OPM
Intervalle de variation des données	8,5-21,1	31-59
Conditions pour couche de fondation	< 30 (pour les trafics inférieurs à 10^7) < 20 (pour les trafics supérieurs à 10^7)	> 30

Tableau 7. Comparaison des indices de plasticité et CBR avec les valeurs seuils des spécifications du catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015

	Indice de plasticité I_p	I_{CBR} à 95% OPM
Intervalle de variation des données	14,8-19,1	70-74
Conditions pour couche de base	< 15	> 60 (pour les trafics inférieurs à 10^7) > 80 (pour les trafics supérieurs à 10^7)

3. Conclusions

Cette étude montre qu'une grande partie des carrières de graveleux latéritiques du Sénégal ne répondent pas aux exigences du CEBTP de 1972 et de 1984.

Toutefois, les spécifications du catalogue de dimensionnement des chaussées du Sénégal de 2015 rendent acceptables certains des matériaux ne répondant pas aux critères de sélection des matériaux du CEBTP de 1972 et de 1984.

Ces résultats permettent de rationaliser l'utilisation des graveleux latéritiques en technique routière et devront être pris en compte lors de la future révision des guides du CEBTP notamment celui de 1984 et élargis aux pays présentant des matériaux aux caractéristiques semblables à ceux Sénégal.

4. Remerciements

Les auteurs remercient Technosol Ingénierie pour la mise à leur disposition des données géotechniques des latérites du Sénégal.

5. Références bibliographiques

AGEROUTE-Sénégal (2015). Catalogue de structures de chaussées neuves et guide de dimensionnement des chaussées au Sénégal. 205 pages.

CEBTP (1972). Manuel de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Secrétariat d'État aux affaires étrangères chargé de la coopération, 51 pages.

CEBTP (1984). Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Ministère des relations extérieures - coopération et développement de la république française, 157 pages.

Ndiaye M. (2013). Contribution à l'étude de sols latéritiques du Sénégal et du Brésil. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est et de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 160 pages.

Ndiaye M, Magnan J. P., Cissé I. K., Cissé L. (2014). Effet du compactage sur les courbes granulométriques de sables et graviers latéritiques. XXXIIèmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, Orléans, France, 11 pages.

Norme NF EN 13285. Graves non traitées – Spécifications.