

Liste des symboles et abréviations

CBR : Californian Bearing Ratio
ES : Equivalent de sable
E : module d'Young
IP : Indice de plasticité
 γ_d : masse volumique sèche
MPa : méga Pascal
W_L : Limite de liquidité
W_{opt} : Teneur en eau optimale
W_p : Limite de plasticité
AGEROUTE : Agence des Travaux et de Gestion des Routes
CEBTP : Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics
CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières
CEREEQ : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes pour l'Equipement
HRB : Highway Research Board
LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
MJA : Moyenne Journalière Annuelle
NE : Nombre d'Essieux de référence
N : Nombre de poids lourds
NF : Norme Française
OPT : Optimum
PERA : Programme d'Entretien Routier Autonome
PF2 : Plateforme de type 2
SETRA : Service d'Etudes des Transports, des Routes et leurs Aménagements
SOCETRA : Société Centrale des Travaux
SOGECI : Société de Génie Civil
SOTRAPBAT : Société des Travaux Publics et du Bâtiment
UCAD : Université Cheikh Anta Diop
TTC : toute taxe comprise

RESUME

La construction des infrastructures routières doit être en conformité avec les exigences de qualité, de sécurité et de confort pour l'utilisateur. L'étude des propriétés géotechniques des matériaux à utiliser permet de définir leurs conditions d'utilisation en tenant compte des spécifications du Cahier des charges.

L'objectif de ce mémoire est de déterminer les caractéristiques géotechniques des sols de la plateforme et des graveleux latéritiques utilisés pour la réhabilitation de la piste Sébikotane-Bambilor en une route bitumée.

Les sols de la plateforme appartiennent à la classe A-6 des sols moyennement argileux, d'après la classification HRB. Ces sols ont une portance acceptable avec des valeurs d'indice CBR, à 95 % de l'OPM, supérieures à 20 % et respectivement égales à 28 % et 21 % pour les deux échantillons.

Les graveleux latéritiques de Sébikotane utilisés pour réaliser les couches de forme et de fondation, répondent aux spécifications du CCTP. Ils appartiennent respectivement aux classes A-2-6 et A-2-7 des graviers et sables limoneux ou argileux, d'après la classification HRB. Les valeurs respectives de l'indice CBR, à 95 % de l'OPM, sont de 56 % (supérieure à 30 %) et 68 % (supérieure à 40 %).

Le logiciel Alizé 3 du LCPC a permis de vérifier la structure de la chaussée proposée par le CCTP. La chaussée qui est construite sur une plateforme de type PF2 comprend une couche de forme en graveleux latéritiques de 15 cm, une couche de fondation en graveleux latéritiques de 16 cm, une couche de base en grave-bitume de 8 cm et un revêtement en béton bitumineux de 4 cm. Cette chaussée est bien dimensionnée pour supporter le trafic envisagé T2+ de 300 véhicules lourds par jour, pendant la durée de service de 15 ans.

Mots clés : Sébikotane, Bambilor, graveleux latéritiques, route, dimensionnement, Alizé 3

A decorative frame resembling a scroll, with a green outline and grey circular accents at the corners and ends of the scroll, containing the title text.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'accroissement démographique et le développement économique du Sénégal ont entraîné une évolution considérable de son réseau routier. Cette évolution se traduit par la construction de nouvelles routes et autoroutes mais aussi par la réhabilitation de plusieurs routes dégradées.

L'exécution de tous ces travaux nécessite des quantités importantes de matériaux routiers de qualité dont les caractéristiques géotechniques doivent être conformes aux spécifications, il en est de même pour les sols de plateforme dont les caractéristiques géotechniques doivent être conformes aux exigences des Cahiers des Clauses et Prescriptions Techniques (CCPT) surtout en ce qui concerne la portance. Les graveleux latéritiques sont très utilisés au Sénégal du fait de leur disponibilité. Mais leur caractère hétérogène rend difficile la prévision de leur comportement. Il est donc important de bien évaluer leurs propriétés avec des essais normalisés de laboratoire et de définir leurs conditions d'utilisation sur les chantiers.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent mémoire de Master 2 de Géosciences dont le sujet, qui a été défini conjointement par l'AGEROUTE et le Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD, s'intitule : « **Études techniques du projet de réhabilitation de la route Sébikotane-Bambilor dans la région de Dakar** ».

Le mémoire se compose de trois chapitres :

- le premier chapitre se rapporte à la présentation du projet de réhabilitation de la route Sébikotane-Bambilor ;
- le deuxième chapitre présente les résultats de la caractérisation géotechnique des sols de la plateforme et des graveleux latéritiques de Sébikotane ;
- le troisième chapitre présente les résultats du dimensionnement de la structure de chaussée routière Sébikotane-Bambilor avec le logiciel Alizé 3 du LCPC.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des recommandations.

A decorative frame resembling a scroll, with a green outline and grey circular accents at the corners and ends of the horizontal bars.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU PROJET

INTRODUCTION

Dans le cadre du Programme d'Entretien Routier Autonome (PERA), l'État sénégalais prévoit d'améliorer le niveau de service du réseau routier classé en augmentant le pourcentage des routes en bon et moyen état. C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet de réhabilitation de la piste Sébikotane-Bambilor en route bitumée et l'entretien de 70 km de pistes connexes.

1.1.Caractéristiques du projet

❖ Composantes du projet

Le projet comprend les composantes suivantes :

- bitumage de l'axe Sébikotane-Bambilor (9,5 km) et de la boucle de Deny Birame Ndao (9km) ;
- entretien de 70 km de pistes entre Sébikotane et Bambilor :
 - Deny Birame Ndao Nord-Kagnak ;
 - Deny Birame Ndao Sud-Niaga ;
 - Niaga-Deny Birame Ndao Nord ;
 - Bambilor-Lac Rose-Niaga ;
 - Ndoukhoura Ouolof-Yen Todé ;
 - Noflaye-Sébikotane ;
 - Sébikotane-Koutane Sérère-Yeba ;
 - Keur Ndiaye Lo-Sébiponty.

❖ Financement

Le coût total du projet est de 3 241 039 940 FCFA TTC. Il est financé par l'État du Sénégal.

❖ Intervenants

Entreprise exécutante : Groupement SOTRAPBAT / SOGECI

Mission d'Assistance Technique : CEREEQ.

❖ Objectifs du projet

- Contribuer au renforcement de la compétitivité du Sénégal ;
- améliorer les performances du transport routier en réduisant leur coût et leur durée ;
- favoriser le désenclavement des localités en améliorant la mobilité des personnes et des biens ;

- assurer un meilleur accès aux équipements sociaux ;
- réduire la pauvreté par la mise en place d'infrastructures de qualité ;
- améliorer et renforcer les infrastructures routières.

1.2. Cadre géographique du projet

L'étude entreprise dans le cadre de ce mémoire de Master 2 de Géosciences se limite au tronçon Sébikotane-Bambilor. Ce tronçon à réhabiliter relie la ville de Sébikotane et celle de Bambilor distantes de 9,5 km (figure 1).

Sébikotane et Bambilor sont des communes du département de Rufisque, dans la région administrative de Dakar. Ces deux communes couvrent 69,7 km² et leur population cumulée est estimée en 2020 à 88 460 habitants (www.ansd.sn, 2020).

Rufisque possède un climat désertique (bwh) selon la classification de Koppen Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Rufisque est de 24,3° C et les précipitations sont en moyenne de 537,7mm. (www.ansd.sn, 2020).

Le département de Rufisque a connu dans le passé relativement récent, une prospérité économique facteur essentiel de l'urbanisation et de la diversité des activités et services. Aujourd'hui, l'économie urbaine est fortement dominée par le secteur informel, notamment le commerce et divers autres petits services (modestes étalages de restauration, ateliers de couture, mécanique, etc.). La proximité du centre-ville de Dakar confère au territoire rufisquois une position stratégique de carrefour national. C'est une zone de passage obligatoire pour tous les flux terrestres (personnes et de biens), entre Dakar et le reste du pays, et même de la région Ouest africaine.

Le département de Rufisque est le seul territoire de la région de Dakar où l'on trouve de vastes réserves foncières, notamment dans les espaces périurbains correspondant aux communes de Sébikotane, aux communautés rurales de Bambilor, etc... ; des greniers agricoles (divers fruits et légumes tropicaux) et pastoraux (production de lait et de viande), des grands centres urbains de la région de Dakar. On dénombre plusieurs citées bien aménagées qui servent de domiciles ou tout simplement de résidences secondaires de certaines catégories de populations (familles aisées) venus des zones urbaines voisines.

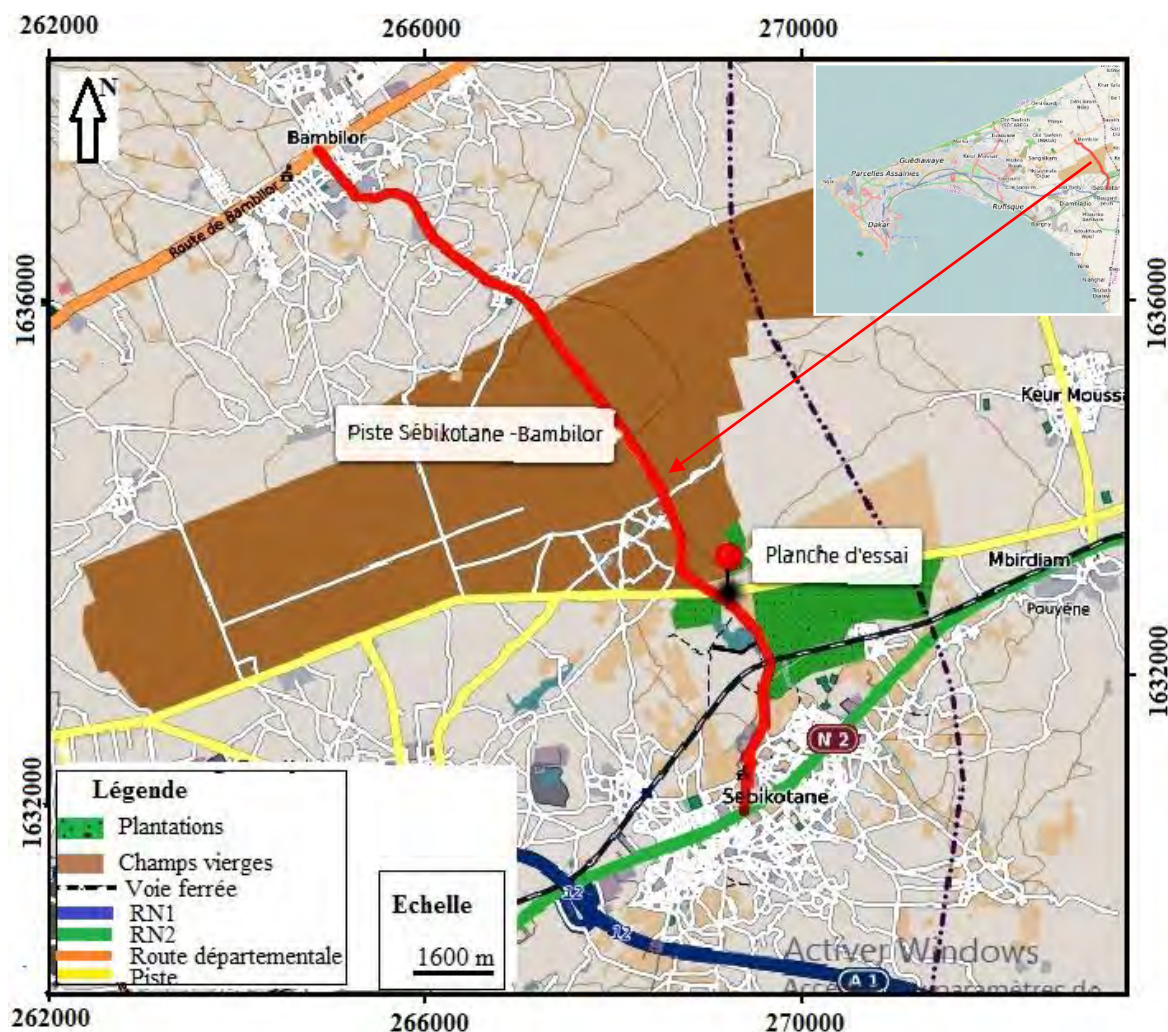


Figure 1 : Localisation du tronçon Sébikotane – Bambilor (umap.com, 2018 ; modifiée)

1.3. Contexte géologique du cap Vert

La géologie du site est étroitement liée à celle de la presqu'île du Cap Vert et du Horst de Diass. Cette géologie peut être résumée ainsi qu'il suit.

1.3.1. Formations sédimentaires

1.3.1.1. Crétacé supérieur

Les terrains les plus anciens à l'affleurement sont localisés dans le Horst de Diass où ils ont été attribués au Campanien (Formation de Paki) et au Maastrichtien. Le Maastrichtien, représenté par la Formation du Cap de Naze, affleure également dans les falaises du Cap de Naze et du Cap Rouge. Ces deux Formations forment le Groupe de Diass.

➤ Campanien

Il est représenté par la Formation de Paki qui correspond à des grès et argiles. Les dépôts argilo-sableux formant l'unité lithostratigraphique 1 de la falaise du Cap de Naze initialement datés

au Maastrichtien par Tessier (1954a) sont maintenant attribués au Campanien par Khatib et *al* (1990), Sow (1992) et Sarr (1995).

➤ **Maastrichtien**

Le Horst de Diass se présente au Maastrichtien sous trois faciès principaux, de bas en haut : une série sableuse azoïque, une série grésocalcaire organogène et un ensemble d'argiles et de marnes surmonté de grés argileux. Le Maastrichtien affleure aussi au Cap de Naze avec les unités lithostratigraphiques 2 et 3 au Cap Rouge et à Toubab Dialaw (Martin, 1970, *in* Thiam, 2016).

1.3.1.2. Tertiaire

➤ **Paléocène**

Le Paléocène correspond à un ensemble de calcaires blancs, jaunes ou roux, très riches en coquilles, lapiazés en surface. Dans la région de Thiès, le toit du Paléocène correspond à la discordance de ravinement de l'Eocène inférieur sur les calcaires coquilliers karstifiés (Diop, 1982, *in* Thiam, 2016).

○ **Danien**

Il est représenté dans le Horst de Diass par la Formation de Ndayane. Cette formation comprend des calcaires gréseux coquilliers et une alternance de marno-calcaires coiffée par des marnes à rosettes de calcite. Il affleure également à Dakar et correspond à la Formation des Madeleines.

○ **Sélandien et Thanétien**

La région de Dakar est restée en domaine de bassin océanique ouvert avec une sédimentation argileuse durant le Sélando-Thanétien.

Le Thanétien affleure à Dakar et dans le Horst de Diass, et forme le toit du Groupe du Cap Vert. À la tête de la presqu'île du Cap-Vert, les dépôts du Thanétien ont un faciès argileux. Ces dépôts sont attribués à la Formation de l'Hôpital.

La Formation de Popenguine, dans la région de Thiès, correspond à des calcaires coquilliers des anciens auteurs (Tessier, 1952), et affleure dans le marigot de Pantiar, à Popenguine, Pout, Bandia, Mbour et dans le marigot de Tiémassas (au Sud de Nianing). La plate-forme carbonatée émerge à l'Est du Cap Vert à la fin du Thanétien et favorise la karstification des calcaires qui constituent un important aquifère dans la région de Thiès.

Le Paléocène se termine par des mouvements tectoniques importants qui provoquent le soulèvement des Horsts de Diass, de Dakar et de la zone haute de Mbour.

➤ **Eocène**

○ **Eocène inférieur ou Yprésien**

Le bassin a été totalement repris par la mer à cet étage, ce qui favorise le dépôt d'une série à dominante argileuse. La presque île de Dakar reste en domaine océanique.

L'Yprésien affleure à Dakar dans la Formation de Reubeuss constituée d'argiles feuilletées. Les affleurements de Rufisque-Bargny, du Horst de Diass et de la région de Thiès appartiennent à la Formation de Thiès qui s'est déposée sur une plate-forme externe. Cette formation comprend cinq membres (Roger et *al.*, 2009) :

- le *Membre de Yène* : il correspond à une calcarénite phosphatée, glauconieuse et silicifiée affleurant dans les marigots de Pantior, de Baling, de Tiémassas et dans le diatrème du Cap de Naze ;
- le *Membre de Tiémassas* : il est constitué d'argiles feuilletées blanches à attapulgites et horizons silicifiés, Il affleure à Tiémassas et Rof (Sud de Mbour) et au pied de la falaise de Thiès. Il repose sur le Membre de Yène ;
- le *Membre de Pointe Sarène* : il correspond à un banc peu épais (1 m) de calcaires silicifiés phosphatés qui vient entrecouper la série argilo-marneuse. Il affleure à Pointe Sarène (Sud de Mbour). À Sébikotane, Tessier (1954b) cite la présence de ce banc, sur 40 à 50 m au-dessus du toit du Paléocène ;
- le *Membre du Ravin des Voleurs* : il correspond à des marnes feuilletées blanches à attapulgites entrecoupées de fins lits de calcaires en plaquette. Il affleure au pied de la falaise de Thiès ;
- le *Membre de Ngazobil* : il correspond à une alternance de marnes et de calcaires noduleux. Les marnes basales à attapulgites passent vers le haut à des calcaires noduleux très bioclastiques avant d'être ravinées et surmontées par des marnes. Il affleure au pied de la falaise de Thiès et de Ngazobil.

○ **Eocène moyen (Lutétien et Bartonien)**

La presque île de Dakar est restée dominée au Lutétien par une sédimentation marine profonde et subsidente. Dans la région de Bargny, les dépôts marno-calcaires témoignent d'un domaine plus ouvert de plate-forme externe. Au Bartonien, la sédimentation marneuse de domaine

océanique persiste à Dakar où se dépose la base des « argiles de Yoff » discordantes sur l'Yprésien (Roger et *al.*, 2009).

L'Eocène moyen affleure dans le Cap Vert et la région de Thiès où il forme le toit du Groupe de Mboro. Il correspond à Dakar à la Formation de la Poudrière qui est composée de calcaires argileux et de marno-calcaires de l'Anse Bernard, de marnes jaunes et d'argiles de la Poudrière. Le Lutétien correspond, dans le secteur de Rufisque-Bargny, à la Formation de Bargny qui comprend le *Membre du Cap des Biches* (alternance de marno-calcaires à horizons phosphatés silicifiés de l'Yprésien terminal au Lutétien basal) à la base et le *Membre de Rufisque* (alternance de marno-calcaires riches en foraminifères et ostracodes) au sommet.

Dans la région de Thiès, le Lutétien est représenté par la Formation de Lam-Lam (marnes ocres jaunes et calcaires) surmontée par la Formation de Taïba (calcaires et marnes phosphatées à nummulites surmontés de phosphates à silex et d'argiles bariolées).

- **Eocène supérieur**

La mer se retire pendant l'Eocène supérieur mais persiste à Dakar et sur le Plateau de Thiès. L'Eocène supérieur correspond à Dakar à la majeure partie des « argiles de Yoff » (Roger et *al.*, 2009).

- **Oligocène**

L'Oligocène est rare au Sénégal. Il est représenté à Dakar par des calcaires à lépidocyclines en blocs emballés dans les tufs volcaniques de l'Anse Bernard. Dans le plateau de Thiès, l'Oligocène correspond aux phosphates d'alumine altérés de Lam-Lam.

- **Miocène**

Au Miocène, le bassin évolue en régime continental. L'ensemble volcanique du Cap Manuel et de Gorée se met en place.

- **Pliocène**

Le Pliocène correspond à Dakar à la cuirasse ferrugineuse observée au sommet des coulées basaltiques du Cap Manuel.

1.3.1.3. Quaternaire

- **Pléistocène**

Le Pléistocène est représenté à Dakar par (Roger et *al.*, 2009) :

- des calcaires coquilliers retrouvés notamment au virage de Yoff où ils recouvrent une coulée de dolérite altérée du volcanisme des Mamelles ;
- des sables argileux localement graveleux à concrétions de calcaires affleurant sur la pointe de la presqu'île du Cap Vert ;
- des sables qui recouvrent la cuirasse ferrugineuse à Dakar-Plateau ;
- des sables rubéfiés des ergs ogoliens qui correspondent aux ergs de Sangalkam, de Pikine, de KeurMassar.

➤ **Holocène (Récant)**

Les faciès marins sont littoraux, le plus souvent de type lagunaire. L'Holocène est représenté à Dakar par (Roger et *al.*, 2009):

- des sables humifères correspondant aux sols noirs riches en matières organiques d'origine végétale des Niayes ;
- des terrasses de sables coquilliers issues partiellement du remaniement des sables dunaires de Thiaroye et Pikine ;
- des cordons à galets et coquilles retrouvés aux Almadies, à la pointe de Fann et au Cap Manuel ;
- des dunes jaunes formant un cordon littoral s'étendant de Cambérène à Saint-Louis, qui se sont édifiées au Tafolien (4200 à 2000 ans BP) ;
- des dunes blanches du littoral actuel.

Le log stratigraphique synthétique de la tête de la presqu'île du Cap-Vert est représenté par la figure 2.

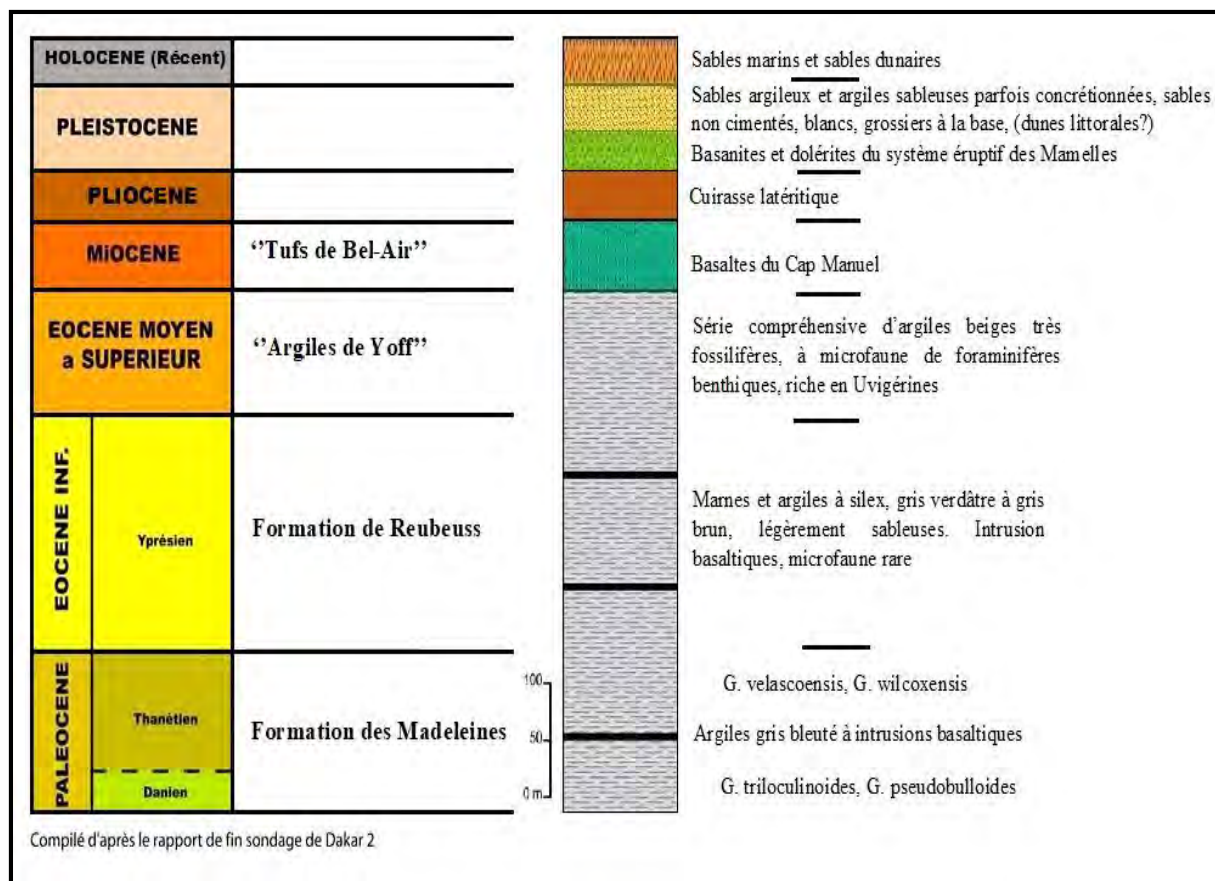


Figure 2 : Colonne stratigraphique synthétique de la tête de la presqu'île du Cap Vert (Roger et *al.*, 2009, modifiée)

1.3.2. Unités volcaniques

La presqu'île du Cap-Vert a subi d'importantes activités volcaniques à la l'Eocène (Miocène) et au Pléistocène (Figure2).

Deux ensembles volcaniques peuvent être distingués (Roger et *al.*, 2009) :

Le volcanisme de l'Oligo-Miocène : il se rencontre sous forme de petits affleurements disséminés dans toute la région du Cap Vert et du Horst de Diass (Diack, Bandia, Théo, Keur Mamour, Lam-Lam, Ravin des Voleurs). Il s'agit essentiellement de produits effusifs (coulées, lacs de laves), de produits intrusifs (sills et dykes) et de produits explosifs (tufs et brèches). Il se présente à Dakar sous forme de coulées de basanites et de néphélinites (Cap Manuel, Gorée, île des Madeleines, Pointe de Fann), en sills (Anse des Madeleines) et en tufs (Bel Air et Cap Manuel). Dans le Dôme de Diass, cet ensemble volcanique se présente en coulées de basanites à Seune Sérère, en filons au Cap de Naze et en brèches associées aux failles à Toubab Dialaw.

Le volcanisme du Pléistocène : il est représenté par les coulées de Fann qui recouvrent la cuirasse latéritique développée sur les coulées basanitiques de l'Oligo-Miocène de Fann, les

coulées de hawaïtes à texture doléritique de la plage Ouakam et de Mermoz, les tufs lités et les coulées de basanite et dolérite du volcan des Mamelles qui surmontent les sables aquifères du Pléistocène.

1.4. Contexe géologique de l’emprunt de Sébikotane

L’emprunt de Sébikotane est une partie intégrante du Bassin sénégal-mauritanien. Ce bassin, vaste de 340 000 km², résulte de la séparation au Jurassique de l’Afrique et de l’Amérique du Nord. Il couvre les $\frac{3}{4}$ de la superficie du Sénégal et s’étend sur près de 1400 km du Cap Barbas (Mauritanie) au Cap Roxo (Guinée). Le bassin est d’âge Méso-Cénozoïque. Il est constitué de terrains de faible pendage ouest qui reposent sur un substratum d’âge Précambrien à Paléozoïque affleurant sur sa bordure orientale et sud orientale (Sarr, 1995).

L’emprunt de Sébikotane appartient particulièrement au Horst de Ndiass (Samb, 2014). Le massif de Ndiass est un anticlinal dissymétrique à cœur de grès quartzites du Campanien supérieur et porteur d’épaisses cuirasses ferrugineuses développées sur des grès du Maastrichtien (Diop, 1996). Le dôme de Ndiass est bordé à l’Ouest comme à l’Est par deux zones basses : Yenne, Tode, Sébikotane, Lac Tanma à l’Ouest, et marigot de Pout, vallée de la Somone, à l’Est. Il est affecté par une importante fracturation de direction NS à NNE –SW. Il est séparé du plateau de Thiès par une dépression allant du Lac Tanma à la rivière Somone (figure 3).

Au Maastrichtien, la sédimentation était essentiellement détritique siliceuse. A l’Est du dôme, il s’agit des sables aquifères du Sénégal qui passent latéralement à de puissantes séries argilo-sableuses (plus de 2000m à Sangalkam) extrêmement fossilifères à l’Ouest (Castelain, 1965). Sur le dôme de Ndiass, le sommet du Maastrichtien contient des particules de glauconie, des coprolithes phosphatés et des oolithes ferrugineux. Au Paléocène, la sédimentation était entièrement chimique et biochimique avec une prédominance de dépôts argilo-marneux et calcaires.

Trois systèmes cuirassés couvrent le massif de Ndiass. Le plus élevé dans le paysage n’est relativement bien conservé qu’au centre du massif. Il est daté du Pliocène. Les deux autres sont gréso-ferrugineux et datés respectivement du Plio-Pléistocène ancien et du Pléistocène moyen.

Selon Fall (1993), l’emprunt de Sébikotane appartient à la famille de cuirasses ferralitiques sur marno-calcaires à marnes de l’Eocène. La roche mère est constituée par des marnes ou des phosphates de chaux.

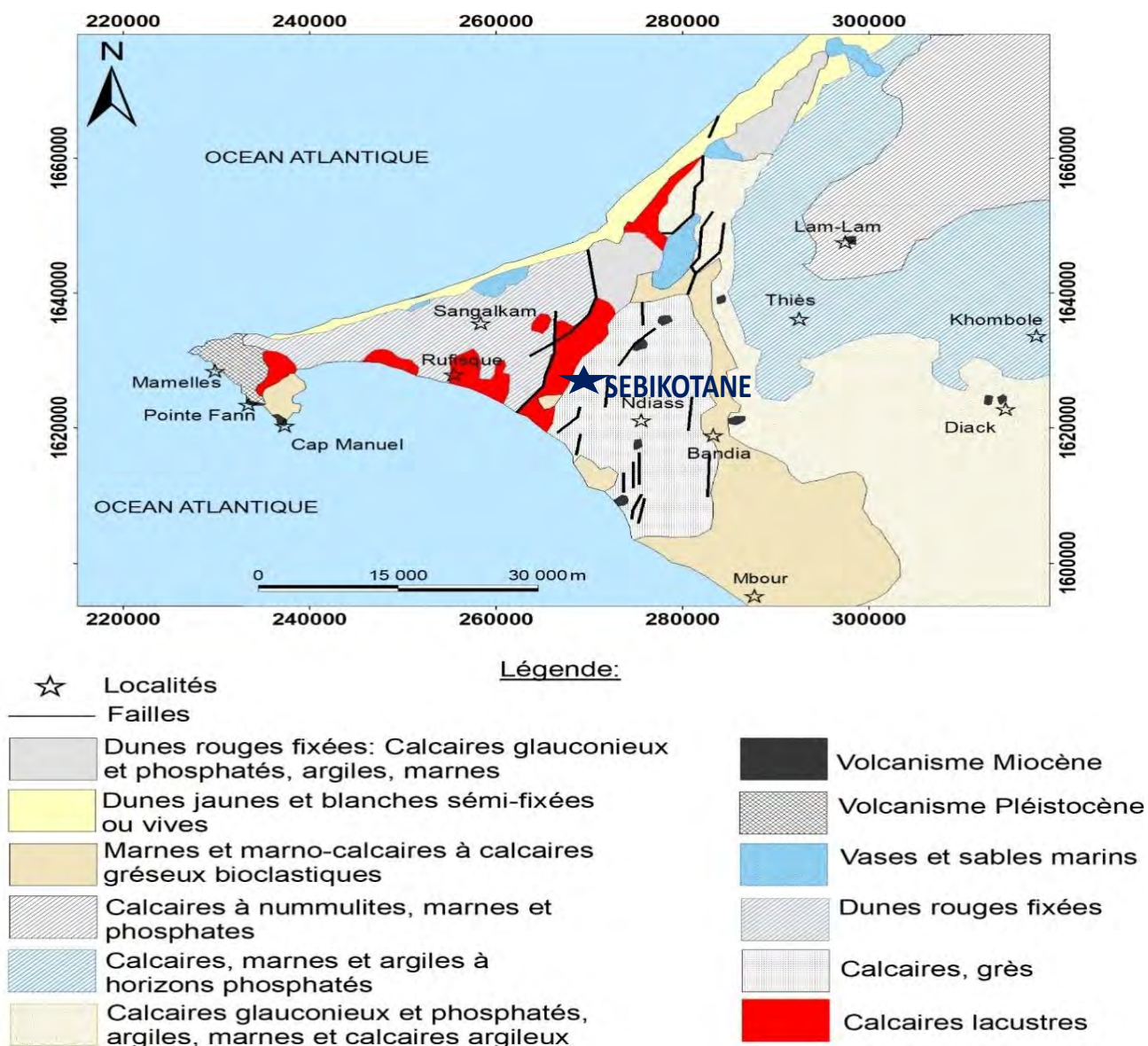


Figure 3 : Carte géologique du Sénégal Occidental et localisation de l'emprunt de Sébikotane (Roger *et al.*, 2009)

1.5. Méthodologie

Les différentes étapes de l'étude sont les suivantes :

➤ Echantillonnage

Pour les graveleux latéritiques, l'échantillonnage a été effectué sur le site de construction de la route. Le prélèvement s'est fait sur l'approvisionnement des couches de forme et de fondation en graveleux latéritiques naturels. Pour une meilleure représentativité du matériau, quatre prélèvements ont été effectués en surface (figure 4).

Les échantillons de graveleux latéritiques ont été ensuite mélangés au laboratoire avant l'exécution des essais.



Figure 4 : Campagne d'échantillonnage

➤ **Programme d'essais**

Cette étape comprend les essais de détermination des propriétés géotechniques des matériaux étudiés.



Les essais exécutés sur les échantillons de sols de la plateforme et de graveleux latéritiques de Sébikotane sont : l'analyse granulométrique, la détermination des limites d'Atterberg, l'essai Proctor Modifié et l'essai de portance CBR. Les essais ont été effectués au laboratoire de géotechnique de l'entreprise SOTRAPBAT installé à Gorom 2.

➤ **Analyse et interprétation des résultats**

Les résultats obtenus à l'issue des différents essais effectués sur les échantillons de matériaux sont ensuite analysés puis interprétés conformément aux spécifications en vigueur.

Conclusion partielle

Le projet de réhabilitation de la piste Sébikotane-Bambilor est d'une importance capitale car la nouvelle route bitumée permettra de désenclaver plusieurs villages de cette zone à vocation agricole, en particulier dans le but d'assurer à tous l'accès aux services sociaux de base.



CHAPITRE 2

CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS DE LA PLATEFORME ET DES GRAVULEUX LATERITIQUES DE SEBIKOTANE

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS DE LA PLATEFORME ET DES GRAVELEUX LATERITIQUES DE SEBIKOTANE

INTRODUCTION

La caractérisation géotechnique des sols de la plateforme et des graveleux latéritiques prélevés sur la route Sébikotane-Bambilor en construction s'est effectuée avec des essais normalisés de laboratoire : les essais d'identification et les essais de comportement ou essais routiers. Les graveleux latéritiques proviennent de l'emprunt de Sébikotane. L'étude expérimentale dont les résultats sont présentés dans ce chapitre, a été réalisée au laboratoire de l'entreprise SOTRABAT implanté à Gorom.

2.1. Caractérisation des sols de la plateforme

2.1.1. Essais d'identification

2.1.1.1. Analyse granulométrique

Cet essai a pour but de déterminer la répartition pondérale des particules minérales d'un échantillon de matériau par classes de tailles. Il est effectué, suivant la norme NF P94-056, sur les échantillons de matériaux de dimensions supérieures à 80 μm . Les résultats de l'essai sont consignés en annexe I et les courbes granulométriques obtenues sont représentées sur les figures 5 et 6.

Les fines sont les particules minérales de dimensions inférieures à 80 μm . Les résultats de l'analyse granulométrique donnent des pourcentages de fines respectifs de 29,8 % pour l'échantillon 1 et 40,2 % pour l'échantillon 2 des sols de la plateforme.

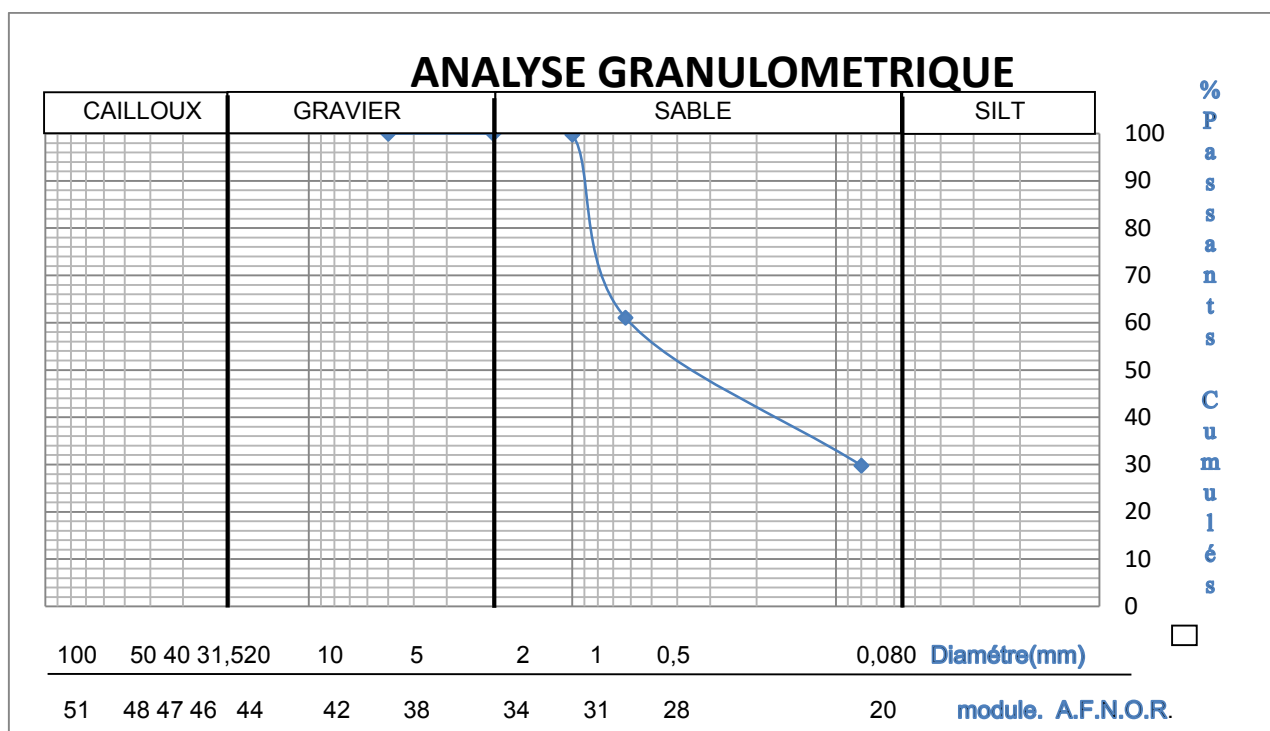


Figure 5 : Courbe granulométrique de l'échantillon 1 des sols de la plateforme de la route Bambilor-Sébikotane

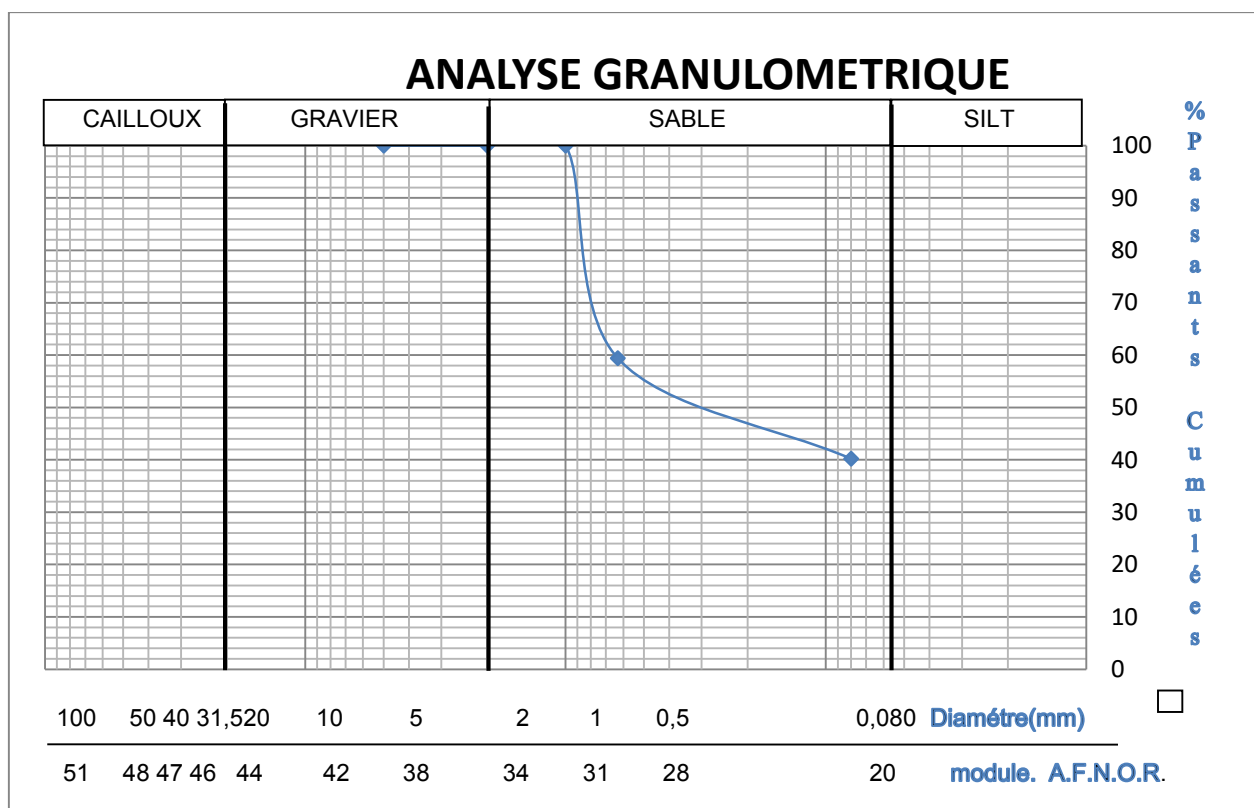


Figure 6 : Courbe granulométrique de l'échantillon 2 des sols de la plateforme de la route Bambilor-Sébikotane

2.1.1.2. Essai d'équivalent de sable

Le but de l'essai est d'évaluer la propreté des sols. L'essai d'équivalent de sable est décrit par la norme NF P 18-598. Il est réalisé sur des échantillons de sols de la plateforme. La mesure est effectuée au piston. Les valeurs respectives de l'équivalent de sable ES sont de 24 pour l'échantillon 1 et 32 pour l'échantillon 2. Les résultats de l'essai sont consignés en annexe I.

2.1.1.3. Détermination des limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg permettent de déterminer la consistance d'un échantillon de matériau, conformément à la norme NF P94-051. Les limites d'Atterberg sont la limite de liquidité (W_L) et la limite de plasticité (W_P).

L'indice de plasticité I_P définit l'étendue du domaine plastique et est donné par :

$$I_P = W_L - W_P$$

Les valeurs respectives des limites d'Atterberg des deux échantillons de sols étudiés sont :

- pour l'échantillon 1 : $W_L=31,7$; $W_P=15,6$; $I_P=16,1$
- pour l'échantillon 2 : $W_L=33,6$; $W_P=15,7$; $I_P=17,9$

Les deux échantillons sont plastiques car leurs valeurs respectives d'indice de plasticité I_P se situent entre 15 et 40. Les résultats de l'essai sont consignés en annexe I.

2.1.2. Essais de comportement

2.1.2.1. Essai Proctor Modifié

L'essai Proctor Modifié est décrit par la norme NF P94-093. Il permet de déterminer la teneur en eau optimale pour atteindre la masse volumique sèche maximale d'un matériau.

L'essai Proctor Modifié s'effectue sur les éléments du matériau passant au tamis de 20mm. Il consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée et selon un processus bien défini, l'échantillon de matériau à étudier et à mesurer sa teneur en eau (w) et sa masse volumique sèche (γ_d) après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. Une série de couples de valeurs (w, γ_d) est obtenue et permet de tracer la courbe Proctor Modifié qui présente un maximum dont l'abscisse est la teneur 0 en eau optimale et l'ordonnée la masse volumique sèche maximale.

Les résultats de l'essai Proctor Modifié exécuté sur les échantillons des sols de la plateforme ont donné des valeurs de teneur en eau optimale de 10,4 % et de 12,8 % et des valeurs de masse volumique sèche maximale de 2,23 t/m³ et 1,99 t/m³, respectivement pour les échantillons 1 et 2.

2.1.2.2. Essai CBR

L'essai CBR (Californian Bearing Ratio) permet d'évaluer la portance des matériaux routiers par rapport à un matériau type de référence. L'essai est décrit par la norme NF P94-078. Les résultats de l'essai sont consignés en annexe I. Les valeurs respectives de l'indice CBR, à 95 % de l'OPM, des échantillons 1 et 2 des sols de la plateforme, sont de 28 % et 21 %. Ces valeurs d'indice CBR étant supérieures à la limite minimale requise de 20, la portance des sols de la plateforme est convenable.

Les caractéristiques géotechniques des échantillons des sols de la plateforme sont récapitulées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques des échantillons des sols de la plateforme

Essais	Caractéristiques géotechniques	Ech. 1	Ech. 2	EXIGENCES CCTP
Analyse Granulométrique	$\Phi \geq 2 \text{ mm } (\%)$	59,8	70,2	---
	$2\text{mm} > \Phi \geq 0,080 \text{ mm } (\%)$	19,2	51,24	---
	$\Phi < 0,080 \text{ mm } (\%)$	40,2	29,8	---
Limites d'Atterberg	W_L	31,7	33,6	---
	W_P	15,6	15,7	---
Proctor Modifié	I_p	16,1	17,9	< 12
	$\gamma_{dmax} \text{ (t/m}^3\text{)}$	2,23	1,99	---
	$w_{OPM} (\%)$	10,4	12,8	----
CBR	CBR, à 95 % de l'OPM (%)	28	21	> 20

D'après les résultats du tableau 1, les caractéristiques géotechniques des échantillons des sols de la plateforme répondent aux exigences du CCTP.

2.1.3. Classification des sols de la plateforme

La classification HRB (Highway Research Board) est définie par la norme NF P11-300 et a été utilisée pour classer les sols de la plateforme. C'est une classification qui se base sur une granularité simplifiée et les limites d'Atterberg. Selon que le tamisât du tamis de 0,08 mm est supérieur ou inférieur à 35 %, on distingue les sols grenus des sols fins (tableau classification HRB en annexe I). Les sols de la plateforme appartiennent à la classe A-6 qui correspond à des sols moyennement argileux.

2.2. Caractérisation des graveleux latéritiques de Sébikotane

2.2.1. Localisation géographique de l'emprunt de Sébikotane

Un emprunt est un gisement de graveleux latéritiques. L'emprunt de Sébikotane (figure 7) se situe dans ladite ville du département de Rufisque, dans la région de Dakar. Il se situe à 700 m de la route nationale 2 (RN2) ; les coordonnées géographiques sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Localisation de l'emprunt de Sébikotane

X (abscisse)	Y (ordonnée)	Emprunt
14 741 806	-17 129 261	Sébikhotane
14 742 047	-17 129 267	Sébikhotane
14 741 872	-17 129 511	Sébikhotane
14 741 685	-17 129 126	Sébikhotane
14 741 416	-17 129 372	Sébikhotane
14 740 965	-17 128 833	Sébikhotane
14 739 734	-17 128 706	Sébikhotane
14 739 141	-17 129 297	Sébikhotane

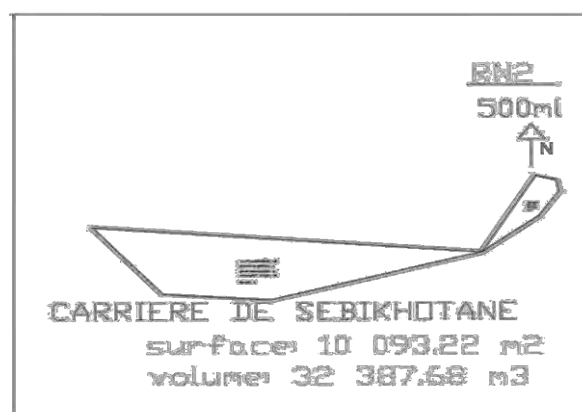


Figure 7 : Emprunt de Sébikotane

2.2.2. Contexte géologique de l'emprunt de Sébikotane

2.2.3. Caractérisation géotechnique des graveaux latéritiques naturels de Sébikotane

2.2.3.1. Essais d'identification

➤ Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été effectuée sur les échantillons de graveaux latéritiques des couches de forme et de fondation. Les résultats de l'essai sont consignés en annexe I tandis que les courbes granulométriques sont représentées sur les figures 8 et 9. Les pourcentages de fines respectifs sont de 20,1 % pour l'échantillon de la couche de forme et 18,3 % pour l'échantillon de la couche de fondation.

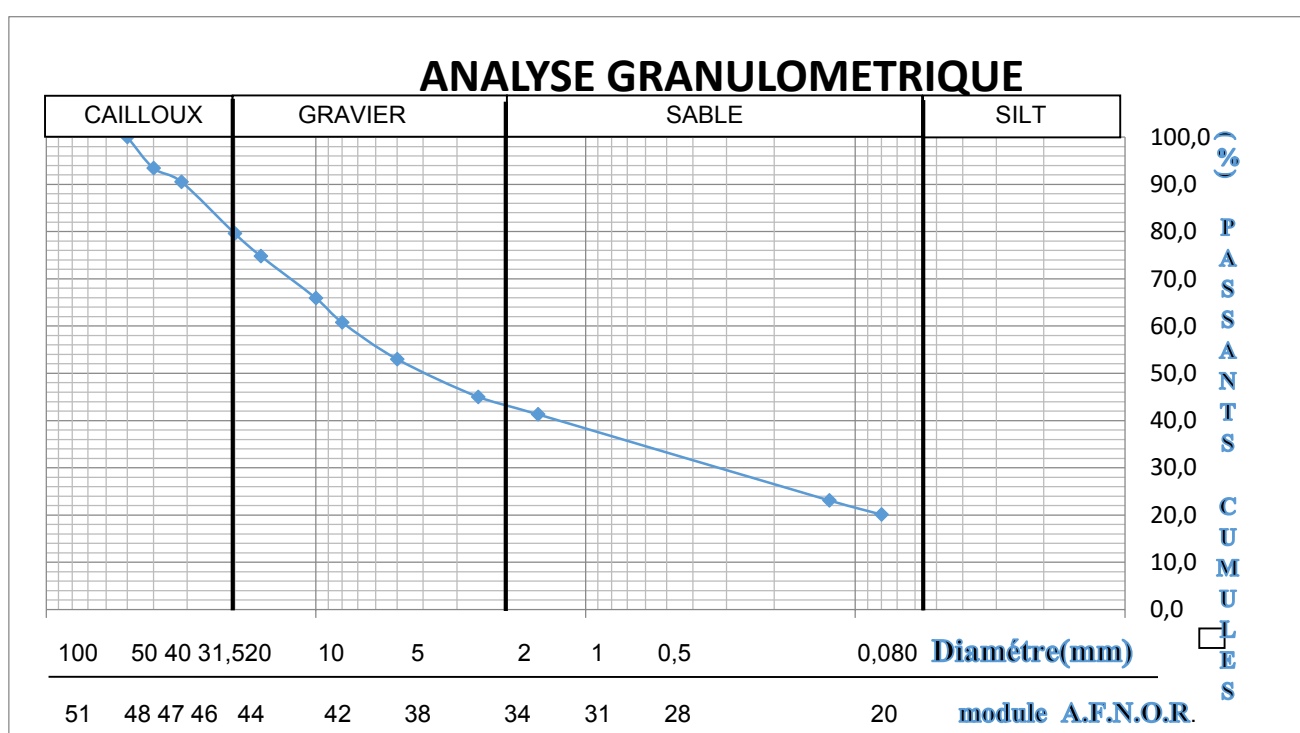


Figure 3 : Courbe granulométrique de l'échantillon de graveaux latéritiques de la couche de forme

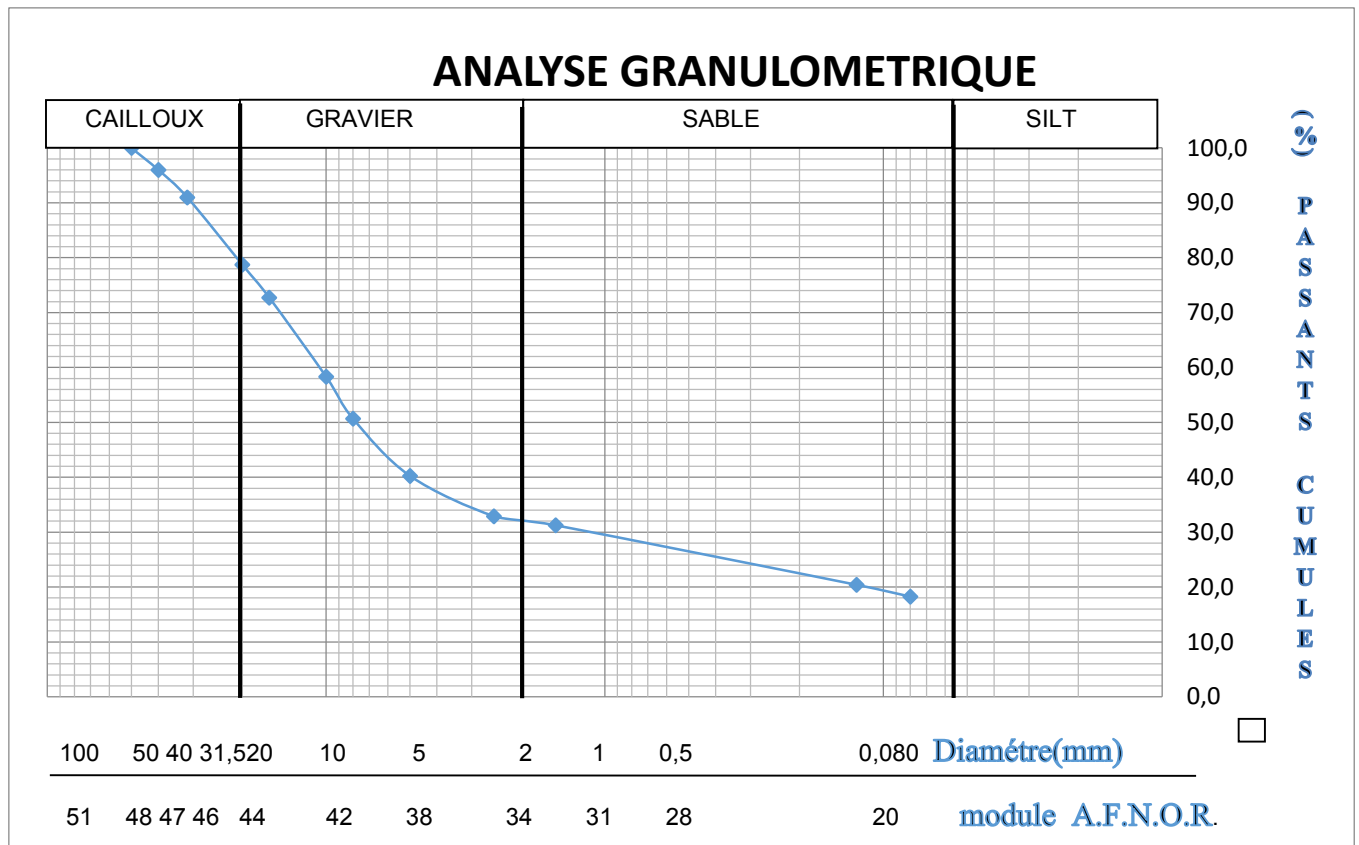


Figure 4 : Courbe granulométrique de l'échantillon de graveleux latéritiques de la couche de fondation

➤ Détermination des limites d'Atterberg

Les résultats détaillés de l'essai sont consignés en annexe I. Les valeurs des limites d'Atterberg sont les suivantes :

- échantillon de la couche de forme (Ech.1) : $W_L = 34,9$; $W_P = 19,1$; $I_P = 15,8$
- échantillon de la couche de fondation (Ech.2) : $W_L = 26,1$; $W_P = 15,2$; $I_P = 11,0$

Le matériau de la couche de forme (Ech.1) est plastique car l'indice de plasticité I_P se situe entre 15 et 40. Par contre, le matériau de la couche de fondation (Ech.2) est moyennement plastique car I_P est compris entre 5 et 15.

2.2.3.2. Essais de comportement

➤ Essai Proctor Modifié

Les résultats détaillés de l'essai sont consignés en annexe I. Les valeurs optimales Proctor Modifié (OPM) des échantillons 1 et 2 sont les suivantes :

- échantillon de la couche de forme (Ech.1) : $w_{OPM} = 10,0$ % ; $\gamma_{dmax} = 2,06$ t/m³
- échantillon de la couche de fondation (Ech.2) : $w_{OPM} = 8,0$ % ; $\gamma_{dmax} = 2,12$ t/m³

➤ **Essai CBR**

Les résultats de l'essai sont consignés en annexe I. Les valeurs de l'indice CBR, à 95 % de l'OPM, sont les suivantes :

- échantillon de la couche de forme (Ech.1) : CBR = 56 %
- échantillon de la couche de fondation (Ech.2) : CBR = 68 %

Les caractéristiques géotechniques des échantillons de graveleux latéritiques naturels de Sébikotane sont récapitulées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques géotechniques des échantillons de graveleux latéritiques naturels de Sébikotane

				Exigences du CCTP	
Essais	Caractéristiques géotechniques	Ech. 1	Ech. 2	Ech.1 forme	Ech.2 fondation
Analyse Granulométrique	$\Phi \geq 2 \text{ mm} (\%)$	76,9	81,8	≥ 50	≥ 50
	$2\text{mm} > \Phi \geq 0,080 \text{ mm}$	3	2,2	---	---
	$\Phi < 0,080 \text{ mm} (\%)$	20,1	18,3	5 à 25	5 à 35
Limites d'Atterberg	W_L	34,9	26,1	< 50	< 45
	W_P	19,1	15,2	< 20	< 20
	I_p	15,8	10,9	< 20	< 15
Proctor Modifié	$\gamma_{dmax} (t/m^3)$	2,06	2,12	$\geq 2,00$	$\geq 2,10$
	$w_{OPM} (\%)$	19,1	14,9	----	---
CBR	CBR, à 95 % de l'OPM (%)	56	68	≥ 30	≥ 40

D'après les résultats du tableau 3, les caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques de la couche de forme et de la couche de fondation répondent aux exigences du CCTP.

2.2.3.3. Classification des graveleux latéritiques de Sébikotane

La classification des sols HRB (Highway Research Board) permet de situer le matériau de la couche de forme (Ech.1) dans la classe A-2-6 et celui de la couche de fondation (Ech.2) dans la classe A-2-7 correspondant aux graviers et aux sables limoneux ou argileux.

2.3. Mise en œuvre des couches de forme et de fondation

L'exécution correcte des couches de forme et de fondation nécessite un certain nombre d'opérations avec un matériel bien défini.

2.3.1. Matériel mobilisé

Le matériel mobilisé pour la mise en œuvre de chaque couche comprend :

- **deux niveleuses** pour la scarification et le nivellement de la couche ;
- **un camion-citerne d'eau** pour l'arrosage ;
- **un compacteur vibrant** et **un compacteur à pneus** pour le compactage de la couche ;
- **du matériel de laboratoire de géotechnique** (moules, gaz butane, densitomètre à membrane, etc.) pour déterminer la teneur en eau *in situ* et la compacité de la couche ;
- **du matériel topographique** (niveau, mire, ...) pour la réception altimétrique de la couche.

2.3.2. Etapes de la réalisation de la planche d'essai

Les étapes de la réalisation de la planche d'essai sont les suivantes (figure 10) :

- **la scarification** : elle permet de ramener en surface les blocs de latérite puis de les regrouper et de les retirer. La scarification est faite avec la niveleuse sur une profondeur allant de 15 à 20 cm ;
- **l'arrosage** : il consiste à répandre de l'eau sur l'étendue de la couche latéritique à traiter ; cette opération est assurée par le camion-citerne d'eau ;
- **le malaxage** : cette opération qui est réalisée par la niveleuse permet de bien homogénéiser le matériau latéritique humidifié ;
- **le nivellement** : il consiste à niveler la couche de matériau ;
- **le pré-compactage ou serrage** : il est assuré par un compacteur pneumatique et un compacteur vibrant à cylindre lisse ;

- **la mise en place des piquets de finition** : cette opération topographique permet de ressortir le niveau altimétrique final de la couche de matériau ; elle est faite par l'équipe de topographes ;
- **le réglage** : il permet d'ajuster la couche de matériau à son niveau altimétrique final indiqué par des piquets ; il est assuré par la niveleuse ;
- **le compactage final** : il est effectué successivement par un compacteur pneumatique puis un compacteur vibrant à cylindre lisse.

Après la réalisation de chaque couche, la réception géotechnique est effectuée sur la base de la confirmation des résultats des essais *in situ*. La compacité moyenne de chaque couche a été mesurée avec le densitomètre à membrane conformément à la norme NF P94-061-02 et est de 95% de la compacité optimale OPM.



Figure 5 : Etapes de mise en œuvre de la planche d'essai

Conclusion partielle

L'étude expérimentale a permis de déterminer les caractéristiques géotechniques des sols de la plateforme de la route Sébikotane-Bambilor et des graveleux latéritiques de sébikotane utilisés pour la réalisation des couches de forme et de fondation.

Les sols de la plateforme appartiennent à la classe A-6 des sols moyennement argileux, d'après la classification HRB. Ces sols ont une portance acceptable avec des valeurs d'indice CBR supérieures à 20 % : les indices CBR des deux échantillons, à 95 % de l'OPM, sont respectivement de 28 % et 21 %.

Les graveleux latéritiques de Sébikotane utilisés pour réaliser les couches de forme et de fondation, répondent aux spécifications du CCTP. Ils appartiennent respectivement aux classes A-2-6 et A-2-7 des graviers et sables limoneux ou argileux, d'après la classification HRB. Les valeurs respectives de l'indice CBR, à 95 % de l'OPM, sont de 56 % (supérieure à 30 %) et 68 % (supérieure à 40 %).

Le dimensionnement de la structure de chaussée projetée s'effectuera avec le logiciel Alizé 3 du LCPC. Les résultats du dimensionnement sont présentés dans le troisième chapitre du mémoire.

CHAPITRE 3

DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE AVEC LE LOGICIEL ALIZE 3 DU LCPC

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE AVEC LE LOGICIEL ALIZE 3 DU LCPC

INTRODUCTION

Le logiciel Alizé a été développé par le LCPC dans les années 1965, en France, et s'appuie sur la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussée. Il permet de vérifier qu'une structure de chaussée, choisie au préalable (différentes couches auxquelles sont associées les épaisseurs et les propriétés mécaniques des matériaux les constituant) et réalisée sur une plateforme d'épaisseur infinie (caractérisée par sa portance), est apte à supporter les sollicitations thermiques et de trafic appliquées à la chaussée pendant toute sa durée de vie.

3.1. Paramètres du dimensionnement

La géométrie d'une chaussée est caractérisée par le profil en long, le profil en travers et le tracé en plan. Les paramètres caractéristiques du dimensionnement de la structure d'une chaussée avec le logiciel Alizé 3 du LCPC sont essentiellement :

- ✓ le type de trafic envisagé ;
- ✓ la portance du sol-support ou plateforme de la chaussée ;
- ✓ les caractéristiques géotechniques des matériaux constituant les différentes couches de la chaussée routière.

3.1.1. Type de trafic envisagé

Les données du trafic intervenant dans le dimensionnement sont le trafic moyen journalier annuel, la durée de service de la route, le taux de croissance annuel, le trafic cumulé des véhicules lourds et le trafic équivalent.

- Le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA)

Le TMJA est obtenu après une campagne de comptage des véhicules roulant dans les deux sens sur le réseau routier existant. Il est déterminé par la charge à l'essieu de référence de 13 tonnes et concerne exclusivement les véhicules lourds. Par définition, un véhicule lourd a un poids total autorisé en charge supérieur ou égal à 3,5 tonnes.

Dans le cadre de cette étude, le nombre de véhicules lourds par jour et par sens est de 300. D'après le tableau 4, le trafic est de type T2⁺.

Tableau 4 : Diagramme de classification du trafic (LCPC-SETRA, 1994)

Classe de trafic	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		Tex
			T3 ⁻	T3 ⁺	T2 ⁻	T2 ⁺	T1 ⁻	T1 ⁺	T0 ⁻	T0 ⁺	TS ⁻	TS ⁺	
MJA	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000

- La durée de service de la route

Elle correspond au nombre d'années d'utilisation de la chaussée, dans un état favorable à la circulation routière. La durée de service exigée dans le cadre du projet est de 15 ans.

- Le taux de croissance annuel

Ce paramètre est très difficile à évaluer du fait de l'absence de prévisions sur l'évolution du trafic. Le taux de croissance annuel utilisé dans cette étude est de 4 %.

- Le trafic cumulé (N)

Le trafic cumulé des véhicules lourds (N) en nombre d'essieux standard est déterminé par la formule suivante (LCPC-SETRA, 1994) :

$$N = 365 * TMJA * C$$

TMJA : trafic moyen journalier annuel

C : facteur de cumul ; C est fonction de la durée de service (n) et du taux de croissance annuel du trafic (r) :

$$C = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

La durée de service n dépend de plusieurs paramètres tels que la localisation de la route, sa destination ou sa vocation, la possibilité de financement pour l'entretien ou le renforcement ultérieur.

- Le trafic équivalent (NE)

Le trafic équivalent (NE) est un paramètre d'entrée pour le dimensionnement avec le logiciel Alizé 3. Il correspond au trafic des véhicules lourds cumulé sur la durée initiale de calcul, et est obtenu en multipliant le nombre cumulé de véhicules lourds (N) par le coefficient d'agressivité moyen du trafic (CAM) :

$$NE = N * CAM$$

Le coefficient d'agressivité moyen (CAM) est un facteur déterminant dans la conversion du nombre de véhicules en nombre équivalent d'essieux de référence. Sa valeur est déterminée par

la formule suivante :

$$CAM = \sum_{i=0}^n r_i \left(\frac{P_i}{13}\right)^a$$

- r_i est le pourcentage de la classe de trafic i dans le trafic global;
- P_i est la charge à l'essieu de la classe de trafic i ;
- a est le facteur de rigidité de la chaussée et varie entre 3 et 8 : dans le cas du projet, a est égal à 4 pour les chaussées souples.

D'après le LCPC-SETRA (1994), la valeur du CAM est étroitement liée à la configuration des essieux (isolé, tandem, tridem) et des roues (simples ou jumelées). Elle dépend également du type de chaussée. Le tableau 5 donne les valeurs du CAM en fonction du type de chaussée.

Tableau 5 : Valeurs du CAM selon le trafic et le type de chaussée (LCPC-SETRA, 1994)

Chaussée à faible trafic	CAM	0,4	0,5	0,7	0,8
	Classe	T5	T4	T3	T3
Chaussée à trafic moyen et fort	CAM	0,8		1	1,3
		Couches hydrocarbonées des structures mixtes et inverses <hr/> Couches hydrocarbonées d'épaisseur au plus égale à 20 cm des chaussées bitumineuses	chaussées bitumineuses d'épaisseur supérieure à 20 cm <hr/> Couches non liées et sol support	Couches de matériaux traités au liant hydraulique et en béton de ciment	

3.1.2. Portance du sol-support ou plateforme de la chaussée

La portance est un terme qui se rapporte au dimensionnement des voies de communication (routes, aéroports, voies ferrées) ; elle est définie par l'indice CBR. Ce paramètre est très important dans le dimensionnement d'une chaussée. Elle permet de déterminer le module de déformation (E) du sol de la plateforme par la formule suivante :

$$E = 5 * CBR \text{ (MPa)}$$

L'indice CBR du sol de la plateforme est de 21 %, ce qui donne un module de déformation (E) de 105 MPa. Le tableau 6 permet de déduire que la plateforme étudiée est de type PF2.

Tableau 6 : Classification des plateformes selon leur module de déformation (GTR, 2000)

Module (MPa)	20	50	120	200
Classe de plateforme	PF1	PF2	PF3	PF4

3.1.3. Caractéristiques des matériaux de la chaussée

Les principales caractéristiques des matériaux qui constituent une chaussée routière sont le module d'Young (E) et le coefficient de Poisson (v). Le module de Young (E) est donné par la formule suivante:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

ε est la déformation relative d'une éprouvette soumise à une contrainte σ ; Elle se calcule par la formule suivante:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

L: longueur initiale de l'éprouvette ; ΔL : déformation

Dans le cadre du projet, v est égal à 0,45 pour la couche de base en grave-bitume et le revêtement en béton bitumineux ; v est égal à 0,35 pour les couches de fondation et de forme en graveleux latéritiques et le sol de la plateforme.

Les principales caractéristiques mécaniques des matériaux de la chaussée sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques mécaniques des matériaux des différentes couches de la chaussée

Couche	CBR (%)	E (MPa) à 28 °C	Coefficient de Poisson ν
Revêtement	---	5400	0,45
Base	---	9300	0,45
Fondation	68	600	0,35
Forme	56	600	0,35
Plateforme PF2	21	105	0,35

3.2. Vérification de la structure de chaussée

Le dimensionnement avec le logiciel Alizé 3 permet de vérifier la structure de chaussée proposée dans le projet. Le dimensionnement comprend quatre étapes principales :

- ✓ la modélisation de la structure ;
- ✓ le calcul des contraintes et déformations engendrées dans la structure ;
- ✓ la détermination des contraintes et déformations admissibles ;
- ✓ l'ajustement de la structure finale.

3.2.1. Modélisation de la structure

Cette étape consiste à déterminer les caractéristiques mécaniques des couches de la chaussée et à choisir les épaisseurs des différentes couches. La chaussée comprend un revêtement en béton bitumineux BB de 4 cm d'épaisseur, une couche de base en grave bitume de 8 cm d'épaisseur, une couche de fondation et une couche de forme en graveleux latéritiques naturels de 16 cm et de 15 cm d'épaisseurs respectives. La chaussée repose sur une plateforme de type PF2. Les différentes couches sont collées entre elles.

3.2.2. Calcul des contraintes et déformations engendrées dans la structure

Pour apprécier le comportement de la chaussée soumise aux conditions climatiques et aux sollicitations du trafic, il convient de déterminer les paramètres suivants :

- la déformation transversale à la base de la couche de base et du revêtement ;
- la déformation verticale à la base de la couche de fondation ;
- la déformation verticale à la surface de la plateforme.

Les résultats du calcul des contraintes et déformations limites sont présentés dans le tableau 8. Les valeurs des contraintes et des déformations admissibles seront ensuite comparées aux contraintes et déformations calculées avec le logiciel Alizé 3.

Tableau 8 : Valeurs des contraintes et déformations limites obtenues avec Alizé 3

Couche	Contraintes et déformations	Valeurs limites
Revêtement	$\sigma_t(\text{MPa})$	-435
	$\varepsilon_t(10^{-6} \text{ mm})$	29,7
Couche de base	$\sigma_t(\text{MPa})$	-1,516
	$\varepsilon_t(10^{-6} \text{ mm})$	-109,7
Couche de foundation	$\sigma_z(\text{MPa})$	0,076
	$\varepsilon_z(10^{-6} \text{ mm})$	170,0
Couche de forme	$\sigma_z(\text{MPa})$	0,038
	$\varepsilon_z(10^{-6} \text{ mm})$	186,8
Plateforme PF2	$\sigma_z (\text{MPa})$	0,038
	$\varepsilon_z (10^{-6} \text{ mm})$	372,2

3.2.3. Calcul des contraintes et déformations admissibles dans les couches de la chaussée avec le logiciel Alizé 3

Les valeurs des sollicitations admissibles sont données par le logiciel Alizé 3. Les couches d'assise et la plateforme sont caractérisées par leur déformation verticale admissible (ε_{zadm}) et leur contrainte verticale admissible (σ_{zadm}) à leur surface.

La contrainte verticale admissible est donnée par la formule de Kerkhoven et Dormon :

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7\log NE} \text{ (bars)}$$

La déformation verticale admissible est donnée par la loi de tassement de Shell :

$$\varepsilon_{zadm} = A * NE^{-0,222} \text{ (mm)}$$

NE est le nombre équivalent d'essieux de 13 tonnes au terme de la durée de vie escomptée pour la route. Cette déformation permet de vérifier l'élongation dans les couches non liées et sur la plateforme. La valeur de A dépend de la nature du matériau considéré ; elle est associée à l'agressivité d'un essieu.

La contrainte de traction admissible à la base du revêtement est donnée par la relation suivante :

$$\sigma_{tadm} = Kr * Kd * Kc * Ks * \sigma_i \text{ (bars)}$$

Avec $\sigma_i = \left(\frac{NE}{10^6}\right)^{-b}$

La déformation admissible à la base du revêtement est calculée à partir de la relation suivante :

$$\epsilon_{t adm} = \epsilon_6 * \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0,5} * \left(\frac{NE}{10^6}\right)^{-b} * Kr * Kc * Ks \text{ (mm)}$$

Les coefficients Kd, Kc, et Kr sont fonction du risque de calcul. Ce dernier est de 25 % dans le cadre du projet.

SN: dispersion sur le logarithme du nombre de cycles à rupture à l'essai de fatigue

Sh: dispersion sur l'épaisseur de la couche à la mise en œuvre

Kr: coefficient de risque

Kc: coefficient de calage

Ks: coefficient qui prend en compte le type de plateforme

Kd: coefficient de discontinuité

b: pente de la droite de fatigue

σ_6 : contrainte pour laquelle la rupture en traction par flexion sur éprouvette de 360 jours est obtenue pour 10^6 cycles

μ : variable associée au risque de surplus des véhicules lourds

ϵ_6 : élongation admissible pour une fréquence de 25Hz et une température de 10 °C

Les résultats de la modélisation avec le logiciel Alizé 3 de la structure de chaussée de la route Sébikotane-Bambilor sont consignés dans le tableau 9. Ces résultats montrent que, pour la structure de chaussée proposée, les valeurs de déformations calculées avec Alizé 3 sont toutes inférieures aux valeurs admissibles ; ce qui permet de conclure que la structure de la chaussée de la route Sébikotane-Bambilor est correctement dimensionnée pour supporter le trafic envisagé T2⁺ de 300 véhicules lourds par jour.

Tableau 9 : Résultats de la modélisation de la structure de chaussée avec Alizé 3

COUCHES	VALEURS CALCULÉES AVEC ALIZÉ 3	VALEURS ADMISSIBLES	COMMENTAIRES
$\epsilon_{t,alz}$ (10^{-6} mm)		ϵ_t (10^{-6} mm)	
Revêtement	29,7	105,3	déformation acceptable
couche de base	109,7	109,9	déformation acceptable
couche de fondation	372,2	473,7	déformation acceptable
Couche de forme	372,2	473,7	déformation acceptable
Plateforme PF2	372,2	473,7	déformation acceptable

3.3 Etude de prix

L'estimation du coût global d'un projet de route est une étape importante de la conception. Le coût d'investissement se divise en deux grandes rubriques :

-Le coût d'investissement initial. Il est très déterminant, et généralement le plus considéré par les Etats. Il dépend des conditions du marché, surtout de la disponibilité des différents matériaux intervenant dans la construction. Il dépend aussi de la durée de vie de l'ouvrage.

-Le coût d'entretien. Il comprend :

- L'entretien courant consistant à des travaux saisonniers de débroussaillage, de curage des fossés, buses, et dalots, ainsi qu'aux réparations des fissures et ornières. etc.
- L'entretien général planifié consiste en des travaux de renforcement de périodicité plus longue que d'habitude. Son coût est fonction de la durée de vie de la chaussée.

Le devis quantitatif et estimatif de la chaussée bitumineuse est donné dans le tableau 10.

Tableau 10 : Devis quantitatif et estimatif de la chaussée bitumineuse

Couches	Unités	Quantités	Prix unitaires FCFA	Prix total FCFA
Couche de surface	m ³	7419,148	180000	1 335 446 640
Couche d'imprégnation	m ²	185487	1400	259 681 800
Couche d'accrochage	m ²	185487	1200	222 584 400
Couche de base	m ³	31532,79	3985	125 658 168,15
Couche de fondation	m ³	46371,75	11000	510 089 250
Couche de forme	m ³	27823,05	11000	306 053 550
TOTAL	<i>2 759 513 808,15 FCFA</i>			

L'estimation du devis quantitatif des matériaux utilisés pour les différentes couches de la chaussée bitumineuse est de **2 759 513 808,15 FCFA TTC**.

Conclusion partielle

Le logiciel Alizé 3 du LCPC a permis de vérifier la structure de chaussée de la route Sébikotane-Bambilor proposée par le CCTP. Cette chaussée est apte à supporter le trafic envisagé T2⁺ de 300 véhicules lourds par jour pendant la durée de service de 15 ans.



CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Ce travail constitue une contribution à la caractérisation géotechnique des matériaux utilisés en construction routière. L'étude est particulièrement axée sur les sols de plateforme de la route Sébikotane-Bambilor ainsi que les graveleux latéritiques de Sébikotane utilisés pour la réalisation des couches de forme et de fondation.

Les résultats de l'étude montre que les sols de la plateforme appartiennent à la classe A-6 des sols moyennement argileux, d'après la classification HRB. Ces sols ont une portance acceptable avec des valeurs d'indice CBR, à 95 % de l'OPM, supérieures à 20 % et respectivement égales à 28 % et 21 % pour les deux échantillons.

D'après les résultats de l'étude, les graveleux latéritiques de Sébikotane présentent les caractéristiques requises pour leur utilisation comme matériaux de couches de forme et de fondation. Ces matériaux se situent respectivement dans les classes A-2-6 et A-2-7 de la classification des sols HRB et correspondent ainsi aux graviers et sables limoneux ou argileux. Les valeurs respectives de l'indice CBR, à 95 % de l'OPM, sont de 56 et 68 %.

Le logiciel Alizé 3 du LCPC a permis de vérifier la structure de chaussée de la route Sébikotane-Bambilor proposée par le CCTP. Cette chaussée est apte à supporter le trafic envisagé T2⁺ de 300 véhicules lourds par jour pendant la durée de service de 15 ans.

Au terme de cette étude, nous formulons les recommandations suivantes :

- respecter les prescriptions du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) dans la conduite des travaux de construction de la route Sébikotane-Bambilor ;
- s'assurer de la conformité des matériaux de chaussée ;
- veiller sur la qualité des travaux de réalisation des couches de la chaussée, surtout en ce qui concerne le niveau de compactage et l'épaisseur requise

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CASTELAIN J. (1965) – Aperçu stratigraphique et micropaléontologique du bassin du Sénégal occidental. Historique de la découverte paléontologique. In : « Colloque International de Micropaléontologie », Dakar. Mémoire BRGM, 32, pp. 135-159.

DIOP A. (1996) – Etude stratigraphique et paléogéographique du Paléocène du Sénégal occidental. « Géologie de l'Afrique et de l'Atlantique Sud : Actes des Colloques d'Angers (1994) ». Mémoire 16, Pau, pp. 317-341.

FALL M. (1993) - Identification et caractérisation mécanique de graveleux latéritiques du Sénégal : application au domaine routier, Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, 240 p.

GTR (2000) - Guide technique. Réalisation des remblais et des couches de forme, Fascicule 2, 102 p.

KHATIB R., LY A., SOW E. et SARR R. (1990) – Rythmes sédimentaires liés aux variations eustatiques globales au Campanien et Maastrichtien du Sénégal. Révision stratigraphique de la série du Crétacé terminal du Cap de Naze. C. R. Ac. Sc., Paris, 311 (2), pp. 1089-1095.

LCPC-SETRA (1994) - Conception et dimensionnement des chaussées, Paris, 260 p.

ROGER J., BANTON O., BARUSSEAU J.P., CASTAIGNE P., COMTE J-C., DUVAIL C., NEHLIG P., NOËL B.J., SERRANO O., TRAVI Y. (2009) – Notice explicative de la cartographie multi-couches à 1/50 000 et 1/20 000 de la zone d'activité du Cap-Vert. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, 245 p

SARR R. (1995) – Etude biostratigraphique et paléoenvironnementale des séries d'âge Crétacé terminal à Eocène moyen du Sénégal occidental. Systématique et migration des ostracodes. Thèse Doctorat d'Etat ès Sciences, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 335 p.

SOW E.H. (1992) – Etude sédimentologique et révision chronostratigraphique du Crétacé terminal du Horst de Ndiass (Sénégal occidental). Thèse Doctorat 3^e cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 145 p.

TESSIER F. (1952) – Contribution à la stratigraphie et à la paléontologie de la partie Ouest du Sénégal (Crétacé et Tertiaire). Bulletin de la Direction des Mines de l'AOF, Dakar, 14 (1), pp 1-267.

TESSIER F. (1954a) – Gisement fossilifère nouveau du Crétacé supérieur du Sénégal. C.R. somm. Soc. Géol. Fr., 2, pp 25-27.

TESSIER F. (1954b) – Notice explicative de la feuille Thiès-Ouest. Carte géol. de l'A.O.F. au 1/200.000, Dakar. 86 p.

THIAM M. M. (2016) - Reconstitution tridimensionnelle du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien à l'ouest de la région de Thiès par cartographie numérique, thèse de Doctorat ED2DS, Université de Thiès, 126 p.

LISTE DES NORMES CITEES

NF P94 - 056 : analyse granulométrique

NF P94 - 051 : détermination des limites d'Atterberg

NF P 18-598 : essai d'équivalent de sable

NF P94 - 093 : essai Proctor Modifié

NF P94 - 078 : essai CBR

NF P 94-061-02 : densitomètre à membrane

SOURCE INTERNET

https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/senegal-2018_336977#14/14.7934/-17.2058

<https://www.ansd.sn>

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du tronçon Sébikotane – Bambilor (umap.com, 2018 ; modifiée).....	6
Figure 2 : Colonne stratigraphique synthétique de la tête de la presqu'île du Cap Vert (Roger et <i>al.</i> , 2009, modifiée)	11
Figure 7 : Carte géologique du Sénégal Occidental et localisation de l'emprunt de Sébikotane (Roger et <i>al.</i> , 2009)	13
Figure 3: Campagne d'échantillonnage.....	14
Figure 4 : Courbe granulométrique de l'échantillon 1 des sols de la plateforme de la route Bambilor-Sébikotane.....	17
Figure 5 : Courbe granulométrique de l'échantillon 2 des sols de la plateforme de la route Bambilor-Sébikotane.....	17
Figure 6 : Emprunt de Sébikotane.....	20
Figure 8 : Courbe granulométrique de l'échantillon de graveleux latéritiques de la couche de forme	21
Figure 9 : Courbe granulométrique de l'échantillon de graveleux latéritiques de la couche de fondation.....	22
Figure 10 : Etapes de mise en œuvre de la planche d'essai	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques des échantillons des sols de la plateforme	19
Tableau 2 : Localisation de l'emprunt de Sébikotane	20
Tableau 3 : Caractéristiques géotechniques des échantillons de graveleux latéritiques naturels de Sébikotane	23
Tableau 4 : Diagramme de classification du trafic (LCPC-SETRA, 1994)	29
Tableau 5 : Valeurs du CAM selon le trafic et le type de chaussée (LCPC-SETRA, 1994) ...	30
Tableau 6 : Classification des plateformes selon leur module de déformation (GTR, 2000) ..	31
Tableau 7 : Caractéristiques mécaniques des matériaux des différentes couches de la chaussée	32
Tableau 8 : Valeurs des contraintes et déformations limites obtenues avec Alizé 3.....	33
Tableau 9 : Résultats de la modélisation de la structure de chaussée avec Alizé 3	35
Tableau 10 : Tableau : Devis quantitatif et estimatif de la chaussée bitumineuse	36

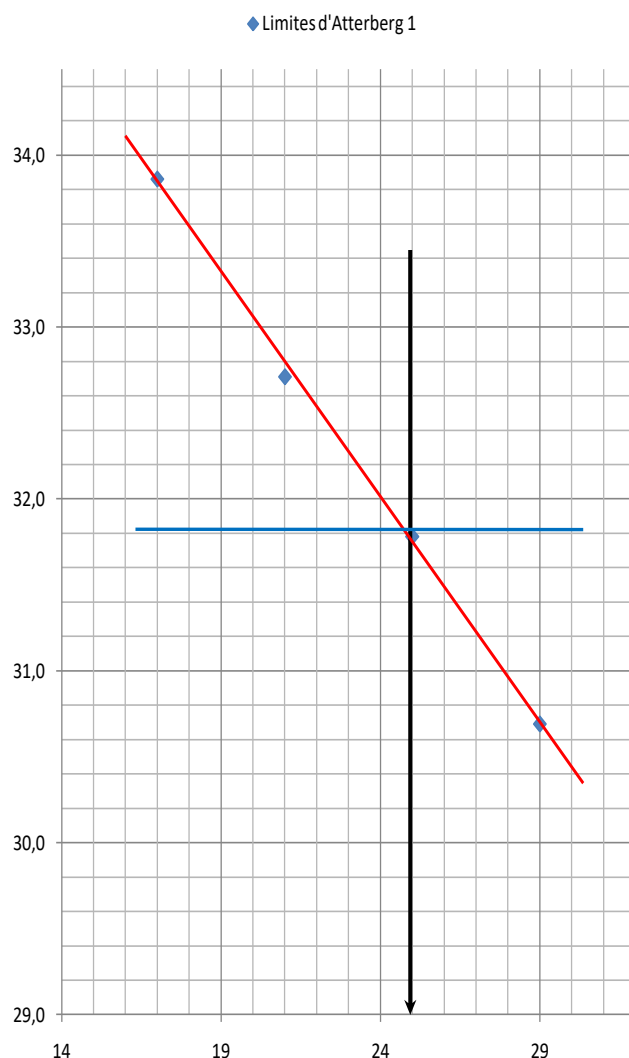
Annexes I : Résultats des essais géotechniques effectués sur les sols de la plateforme

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISSAGE (NF P 94 056)						
Matériau		Sols de plateforme		Date de l'essai	26-08-2020	
Provenance		Piste Sébikotane-Bambilor		Opérateur	Maurice GOMIS	
Date de prélèvement		08-08-20120		Laboratoire	SOTRAPBAT	
Vérifié par: M. Khalil NGOM, responsable du laboratoire géotechnique SOTRAPBAT						
Q (mm)	Analyse granulométrique échantillon1			Analyse granulométrique échantillon2		
	Refus cum (g)	Refus cum (%)	Passants (%)	Refus cum (g)	Refus cum (%)	Passants (%)
5	0	0	100	0	0	100
2	0	0	100	0	0	100
1	0	0	100	2	0,2	99,8
0,63	406	40,6	59,4	388,8	18.96	61,1
0,08	598	59,8	40,2	702,3	70,2	29,8

Essai de détermination des limites d'Atterberg (NF P 94 051)							
Matériau	Sols de plateforme		Date de l'essai		28-08-2020		
Provenance	Sébikotane-Bambilor		Opérateur		Maurice GOMIS		
Date de prélèvement	08-08-2020		Laboratoire		SOTRABAT		
Vérifié par: M. Khalil NGOM, responsable du laboratoire géotechnique de l'IST							
ECHANTILLON 1		Limite de Liquidité				Limite de Plasticité	
Nombre de coups N		17	21	25	29		
N° tare		2	3	1	7	8	4
Masse tare vide (g)		146,04	134,08	133,09	39,39	23,21	40,43
Masse tare + matériau humide (g)		140,92	129,20	128,39	46,43	22,52	39,64
Masse tare + matériau sec (g)		125,80	114,28	113,60	44,78	18,13	34,56
Masse d'eau (g)		5,12	4,88	4,70	1,65	0,69	0,79
Masse matériau sec (g)		15,12	14,92	14,79	5,39	4,39	5,08
Teneur en eau (%)		33,86	32,71	31,78	30,69	15,72	15,55
		31,7				15,6	
IP		16,1					

ECHANTILLON 2	Limite de Liquidité				Limite de Plasticité	
Nombre de coups N	17	21	25	29		
N° tare	2	3	1	7	8	4
Masse tare vide (g)	123,78	127,87	129,70	130,33	24,48	62,26
Masse tare + matériau humide (g)	119,36	122,87	125,84	126,65	22,80	60,23
Masse tare + matériau sec (g)	106,90	106,38	114,30	115,30	12,02	47,32
Masse d'eau (g)	4,42	5,52	3,86	3,68	1,68	2,03
Masse matériau sec (g)	12,46	15,97	11,54	11,35	10,78	12,91
Teneur en eau (%)	35,47	34,56	33,45	32,42	15,58	15,72
	33,5				15,7	
IP	17,8					

Limites d'Atterberg 1



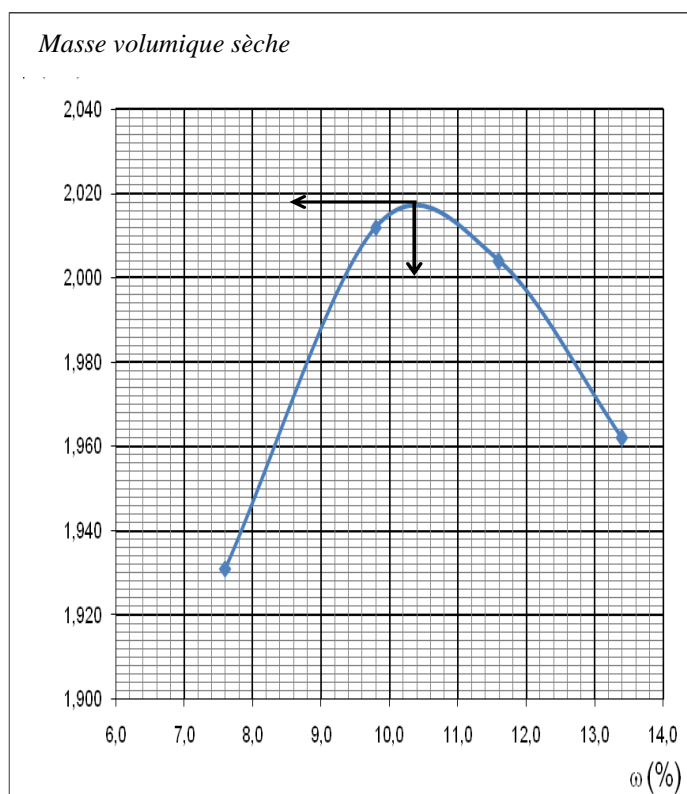
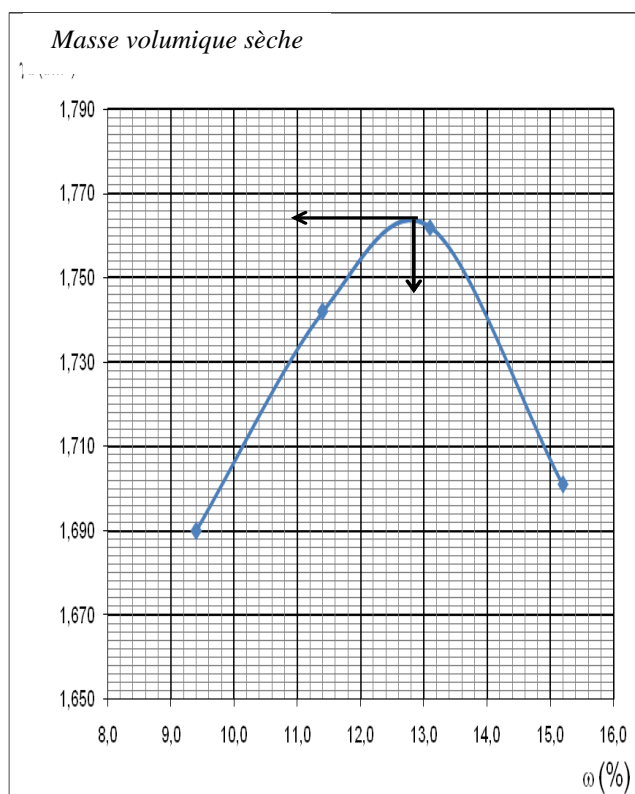
Limites d'Atterberg 2



Courbes des limites d'Atterberg des échantillons de sols de la plateforme de la route
Sébikotane-Bambilor

ESSAI PROCTOR MODIFIE (NF P 94 093)			
Matériau	Sols de plateforme	Date de l'essai	27-08-2020
Provenance	Sébikotane-Bambilor	Opérateur	Maurice GOMIS
Date de prélèvement	08-08-2020	Laboratoire	SOTRAPBAT
Vérifié par: M. Khalil NGOM, responsable du laboratoire géotechnique de SOTRAPBAT			
Echantillon 1		Echantillon 2	

Eau de mouillage (%)	6	8	10	12	Eau de mouillage (%)	8	10	12	14
Volume moule (cm ³)	2207	2207	2207	2207	Volume moule (cm ³)	930	903	930	930
Masse sol humide (g)	4584	4875	4938	4913	Masse sol humide (g)	1720	1804	1854	1822
Masse volumique humide(t/m ³)	2.077	2.209	2.237	2.226	Masse volumique humide(t/m ³)	1.849	1.940	1.994	1.959
Masse échantillon humide (g)	700	700	700	700	Masse échantillon humide (g)	500	500	500	500
Masse échantillon sec (g)	650.7	637.6	627.1	617.1	Masse échantillon sec (g)	457	449	442	434
Masse Eau (g)	49.3	62.4	72.9	82.9	Masse Eau (g)	43.0	51.0	58.0	66.0
Teneur en eau (%)	7.6	9.8	11.6	13.4	Teneur en eau (%)	9.4	11.4	13.1	15.2
Masse volumique sèche (t/m ³)	1.931	2.012	2.004	1.962	Masse volumique sèche (t/m ³)	1.690	1.742	1.762	1.701

Echantillon 1**Echantillon 2**

Courbes Proctor Modifié des échantillons de sols de la plateforme de la route Sébikotane-Bambilor

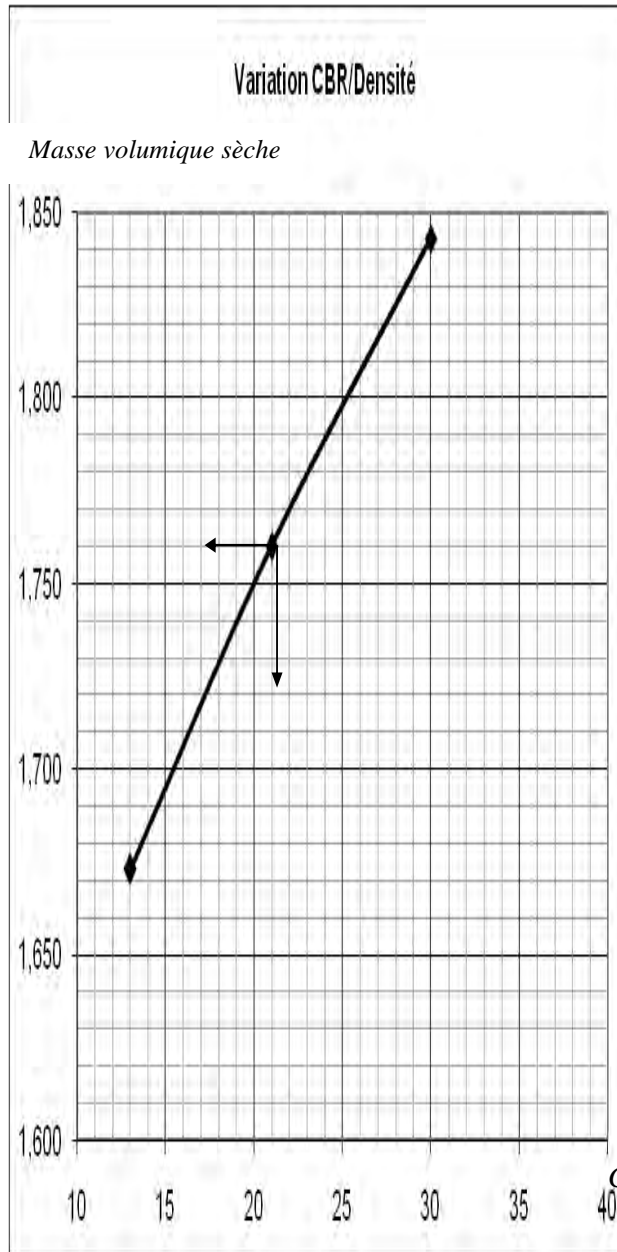
	Echantillon1	Echantillon2
Teneur en eau optimale (%)	10.4	12.8
Masse volumique sèche maximale (g/cm ³)	2.015	1.764

ESSAI CBR MODIFIE (NF P 94 078)							
Matériau	Sols de la plateforme		Date de l'essai	08-08-2020			
Provenance			Opérateur	Maurice GOMIS			
Date de prélèvement	08-08-2020		Laboratoire	SOTRABAT			
		Echantillon 1			Echantillon 2		
Numéro de coups		55	25	10	10	5	K
Nombre moule		P3	LM	OK	55	25	10
Masse moule(g)		4140	4195	4055	4155	4110	4095
Masse total humide(g)		8735	8602	7957	8817	8589	8102
Volume moule (cm³)		2327	2345	2207	2327	2345	2207
Masse net matériaux (g)		4595	4407	3902	4662	4479	4007
Masse volumique humide(t/cm³)		1.975	1.879	1.581	2.003	1.910	1.816
Masse volumique sèche (t/cm³)		1.766	1.680	1.581	1.843	1.760	1.673

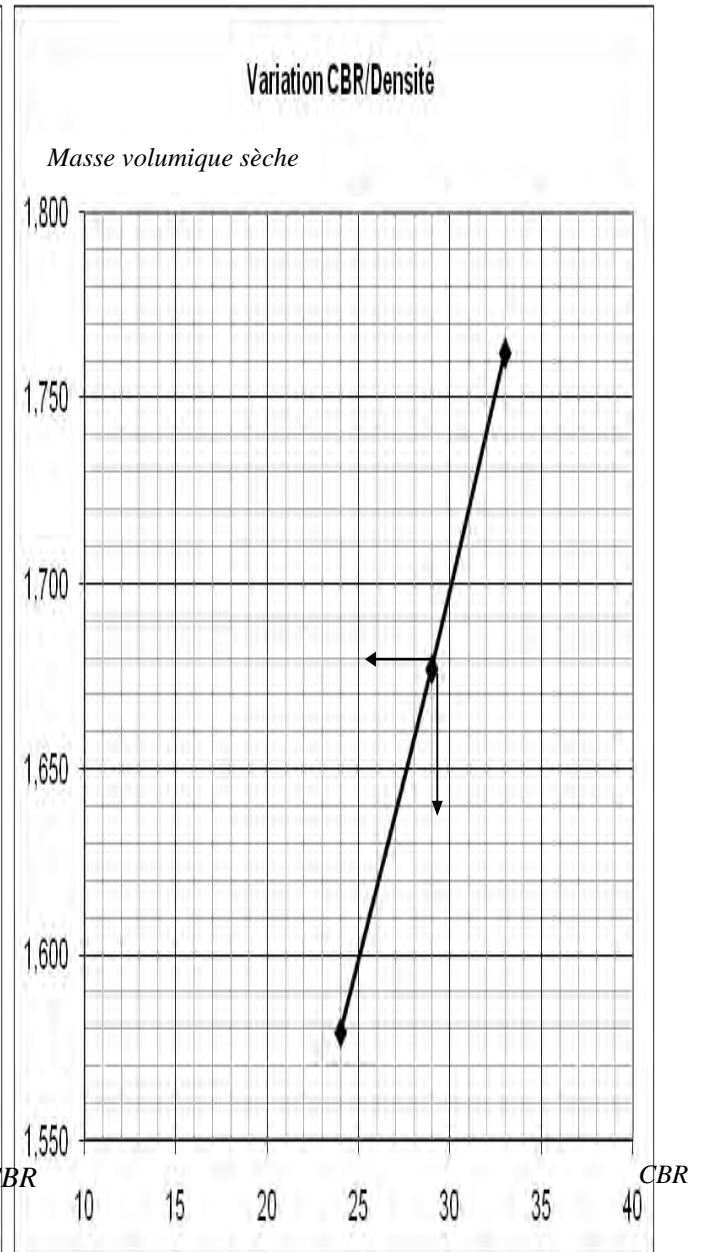
Tare N°						
Masse humide échant. (g)	500	500	500	500	500	500
Masse sec échant. (g)	443	441	439.7	436.5	448	438.2
Masse eau (g)	57	59	60.3	63.5	52	61.8
Teneur en eau (%)	12.9	13.4	13.7	14.5	11.6	14.1
Compacité (%)	100.2	95.4	89.7	99.4	94.9	90.2

Poinçonnement échant.1							Poinçonnement échant.2						
10(56cps)			5 (25 cps)		K (10 cps)		10(56cps)			5 (25 cps)		K (10 cps)	
Enfonc (mm)	Lecture	Force (KN)	Lecture	Force (KN)	Lecture	Force (KN)	Enfonc (mm)	Lecture	Force (KN)	Lecture	Force (KN)	Lecture	Force (KN)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.85		0.38		0.15		0.25	0.45		0.20		0.13	
0.5	1.42		0.87		0.65		0.5	0.88		0.46		0.22	
0.75	1.97		1.52		1.52		0.75	1.56		0.79		0.48	
1	2.54		2.03		1.85		1	2.13		1.57		0.73	
1.5	3.69		2.78		2.49		1.5	2.74		1.92		1.02	
2	4.11		3.15		2.78		2	3.28		2.43		1.46	
2.5	4.72	35	3.67	27	3.26	24	2.5	3.97	30	2.84	21	1.77	13
3	4.98		4.12		3.90		3	4.62		3.28		2.00	
4	5.75		4.71		4.61		4	5.19		3.78		2.20	
5	6.67	34	5.53	28	4.89	25	5	5.78	29	4.15	21	2.48	13
6							6						

Echantillon 1



Echantillon 2



Courbes CBR des échantillons des sols de la plateforme de la route Sébikotane-Bambilor

	Echantillon 1			Echantillon 2		
N° moule	10	5	K	10	5	K
CBR à 2,5 mm	35	27	24	30	21	13
CBR à 5 mm	34	28	25	29	21	13
CBR retenu	34	28	24	29	21	13

Mesure de l'équivalent de sable NF P 18 -598				
Nature	Sable		Sable	
	Echantillon 1		Echantillon 2	
Masse initiale (M1)	120g			
Eprouvettes E	E1	E2	E1	E2
Hauteur H1 (cm)	32,5	32,8	26	25
Hauteur H2 (cm)	9,5	9,5	9	9
ES= 100(H2/H1)	29	29	35	36
ES	29		36	

Classification générale	Au plus 35% des grains plus petits que 0,08mm							Plus 35% des grains plus petits que 0,08mm					
	A ₁		A ₃	A ₂				A ₄	A ₅	A ₆	A ₇		
Pourcentage passant:	A _{1a}	A _{1b}		A ₂₋₄	A ₂₋₅	A ₂₋₆	A ₂₋₇				A ₇₋₅	A ₇₋₆	
au tamis de 2mm	≤ 50		Impossible à déterminer										
au tamis de 0,4mm	≤ 30	≤ 50		≥ 51									
au tamis de 0,08mm	≤ 15	≤ 25		≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Caractéristique de la fraction passant au tamis de 2mm											$I_p < \frac{l_p}{w_1 - 30}$	$I_p > \frac{l_p}{w_1 - 30}$	
Indice de plasticité	< 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	
Limite de liquidité	Impossible à déterminer		—	≤ 40		≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Indice de groupe	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20	≤ 20	
Appellation générale	Cailloux	Sable fin		Mélange de graviers limoneux ou argileux avec des sables limoneux ou argileux				Sols limoneux		Sols argileux			
	Graviers												
	Sables												

TABLEAU de classification HRB

LOGICIEL DE CLASSIFICATION DES SOLS (HRB)

Date : 09/08/20 Heure 12:55:36

Soit x le % passant à 0,080 mm					CLASSE DE SOLS
Diamètres des Tamis pris en compte			Limites d'Atterberg		
2 mm	0,5 mm	0,08 mm	LL	IP	A - 6(2)
100		39,1	31	16,1	

Sols moyennement argileux

Soit x le % passant à 0,080 mm					CLASSE DE SOLS
Diamètres des Tamis pris en compte			Limites d'Atterberg		
2 mm	0,5 mm	0,08 mm	LL	IP	A - 6(3)
100		40,2	33,6	17,8	

Sols moyennement argileux

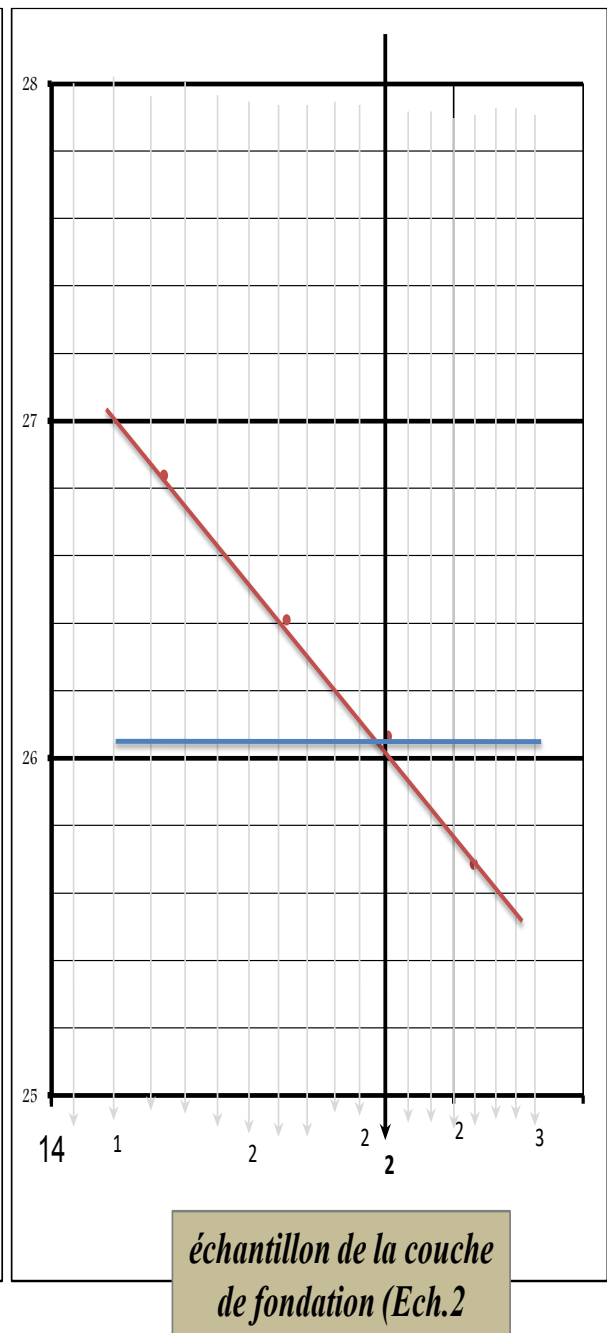
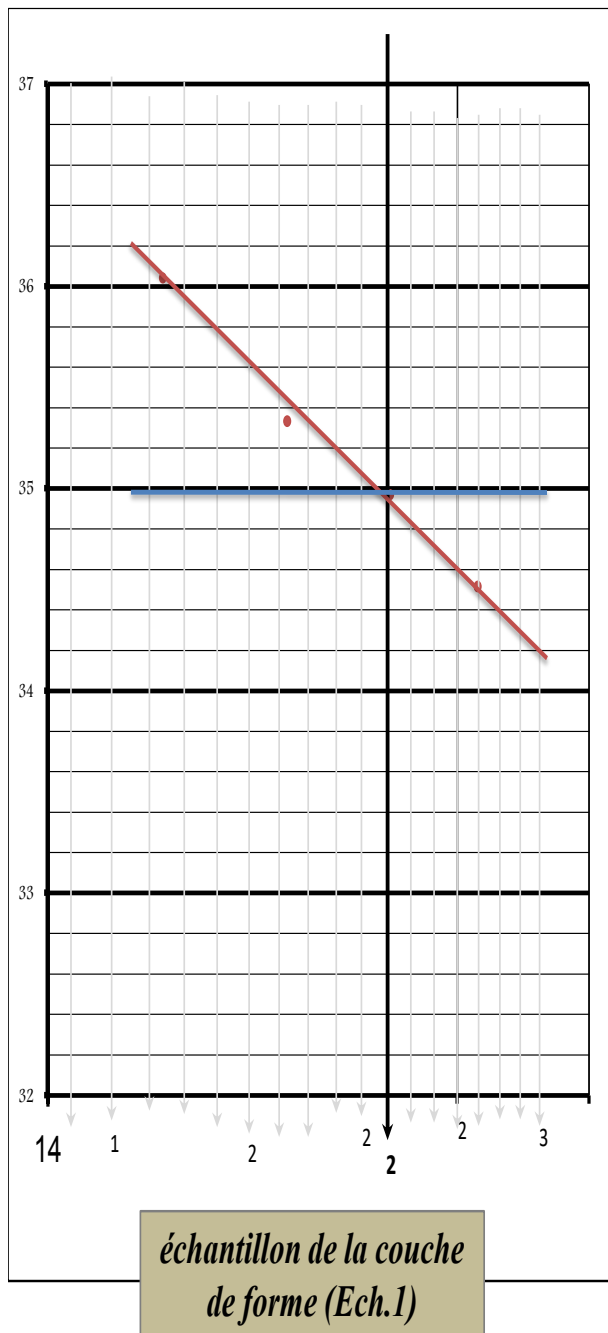
Annexes II : Résultats des essais géotechniques effectués sur les gravuleux latéritiques

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISSAGE (NF P 94 056)			
Matériau	Graveleux latéritiques	Date de l'essai	26-08-2020
Provenance	Piste Sébikotane-Bambilor	Opérateur	Maurice GOMIS
Date de prélèvement	08-08-20120	Laboratoire	SOTRAPBAT
Vérifié par: M. Khalil NGOM, responsable du laboratoire géotechnique SOTRAPBAT			

Echantillon de la couche de forme					Echantillon de la couche de fondation				
Module	Diamètre tamis(mm)	Masse de refus (g)	Masse % de refus	Masse % de passant	Module	Diamètre tamis(mm)	Masse de refus (g)	Masse % de refus	Masse% de passant
48	50	0	0,0	100,0	48	50	0	0,0	100,0
47	40	330	6,6	93,4	47	40	240	4,0	96,0
46	31,5	475	9,5	90,5	46	31,5	540	9,0	91,0
44	20	1020	20,4	79,6	44	20	1275	21,3	78,8
43	16	1260	25,2	74,8	43	16	1635	27,3	72,8
41	10	1705	34,1	65,9	41	10	2500	41,7	58,3
40	8	1960	39,2	60,8	40	8	2960	49,3	50,7
38	5	2350	47,0	53,0	38	5	3585	59,8	40,3
35	2,5	2750	55,0	45,0	35	2,5	4025	67,1	32,9
33	1,5	2935	58,7	41,3	33	1,5	4125	68,8	31,3
22	0,125	3845,0	76,9	23,1	22	0,125	4775,0	79,6	20,4
20	0,08	3995	79,9	20,1	20	0,08	4905	81,8	18,3

Essai de détermination des limites d'Atterberg (NF P 94 051)			
Matériau	Graveleux latéritiques	Date de l'essai	28-08-2020
Provenance	Piste Sébikotane-Bambilor	Opérateur	Maurice GOMIS
Date de prélèvement	08-08-2020	Laboratoire	SOTRABAT
Vérifié par: M. Khalil NGOM, responsable du laboratoire géotechnique de l'IST			
Echantillon de couche de forme		Echantillon de couche de fondation	

LIMITE DE LIQUIDITE (WL)					LIMITE DE PLASTICITE (WP)		LIMITE DE LIQUIDITE (WL)				LIMITE DE PLASTICITE (WP)	
Nbre Coups	17	21	25	29			17	21	25	29		
N° Tare	1	2	3	5	6	7	1	2	3	5	6	7
Poids total Humide (g)	33,60	33,04	34,71	36,40	20,62	19,14	53,55	58,57	51,61	50,23	62,76	63,07
Poids total Sec (g)	29,03	29,03	30,08	31,33	19,68	18,20	50,92	56,23	49,71	47,98	60,88	60,78
Poids tare (g)	16,35	17,68	16,84	16,64	14,93	13,08	41,12	47,37	42,42	39,22	48,56	45,45
Poids d'eau (g)	4,57	4,01	4,63	5,07	0,94	0,94	2,63	2,34	1,90	2,25	1,88	2,29
Poids Sol Sec (g)	12,68	11,35	13,24	14,69	4,75	5,12	9,80	8,86	7,29	8,76	12,32	15,33
Teneur en eau (%)	36,0	35,3	35,0	34,5	19,8	18,4	26,8	26,4	26,1	25,7	15,3	14,9
Teneur en eau Moyenne (%)					19,1						15,1	

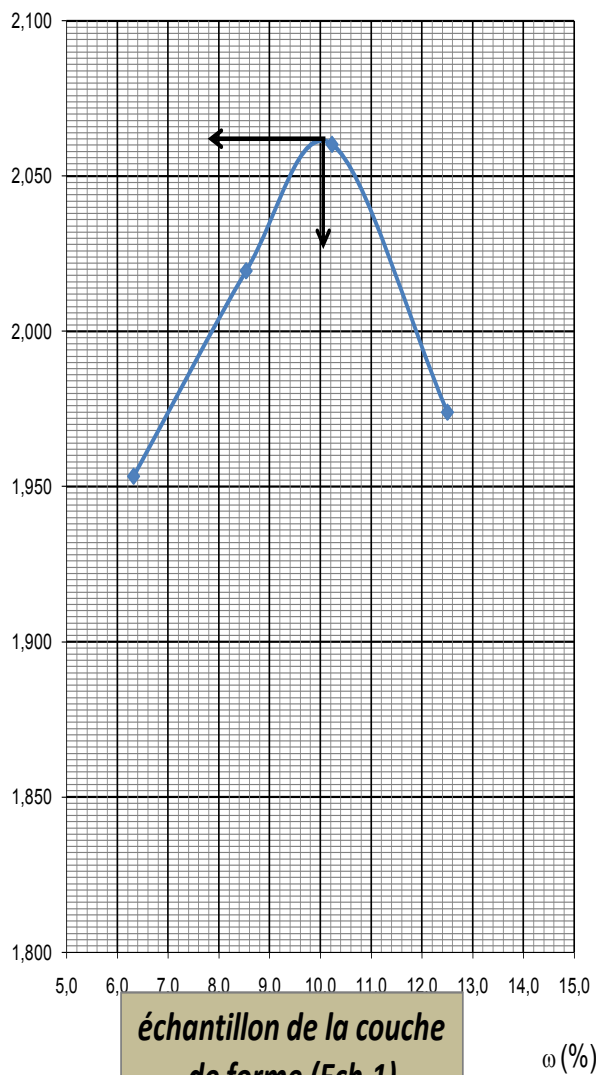


Courbes des limites d'Atterberg des échantillons de graveleux latéritiques de sébikotane

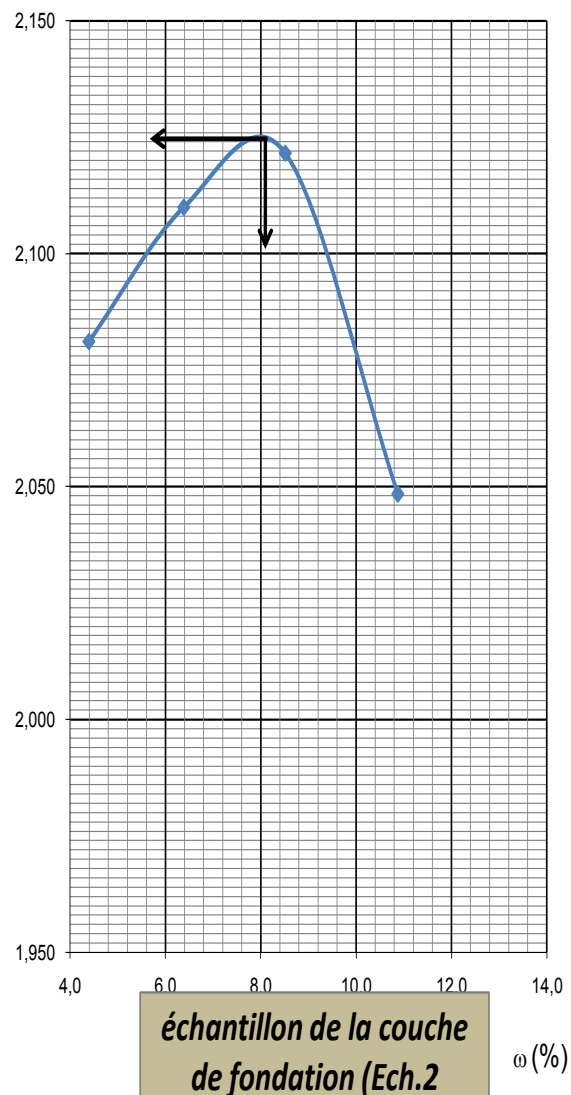
ESSAI PROCTOR MODIFIE (NF P 94 093)			
Matériau	Graveleux latéritiques	Date de l'essai	27-08-2020
Provenance	Bambilor-sébikotane	Opérateur	Maurice GOMIS
Date de prélèvement	08-08-2020	Laboratoire	SOTRAPBAT
Vérifié par: M. Khalil NGOM, responsable du laboratoire géotechnique de SOTRAPBAT			
Echantillon de la couche de forme		Echantillon de la couche de fondation	

Eau Moulage (%)	4	6	8	10	Eau Moulage (%)	4	6	8	10
Masse Sol Humide (g)	4330	4570	4735	4630	Masse Sol Humide (g)	4530	4680	4800	4735
Volume Moule (cm ³)	2085	2085	2085	2085	Volume Moule (cm ³)	2085	2085	2085	2085
Masse volumique Humide (t/m ³)	2,077	2,192	2,271	2,221	Masse volumique Humide (t/m ³)	2,173	2,245	2,302	2,271
Masse volumique Echant. Humide (g)	505	445	485	495	Masse Echantillon Humide (g)	475	500	510	510
Masse volumique Echantillon Sec (g)	475	410	440	440	Masse Echantillon Sec (g)	455	470	470	460
masse Eau (g)	30,0	35,0	45,0	55,0	Masse Eau (g)	20,0	30,0	40,0	50,0
Teneur en Eau (%)	6,3	8,5	10,2	12,5	Teneur en Eau (%)	4,4	6,4	8,5	10,9
Masse volumique Sèche (t/m ³)	1,953	2,019	2,060	1,974	Masse volumique Sèche (t/m ³)	2,081	2,110	2,122	2,048

Masse volumique sèche



Masse volumique sèche



Courbes Proctor Modifié des échantillons de graveleux latéritiques de Sébikotane

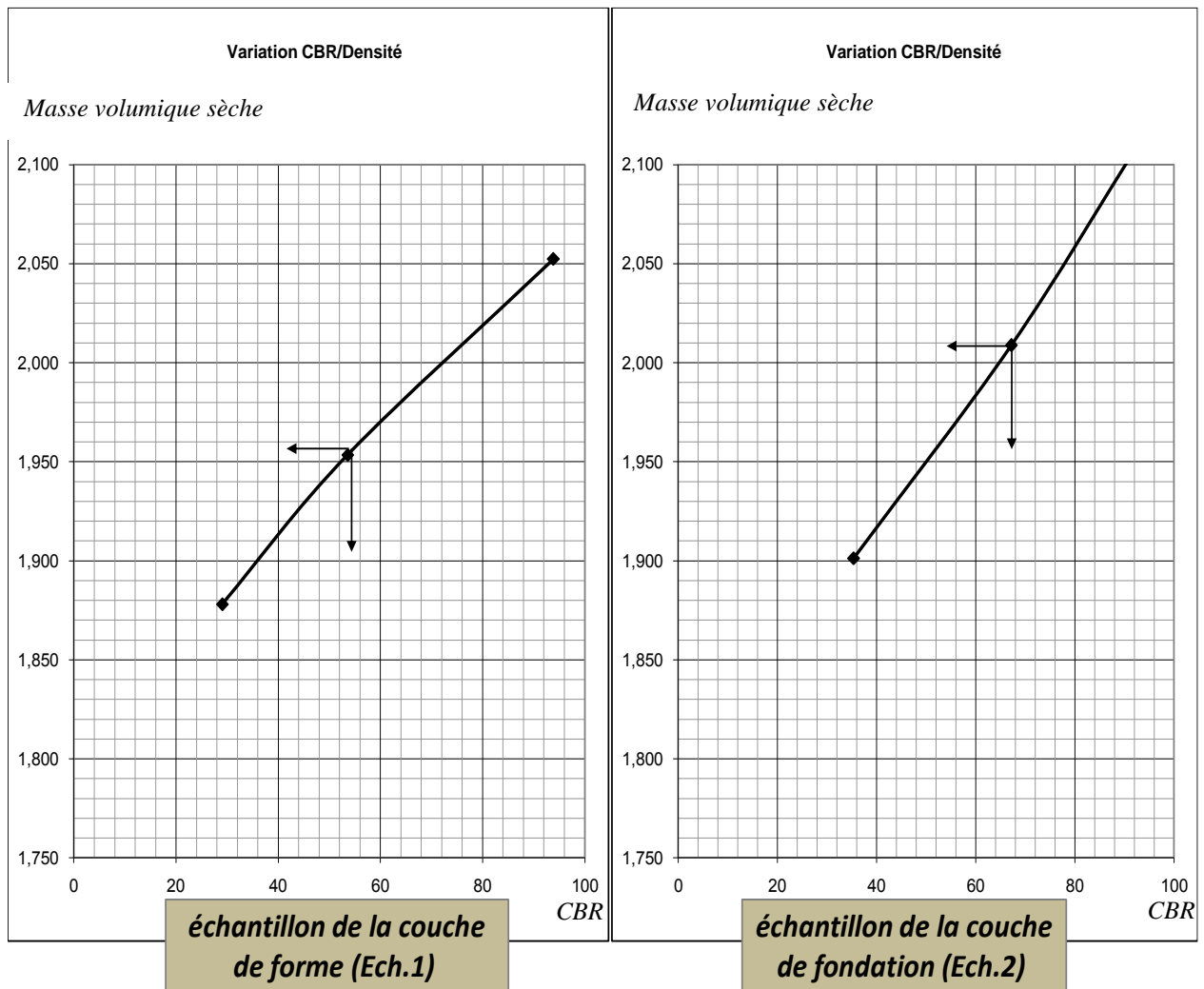
ESSAI CBR (NF P 94 078)			
Matériau	Graveleux latéritiques	Date de l'essai	08-08-2019
Provenance		Opérateur	Maurice GOMIS
Date de prélèvement	08-08-2019	Laboratoire	SOTRABAT
Echantillon de la couche de forme		Echantillon de la couche de fondation	

Nombre de coups		55	25	10	Nombre de coups		55	25	10
N° Moule		G	K	4	N° Moule		D	L	K
Masse total Humide (g)		8490	8325	8145	Masse total Humide (g)		9095	8335	8050
Masse Moule (g)		3720	3785	3780	Masse Moule (g)		3785	3760	3720
Masse net Matériaux (g)		4770	4540	4365	Masse net Matériaux (g)		5310	4575	4330
Masse volumique Humide (t/m3)		2,267	2,158	2,075	Masse volumique Humide (t/m3)		2,288	2,174	2,058
Masse volumique Sèche (t/m3)		2,052	1,953	1,878	Masse volumique Sèche (t/m3)		2,113	2,009	1,901
Compacité (%)		99,6	94,8	91,2	Compacité (%)		99,7	94,8	89,7

Nbre de coups	55	25	10	Nbre de coups	55	25	10
Masse Humide échantillon	475			Masse Humide échantillon(g)	525		
Masse sec échantillon(g)	430			Masse sec échantillon(g)	485		
Masse Eau (g)	45			Masse Eau (g)	40		
Teneur en eau moyenne%	10,5			Teneur en eau moyenne%	8,2		

Poinçonnement échantillon de la couche de fondation						
Enfonce- ment (mm)	55coups		25coups		10coups	
	Lecture	CBR	Lecture	CBR	Lecture	CBR
0,25	5,00		4,00		3,00	
0,5	10,00		6,00		4,00	
0,75	18,00		9,00		6,00	
1	28,00		19,00		8,00	
1,5	47,00		26,00		11,00	
2	55,00		38,00		14,00	
2,5	65,00	87	44,00	59	19,00	25
3	77,00		58,00		28,00	
4	88,00		66,00		34,00	
5	103,00	94	74,00	67	39,00	35
6	112,00		88,00		47	
CBR :	Nbre de coups			55	25	10
	à 2,5mm			87	59	25
	à 5,0mm			94	67	35
	Maxi.			94	67	35

Poinçonnement échantillon de la couche de forme						
Enfonce- ment (mm)	55coups		25coups		10coups	
	Lecture	CBR	Lecture	CBR	Lecture	CBR
0,25	3,00		2,00		1,00	
0,5	10,00		6,00		3,00	
0,75	17,00		8,00		5,00	
1	29,00		16,00		7,00	
1,5	48,00		24,00		13,00	
2	64,00		32,00		17,00	
2,5	70,00	94	39,00	52	21,00	28
3	72,00		47,00		27,00	
4	74,00		51,00		29,00	
5	89,00	81	59,00	54	32,00	29
6	95,00		63,00		39	
CBR :	Nbre de coups			55	25	10
	à 2,5mm			94	52	28
	à 5,0mm			81	54	29
	Maxi.			94	54	29



Courbes CBR des échantillons de graveleux latéritiques de Sébikotane

LOGICIEL DE CLASSIFICATION DES SOLS (HRB)

Date : 10/08/20 Heure 20:32:49

Soit x le % passant à 0,080 mm					CLASSE DE SOLS
Diamètres des Tamis pris en compte			Limites d'Atterberg		
2 mm	0,5 mm	0,08 mm	LL	IP	A - 2 - 6(0)
45		20,1	34,9	15,8	

Mélange de graviers et de sables limoneux ou argileux


LOGICIEL DE CLASSIFICATION DES SOLS (HRB)

Date : 10/08/20 Heure 21:06:41


Soit x le % passant à 0,080 mm					CLASSE DE SOLS
Diamètres des Tamis pris en compte			Limites d'Atterberg		
2 mm	0,5 mm	0,08 mm	LL	IP	A - 2 - 7(0)
32,5		18,3	26;1	11	

Mélange de graviers et de sables limoneux ou argileux

Annexes III : Résultats de l'étude de dimensionnement de notre chaussée par le logiciel Alizé 3 du LCPC


Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence)

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,040	5400,0	0,450	0,000	47,6	0,704	-137,4	0,659
	collé		0,040	29,7	0,435	-34,0	0,573
0,080	9300,0	0,450	0,040	29,7	0,734	-45,8	0,573
	collé		0,120	-109,7	-1,516	155,6	0,185
0,160	600,0	0,350	0,120	-109,7	0,004	291,4	0,185
	collé		0,280	-102,7	-0,045	170,0	0,076
0,150	600,0	0,350	0,280	-102,7	-0,045	170,0	0,076
	collé		0,430	-154,2	-0,114	186,8	0,038
infini	105,0	0,350	0,430	-154,2	-0,003	372,2	0,038


Alizé-Lcpc Mémo

☐ 4 - EpsiT= 105,3 (bb)
☐ 5 - EpsiT= 109,9 (gb3)
☐ 6 - EpsiZ= 473,7 (gnt et sol)

Pour imprimer les données des calculs de valeurs admissibles à la suite des résultats des calculs mécaniques: cocher les cases correspondantes dans la liste ci-dessus.

Fermer

entre-jumelage

Rdc = 438,6 m


Tracer

Imprimer Enregistrer

Variante n-1 Variante n+1

Voir Chargt. Fermer

Structure de chaussée proposée par le CCTP


Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

☒ Moyenne journalière annuelle (MJA) : 300
☐ Taux accroissement géométrique (%) : 3,43
☒ Taux accroissement arithmétique (%) : 4
☒ Durée de service (années) : 15
☐ Trafic cumulé PL : 2,1024E+6
Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94
CAM : Catalogue 1998
Risques : Guide lcpc-sétra 94
Risques : Catalogue 1998
Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type : bb
coefficient CAM : 0,8
risque (%) : 25,0
trafic cumulé NE : 1,6819E+6
Epsilon6 (µdéf) : 100
-1/b : 5

Téta equiv. (°C) : 15 °C
E10°10Hz (MPa) : 7200
Etéq10Hz (MPa) : 5400
Hstructurel MB (m) : 0,04
écart type Sh (m) : 0,010
écart type SN : 0,250
Kr (risque) : 0,920
Kc (calage) : 1,1
Ks (che liée/pf3 pf4) : 1

Calculer EpsiT admissible
Calcul inverse NE = f(EpsiT)
Calcul inverse Risk = f(EpsiT)
Bibliothèque des matériaux
Imprimer
Enregistrer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "bb"

EpsilonT
105,3 µdéf
Annotation libre :
gnt et sol
Mémo ...
4 - EpsiT= 105,3 (bb)
5 - EpsiT= 109,9 (gb3)
6 - EpsiZ= 473,7 (gnt et sol)

effacer=dbl click
Fermer

Calcul de la déformation admissible sur le revêtement

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

☒ Moyenne journalière annuelle (MJA) : 300

☐ Taux accroissement géométrique (%) : 3,43

☒ Taux accroissement arithmétique (%) : 4

☒ Durée de service (années) : 15

☐ Trafic cumulé PL : 2,1024E+6

Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94

CAM : Catalogue 1998

Risques : Guide lcpc-sétra 94

Risques : Catalogue 1998

Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type : gb3

coefficient CAM : 0,8

risque (%) : 25,0

trafic cumulé NE : 1,6819E+6

Epsilon6 (µdéf) : 90

-1/b : 5

Calculer EpsiT admissible

Calcul inverse NE = f(EpsiT)

Calcul inverse Risk = f(EpsiT)

Bibliothèque des matériaux

Téta equiv. (°C) : 15 °C

E10¹⁰Hz (MPa) : 12300

Etéq10Hz (MPa) : 9300

Hstructurel MB (m) : 0,08

écart type Sh (m) : 0,010

écart type SN : 0,300

Kr (risque) : 0,906

Kc (calage) : 1,3

Ks (che liée/pf3 pf4) : 1

Imprimer

Enregistrer

EpsilonT

Annotation libre : gnt et sol

Mémo ...

4 - EpsiT= 105,3 (bb)

5 - EpsiT= 109,9 (gb3)

9 - EpsiZ= 473,7 (gnt et sol)

effacer=dbl click

Fermer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "gb3"

Calcul de la contrainte admissible sur la couche de base

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

<input checked="" type="checkbox"/> Moyenne journalière annuelle (MJA) :	300
<input type="checkbox"/> Taux accroissement géométrique (%) :	3,43
<input checked="" type="checkbox"/> Taux accroissement arithmétique (%) :	4
<input checked="" type="checkbox"/> Durée de service (années) :	15
<input type="checkbox"/> Trafic cumulé PL :	2,1024E+6

Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94

CAM : Catalogue 1998

Risques : Guide lcpc-sétra 94

Risques : Catalogue 1998

Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type : **gnt et sol**

coefficient CAM : 1,00

trafic cumulé NE : 2,1024E+6

Coefficient A : 12000

pente b : -0,222

Calculer EpsiZ admissible

Calcul inverse NE = f(EpsiZ)

Bibliothèque des matériaux

Imprimer

Enregistrer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur " gnt et sol "

EpsilonZ

Annotation libre :

gnt et sol

Mémo ...

4 - EpsiT= 105,3 (bb)

5 - EpsiT= 109,9 (gb3)

6 - EpsiZ= 473,7 (gnt et sol)

effacer=dbl click

Fermer

Calcul de la déformation admissible sur la couche de forme, de fondation et la plateforme

Table des Matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Liste des symboles et abréviations	iii
RESUME.....	iv
INTRODUCTION GENERALE.....	2
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU PROJET	4
INTRODUCTION	4
1.1. Caractéristiques du projet	4
1.2. Cadre géographique du projet	5
1.3. Contexte géologique du cap Vert	6
1.3.1. Formations sédimentaires	6
1.3.2. Unités volcaniques	11
Conclusion partielle	14
INTRODUCTION	16
CHAPITRE 2 : CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS DE LA PLATEFORME ET DES GRAVULEUX LATERITIQUES DE SEBIKOTANE	16
2.1. Caractérisation des sols de la plateforme	16
2.1.1.1. Analyse granulométrique	16
2.1.1.2. Essai d'équivalent de sable	18
2.1.1.3. Détermination des limites d'Atterberg	18
2.1.2. Essais de comportement	18
2.1.2.2. Essai CBR	19
2.1.3. Classification des sols de la plateforme	19
2.2. Caractérisation des graveleux latéritiques de Sébikotane	20
2.3. Mise en œuvre des couches de forme et de fondation	24
CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE AVEC LE LOGICIEL ALIZE 3 DU LCPC	28
INTRODUCTION	28
3.1. Paramètres du dimensionnement	28
3.1.1. Type de trafic envisagé	28

3.1.3. Caractéristiques des matériaux de la chaussée	31
3.2. Vérification de la structure de chaussée	32
3.2.1. Modélisation de la structure	32
3.2.2. Calcul des contraintes et déformations engendrées dans la structure.....	32
3.2.3. Calcul des contraintes et déformations admissibles dans les couches de la chaussée avec le logiciel Alizé 3	33
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	37
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37
Liste des figures	kk
Liste des tableaux	kk
Annexes I : Résultats des essais géotechniques effectués sur les sols de la plateforme.....	kk
Annexes II : Résultats des essais géotechniques effectués sur les gravuleux latéritiques....	kk
Annexes III : Résultats de l'étude de dimensionnement de notre chaussée par le logiciel Alizé 3 du LCPC.....	kk
Table des Matières	kk