

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

AFD : Agence Française de Développement
AGETIP : Agence pour l'Exécution des Travaux d'Intérêt Public
ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
APIX : Agence pour la Promotion des Investissements et des Grands Travaux
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEREEQ : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes pour l'Équipement
GITEC : Government Information Technology Executive Council
JICA : Agence Japonaise de la Coopération Internationale
MDC : Mission de Contrôle
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONAS : Office National de l'Assainissement du Sénégal
OPM : Optimum Proctor Modifié
PIS : Pikine Irrégulier Sud
RN1 : Route Nationale 1
C : Dosage en ciment en kg par m³ de béton (kg/ m³)
CEM II : Ciment Portland composé
D : Diamètre du plus gros grain
d : Diamètre du grain le plus fin
E : Dosage en eau (l/m³)
ES : Equivalent de sable
G : Coefficient granulaire
G corrigé : Dosage corrigé du granulats
g : Gravier
i : Quantité de granulats
K : Coefficient tenant compte du type de béton
Ks : Coefficient tenant compte du module de finesse du sable
k : Pourcentage d'un granulats
M_F : Module de finesse
M_i : Masse du granulats
S : Sable
V_a : Volume apparent du granulats



V_C : Volume du ciment

V_G : Volume absolu des granulats seuls

V_i : Volume absolu d'un granulat

V_k : Volume absolu d'un granulat à 50 %

V_m : Volume absolu de l'ensemble des matériaux

σ'_{28} : Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours (MPa)

σ'_c : Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)

γ : Coefficient de compacité

γ_a : Densité apparente

γ_c : Masse volumique spécifique du ciment

γ_s : Poids spécifique

ρ_i : Masse volumique réelle du granulat

ρ_a : Masse volumique apparente du granulat

Δ : Masse réelle des granulats

Δ_0 : Masse théorique des granulats

RESUME

L'étude des sols de plateforme est une étape importante en construction routière. Au Sénégal, les matériaux sont sélectionnés par référence aux règles du CEBTP de 1972, révisées en 1984. Depuis 2015, l'AGEROUTE a édité un catalogue de dimensionnement des chaussées au Sénégal.

Le document a pour objet de présenter les résultats de l'étude d'exécution relative aux travaux de réseau viaire complémentaire dans le cadre de la restructuration de Pikine Irrégulier Sud (PIS).

Les résultats de la mesure du degré de saturation des sols donnent des valeurs comprises entre 67 % et 100 % dans l'ensemble des onze puits manuels exécutés. Ces sols sont moyennement saturés à saturés à cause du caractère inondable de la zone.

Les résultats de l'analyse granulométrique indiquent la nature sableuse des sols de la plateforme. Par conséquent, la fraction argileuse est en faible proportion dans les échantillons prélevés. Ainsi, les sols de plateforme rencontrés tout au long du projet sont de types S₃ et S₄ respectivement avec des indices CBR à 95 % de l'OPM compris entre 12 et 22. Les sols sableux de PIS ont ainsi une portance appréciable pour la réalisation de la plateforme.

La formulation du béton hydraulique pour pavés est décrite dans le Cahier de Prescriptions Techniques (CPT). Ce béton est composé de ciment Portland composé (CEM II /32,5 R), de sable 0/3, de gravier 3/8 (basalte concassé) et d'eau donne une résistance moyenne à la compression simple à 28 jours égale à 34,5 MPa. Ce béton a été dosé à 400 kg/m³ de ciment avec un volume d'eau égale à 200 l. La méthode de composition est celle de Dreux-Gorisse.

Mots clés : Pikine, Sols, Plateforme, Formulation, Béton hydraulique, Pavés

INTRODUCTION GENERALE

Le développement des infrastructures routières favorise la mobilité urbaine, la fluidification de la circulation et le commerce interrégional au Sénégal.

La liaison routière avec les pays limitrophes est mieux assurée. Dans un contexte économique dégradé, les milieux ruraux sont caractérisés par une forte progression de la pauvreté et par une insuffisance des infrastructures de transports.

Au-delà de la mobilité, de la réduction des pertes de temps et des situations de congestion, les routes modernes constituent de véritables bases de développement socio-économique.

L'Etat du Sénégal et ses partenaires au développement ont élaboré plusieurs projets d'aménagement urbain dont l'autoroute à péage Dakar-Diamniadio. Ce projet traverse la zone de Pikine Irrégulier Sud (PIS). C'est dans ce contexte que le projet de restructuration de Pikine Irrégulier Sud réseau viaire complémentaire voit le jour. Il est compris entre la ligne de chemins de fer, la Route Nationale N°1 (RN1), le carrefour Seven-Up et elle se termine à la limite de la clôture de la forêt classée de Mbao. Elle couvre une superficie de 857 ha 77 a et traverse cinq (5) communes d'arrondissement de la zone de Pikine Sud, à savoir : Guinaw Rails Nord (55 ha 84 a) ; Guinaw Rails Sud (125 ha 53 a) ; Thiaroye Gare (129 ha 52 a correspondant à la partie comprise dans la zone d'étude) ; Tivaouane-Diacksao (101 ha 41 a) ; Diamaguène-Sicap Mbao (445 ha 47 a) qui traverse les communes d'arrondissement de Guinaw Rails.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres : le premier chapitre présente le projet et le cadre d'étude, le deuxième chapitre expose en détails la caractérisation géotechnique des sols de la plateforme tandis que le troisième chapitre est consacré à l'étude de formulation du béton hydraulique pour pavés.



CHAPITRE 1 :

PRESENTATION DU PROJET ET

DU CADRE D'ETUDE

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU PROJET ET DU CADRE D'ETUDE

INTRODUCTION

Dans le cadre de la restructuration de Pikine Irrégulier Sud (PIS), la zone a accueilli un grand projet de construction d'ouvrages d'assainissement qui consiste à drainer les eaux de pluies, des travaux de chaussées etc. Ce chapitre présente le projet de PIS, sa localisation géographique ainsi que le contexte géologique du cadre d'étude.

1.1. PRESENTATION DU PROJET

L'aménagement du réseau viaire mis en cohérence avec le système de drainage constitue un volet important dans la restructuration urbaine de PIS. Il permettra à terme de mettre à niveau les voiries primaires et le réseau de voiries secondaires desservant les quartiers et équipements socio-collectifs réalisés. L'objectif étant d'améliorer la mobilité et les conditions de déplacement des populations.

A ce jour, ce volet en cours d'exécution est réalisé par les entreprises SOGEC et SOCETRA pour un montant de plus de 4 Milliards de Francs CFA.

Il est composé de :

- un réseau primaire de 0,870 km en bitume qui comprend : la réhabilitation de la bretelle de Fass Mbao qui assure la liaison entre la Route Nationale N°1 et la route de « Boune » en desservant les quartiers Est de la Commune de Diamaguene Sicap Mbao.

- un réseau secondaire de près de 4,5 km en pavés : les voiries secondaires assurent la desserte des quartiers à partir des réseaux primaires, la circulation intérieure entre les quartiers de Tivaouane Diack Sao, Diamanguene Sicap Mbao, Guinaw Rail Sud et Guinaw Rail Nord, la desserte des pôles économiques et des équipements socio-collectifs.

Ce sont des travaux en lot unique liés au projet de l'autoroute à péage Dakar-Diamniadio, pour la restructuration de la zone de PIS.

Il est financé par l'Etat du Sénégal, la Banque Mondiale et l'Agence Française de Développement (AFD). Ce projet d'une grande envergure, fait que diverses personnes physiques ou morales interviennent directement ou indirectement, totalement ou partiellement dans son élaboration.

Le maître d'ouvrage est l'Agence pour la Promotion des Investissements et des Grands Travaux (APIX SA). L'Agence pour l'Exécution des Travaux d'Intérêt Public (AGETIP) étudie le projet



et supervise les travaux en s'assurant de leur bonne exécution. Elle approuve ou non les travaux réalisés dans le cadre du projet et ceci pour le compte du maître d'ouvrage.

L'entreprise en charge des travaux est la Société Centrale des Travaux (SOCETRA) qui est une société privée de droit sénégalais. La mission de contrôle comprend : la mission de supervision AFRIC CONSULT /A2M, le bureau SETICO, SCAT INTERNATIONALE SA et le Bureau de contrôle géotechnique (BET Plus) qui assure le contrôle géotechnique extérieur des travaux. Elle contrôle l'ensemble des travaux exécutés par l'entreprise SOCETRA conformément aux exigences de qualité.

1.2. PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

1.2.1. Localisation géographique

La ville de Pikine est située à environ 15 km à l'Est de Dakar. Créée au début les années 1950, elle a connu une urbanisation galopante pour atteindre aujourd'hui une population de 1 101 859 habitants (recensement 2013 de l'ANSD) sur une superficie de 7 943 ha (figure 1). Elle est enclavée surtout et certaines communes manquent de voies de desserte. La ville de Pikine a été longtemps laissée à elle-même et son urbanisation s'est intensifiée de tous les côtés, de façon anarchique, se poursuivant surtout vers le Sud et l'Ouest avec d'importantes zones d'habitats irréguliers. L'autoroute à péage qui la traverse la divise en deux : Pikine Nord et Pikine Sud. Le réseau de voiries existantes est mal structuré et caractérisé par la fréquence de voies interrompues.

Dans un contexte de poussée démographique, la demande croissante de terrains pour l'habitat, la spéculation foncière et l'absence de contrôle effectif de l'Etat ont rapidement conduit à une occupation irrégulière massive de la zone. Les terrains (titrés ou non) ont été occupés, subdivisés et construits en dehors des procédures formelles. L'absence d'alignement et l'étroitesse des voies accentuent le manque global d'accessibilité. Le niveau général d'équipement reste très insuffisant et toutes choses qui limitent les possibilités d'organisation et de développement harmonieux de la zone.

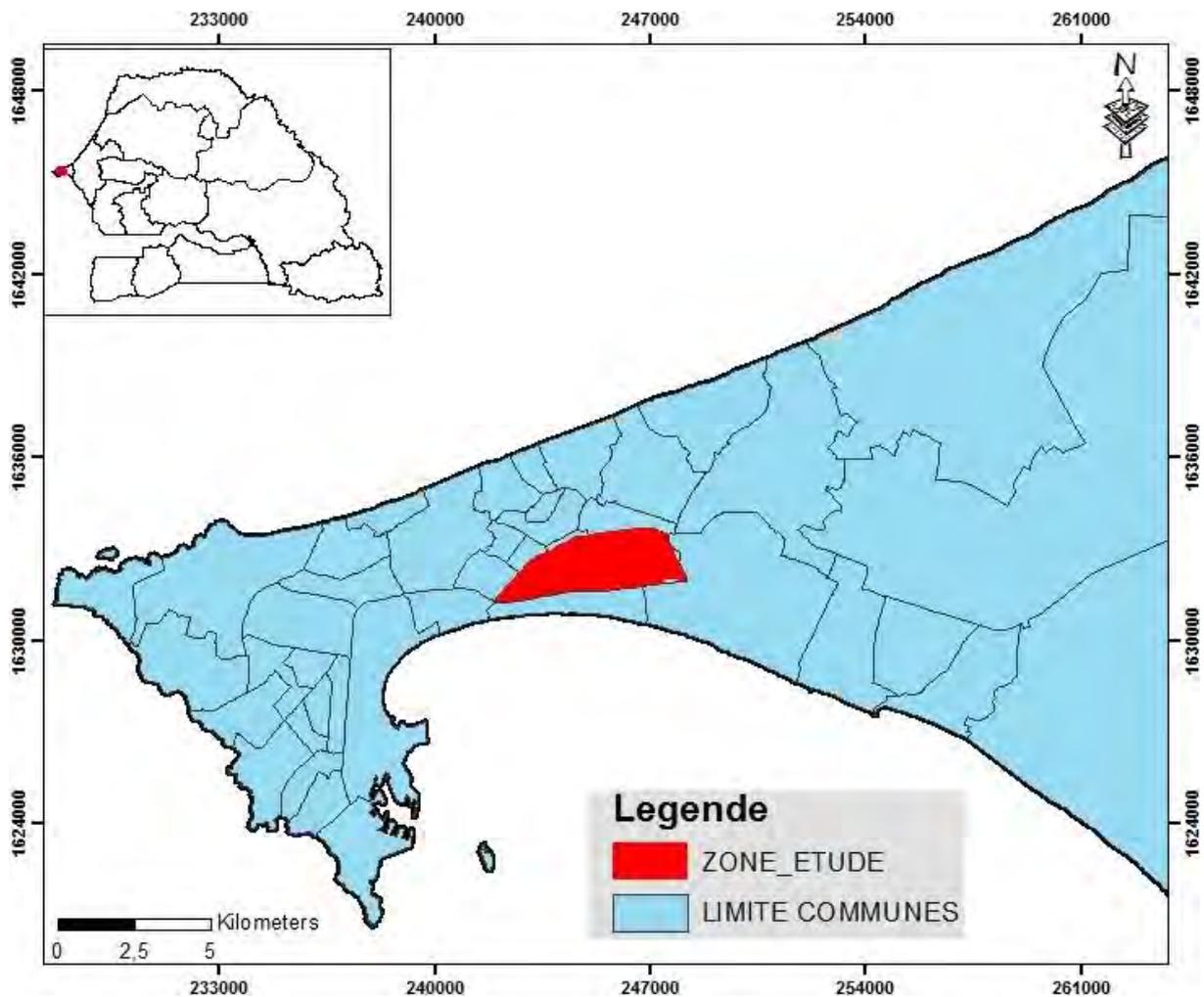


Figure 1 : Plan de situation de la zone d'étude à Pikine Irrégulier Sud (URBAPLAN INGESAHEL, 2006)

Pikine Irrégulier Sud est limitée au Nord par la voie ferrée, au Sud par la RN1, à l'Est par la bretelle de Fass Mbao et à l'Ouest par la limite de la commune de Guinaw Rail Sud (figure 2). Les communes de PIS (figure 2) font partie du vaste département de Pikine (95 km²) et sont généralement caractérisées par leur fort taux d'urbanisation dans un espace mal organisé, avec la présence de nombreuses dépressions.

Ainsi, la commune de Guinaw Rail Nord se présente comme une zone qui manque d'espaces publics pour l'épanouissement des populations. Les voiries existantes sont très étroites, ce qui n'est pas sans danger pour les usagers de la route.

Les difficultés d'écoulement des eaux pluviales font qu'elles stagnent par endroits. Ce même problème de stagnation des eaux est constaté dans la commune de Diamaguene-Sicap Mbao qui est caractérisée par l'abondance de bas-fonds. C'est la commune la plus peuplée de PIS

avec une population d'environ 128 512 habitants (ANSD, 2013) et ses quartiers ne bénéficient guère d'une structuration.

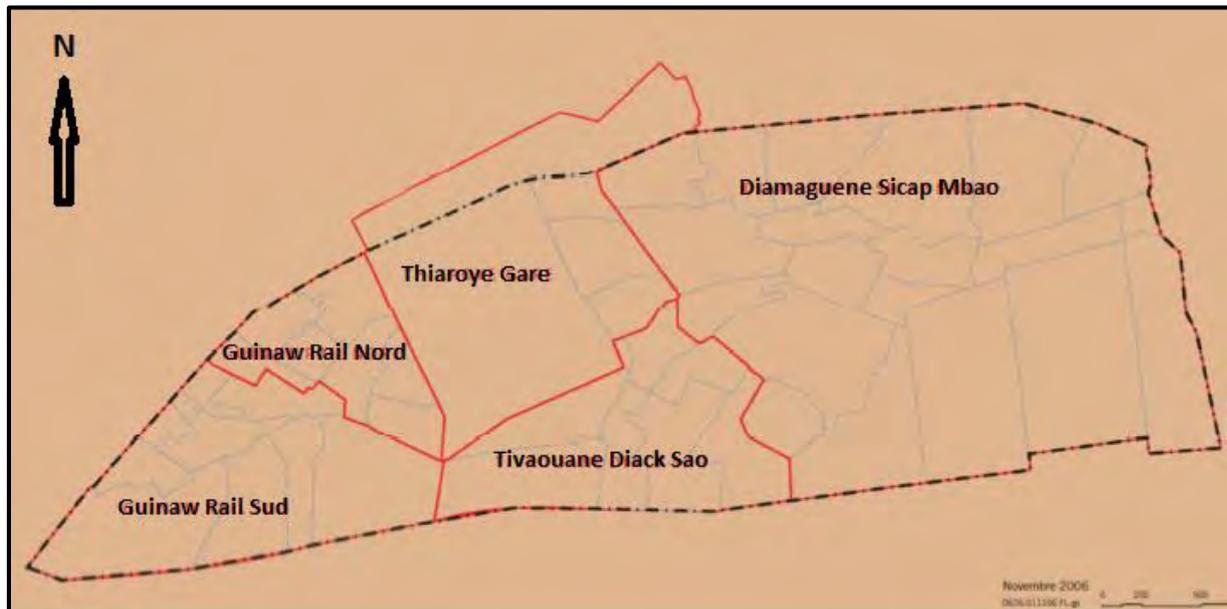


Figure 2 : *Communes de Pikine Irrégulier Sud (URBAPLAN INGESAHEL, 2006)*

La commune de Thiaroye Gare est un cas particulier avec son caractère rural, des terrains non habités, absence de voies structurées et une intense activité. Tivaouane-Diacksao, située entre la RN1 et l'autoroute à péage, est une zone urbaine de forte densité mais non structurée. Elle reçoit pendant la saison des pluies de grandes quantités d'eau d'où l'humidité bien marquée des dépressions même en dehors de la saison des pluies, ainsi que Guinaw Rail Sud qui, en plus de ce phénomène, est une grande décharge de déchets industriels et ménagers.

1.2.2. Données climatologiques

La région de Dakar appartient à la région « subcanarienne » marquée par les fortes influences de l'anticyclone des Açores. L'alizé maritime issu de ce centre d'action est une masse d'air de direction Nord à Nord-Est. Il confère au littoral un climat azonal marqué par la fraîcheur des températures, la faiblesse des amplitudes thermiques et une forte humidité qui se matérialise par des dépôts nocturnes même en saison sèche. Les précipitations reçues à Dakar sont en partie engendrées par la mousson qui en saison des pluies repousse l'alizé maritime vers le Nord (Diop, 2006).

Les valeurs moyennes mensuelles des différentes données climatologiques se rapportant à la région de Dakar, de 2006 à 2015, sont consignées en annexe (annexe page iii et iv).

Les valeurs moyennes des données climatologiques sont présentées dans le tableau I.

Les températures moyennes sont comprises entre 18 et 32 °C. Le mois de février est le plus froid de l'année tandis que septembre est le mois le plus chaud.

En 2015, la pluviométrie était concentrée sur les mois d'août, septembre et octobre (figures 3 et 4). Le mois d'août est le plus pluvieux de l'année. De 2006 à 2015, la valeur moyenne de la pluviométrie était de 214 mm en août (tableau I).

Tableau I : Valeurs moyennes des données climatologiques relevées à la Station Météorologie de Dakar-Yoff de 2006 à 2015 d'après l'ANACIM (Nyafouna, 2016)

Données climatologiques	Unités	Minimum		Maximum	
		Valeurs moyennes	Mois	Valeurs moyennes	Mois
Températures	⁰ C	18,1	Février	32,0	Septembre
Humidités relatives	%	47	Janvier	94	Avril
Pluviométrie	mm/mois	0,4	Février	214,1	Août
Evaporations	mm/mois	2,0	Septembre	4,2	Janvier

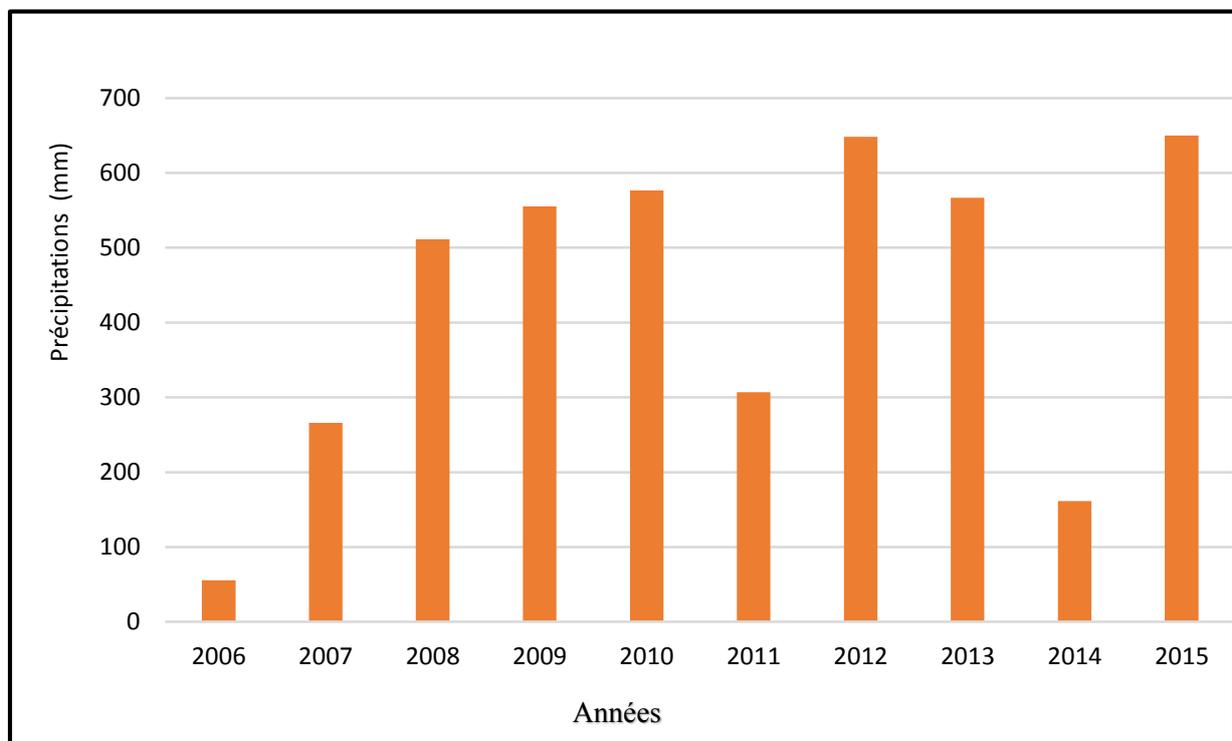


Figure 3 : Variations pluviométriques annuelles dans la région de Dakar de 2006 à 2015 (ANACIM) (Nyafouna, 2016)

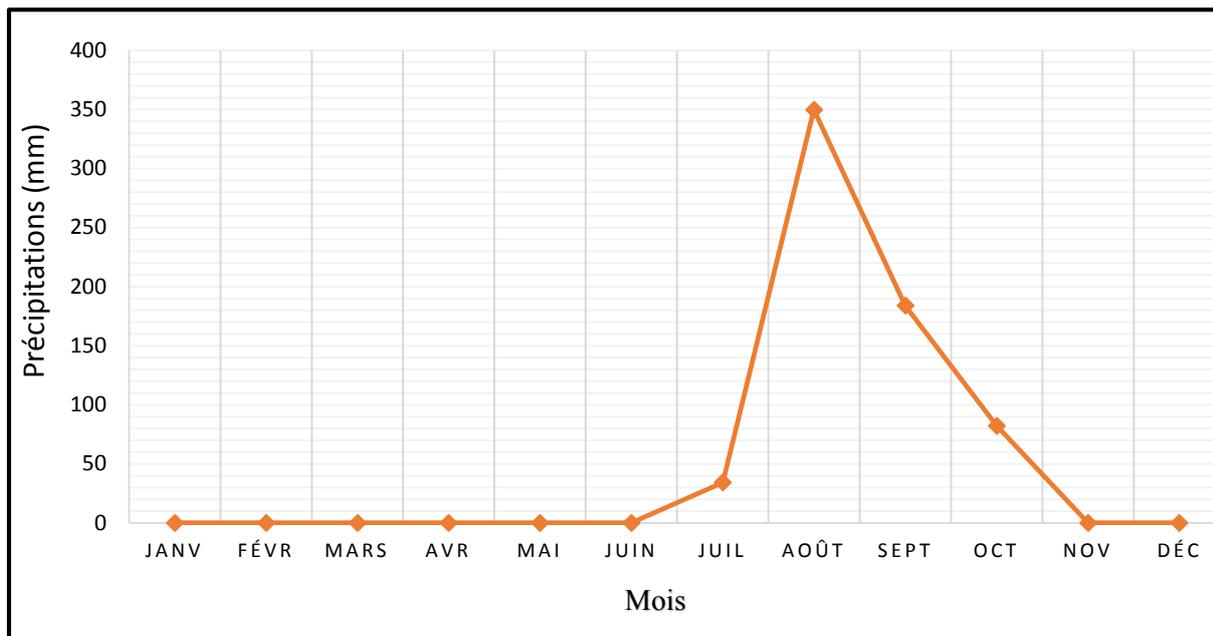


Figure 4 : Variations des précipitations moyennes mensuelles dans la région de Dakar en 2015 (ANACIM) (Nyafouna, 2016)

1.2.3. Données démographiques

Le département de Pikine qui abrite la zone de PIS est d'ailleurs le plus peuplé (figure 5) de la région de Dakar et même du pays avec 1 170 791 habitants essentiellement composés de jeunes. La zone de PIS à elle seule compte une population de 263 824 habitants, d'après les résultats du dernier recensement général de la population et de l'habitat réalisé en 2013 par l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD).

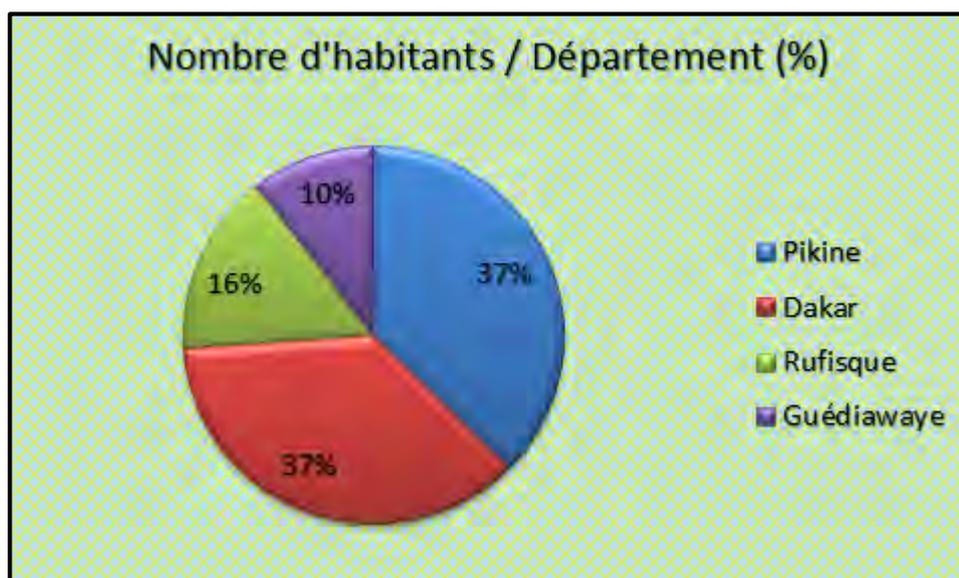


Figure 5 : Répartition de la population dans la Région de Dakar (ANSD, 2013)

1.2.4. Données hydrogéologiques

L'hydrogéologie de la presqu'île du Cap-Vert a fait l'objet de nombreux travaux depuis les années 1920. Pour la région de la presqu'île, le travail le plus significatif reste indiscutablement les cartes à 1/50 000 et notices établies par Martin (1970), synthétisant de manière complète et précise toutes les données géologiques, hydrogéologiques et hydrauliques de la presqu'île de Dakar, acquises jusqu'alors. En 1993, l'étude du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD, 1993a, 1993b), menée pour le compte de la Direction des Etudes Hydrauliques conduit à une synthèse hydrogéologique et à l'élaboration d'un système d'information géographique (SIG), basées essentiellement sur une réactualisation des connaissances antérieures. Précisons que le système autrefois appelé aquifère, ou nappe, des « sables maastrichtiens » et par la suite « maastrichtiens » sera, dans la notice qui suit, dénommé « sables campano-maastrichtiens », conformément aux connaissances stratigraphiques du volet géologique de cette notice.

La nature et la géométrie des systèmes aquifères de la presqu'île sont étroitement liées à la structure géologique compartimentée de la région et impliquent des terrains se succédant du Crétacé supérieur à l'actuel (figure 6). A l'ouest du Horst de Diass, on retrouve principalement des formations mésozoïques et cénozoïques essentiellement argileuses ou marneuses, dépourvues de ressources en eau. Les formations quaternaires sableuses telles que sables marins infrabasaltiques, alluvions graveleuses et sables dunaires, constituent donc l'unique réservoir. Les formations quaternaires couvrent une grande partie de la presqu'île, présentent partout un faciès sableux et sont souvent aquifères. Dans la région du Saloum, les remplissages sableux en interstratification avec les latérites pliocènes plus ou moins remaniées constituent des aquifères locaux en contact latéral avec les sables alluviaux quaternaires du delta du Saloum (Sarr, 1982). Précisons que le système autrefois appelé aquifère, ou nappe, des « sables maastrichtiens » et par la suite « maastrichtiens » sera, dans la notice qui suit, dénommé « sables campano-maastrichtiens », conformément aux connaissances stratigraphiques du volet géologique de cette notice. Dans la région du Horst de Diass, la structure hydrogéologique est plus complexe. Les formations quaternaires, limitées à une frange littorale et au remplissage des vallées fossiles, constituent encore un aquifère important. S'y ajoutent certains niveaux très compartimentés des Mésozoïque et Tertiaire. L'est du Horst de Diass est marqué par un passage progressif vers la structure multicouche du bassin sédimentaire sénégalais, plus ou moins tectonisé, recouvert au nord par les massifs dunaires de la Grande Côte et incisé au sud par le système fluvio-deltaïque du Saloum à dépôts majoritairement sableux.

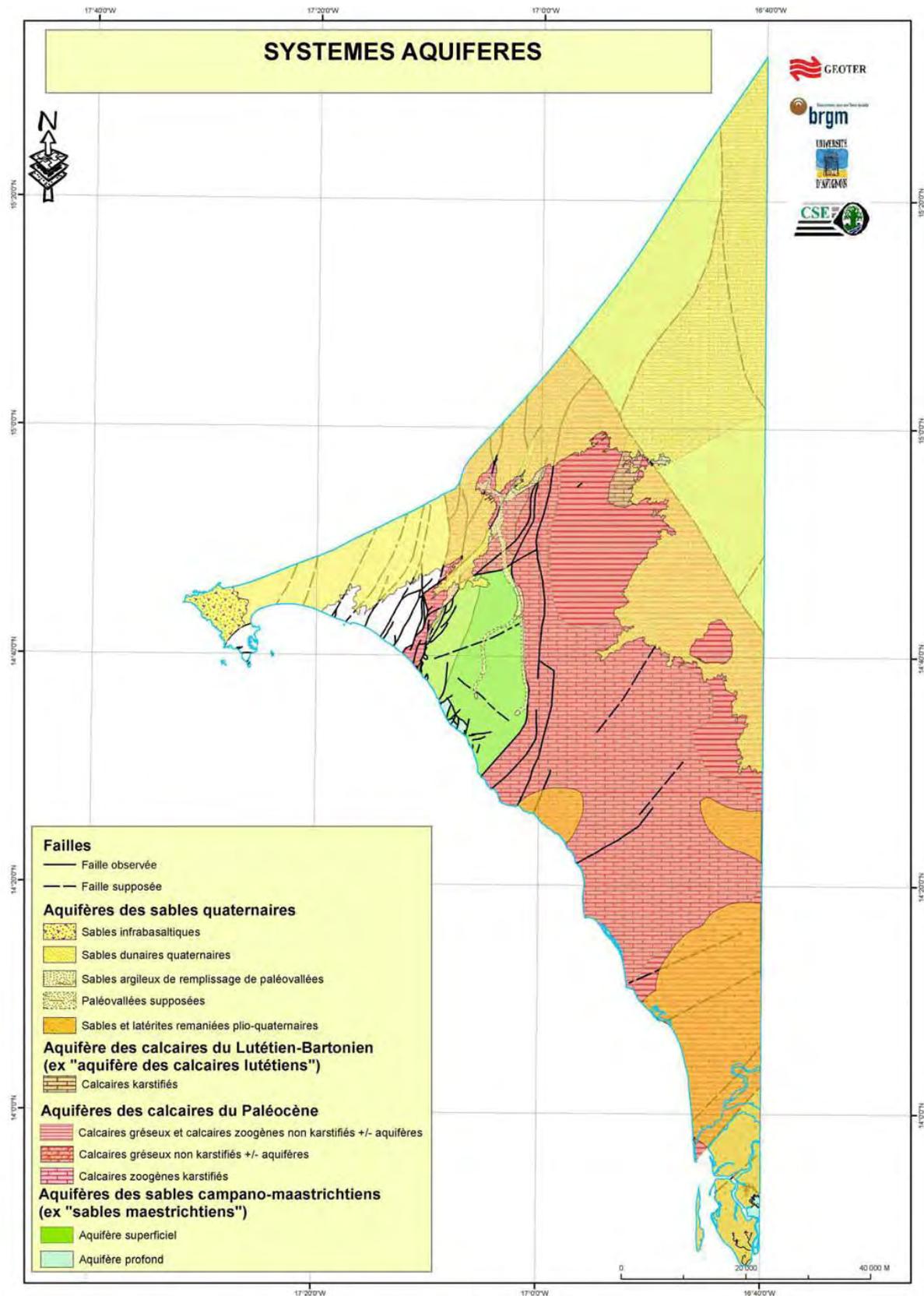


Figure 6 : *Systèmes aquifères et types de contexte géologique associés (d'après Aller et al., 1987)*

1.2.5. Relief et contexte géologique

1.2.5. 1. Le relief

On distingue deux grandes formes de relief : les dunes et les dépressions (figure 7).

1.2.5.1.1. Les dunes

Selon Tricart cité par Ndong (1990), il y a deux ensembles de dunes :

- ❖ Les dunes internes sont des dunes ogoliennes constituées de sables fins de couleur rouge fixés par la végétation. Elles ont une orientation NE-SW et occupent la majeure partie de la presqu'île de Dakar et peuvent atteindre une hauteur de 50 m. Les dunes rouges constituent les ergs de Pikine et de Keur Massar.
- ❖ Les dunes côtières occupent une largeur de 3 km et peuvent être classées en deux types :
 - Les dunes littorales semi-fixées ou dunes jaunes : ces dunes ne sont que partiellement fixées par des euphorbes et des épines.
 - Les dunes ravivées : les alizés maritimes qui peuvent atteindre 25 km/h, ont ravivé certaines parties des dunes semi-fixées.
 - Les dunes vives : elles bordent le littoral et se forment à partir de la plage, nourries par la dérive littorale.

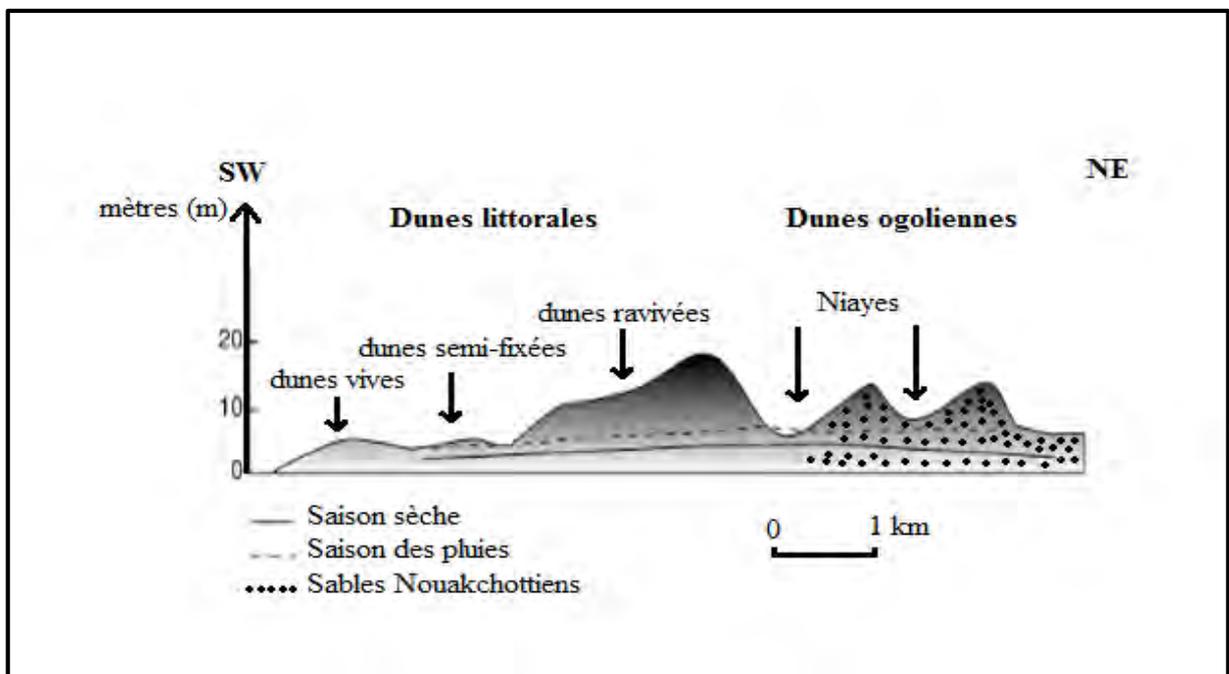


Figure 7 : Dunes et dépressions de la presqu'île de Dakar (BRGM, 1967)

1.2.5.1.2. Les dépressions sableuses (Niayes)

Les Niayes sont enserrées entre les dunes jaunes et les dunes rouges et ont une orientation longitudinale. La Grande Niaye de Dakar qui couvre une superficie de 4800 ha renferme la grande Niaye de Pikine, les Niayes de Maristes-Patte d'Oie et la Niaye de Thiaroye (Pasdune, 2002). Dans la zone de Yeumbeul, on note la cuvette du même nom, située au Nord-Est de la Grande Niaye et trois dépressions fermées (lacs de *Tiourour*, *Ourouaye* et *Youi*). Elles sont inondées par des fluctuations de la nappe phréatique au cours de l'année. Certaines pénètrent loin vers l'intérieur des terres, recoupant les cordons de dunes rouges. Ces sols humides sont exploités pour les cultures maraichères.

1.2.5. 2. Contexte géologique

➤ Le substratum du Crétacé terminal au Cénozoïque

Le Bassin sédimentaire sénégalais enregistre pendant tout le Crétacé (Spengler et *al.*, 1966), une subsidence active qui va se poursuivre jusqu'à la régression qui marque la fin du Maastrichtien. Cette subsidence a varié au cours du temps, s'accéléralant autour de 100 Ma (base du Crétacé supérieur), en liaison avec l'ouverture de la partie équatoriale de l'Océan atlantique (Latil-Brun et Flicoteaux, 1986 ; Latil-Brun et Lucazeau, 1988). Faisant contraste avec la période Cénomanién-Turonien, caractérisée par un contexte transgressif, le **Sénonien s.l.** marque le retour à une sédimentation terrigène sablo-argileuse en partie contrôlée par le jeu de failles synsédimentaires, notamment sur la bordure ouest du Horst de Diass (Bellion et Guiraud, 1984).

Au Sénonien s.s., une nette ségrégation des faciès s'observe, marquant le contraste entre les faciès sableux orientaux de plate-forme continentale, qui passent vers l'ouest à des faciès argileux à foraminifères planctoniques (Castelain, 1965 ; Spengler et *al.*, 1966).

Après un nouvel épisode transgressif, on retrouve le même dispositif au **Maastrichtien**, mais décalé vers l'ouest. Suite à une régression généralisée, la limite Crétacé –Tertiaire est marquée par un important épisode érosif qui se traduit notamment par l'émersion du Horst de Diass, à la fin du Maastrichtien (Castelain, 1965).

Venant en discordance sur le bâti crétacé, le **Paléocène** marque la reconquête marine du bassin sédimentaire et un ralentissement de la subsidence. Un premier épisode transgressif permet l'installation d'une plate-forme marginale, au **Danien**.

Après la grande chute du niveau marin au Sélandien, le bassin est à nouveau ennoyé sur toute sa superficie, au **Sélandien terminal (?) -Thanétien**, conduisant à l'installation d'une puissante plate-forme carbonatée à tendance récifale (100 m de dépôt dans la région de Thiès), très riche

en macrofaune (mollusques, échinidés) et en flore (algues vertes et rouges). A la même époque, à la marge du bassin (Dakar), on observe la pérennité d'un domaine ouvert à sédimentation argileuse, riche en foraminifères planctoniques et petits benthiques (300 m).

La fin du Paléocène est réputée enregistrer une courte émergence de la plate-forme thanétienne. Si on observe un contact abrupt et perforé à la limite Paléocène-Eocène, l'existence d'un karst ancien scellé par les premiers dépôts de l'Eocène inférieur n'est cependant pas partout complètement prouvée.

Au début de l'**Yprésien**, le bassin est à nouveau inondé dans sa totalité (figure 8), permettant le dépôt d'une série à dominante argileuse à attapulгите, riche en silex, glauconie et phosphate, à sa base, plus marneuse et entrecoupée de calcaires argileux, au sommet. Une sédimentation en domaine de plate-forme externe s'installe alors dans la région occidentale de la falaise de Thiès. La région de Dakar, reste à cette époque, le site d'une sédimentation de bassin. Le passage à l'Eocène moyen (**Lutétien**) est souvent progressif, traduisant la réduction de la tranche d'eau et l'installation d'une plate-forme interne à faciès d'alternances marno-carbonatés, à discocyclines, oursins et mollusques variés (Falaise de Thiès) (Tessier, 1952, 1954 b ; Ducasse et al., 1978 ; Flicoteaux, 1980). Dans le secteur de Bargny, les faciès à alternances marno-carbonatées témoignent d'un domaine plus ouvert de plate-forme externe. Le secteur le plus occidental (Dakar) reste le témoin d'une sédimentation marine profonde (Castelain, 1965) (figure 8). Au **Bartonien** (probablement dès le Lutétien supérieur ?) la plate-forme prend un caractère plus nettement carbonatée et s'enrichit en nummulites. L'Eocène supérieur (**Priabonien**) marque une période de retrait de la mer. L'**Oligocène** est mal caractérisé au Sénégal.

➤ Les formations superficielles

Subactuel-Actuel – Dunes littorales actuelles (dunes blanches)

Tafolien (4200-2000 B. P.) – Dunes Jaunes du littoral nord

Nouakchottien (6500-4200 B. P.) – Amas coquilliers

Tchadien (11 800-6500 B. P.) – Tourbes et sols noirs des Niayes.

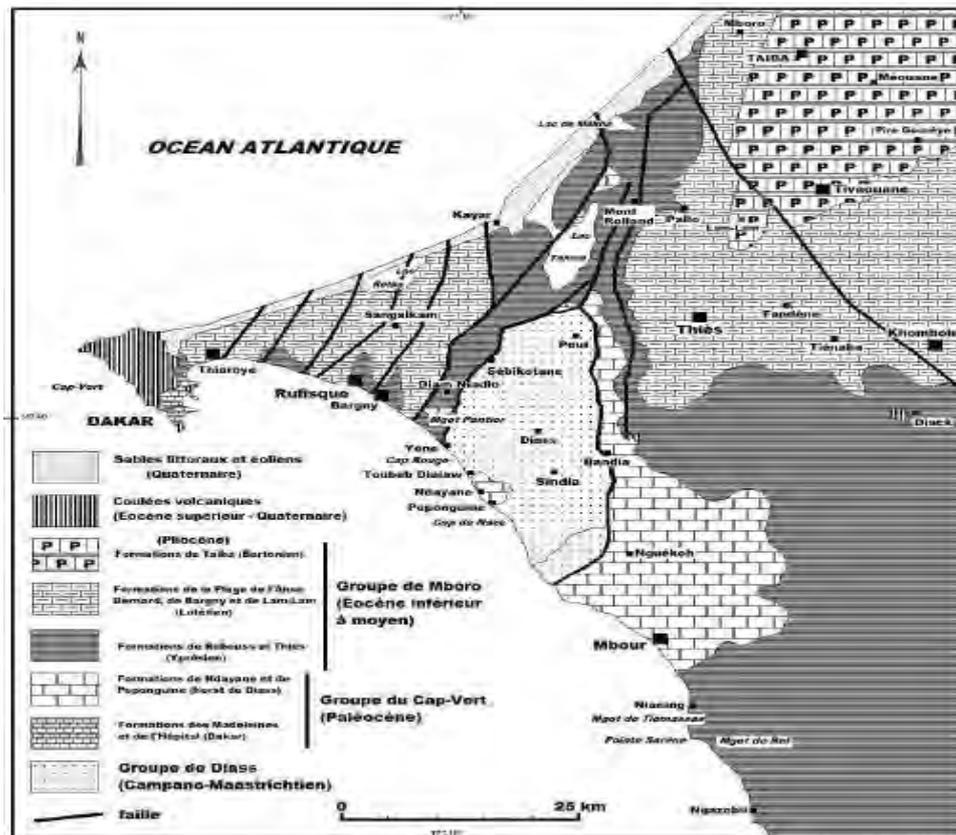


Figure 8 : Carte géologique du Sénégal occidental (Cap-Vert et Thiès) (Roger et al, 2009 ; modifiée par Sarr)

CHAPITRE 2 :
CARACTERISATION
GEOTECHNIQUE DES SOLS DE
LA PLATEFORME

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS DE LA PLATEFORME

INTRODUCTION

L'étude de qualité des matériaux sur le chantier du projet pourrait se résumer, dans un premier temps à l'exécution de plusieurs essais géotechniques normalisés au laboratoire et sur le chantier pendant la mise en œuvre voire avant, et sur les matériaux prélevés après l'approvisionnement. Dans un second temps une interprétation des résultats et un modèle de structure de chaussée seront notifiés.

2.1. RECONNAISSANCE DES SOLS DE LA PLATEFORME

Des puits manuels de reconnaissance ont été exécutés tout au long du tracé sur une profondeur d'environ 1 mètre. Au total onze (11) puits manuels ont été réalisés et des échantillons prélevés dans les différents sols de la plateforme.

2.1.1. Mode de prélèvement

Les sols de la plateforme ont été reconnus au moyen de puits manuels creusés à la pelle et à la pioche jusqu'à la profondeur de 1 m investiguée. Des échantillons représentatifs de sols ont été prélevés dans les puits et soumis à des essais de laboratoire à la SOCETRA.

2.1.2. Description lithologique des puits manuels

Le tableau II donne les coupes lithologiques des différents puits manuels. La nappe phréatique a été rencontrée dans le puits manuel S₇ à 1 m de profondeur.

Tableau II : Coupes lithologiques des différents puits manuels

Sondage S _i	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 09 AXE 2	Sable noirâtre	10
	Latérite	20
	Tout venant	5
	Sable jaunâtre	65

Sondage S2	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 20 AXE 2	Sable grisâtre	100

Sondage S3	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 49 AXE 2	Sable noirâtre	5
	Sable rougeâtre	95

Sondage S4	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 69 AXE 4.1	Sable grisâtre	100

Sondage S4 Bis	Lithologie	Epaisseur (cm)
BRETELLE AXE 4.1	Sable grisâtre	100

Sondage S5	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 21 AXE 08	Sable noirâtre	6
	Sable rougeâtre	94

Sondage S₆	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 39 AXE 8	Sable noirâtre +	100
	Matières organiques Zone de purge	

Sondage S₇	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 02 AXE 9	Sable + inclusion	90
	Sable +	10
	Nappe d'eau	

Sondage S₈	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 22 AXE 10	Sable noirâtre +	60
	matières organiques	
	Sable blanchâtre	40

Sondage S₉	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 42 AXE 10	Sable noirâtre +	85
	matières organiques	
	Sable blanchâtre	15

Sondage S₁₀	Lithologie	Epaisseur (cm)
P 58 AXE 11	Sable noirâtre	6
	Sable rougeâtre	94

Les coupes lithologiques des différents puits manuels montrent la présence de sable dans chaque sondage. Le sable de couleur : grisâtre, noirâtre est donc pollué. La matière organique

visualisée dans les sondages S₈ et S₉ donne un sable infecté donc une analyse chimique minutieuse doit être effectuée.

Les paramètres physiques des échantillons prélevés sont consignés dans le tableau III.

Tableau III : Paramètres physiques des échantillons

Sondages		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₇	S ₈	S ₉	S _{10C1}	S _{10C2}
Profondeur (m)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Teneur en eau naturelle (%)		12,30	12,70	12,90	13,630	13,42	18,20	15,10	14,90	15,70	16,80
Masse volumique (t/m ³)	humide	1,98	1,99	2,08	2,05	2,09	2,13	2,03	2,11	2,10	2,12
	sèche	1,76	1,76	1,85	1,80	1,85	1,80	1,76	1,84	1,82	1,82
Masse volumique des grains (t/m ³)		2,61	2,61	2,60	2,60	2,60	2,60	2,61	2,59	2,60	2,60
Teneur en eau de saturation (%)		18,34	18,34	15,67	16,94	15,67	16,98	18,34	15,84	16,48	16,48
Degré de saturation (%)		67,07	69,25	82,34	80,46	85,66	107,16	82,33	94,05	95,25	101,92
Porosité n (%)		32,39	32,39	28,98	30,58	28,98	30,66	32,39	29,15	30	30
Indice des vides e		0,47	0,47	0,40	0,44	0,40	0,44	0,47	0,41	0,42	0,42

2.2. RESULTATS DES ESSAIS D'IDENTIFICATION ET DE CARACTERISATION

Après échantillonnage et homogénéisation, les matériaux prélevés au droit de chaque puits manuel ont été soumis aux essais d'identification et de caractérisation. Tous les résultats relatifs à ces essais de laboratoire sont consignés dans le tableau IV.

2.2.1. Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituent les échantillons. Elle est décrite par la norme NF P 94-056. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon avec une série de tamis emboîtés les uns dans les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. La séparation des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Les masses des différents refus cumulés ou celles des différents passants sont reportées à la masse initiale du matériau. La courbe granulométrique du mélange M_1 (S_1+S_2) est représentée sur la figure 8. La fraction inférieure ou égale à 2 mm atteint 98,0 % tandis que les fines (particules de dimension inférieure ou égale à 0,08 mm) ont un pourcentage de 2,8 %.

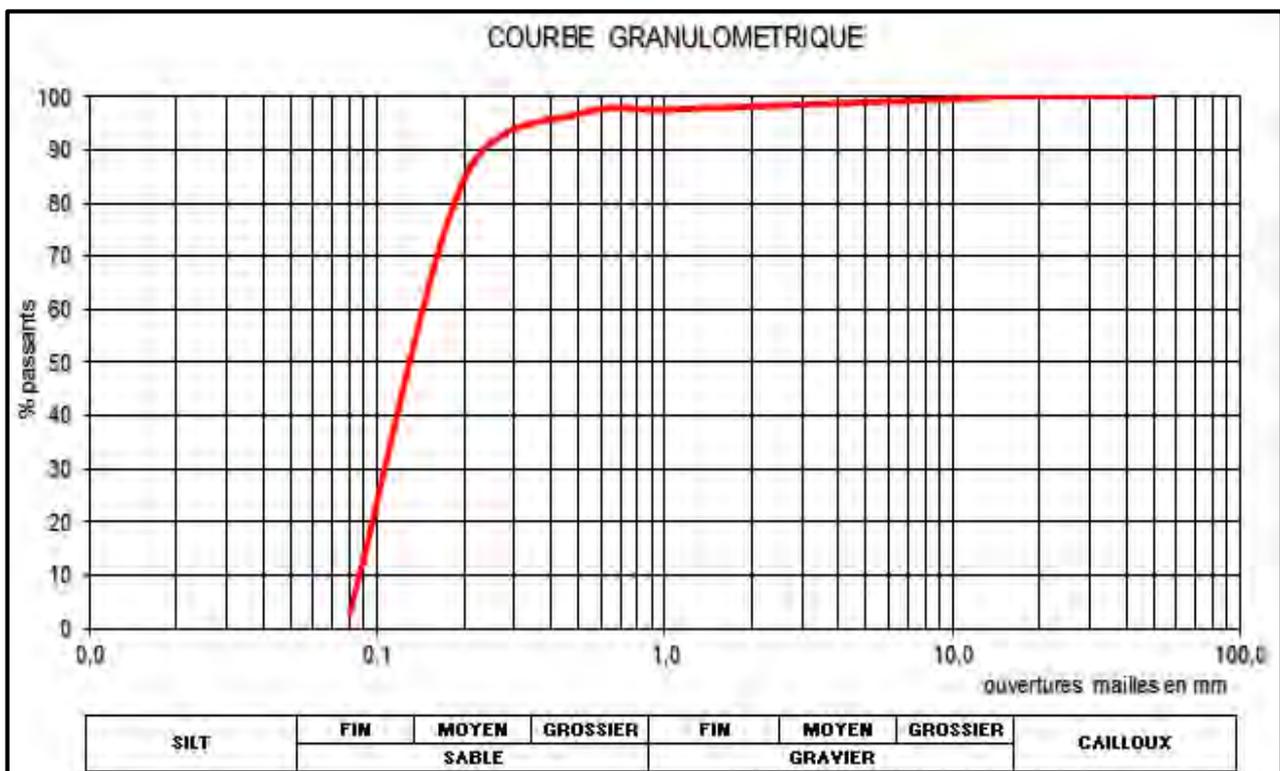


Figure 9 : Courbe granulométrique du mélange M_1 (S_1+S_2)

Les courbes granulométriques des autres mélanges sont données en annexe.

2.2.2. Mesure de la masse volumique humide

La masse volumique humide d'un échantillon de sols exprime le rapport entre sa masse et son volume apparent qui tient compte du volume des grains et des vides qui les entourent.

2.2.3. Mesure de la masse volumique sèche

Le poids spécifique sec (NF P94-053) d'un échantillon de sols est le rapport entre sa masse et son volume absolu (sans les vides qui entourent les grains). Elle est déterminée par ébullition au moyen d'un pycnomètre. Cette méthode s'applique pour des grains de diamètres inférieurs à 5 mm. Pour des particules de dimensions supérieures à 5 mm, la masse volumique réelle (NF EN 1097-6) est déterminée par la méthode de la pesée hydrostatique.

2.2.4. Mesure de l'équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable (NF EN 933-8) est couramment utilisé pour évaluer la propreté de sable.

2.2.5. Essai Proctor Modifié

Cet essai (NF P94-093) permet de déterminer la teneur en eau optimale conduisant à une densité sèche minimale pour un sol donné, selon des conditions de compactage précise. Il consiste à compacter le sol à étudier dans un moule normalisé à l'aide d'une dame normalisée. Après compactage à une énergie qui reste toujours la même (2700 kJ/m^3), on détermine la masse volumique sèche γ_d et la teneur en eau w . Pour cette énergie de compactage constante, il existe une teneur en eau pour laquelle est obtenue la compacité optimale W_{opm} (%). Les résultats de l'essai sont donnés dans le tableau IV.

La figure 10 montre la courbe Proctor Modifié du mélange M_1 ; les autres courbes sont consignées en annexe.

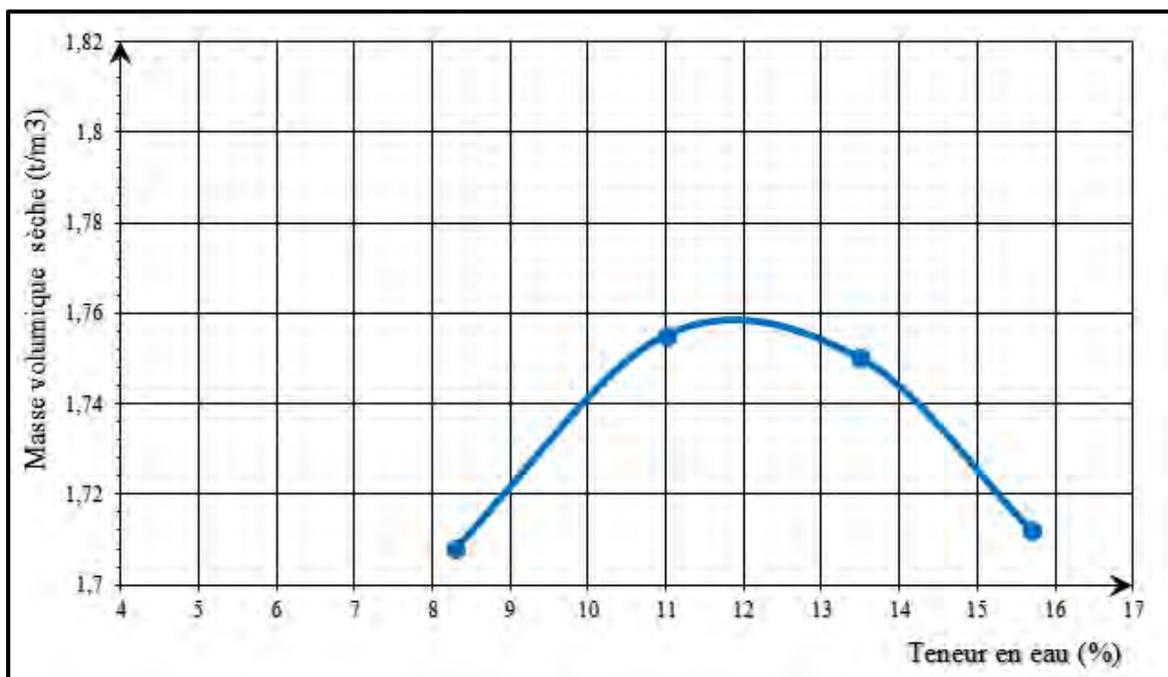


Figure 10 : Courbe Proctor Modifié du mélange M_1 (S_1+S_2)

2.2.6. Essai CBR

L'essai CBR (NF P94-078) est un essai qui caractérise la portance d'un matériau routier. L'échantillon de sol étudié est compacté dans un moule (CBR $\Phi = 15,2$ cm, hauteur $h = 15,2$ cm) après avoir été amené à une teneur en eau homogène et bien définie. Il est ensuite poinçonné et on déduit la pression nécessaire à ce poinçonnement. L'indice CBR caractérise la qualité routière du matériau dans les conditions de compacité et de teneur en eau de l'essai.

La courbe CBR du mélange M_1 est donnée par la figure 11 ; les autres courbes sont consignées en annexe. Les résultats sont donnés dans le tableau IV.

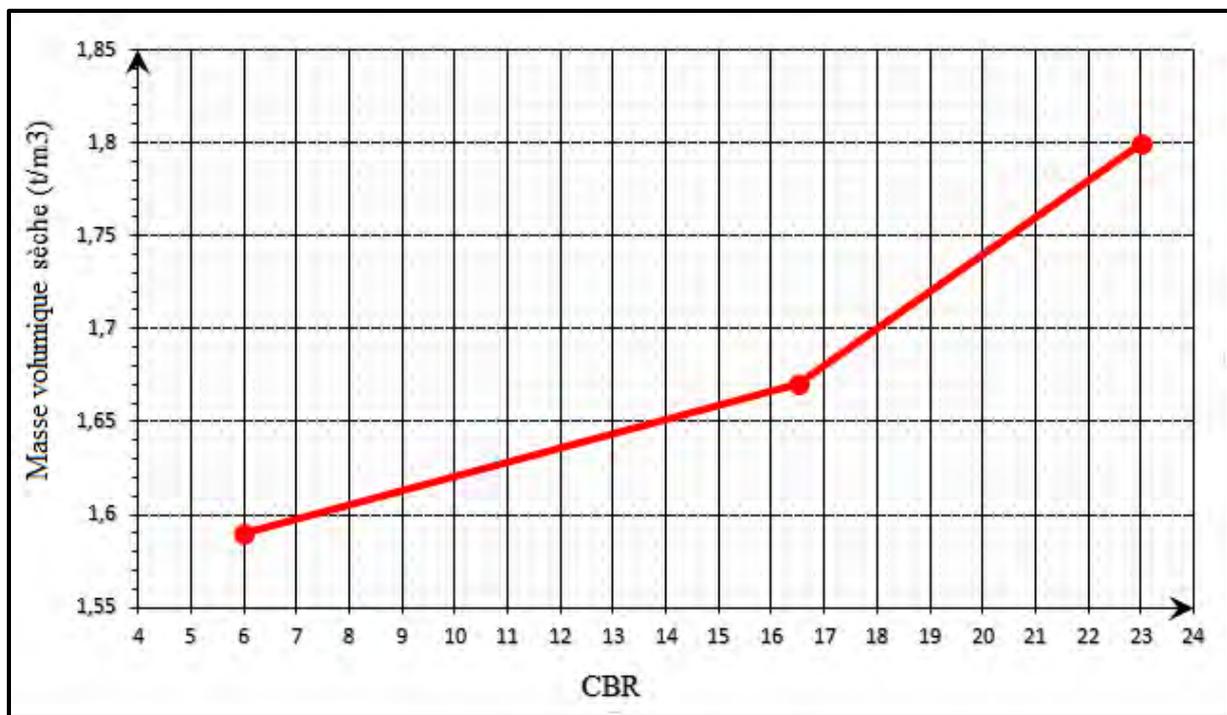


Figure 11 : Courbe CBR du mélange M_1 (S_1+S_2)

Tableau IV : Résultats des essais de laboratoire sur les échantillons prélevés

MELANGE CONSTITUE		GRANULARITE DES ELEMENTS		EQUIVALENT DE SABLE	PROCTOR MODIFIE		CBR à 95 % OPM
		$\leq 2\text{mm}$ (%)	$\leq 0,08\text{mm}$ (%)		$W_{OPM}(\%)$	V_{dmax} (t/m^3)	
SOL DE LA PLATEFORME	Les mélanges de matériau	$\leq 2\text{mm}$ (%)	$\leq 0,08\text{mm}$ (%)	ES	$W_{OPM}(\%)$	V_{dmax} (t/m^3)	
	Sable jaunâtre M ₁ (S ₁ +S ₂)	98,0	2,88	69	12,0	1,76	17
	Sable rougeâtre M ₂ (S ₃ +S ₅)	99,5	7,5	45	9,84	1,85	20
	Sable grisâtre + inclusion M ₃ (S ₄ +S ₅)	93,5	4,0	85	10,6	1,81	14
	Sable rougeâtre M ₄ (S ₁₀ C ₁ +S ₁₀ C ₂)	94,0	7,3	70	12,0	1,84	21
	Sable grisâtre M ₅ (S ₄ bis bretelle)	98,1	5,4	90	10,5	1,84	12
	Sable blanc M ₆ (S ₉)	99,0	3,3	82	11,2	1,82	22
	Sable grisâtre M ₇ (S ₂)	97,4	4,8	66	11,0	1,84	17

2.3. INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats obtenus permettent de :

-savoir si un sol est compactable dans les conditions de chantier, compte tenu de sa teneur en eau naturelle et de sa teneur en eau optimum Proctor.

-fixer les spécifications de compactage à atteindre : dans le cahier des prescriptions techniques.

Les sols de la plateforme seront compactés de façon à ce que la masse volumique sèche maximale (V_{dmax}) soit supérieure ou égale à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié (OPM).

Pour les différents mélanges, les valeurs de l'indice CBR se situent entre 12 et 22.

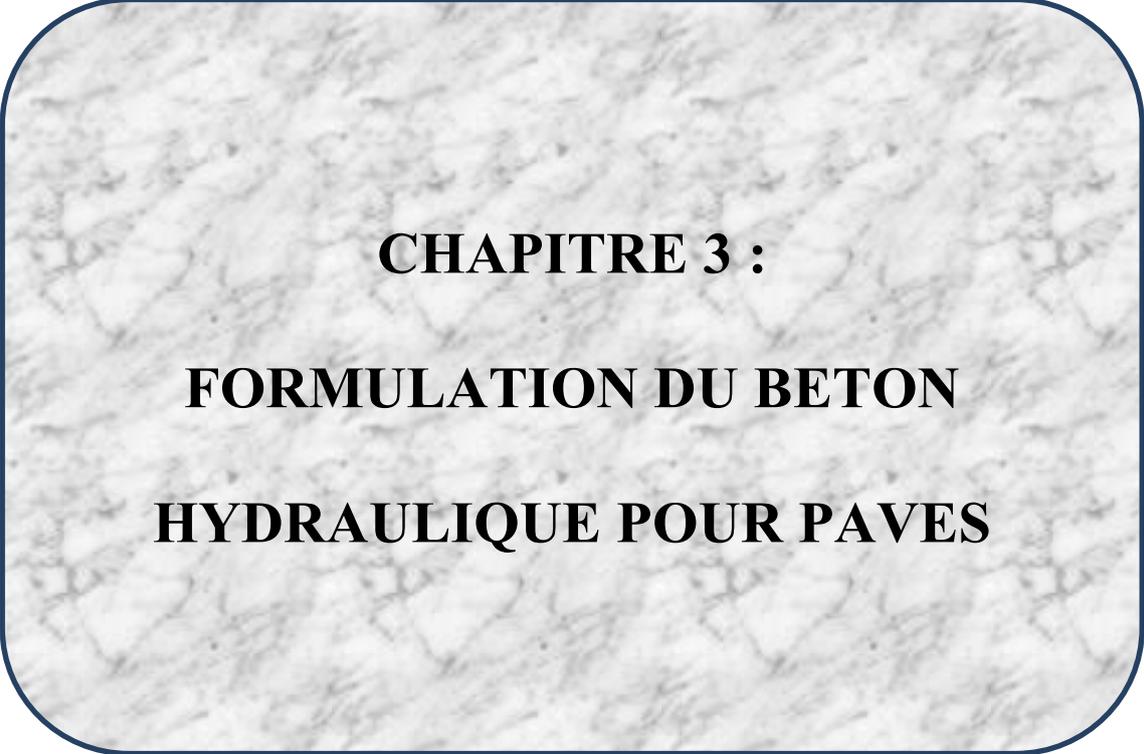
2.4. STRUCTURE DE CHAUSSEE PROPOSEE

La classe de trafic est la classe T₂ caractéristique d'une voirie locale empruntée par les poids lourds tandis que la plateforme est de type S₃ (tableau V).

Tableau V : *Structure de chaussée*

CLASSE DE TRAFIC	TYPE DE SOL DE LA PLATEFORME	STRUCTURE PROPOSEE
T₂	S₃	- Pavé autobloquant de 10 cm - Lit de pose en sable de 04 cm - Couche de base en graves concassé de 23 cm

Au terme de cette étude, retenons que le contrôle de qualité des matériaux lors de l'exécution d'un projet de génie civil est l'outil névralgique normalisé pour juger de la bonne qualité de l'ouvrage. En effet la durée de vie d'un ouvrage en exploitation et des conditions auxquelles elle est soumise, dépend de la qualité des matériaux utilisés et de la mise en œuvre de ces matériaux.



CHAPITRE 3 :
FORMULATION DU BETON
HYDRAULIQUE POUR PAVES

CHAPITRE 3 : FORMULATION DU BÉTON HYDRAULIQUE POUR PAVES

INTRODUCTION

Le béton est un matériau de construction, composé de ciment, gravier, sable, eau et éventuellement d'adjuvants pour modifier certaines de ces propriétés. Pour formuler un béton qui doit répondre aux exigences demandées, il faut que ses constituants soient conformes aux normes.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, avec le dosage en ciment exigé et le dosage en eau requis.

Généralement les qualités recherchées pour le béton avec une composition bien définie sont :

- une consistance adaptée à l'ouvrage ;
- des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours.

Plusieurs méthodes de formulation ont été élaborées par Abrams, Bolomey, Faury...etc. Mais, dans le cadre de cette étude, c'est la méthode de Dreux-Gorisse qui a été choisie parce qu'elle a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantier et ayant donné satisfaction, de plus, elle est très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que la connaissance de la granularité du sable et du gravier.

L'obtention des caractéristiques requises pour le béton passe impérativement par l'adoption et l'optimisation de sa formulation aux exigences appropriées à l'ouvrage et à son environnement. C'est la raison pour laquelle la démarche retenue comporte le plus souvent deux phases : la première phase avec une approche d'une composition de façon graphique à partir de méthodes telles que celle de Dreux-Gorisse. Il faut préciser que cette méthode est basée sur la recherche d'une compacité maximale. La deuxième phase consiste à ajuster expérimentalement cette formulation en fonction des résultats obtenus par des essais effectués en laboratoire (essais d'étude) ou dans les conditions du chantier.

3.1. APPROCHE DE LA FORMULATION

3.1.1. Dosage en ciment et en eau

Pour bien comprendre le caractère primordial du dosage en ciment, il faut rappeler que celui-ci remplit deux fonctions essentielles dans le béton (figure 11).

- **La fonction de liant** : elle est déterminante dans la résistance du béton, qui dépend de la nature du ciment, de sa classe et de l'évolution de son durcissement.

- **La fonction de fillers** : le ciment complète la courbe granulométrique des constituants avec les éléments fins.

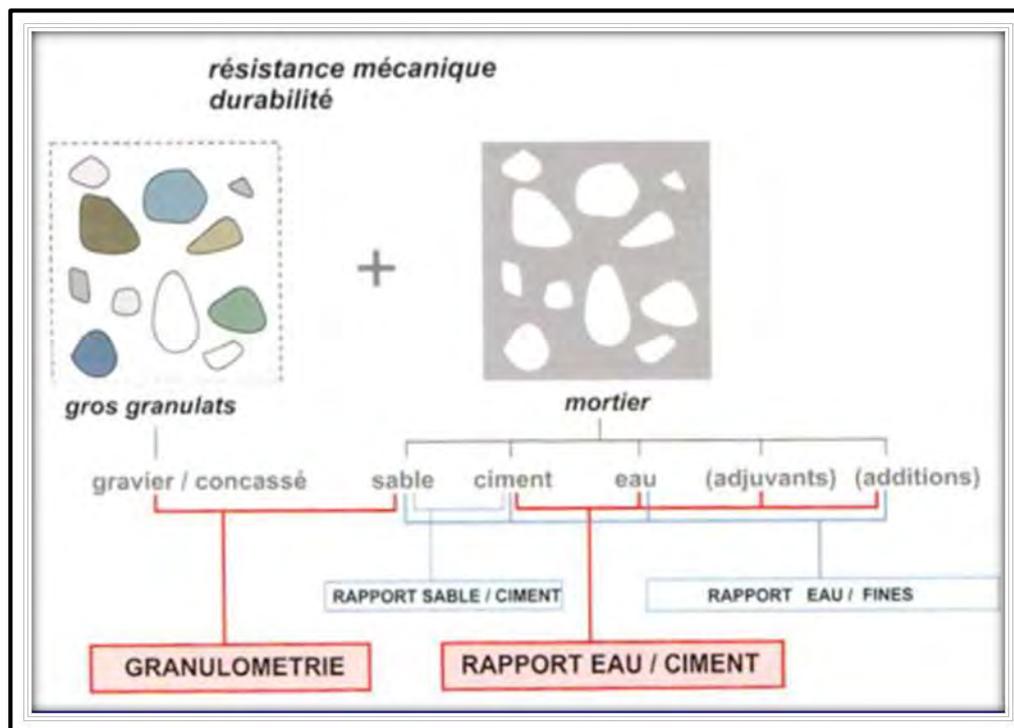


Figure 12 : Résistance mécanique et durabilité de l'ouvrabilité (GHOMARI F, 2014)

Les abaques de Dreux, présentés au paragraphe suivant, reposent sur cette approche qui privilégie la « fonction liant », donc la résistance. Dans cette démarche, le ratio C/E (dosage en ciment sur dosage en eau) est calculé à partir de la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G \times \sigma'_c \times (C/E - 0,5)$$

σ'_{28} : résistance à la compression du béton à 28 jours (bar)

σ'_c : classe vraie du ciment à 28 jours (bar)

G : coefficient granulaire compris entre 0,35 et 0,65

C : dosage en ciment (kg/m^3)

E : dosage en eau (ℓ/m^3)

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton. On ressent bien l'influence qu'il a sur la porosité du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, hydratation du ciment, absorption par les granulats). Par exemple, avec un rapport E/C couramment utilisé de 0,55, on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est une eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour sa mise en œuvre. Ce schéma est modifié par l'emploi croissant d'adjuvants contribuant à améliorer la plasticité sans nécessiter une présence d'eau en excès, nuisible aux caractéristiques finales du béton durci.

3.1.2. Choix des granulats

Deux facteurs ont longtemps été considérés comme ayant une influence sur les propriétés du béton :

- les proportions relatives de gravier G et de sable S traduites par le rapport G/S
- la granularité du sable caractérisée par son module de finesse. Le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2,2 et 2,8.

Les graviers doivent être de bonnes qualités, suffisamment dur et bien propre. La propreté du sable est vérifiée par l'essai équivalent de sable (ES).

3.2. ETUDE DE FORMULATION DU BETON HYDRAULIQUE POUR PAVES

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, avec des dosages respectifs en ciment et en eau bien déterminés afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré. Généralement les qualités recherchées avec une telle composition sont :

- une consistance adaptée à l'ouvrage ;
- des qualités de résistance à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours ;
- des qualités de durabilité qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment et un rapport E/C maximum.

Cette méthode a pour but de réaliser une composition du béton à partir de son ouvrabilité et de sa résistance recherchée. Ces deux qualités sont liées par des abaques selon le dosage en ciment exigé.

Les proportions de différents granulats sont déterminées à travers la courbe granulométrique de référence. Cette courbe est tracée à partir des courbes granulométriques des granulats qui doivent être utilisées.

Le coefficient de compacité du béton permet, avec la connaissance des masses volumiques des granulats, de déterminer les dosages pondéraux du béton.

Quelques essais préliminaires de plasticité doivent être effectués afin de respecter l'ouvrabilité désirée.

Le principe de la méthode obéit à un cheminement qui repose sur les cinq étapes ci-après :

- donnée de base
- composition initiale
- ajustement du dosage en eau
- ajustement de la masse volumique du béton
- composition finale

3.2.1. Données de base

3.2.1.1. Dosage en ciment

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

le rapport $E/C = 0,46$

$$\text{le dosage en eau : } E = 400 \times 0,46 = 184 \text{ l/m}^3$$

$$\text{la correction d'eau : } E = 184 + 4 = 188 \text{ l/m}^3$$

3.2.1.2. Paramètres physiques des granulats

Les paramètres physiques des granulats (sable 0/3 de concassage et gravillons de basalte 3/8) sont donnés dans le tableau VI. L'équivalent de sable ES est égale à 70 et convient pour un béton normal car sa valeur se situe bien entre 70 et 80. De même le module de finesse M_f du sable 0/3 de concassage atteint la valeur de 2,78 qui correspond à un bon sable pour béton car M_f est bien compris entre 2,20 et 2,80.

3.2.1.3. Dosage en eau

L'abaque de la figure 12 donne l'allure générale de la variation du dosage en eau en fonction de l'affaissement au cône d'Abrams et du test d'ouvrabilité C.E.S. Il ne s'agit bien entendu que d'ordre de grandeur pour des bétons courants et permettant de dégrossir rapidement une formule de composition.

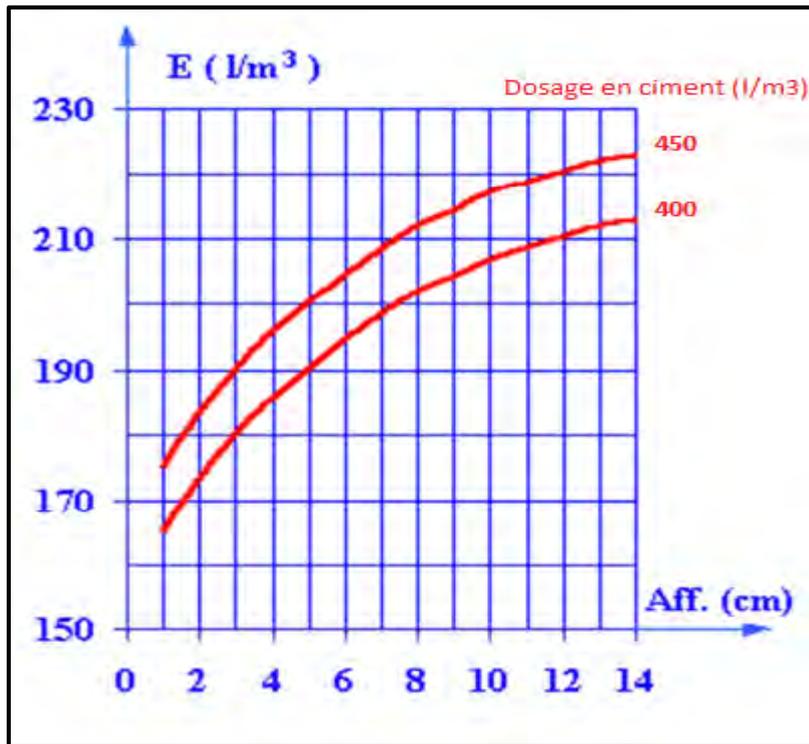


Figure 13 : Variation de la quantité d'eau en fonction de l'affaissement au cône (Dreux, 1976) pour un béton courant

3.2.1.4. Courbe de référence OAB

Après le traçage des courbes granulométriques des différents granulats, sur le même graphique, on trace la composition granulométrique optimale qui est représentée par une ligne brisée OAB. Cette ligne est appelée courbe de référence granulométrique (tableau VII).

Tableau VI : Caractéristiques des composants du béton

	Sable 0/3 de concassage	Gravillons de basalte 3/8
Equivalent de sable ES	70	-
Module de finesse M_f	2,78	-
Masse volumique réelle γ_s (g/cm^3)	2,898	2,943
Masse volumique apparente γ_a (g/cm^3)	1,522	1,691

Tableau VII : Les paramètres de la courbe de référence OAB (Dreux, 1976)

Points caractéristiques	Point origine O	Point de brisure A	Point extrême B
Abscisse X	Diamètre du grain le plus fin(d) (80µm)	D/2 si $D \leq 20\text{mm}$ Sinon (D-d)/2	Diamètre du plus gros granulat
Ordonnée Y	Pourcentage de passant au tamis 80µm du sable	$50 - \sqrt{D+K+K_S}$	Pourcentage de passant au tamis D_{max}

K : coefficient tenant en compte du type de béton (coefficient tenant compte du module de finesse du sable $K_S = 6 M_f - 15$).

Pour obtenir les proportions des granulats, on doit tracer les lignes de partage en joignant le point de 95 % de la première courbe avec le point de 5 % de la courbe suivante. Les points d'intersection entre chacun des lignes de partage et ceux de la courbe de référence représentent le pourcentage de chaque granulat.

3.2.1.5. Dosage des granulats

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants.

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95 % de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5 % de la courbe granulaire du plus gros granulat. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable (S) et de gravier (g).

Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisats correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier. Les résultats obtenus sont :

Sable 0/3 (S) \longrightarrow 50 %
 basalte 3/8 (g) \longrightarrow 50 %

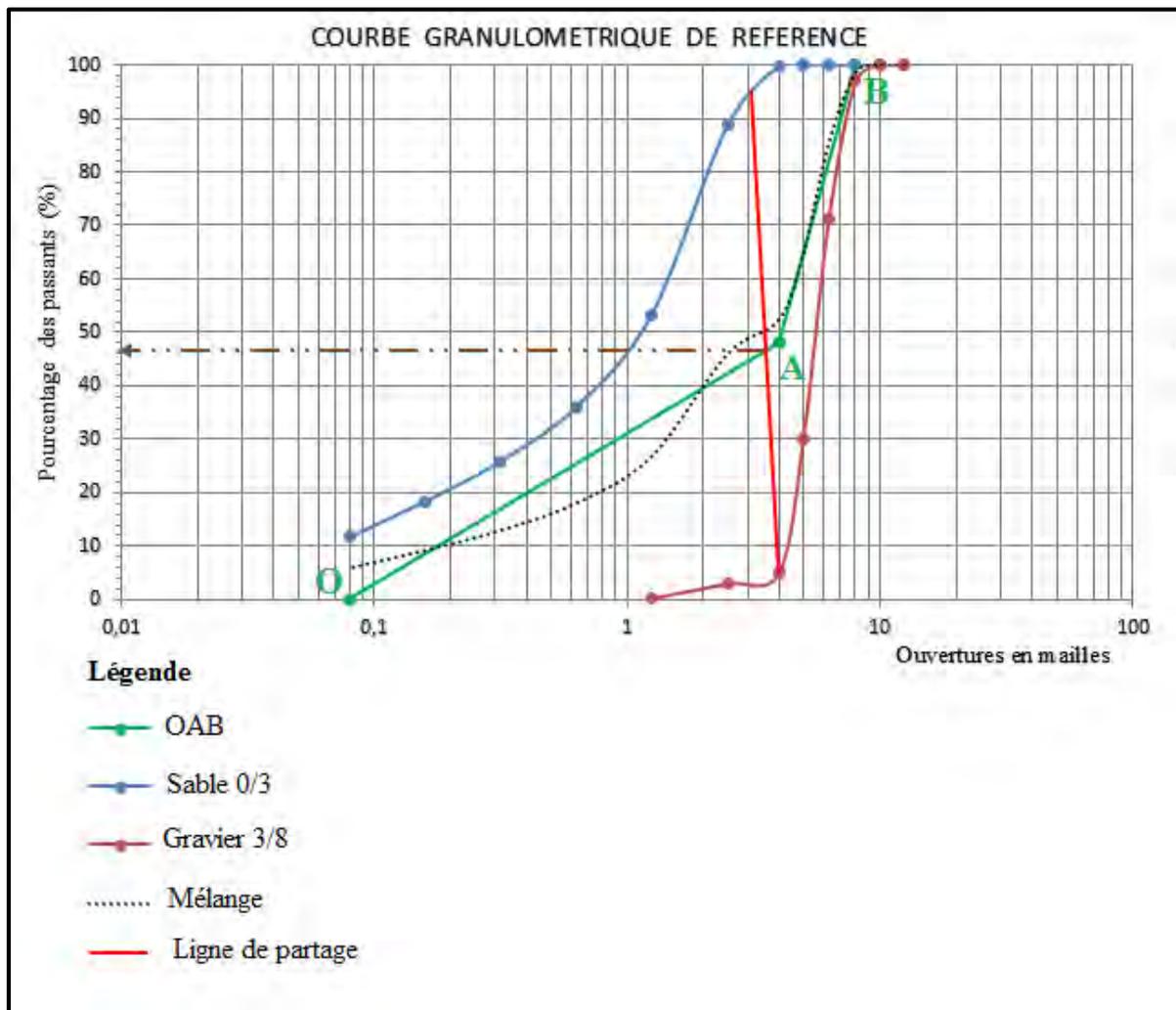


Figure 14 : Courbes granulométriques des constituants du mélange et de référence pour le dosage en ciment de 400 kg/m³

3.2.1.6. Coefficient de compacité

Le coefficient de compacité γ est la somme des volumes absolus des granulats rapportée au m³ de béton.

$$\gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000}, \text{ avec :}$$

V_g : Volume absolu du gravier (litres)

V_s : Volume absolu du sable (litres)

V_c : Volume absolu du ciment (litres)

3.2.1.7. Détermination du volume des granulats

Le dosage en ciment (kg/m^3) étant connu, le volume absolu du ciment est déterminé par la relation suivante :

$$V_c = \frac{C}{\gamma_c} = \frac{400}{3,1} = 129 \text{ } \ell \quad (\gamma_c : \text{masse volumique du ciment, } \gamma_c = 3,1 \text{ kg/}\ell)$$

$V_m = 1000 \gamma = 1000 \times 0,825 = 825 \text{ } \ell$; ce volume total diminué de celui du ciment donne le volume absolu des granulats V_G .

($V_m = V_G + V_c$) au volume total du béton frais en œuvre soit un mètre cube V .

$$V_G = V_m - V_c = 825 - 129 = 696 \text{ } \ell$$

3.2.1.8. Détermination du volume absolu de chaque granulat

Ainsi les volumes absolus de chacun des granulats sont :

$$V_k = k (\%) (V_g + V_s) = k (\%) \cdot V_G = (50 \times 696) \div 100 = 348 \ell$$

Avec : $k (\%)$ le pourcentage de granulat déterminé à partir de la courbe de référence.

V_k (litre) : volume absolu d'un granulat à 50 %

V_G (litre) : volume absolu total des granulats

Les différents volumes sont :

- Sable (0/3) = 348 ℓ

- Gravier (3/8) = 348 ℓ

Les dosages en matériaux secs seront donc en kg/m^3 :

- Ciment = 400 kg/m^3 .

- Sable (0/3) = $2,898 \times 348 = 1008,504 \text{ kg/m}^3$

- Gravier (3/8) = $2,943 \times 348 = 1024,164 \text{ kg/m}^3$

- Eau total = 188 ℓ/m^3

La masse volumique théorique du béton frais = 2220,668 kg/m^3

3.3. ESSAIS D'ETUDE – CORRECTIONS

3.3.1. Etudes d'essais

3.3.1.1. Formulation théorique

Soit P_0 la masse volumique théorique du béton. Ainsi on aura défini la formule de composition du béton courant ($P_0 = E_0 + C_0 + S_0 + g_0$) à savoir :

Dosage en ciment : C_0 (kg/m^3)

Dosage en eau : E_0 (ℓ/m^3)

Dosage des granulats : g_0, S_0 (kg/m^3).

Tableau VIII : Formulation des composants du béton

Caractéristiques	Sable (S) 0/3	Basalte (g) 3/8
Masses volumiques apparentes (kg/m^3)	1,522	1,691
Masses volumiques réelles (kg/m^3)	2,898	2,943
$\sigma'_{28} = G \sigma'_c (C/E - 0,5)$		
$\sigma'_{28} = 34,5$ MPa	$G = 0,425$	$\sigma'_c = 40$ MPa
Dosage en eau $E = 188$ (ℓ)	Ciment II 32,5 R $C = 400$ kg	$C/E = 2,2$
Coefficient de compacité $\gamma = 0,825$		Poids spécifique du ciment $\gamma_c = 3,1$ (kg/ℓ)

La formule de composition étant déterminée (tableau VIII), on réalise divers essais d'étude pour contrôler les résistances et certains critères essentiels afin de corriger éventuellement la formule ainsi proposée.

3.3.1.2. Dosage des granulats pour la confection des éprouvettes

Sur la base de la composition nous avons confectionné une série de 6 éprouvettes cylindriques en vue de les soumettre à des essais de compression simple suivant les normes en vigueur (NF P 18 – 406). On utilise des récipients tarés en volume car il est rare d'avoir sur chantier un dispositif de pesage (raison pour laquelle la composition granulaire de la méthode est exprimée en volumes). Il conviendra de tarer ces volumes, voire de confectionner des règles d'arasement associées à ces derniers.

3.3.2. CORRECTIONS

3.3.2.1. Ajustement de la formule au m^3

Pour ajuster la formule au m^3 , on pèse plusieurs éprouvettes de béton frais en œuvre.

Soit Δ la densité réelle ainsi mesurée. Si Δ_0 est la densité théorique, la correction Δm à apporter sur la masse totale des granulats est :

$$\Delta m = \pm 1000 (\Delta - \Delta_0) \text{ kg}$$

Les corrections à effectuer sur le dosage des granulats sont relatées dans le tableau IX.

Tableau IX : Corrections du dosage en granulats

Différence de masses	Corrections à apporter	
$\Delta m = \pm 1000(\Delta - \Delta_0) \text{kg}$	Si $\Delta m < 0$, la formulation est effectuée pour plus de 1 m ³ de béton (des granulats seront enlevés)	Si $\Delta m > 0$, la formulation est effectuée pour moins de 1 m ³ de béton (des granulats seront rajoutés)

Sur la masse de chacun des granulats, la correction à apporter est :

$$\pm \Delta m \times P_1/G, \pm \Delta m \times P_2/G.$$

Avec P_1, P_2 : Masses déterminées précédemment, G : Masse totale des granulats

Δ : masse réelle des granulats (kg)

Δ_0 : masse théorique des granulats (kg)

$$G_{\text{corrigé}} = i + \Delta m \times k (\%)$$

$G_{\text{corrigé}}$: granulat correspondant (gravier, sable)

i : quantité de granulat (kg)

k (%) : pourcentage de granulat

3.3.2.2. La correction du dosage en ciment

La correction du dosage en ciment (tableau X) est nécessaire lorsque la résistance à la compression simple obtenue à 28 jours après gâchée expérimentale est différente de celle visée.

Tableau X : Correction du dosage en ciment

Correction du dosage en ciment C	Résultat obtenu	Résultat souhaité
Résistance à 28 jours	$\sigma'_{28} \text{ réelle} = G \sigma'c (C_{\text{réel}} / E_{\text{réelle}} - 0,5)$	$\sigma'_{28} = G \sigma'c (C_{\text{corrigé}} / E_{\text{réelle}} - 0,5)$
$C_{\text{corrigé}}$	$\frac{\sigma'_{28}}{\sigma'_{28} \text{ réelle}} = \frac{(C_{\text{corrigé}} / E_{\text{réelle}} - 0,5)}{(C_{\text{réel}} / E_{\text{réelle}} - 0,5)}$	

Le dosage en ciment C est évalué à partir de l'abaque de la figure 15.

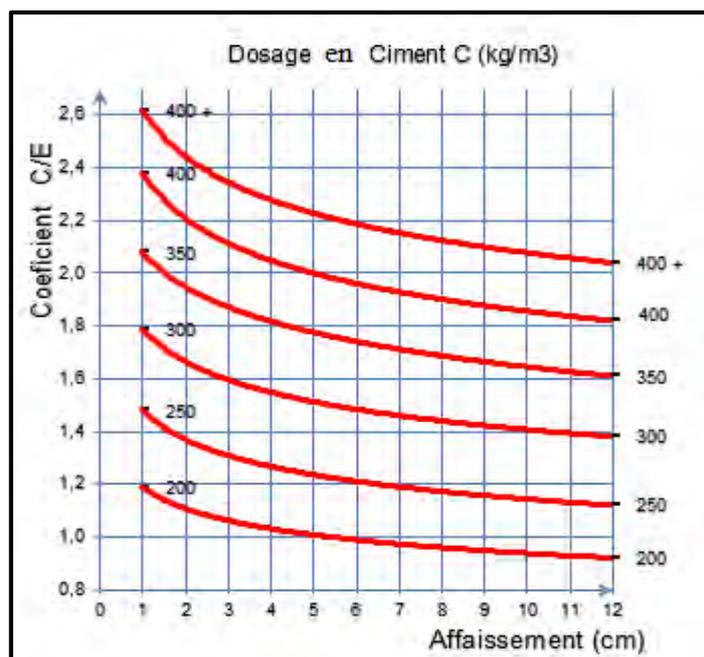


Figure 15 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône) (Dreux, 1976)

3.4. FORMULATION DU BETON Q₄₀₀

La formulation du béton Q₄₀₀ avec un dosage en ciment de 400 kg/m³ est faite avec les résultats des analyses granulométriques réalisés au laboratoire du chantier. Ces résultats ont permis de tracer les courbes granulométriques des constituants du mélange (figure 14) et de déterminer les pourcentages des constituants. Les valeurs des résistances en compression à 28 jours pour les deux formulations étant très élevées, de même que le rapport G/S, il est donc nécessaire de procéder par gâchée expérimentale.

Les compositions sont données dans les tableaux XI et XII. La brouette utilisée sur le chantier a une capacité de 50 litres.

Tableau XI : Composition de béton courant pour pavé à 100 %

Composants à 100 %	Origine	Quantité (m ³)		Natures
		(kg)	(l)	
CIMENT CEM II 32,5 R	SOCOCIM	400	129	2,58 sacs
Sable 0/3	Carrière de Diack	1008,5	144	2,88 brouettes
Basalte 3/8	Carrière de Diack	1024,1	146,3	2,93 brouettes
Eau	Robinet (SDE)	200	200	29 seaux

Masse Volumique théorique = 2632,6 kg/m³

Tableau XII : Composition de béton courant pour pavé à 50 %

Composants à 50 %	Quantité (m ³)	
	(kg)	(l)
CIMENT CEM II 32,5 R	200	64,5
Sable 0/3	504,25	72
Basalte 3/8	512,05	73,15
Eau	100	14,5

Masse Volumique théorique = 1316,3 kg/m³

3.5. RESULTATS DE LA FORMULATION DES BETONS Q₄₀₀ APRES GACHEE EXPERIMENTALE

A partir de cette composition, des éprouvettes de béton ont été confectionnées et soumises à la résistance à la compression simple. Les résultats expérimentaux se rapportant au béton Q₄₀₀, qui correspondent à un dosage en ciment de 400 kg/m³ sont donnés dans le tableau XIV. Pour un affaissement au cône d'Abrams de 6 cm (béton plastique avec une vibration courante), les valeurs de résistance en compression à 7 jours et à 28 jours d'âge atteignent respectivement 24,15 et 34,5 MPa.

La valeur de la résistance en compression à 28 jours exigée dans le cahier de charges étant de 30 MPa, la valeur expérimentale de 34,5 MPa est nettement supérieure. La formulation est nettement convenable.

L'équivalent de sable ES étant égale à 70. On a un sable de propreté admissible pour des bétons de qualité courante lorsqu'il n'y a pas de contrainte particulière de retrait. Les pourcentages respectifs des composants du béton sont donnés par la figure 16.

Les courbes granulométriques des constituants du béton et de référence sont représentées sur la figure 15.

Les matériaux utilisés pour les constructions doivent faire l'objet d'étude de formulation en laboratoire afin de vérifier qu'ils respectent les spécifications normatives et le cahier des charges du projet. Le secteur béton dispose des compétences, de l'expérience et des matériels pour mener à bien les études nécessaires à la réalisation de tout projet.

Tableau XIII : Formulation du béton Q₄₀₀

Formule du béton Q400	Pourcentage (%)	Volume absolu des granulats (ℓ)	Dosage pondéral (kg)	Masse volumique (kg/ℓ)	Masse volumique théorique du béton (kg/m ³)
Gravillon 3/8	50	348	1008,5	2,897	2632,6
Sable 0/3	50	348	1024,1	2,942	
Ciment (kg/m ³)	400			3,100	
Eau (ℓ)	182				
Slump (cm)	6				
Rc (MPa) à 7 jours	03 éprouvettes			24,15	-
Rc (MPa) à 28 jours	03 éprouvettes			34,5	-

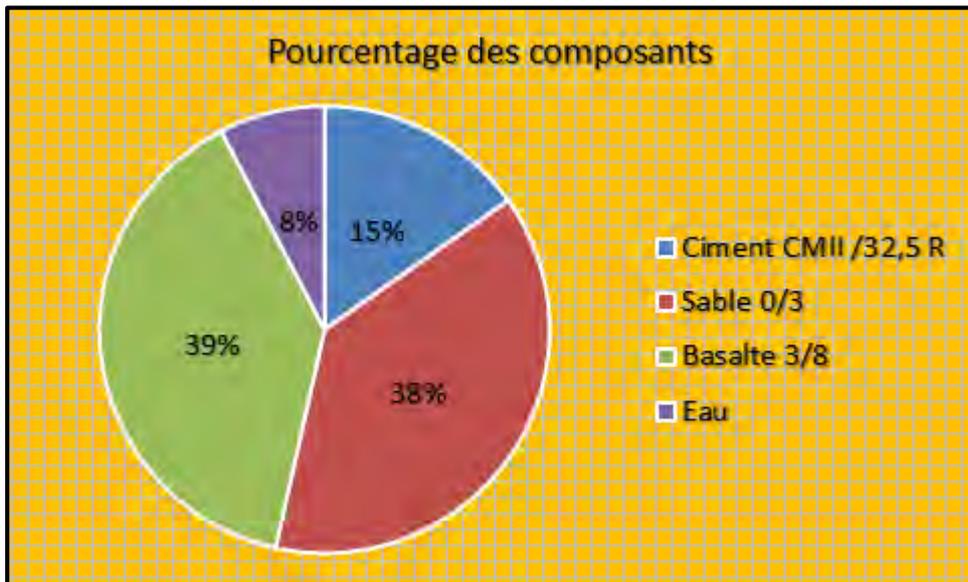


Figure 16 : Pourcentage des composants pour la formulation de 1m³ de béton

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'étude géotechnique pour la caractérisation des sols de la plateforme du réseau viaire complémentaire de Pikine Irrégulier Sud (PIS) a atteint l'objectif fixé. Elle a permis une reconnaissance des sols de la plateforme. La zone se situe dans un endroit inondable. Les résultats des essais de laboratoire sur les échantillons prélevés confirment la prédominance de sable, donc acceptable pour un sol de la plateforme. Plusieurs méthodes de formulation du béton hydraulique pour pavés ont été proposées par différents auteurs mais la méthode de Dreux-Gorisse est parfaitement adéquate pour cette étude.

Le matériau prévu pour le corps de chaussée était la latérite. Cependant, en considérant le niveau de la nappe, la nature du sol et le taux de saturation du sol support, il paraît plus judicieux d'opter pour un corps de chaussée en granulats concassés. Il est autant plus indiqué qu'il est remarqué une augmentation de la teneur en eau du lit de pose en sable de 30% sur les chaussées en pavés. Les matériaux latéritiques sont très sensibles à une exposition permanente à l'humidité. Ce qui limite leur durée de vie.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques mécaniques meilleurs que la latérite, donc plus aptes à supporter la proximité de la nappe et le taux de saturation même en période hivernale.

A la lumière des résultats et observations issus de la présente étude, nous pouvons conclure que les résultats fournis indiquent que le choix de la route en pavés s'avère judicieuse.

Il faut cependant noter que le lit de pose des pavés doit répondre à certaines exigences. L'épaisseur de sable doit être égale à $3 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ après compactage et pose de pavés car une épaisseur de sable trop importante entraîne la cassure des pavés. Une épaisseur de sable trop faible ou un lit de pose inexistant provoque un poinçonnement des pavés. Nous conseillons l'utilisation de gravillons de granularité 0/4 ou 0/5 exempts d'éléments argileux ou organiques. Ils seront de nature concassée. L'épaisseur du lit de pose doit être uniforme. En aucun cas, le lit de pose ne doit être constitué d'épaisseur variable pour donner, par exemple, des pentes au revêtement ou servir à corriger des éventuels défauts de planéité de l'assise (l'assise doit être réglée dès sa construction, en fonction du profil définitif de l'ouvrage).

La pose s'effectue à l'avancement, le poseur évoluant sur la zone déjà réalisée. Sur un terrain en pente, commencer par le bas. Les alignements doivent être réalisés au cordeau et vérifiés en permanence. Cependant, des études complémentaires en vue de revaloriser ces résultats feront l'objet des études avenir en vue de trouver une solution durable pour les problèmes d'inondation qui sévissent au Sénégal.

Références Bibliographiques

- ANACIM** (Agence Nationale de la Météorologie et de l'Aviation Civile) ; 2016 : Données climatologiques de la région de Dakar de 2006 à 2015, 4 p.
- ANSD** (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie), 2013 : Recensement général de la population, de l'habitat, de l'agriculture et l'élevage, 129 p.
- BELLION Y.**, 1980 : Première contribution à la connaissance de la tectonique cassante de la région du Cap vert (Sénégal). *Ann Fac Sci Dakar T 32*, pp 97-101.
- BELLION Y. et GUIRAUD R.**, 1984 : Le bassin sédimentaire du Sénégal. Synthèse des connaissances actuelles. BRGM et DMG (édit.). In : Plan Minéral de la République du Sénégal, volume 1, 63 p.
- BCEOM**, 1981: Hydraulique routière. Min. Coopération, France, 347 p.
- B.R.G.M**, 1967 : Notice explicative de la carte géologique de Louga. 1/200.000. Service des Mines et de la Géologie, Dakar, 30 p.
- B.R.G.M**, 1981: Utilisation des pointes filtrantes pour l'exploitation des aquifères superficielles, rapport, 112 p.
- 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, 159 p.
- CIMBETON** (Centre d'information sur le ciment et ses applications), Réédition 2013, Fiches techniques, tome 2, Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, 134 p.
- DASYLVA S.**, 2009 : Inondations à Dakar et au Sahel. Gestion durable des eaux de pluies. ENDA Edition, Dakar, 20 p.
- DIOP A.**, 2006 : Les inondations à Dakar banlieue : contraintes géologiques, impacts urbanistiques et aménagement durable, DEA, ISE, 104 p.
- DIOP S.**, 2000 : Contexte géologique et risques naturels : déterminants structuraux de l'instabilité des corniches de la partie sud de Dakar. *Mém. Ing. IST*, Univ. Dakar, 91 p.
- DREUX G.**, 1976 : Nouveau Guide du Béton, Editions Eyrolles, Paris, 161 p.
- DUCASSE O., DUFAURE P. & FLICOTEAUX R.**, 1978 : Le passage de l'Eocène inférieur à l'Eocène moyen dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal occidental). Révision micropaléontologique et synthèse stratigraphique. *Cahiers de Micropaléontologie*, 1, 50 p.
- ENDA-Rup/CRDI/Département de Géologie de Dakar**, 2008, rapport final : Maitrise des eaux pluviales et des rejets unitaires dans les espaces urbanisés de Dakar, 73 p.

Fascicule 70, 2015 : Ouvrages d'assainissement. Titre 1 : Projet de l'Autoroute à Péage Dakar-Diamniadio : Restructuration de Pikine Irrégulier Sud, Réseau Viaire Complémentaire, SOCETRA, Dakar, 87 p.

FLICOTEAUX R., 1980 : Genèse des phosphates alumineux du Sénégal occidental, étapes et guides de l'altération. Sci. Géol. Bull., 67, Strasbourg, 229 p.

GHOMARI F., 2014 : Cours Méthodes de composition du béton Université Aboubekr Belkaid technologie département de génie civil, 55 p.

LATIL-BRUN M.V. et FLICOTEAUX R., 1986 : Subsidence de la marge sénégalaise, ses relations avec la structure de la croûte. Comparaison avec la marge conjuguée américaine au niveau du Blake Plateau. Bulletin des Centres de Recherche Exploration - Production Elf Aquitaine, 10, 82 p.

LATIL-BRUN M. V. et LACAZE F., 1988 : Subsidence, extension and thermal history of the West African margin in Senegal. Earth and Planetary Science Letters, 90, 220 p.

MARTIN A., 1970 : Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert (République du Sénégal), Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar. Publ. BRGM, 56 p.

NDAO A., DIAW EI B., TAMBA S. et WADE M., 2015 : La nappe de Thiaroye au Sénégal, une ressource en eau encore utilisable, 21 p.

NDONG Y., 1990. Etude de l'évolution récente d'un écosystème intra-urbain. Cartographie des transformations des paysages des Niayes de Pikine-Thiaroye et environs, mémoire de maîtrise, département de géographie UCAD, 87 p.

NYAFOUNA A., 2016 : Méthodes et difficultés d'exécution des ouvrages de drainage des eaux pluviales dans le cadre de la restructuration de Pikine Irrégulier Sud (pis).Mémoire de Master 2 Géosciences, Département de Géologie, UCAD, 63 p.

ONAS (Office National de l'Assainissement du Sénégal) ; 2016 : Données sur les projets d'assainissement dans une dizaine de villes à travers le pays, 7 p.

Pasdune, 2002 : Elaboration du Plan Directeur et d'Aménagement et de Sauvegarde des niayes et zones vertes de Dakar, rapport sur les études diagnostiques, 172 p.

Rapport de Projet, 2015 : Résultat des travaux géotechniques du projet de Pikine Irrégulier Sud, SOCETRA, Dakar, 44 p.

ROGER J., NOËL B.J., BARUSSEAU J.P., SERRANO O., NEHLIG P., DUVAIL C., 2009 a : Notice explicative de la carte géologique du Sénégal à 1/500 000, feuilles nord-ouest, nord-est et sud-ouest. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, 61 p.

SAMB A. B., 2014 : Optimisation du dimensionnement du tronçon Tanaff-Kolda de la RN6 et formulation du béton hydraulique pour les ouvrages, Mém. Ing. Géologue de conception, IST, UCAD, 55 p.

SARR R., 1982 : Etude hydrogéologique de la région de Joal-Fadiouth (Sénégal). Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Université de Dakar, 192 p.

SPENGLER A., CASTELAIN J., CAUVIN J. et LEROY M., 1966 : Le bassin Secondaire et Tertiaire du Sénégal. Symposium New Delhi (1964), coordination D. Reyre (edit.), 94 p.

TESSIER F., 1952 : Contributions 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, 267 p.

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

SOURCES INTERNET

<http://www.infociments.friut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GC>

<http://docplayer.fr/15722413-Universite-aboubekr-belkaid-responsable-pr-ghomari-fouad.html>

<https://www.memoireonline.com/07/09/2241/Dynamique-de-loccupation-sol-dans-des-niayes-de-la-region-de-Dakar-de-1954--2003-exemples-de-la.html>

<https://vertigo.hypotheses.org/2033#:~:text=En%20effet%2C%20la%20teneur%20de,mais%20Utilisable%20dans%20l'irrigation.>

LISTE DES NORMES CITEES

NF P 94 – 093 : Sols : reconnaissance et essais – Détermination des références de compactage d'un matériau – Essai Proctor normal-Essai Proctor modifié.

NF P 94 – 061– 2 : Sols : reconnaissance et essais – Détermination de la masse volumique d'un matériau en place.

NF P 94 – 056 : Sols : reconnaissance et essais – Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.

P 18 – 560 : Granulats – Analyse granulométrique par tamisage.

NF EN 933 – 8 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8 : Evaluation des fines – Equivalent sable.

NF P 94 – 078 : Sols : reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant immédiat. Mesure sur échantillon compacté dans le moule.

NF EN 1338 : Pavés en béton – Prescriptions et méthodes d'essai.

NF P 18 – 554 : Mesure de la masse volumique apparente et de la masse volumique réelle.

NF P 18 – 303 : Eau de gâchage pour béton.

NF EN 1097 – 2 : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation.

NF P 18 – 451 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

NF EN 12390 – 3 : Essai pour béton durci.

NF EN 1097 – 6 : Mesure de la masse volumique réelle.

NF P 94 – 053 : Mesure de la masse volumique sèche.

NF P 18 – 406 : Essais de compression simple.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de situation de la zone d'étude à Pikine Irrégulier Sud	5
Figure 2 : Communes de Pikine Irrégulier Sud (<i>URBAPLAN INGESAHEL, 2006</i>).....	6
Figure 3 : Variations pluviométriques annuelles dans la région de Dakar de 2006 à 2015 (ANACIM)	7
Figure 4 : Variations des précipitations moyennes mensuelles dans la région de Dakar en 2015 (ANACIM).....	8
Figure 5 : Répartition de la population dans la région de Dakar (ANSD, 2013).....	8
Figure 6 : Systèmes aquifères et types de contexte géologique associés (blocs diagrammes d'après Aller et al 1987).....	10
Figure 7 : Dunes et dépressions de la presqu'île de Dakar (BRGM, 1967).....	12
Figure 8 : Carte géologique du Sénégal occidental (Cap-Vert et Thiès) (Roger et al, 2009 ; modifié).....	14
Figure 9 : Courbe granulométrique du mélange M ₁ (S ₁ +S ₂).....	20
Figure 10 : Courbe Proctor Modifié du mélange M ₁ (S ₁ +S ₂).....	21
Figure 11 : Courbe CBR du mélange M ₁ (S ₁ +S ₂).....	22
Figure 12 : Résistance mécanique et durabilité de l'ouvrabilité.....	27
Figure 13 : Variation de la quantité d'eau en fonction de l'affaissement au cône (Dreux, 1976) pour un béton courant.....	30
Figure 14 : Courbe granulométrique des constituants du mélange pour le dosage en ciment de 400kg/m ³	32
Figure 15 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....	36
Figure 16 : Pourcentage des composants pour la formulation de 1m ³ de béton.....	38



LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Valeurs moyennes des données climatologiques relevées à la Station Météorologie de Dakar-Yoff de 2006 à 2015.....	7
Tableau II : Coupe lithologique des différents puits manuels.....	16
Tableau III : Paramètres physiques des échantillons.....	19
Tableau IV : Résultats des essais de laboratoire sur les échantillons prélevés.....	23
Tableau V : Structure de chaussée	24
Tableau VI : Caractéristiques des composants.....	30
Tableau VII : Les paramètres de la courbe de référence OAB.....	31
Tableau VIII : Formulation des composants du béton	34
Tableau IX : Correction du dosage en granulats.....	35
Tableau X : Correction du dosage en ciment.....	35
Tableau XI : Composition de béton courant pour pavé à 100 %.....	36
Tableau XII : Composition de béton courant pour pavé à 50 %.....	37
Tableau XIII : Formulation du béton Q ₄₀₀	38



ANNEXE A : REPARTITION DE LA POPULATION DANS LA REGION DE DAKAR (ANSD, 2013) ET DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Département de Dakar	Pikine	Dakar	Rufisque	Guédiawaye
Nombre d'habitants par Département	1 170 791	1 146 053	490 694	329 659

Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal													
PLUVIOMETRIE MENSUELLE en mm et dixièmes													
Station	Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Dakar	2006	0	2,3	0	0	0	6,9	54,5	114,4	197,4	45,6	0	0
Dakar	2007	0	0	0	0	0	0,6	92,3	85,9	87,3	0	0	0
Dakar	2008	0	1,6	0	0	0	0,3	106,2	164,1	226,6	12,7	0	0
Dakar	2009	0	0	0	0	0	0,8	71,9	283,7	165,3	33,6	0	0
Dakar	2010	0	0	0	0	0	49,7	39,5	183,4	279,3	24,6	0	0
Dakar	2011	0	0	0	tr	0,0	8,1	21,4	193,0	75,3	9,3	0	0
Dakar	2012	0	0	3,8	tr	tr	0,4	70,4	379,5	194,2	tr	0,1	0
Dakar	2013	0	0	0	0	0	0	29,4	300,1	192,8	30,6	4,6	9,4
Dakar	2014	tr	0	0	0	tr	0	0,4	87	73,3	0,6	0	0
Dakar	2015	0	0	0	0	0	0	34,2	349,7	183,9	82,2	0	0
N.B : tr = traces (quantité non mesurable)													
TEMPERATURE MAXIMALE : MOYENNE MENSUELLE EN °C et dixièmes													
Stations	Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
DAKAR-YOFF	2006	23,8	24,8	25,7	25,6	26,1	29,3	30,6	31,2	31,6	31,3	32,0	28,1
DAKAR-YOFF	2007	27,8	26,8	25,5	25,5	27,3	28,0	29,7	30,3	31,5	31,5	30,8	27,4
DAKAR-YOFF	2008	30,1	27,8	26,9	26,7	27,3	29,8	31,1	30,6	31,3	30,8	28,9	26,6
DAKAR-YOFF	2009	24,1	22,6	23,4	24,5	26,2	29,2	30,9	31,0	30,9	31,6	30,4	27,7
DAKAR-YOFF	2010	27,5	27,0	27,5	26,6	27,4	29,9	31,2	31,3	31,1	31,3	31,4	29,0
DAKAR-YOFF	2011	27,9	26,0	23,9	25,4	25,7	29,1	30,4	30,8	31,4	32,3	29,4	28,6
DAKAR-YOFF	2012	26,2	23,4	26,0	24,1	26,5	28,6	29,7	30,2	30,7	31,9	30,4	26,6
DAKAR-YOFF	2013	25,9	26,8	25,5	30,4	27,7	28,9	30,4	30,4	30,4	30,4	28,8	26,5
DAKAR-YOFF	2014	24,4	30,4	23,5	24,6	25,3	29,2	30,4	30,7	31,0	31,5	29,2	26,9
DAKAR-YOFF	2015	24,3	23,1	24,6	24,3	27,2	28,9	30,4	30,6	39,6	31,1	30,5	29,4
TEMPERATURE MINIMALE : MOYENNE MENSUELLE EN °C et dixièmes													
Stations	Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
DAKAR-YOFF	2006	17,7	16,9	17,9	19,6	20,3	24,0	25,4	25,5	25,2	25,8	23,9	19,8
DAKAR-YOFF	2007	19,1	17,8	18,0	18,7	20,5	22,4	24,4	25,2	25,2	25,3	23,2	20,0
DAKAR-YOFF	2008	18,8	20,0	19,9	20,3	21,7	23,3	25,7	25,4	25,1	25,3	22,6	20,6
DAKAR-YOFF	2009	17,7	17,0	17,8	20,9	20,2	23,5	25,4	24,7	25,0	26,1	23,6	21,3
DAKAR-YOFF	2010	18,7	19,0	20,0	20,9	21,7	26,6	25,9	25,8	25,1	25,7	24,0	23,3
DAKAR-YOFF	2011	21,2	17,8	17,9	19,4	20,5	23,9	25,3	25,5	25,5	26,2	23,8	21,9



DAKAR-YOFF	2012	19,0	19,7	18,7	18,9	21,1	23,8	25,4	25,0	25,3	25,9	24,9	20,6
DAKAR-YOFF	2013	21,7	18,8	19,0	19,1	21,6	24,0	25,7	25,5	25,3	26,2	23,3	20,7
DAKAR-YOFF	2014	18,4	16,5	17,7	18,9	20,7	24,2	25,9	25,9	25,6	26,5	24,6	21,2
DAKAR-YOFF	2015	18,7	17,1	17,8	18,9	22,1	24,3	25,7	25,6	24	25,8	24,0	21,7
HUMIDITE MAXI : moyenne mensuelle en %													
Stations	Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
DAKAR-YOFF	2006	87	93	92	95	93	89	87	88	91	89	88	82
DAKAR-YOFF	2007	83	90	89	92	91	90	86	89	93	87	87	84
DAKAR-YOFF	2008	79	88	93	93	90	88	86	90	92	90	90	84
DAKAR-YOFF	2009	86	90	92	92	92	89	86	92	94	90	89	92
DAKAR-YOFF	2010	91	92	92	93	90	87	89	89	94	92	90	92
DAKAR-YOFF	2011	88	90	94	94	92	86	86	91	93	90	90	91
DAKAR-YOFF	2012	89	89	92	96	93	90	89	94	95	93	90	88
DAKAR-YOFF	2013	92	91	95	93	93	88	89	92	94	90	88	88
DAKAR-YOFF	2014	92	88	92	93	92	90	84	87	91	91	93	86
DAKAR-YOFF	2015	90	94	92	94	93	86	86	92	95	95	90	89
HUMIDITE MINI : moyenne mensuelle en %													
Stations	Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
DAKAR-YOFF	2006	52	56	56	69	68	67	66	68	70	67	50	36
DAKAR-YOFF	2007	37	46	56	65	62	67	67	70	69	62	48	42
DAKAR-YOFF	2008	23	51	60	65	64	64	66	70	71	65	53	45
DAKAR-YOFF	2009	48	64	68	65	66	65	67	79	74	65	54	59
DAKAR-YOFF	2010	44	58	57	69	67	66	70	71	77	68	52	63
DAKAR-YOFF	2011	49	47	68	68	67	66	66	71	71	60	56	61
DAKAR-YOFF	2012	50	58	60	74	70	68	70	76	76	68	67	48
DAKAR-YOFF	2013	50	51	68	69	69	68	70	75	73	69	57	48
DAKAR-YOFF	2014	57	46	64	66	70	65	64	70	74	71	70	46
DAKAR-YOFF	2015	55	67	58	72	70	67	68	74	74	75	51	39
EVAPORATION MOYENNE MENSUELLE en mm et dixièmes													
Station	Années	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Dakar	2006	3,9	3,0	2,9	2,0	2,4	2,6	2,8	2,6	1,8	2,9	1,6	4,4
Dakar	2007	4,4	3,4	3,2	2,2	2,5	2,1	2,7	2,2	2,1	2,8	3,6	4,1
Dakar	2008	5,3	3,4	2,6	2,3	2,7	2,6	2,8	2,4	2,5	2,6	3,5	4,2
Dakar	2009	4,1	2,6	2,2	2,2	2,2	2,5	2,7	1,9	1,7	2,8	3,5	2,9
Dakar	2010	3,2	2,8	2,9	2,2	2,6	2,8	2,9	2,4	1,7	2,5	3,6	2,9
Dakar	2011	4,3	4,0	2,3	2,2	2,4	2,8	3,0	2,2	2,1	3,3	3,6	3,2
Dakar	2012	5,1	2,4	4,3	2,7	2,4	2,4	2,8	2,3	1,8	2,6	3,7	5,5
Dakar	2013	4,6	3,9	3,0	2,5	2,7	3,0	3,0	2,1	1,9	2,7	3,5	3,6
Dakar	2014	3,0	3,8	2,6	2,6	2,3	3,5	3,3	2,8	2,3	2,9	4,1	4,9
Dakar	2015	4,0	3,2	3,6	2,1	2,5	2,9	3,1	2,2	2	2,2	4,3	4,6

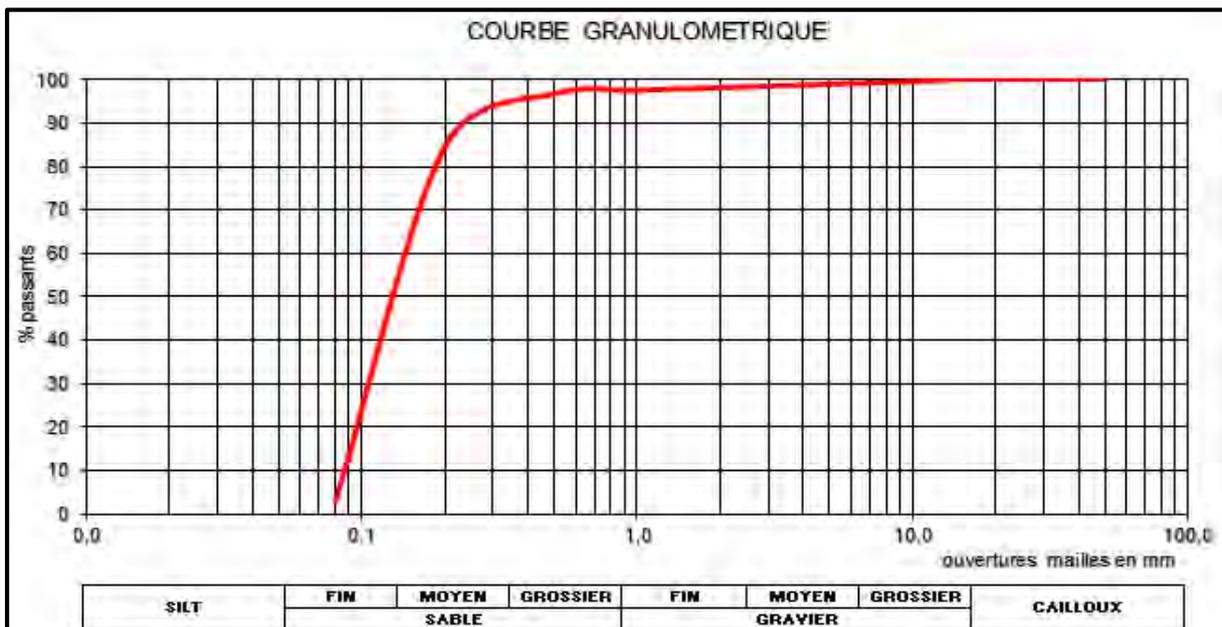
Données de l'ANACIM de 2006 à 2015.

ANNEXE B : RESULTATS DES ESSAIS GRANULOMETRIQUES

Procès –verbal d’essais de laboratoire		
Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M ₁ (S ₁ +S ₈) Nature : Sable jaunâtre		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial : 1500 g

Module	Diamètres tamis	Refus(g)	Pourcentage refus	Pourcentage passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	6,8	0,5	99,5
38	5	15,8	1,1	98,9
34	2	28,9	1,9	98,1
31	1	37,2	2,5	97,5
28	0,5	49,8	3,3	96,7
24	0,2	231,9	15,5	84,5
20	0,08	1458,3	97,2	2,8

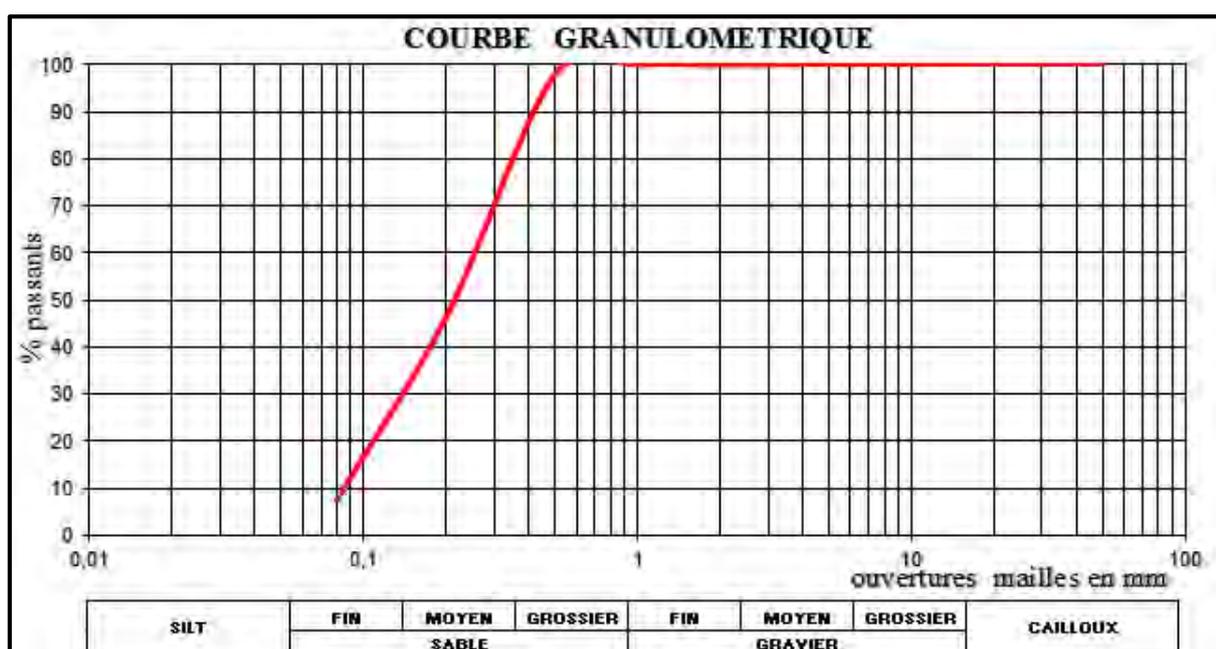


Procès –verbal d’essais de laboratoire

Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M ₂ (S ₃ +S ₅) Nature : Sable jaunâtre		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial = 1500 g

Module	Diamètres tamis	Refus(g)	Pourcentage refus	Pourcentage passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	1	0,1	99,9
38	5	1,8	0,1	99,9
34	2	2,7	0,2	99,8
31	1	3,6	0,2	99,8
28	0,5	34,9	2,3	97,7
24	0,2	807,6	53,8	46,2
20	0,08	1387,5	92,5	7,5

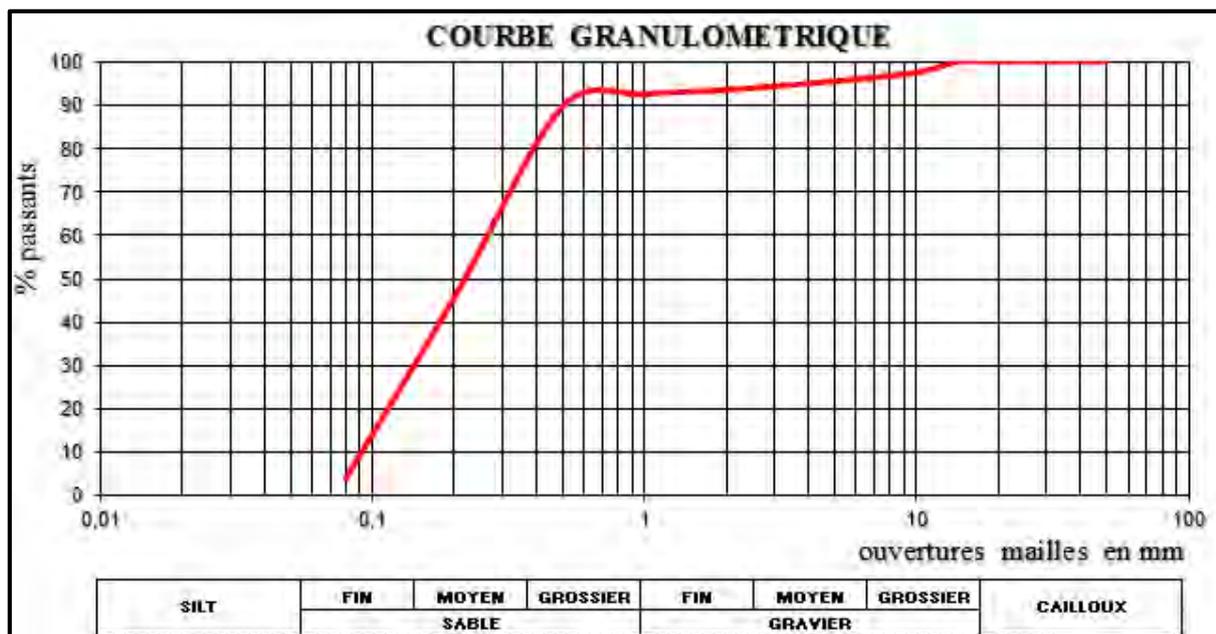


Procès –verbal d’essais de laboratoire

Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M ₃ (S ₄ +S ₇) Nature : Sable jaunâtre + inclusion		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial = 1500 g

Module	Diamètres tamis	Refus(g)	Pourcentage refus	Pourcentage passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	38	2,5	97,5
38	5	67,7	4,5	95,5
34	2	97,5	6,5	93,5
31	1	112	7,5	92,5
28	0,5	156	10,4	89,6
24	0,2	815,6	54,4	45,6
20	0,08	1439,9	96,0	4,0

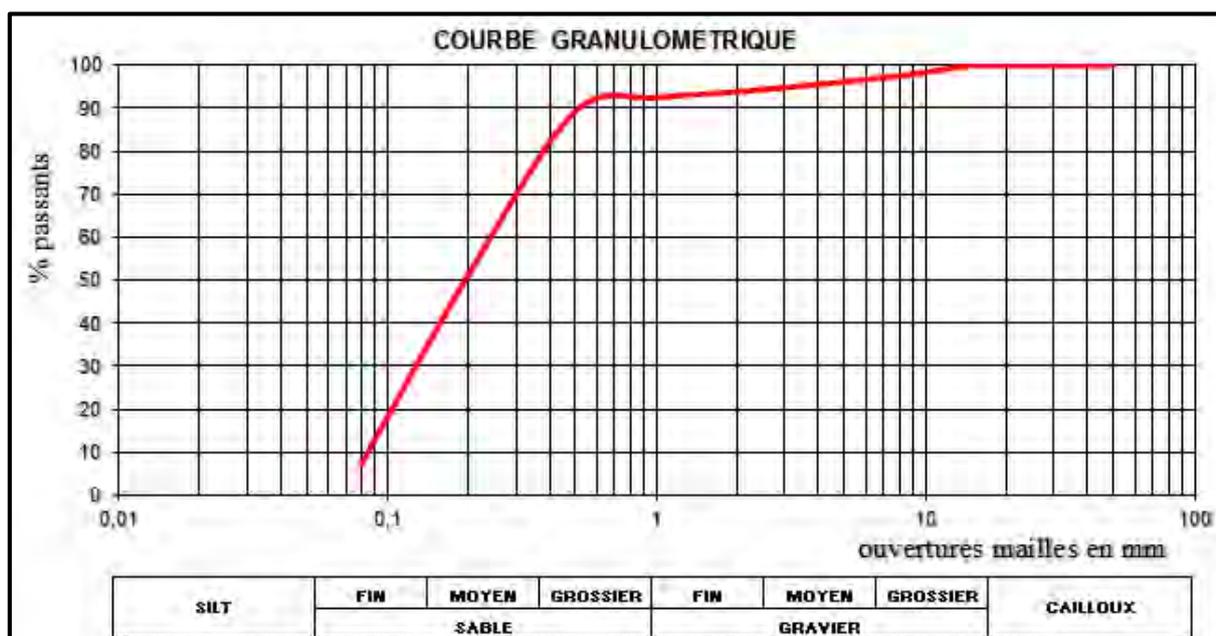


Procès –verbal d’essais de laboratoire

Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M4 (S ₁₀ C ₁ +S ₁₀ C ₂) Nature : Sable rougeâtre		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial = 1500 g

Module	Diamètres tamis	Refus(g)	Pourcentage refus	Pourcentage passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	23,9	1,6	98,4
38	5	56,3	3,8	96,2
34	2	92,2	6,1	93,9
31	1	113,2	7,5	92,5
28	0,5	160,3	10,7	89,3
24	0,2	730,2	48,7	51,3
20	0,08	1390,4	92,7	7,3

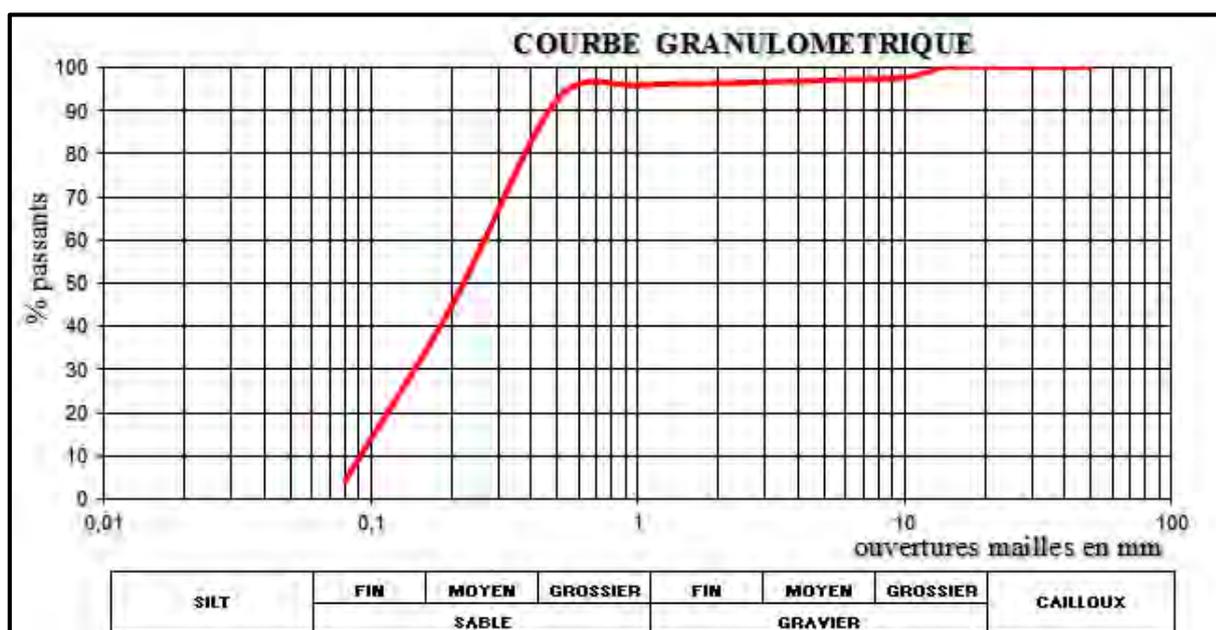


Procès –verbal d’essais de laboratoire

Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M ₅ (S ₄ BIS BRETELLE) Nature : Sable grisâtre		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial = 1500 g

Module	Diamètres tamis	Refus(g)	Pourcentage refus	Pourcentage passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	35,9	2,4	97,6
38	5	46,8	3,1	96,9
34	2	57,4	3,8	96,2
31	1	65,1	4,3	95,7
28	0,5	112,9	7,5	92,5
24	0,2	835	55,7	44,3
20	0,08	1438,7	95,9	4,1

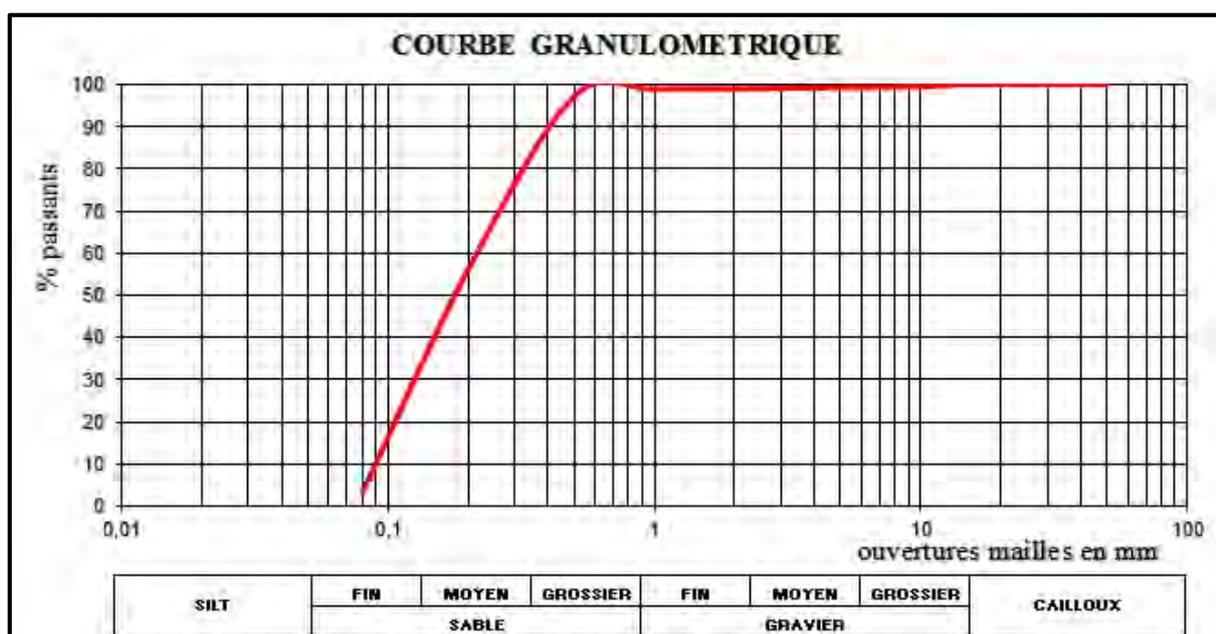


Procès –verbal d’essais de laboratoire

Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M ₆ (S ₉) Nature : Sable blanc		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial = 1500 g

Modules	Diamètres tamis	Refus (g)	% Refus	% Passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	7,4	0,5	99,5
38	5	10,7	0,7	99,3
34	2	14,8	1,0	99,0
31	1	17,1	1,1	98,9
28	0,5	40,3	2,7	97,3
24	0,2	655,5	43,7	56,3
20	0,08	1449,8	96,7	3,3

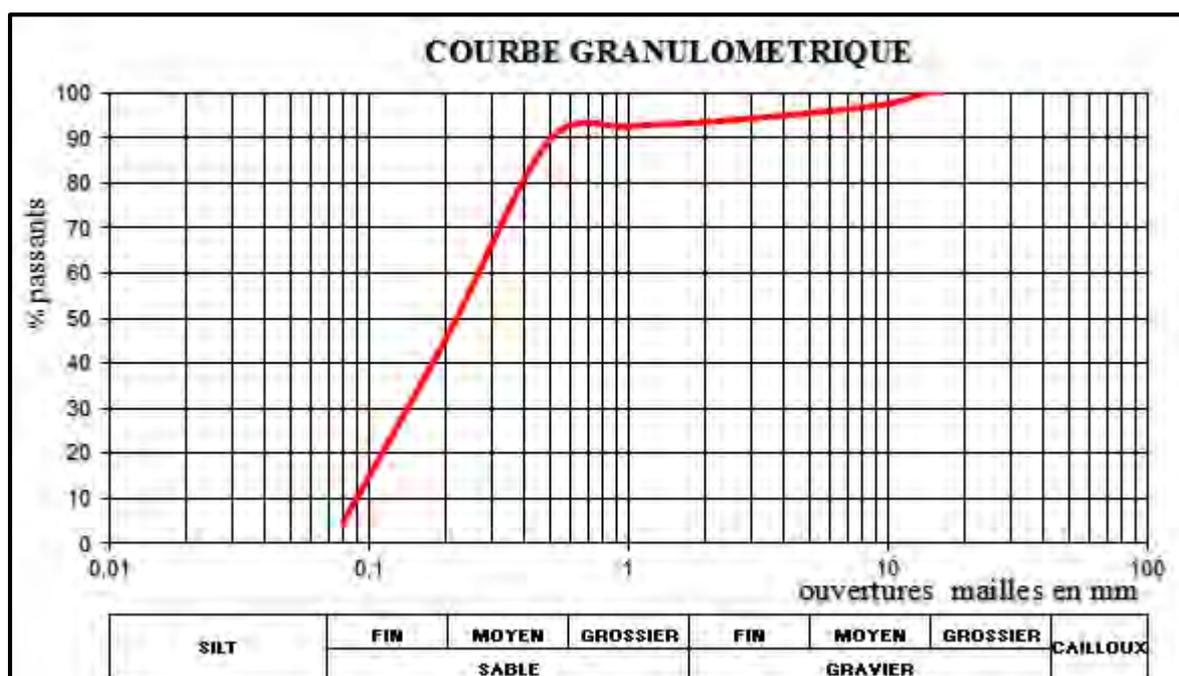


Procès –verbal d’essais de laboratoire

Laboratoire SOCETRA 	ESSAIS GRANULOMETRIQUE	Document de référence NP P 18-560
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud Echantillon : M ₇ (S ₂) Nature : Sable grisâtre		Date d’essais : 08/09/2015 Prélèvement : 09/09/2015 Classe granulaire < 5 mm

Poids initial = 1500 g

Module	Diamètres tamis	Refus(g)	Pourcentage refus	Pourcentage passant
48	50	0	0	100
47	40	0	0	100
46	31,5	0	0	100
45	25	0	0	100
44	20	0	0	100
43	16	0	0	100
42	14	0	0	100
41	10	38	2,5	97,5
38	5	67,7	4,5	95,5
34	2	97,5	6,5	93,5
31	1	112	7,5	92,5
28	0,5	156	10,4	89,6
24	0,2	815,6	54,4	45,6
20	0,08	1430,1	95	4,7



ANNEXE C : RESULTATS DES ESSAIS PROCTOR MODIFIE

Procès-verbal d'essais de Laboratoire				
Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIE		Documents de Référence NF P94-093	
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud			Date : 16 /09/ 2015	
Echantillon : M ₁ (S ₁ + S ₂)			Profondeur : 1 m	
Nature : Sable rougeâtre			Classe granulaire : < 5 mm	
Expression des résultats				
Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1685	1775	1810	1805
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm ³)	1,85	1,948	1,987	1,712
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	461,7	450,3	440,5	432,1
Poids de l'eau (g)	38,3	49,7	59,5	67,9
Teneur en eau W(%)	8,3	11	13,5	15,7
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,708	1,755	1,750	1,712
Graphique				
<p>Détails du graphique : L'axe des ordonnées (Y) est étiqueté 'Masse volumique sèche (t/m³)' et varie de 1,7 à 1,82. L'axe des abscisses (X) est étiqueté 'Teneur en eau (%)' et varie de 4 à 17. La courbe passe par les points suivants : (8,3, 1,708), (11, 1,755), (12, 1,76), (13,5, 1,750), (15,7, 1,712).</p>				
Résultat des essais				
Masse volumique sèche OPM $\gamma_{d \max} = 1,76 \text{ t/m}^3$		Teneur en eau optimale $W_{OPM} = 12 \%$		



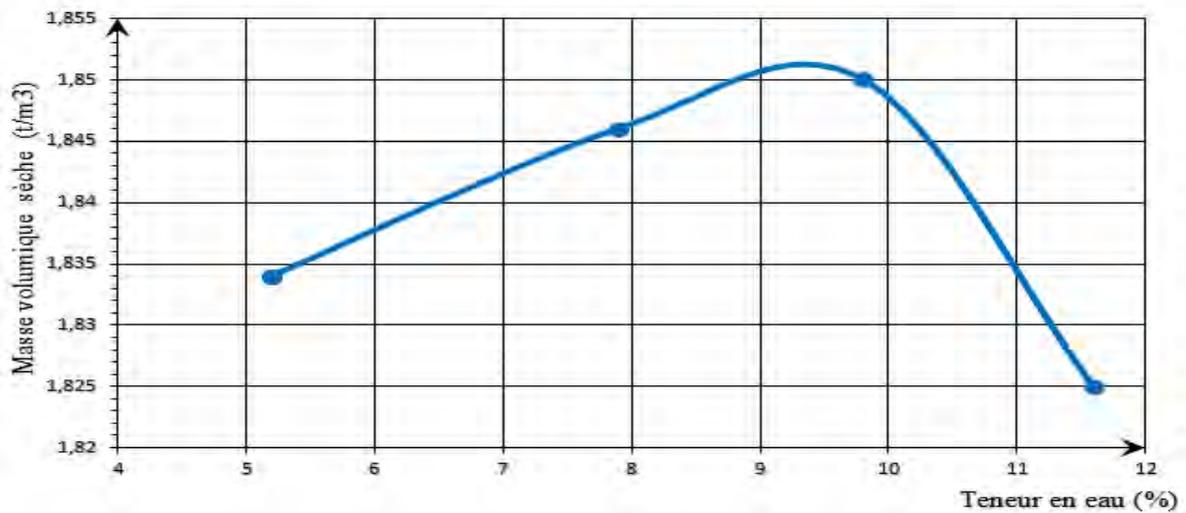
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIÉ	Documents de Référence NF P94-093
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M ₂ (S ₃ + S ₅)		Profondeur : 1 m
Nature : Sable rougeâtre		Classe granulaire : < 5 mm

Expression des résultats

Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1758	1815	1850	1855
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm ³)	1,93	1,992	2,031	2,036
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	475,2	463,3	455,4	448,2
Poids de l'eau (g)	24,8	36,7	44,6	51,8
Teneur en eau W(%)	5,2	7,9	9,8	11,6
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,834	1,846	1,85	1,825

Graphique



Résultat des essais

Masse volumique sèche OPM $\gamma_{d \max} = 1,85 \text{ t/m}^3$	Teneur en eau optimale $W_{OPM} = 9,84 \%$
---	---



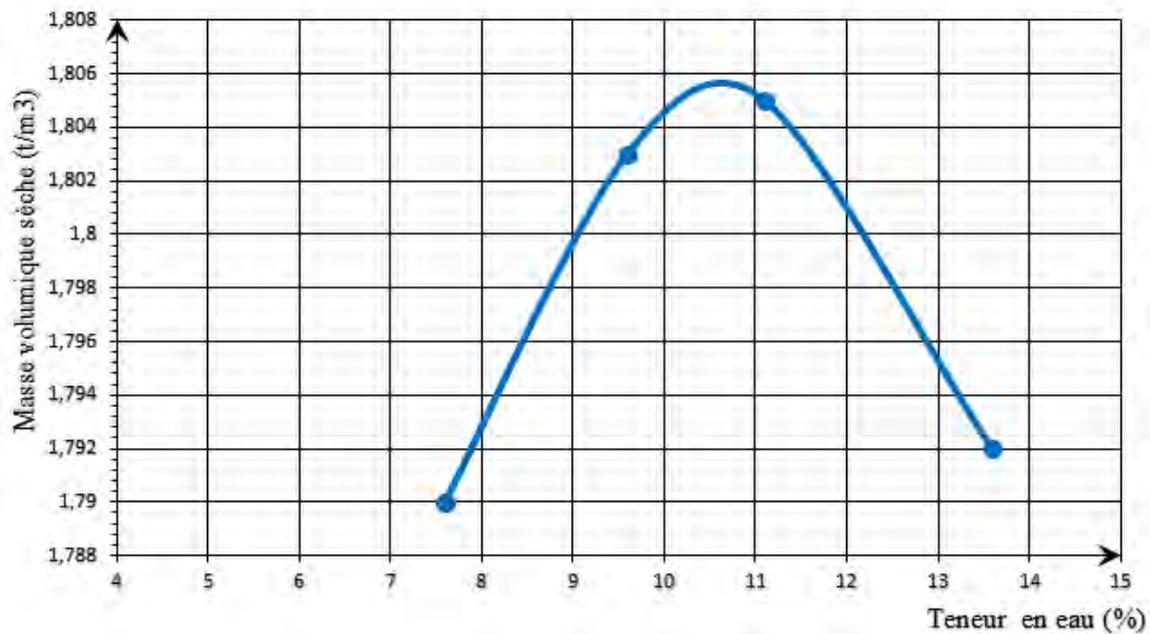
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIE	Documents de Référence NF P94-093
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M₃ (S₄ + S₇)		Profondeur : 1 m
Nature : Sable grisâtre+ inclusions		Classe granulaire : < 5 mm

Expression des résultats

Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1755	1800	1827	1855
Volume du moule (cm³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm³)	1,926	1,976	2,005	2,036
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	464,6	456,3	450,1	440
Poids de l'eau (g)	35,4	43,7	49,9	60
Teneur en eau W(%)	7,6	9,6	11,1	13,6
Masse volumique sèche (g/cm³)	1,790	1,803	1,805	1,792

Graphique



Résultat des essais

Masse volumique sèche OPM $\gamma_{d \max} = 1,805 \text{ t/m}^3$	Teneur en eau optimale $W_{OPM} = 10,6 \%$
--	---



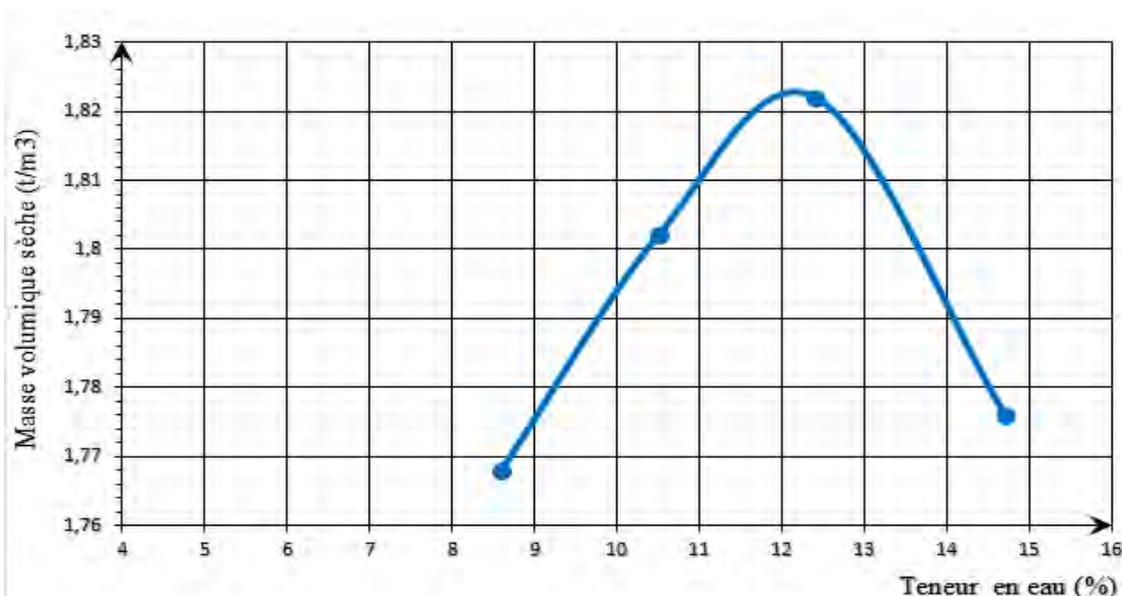
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIE	Documents de Référence NF P94-093
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M ₄ (S ₁₀ C ₁ + S ₁₀ C ₂)		Profondeur : 1 m
Nature : Sable rougeâtre		Classe granulaire : < 5 mm

Expression des résultats

Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1750	1815	1865	1856
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm ³)	1,921	1,992	2,047	2,037
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	460,2	452,3	445	435,9
Poids de l'eau (g)	39,8	47,7	55	64,1
Teneur en eau W(%)	8,6	10,5	12,4	14,7
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,768	1,802	1,822	1,776

Graphique



Résultat des essais

Masse volumique sèche OPM	Teneur en eau optimale
$\gamma_{d \max} = 1,825 \text{ t/m}^3$	$W_{OPM} = 12 \%$



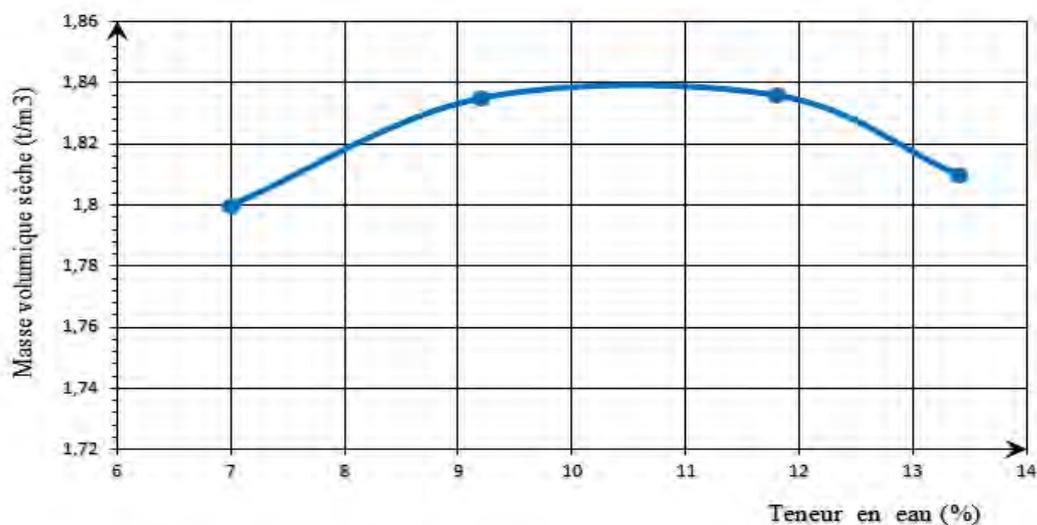
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIE	Documents de Référence NF P94-093
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M ₅ (S ₄ bis Bretelle)		Profondeur : 1 m
Nature : Sable grisâtre		Classe granulaire : < 5 mm

Expression des résultats

Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1755	1825	1870	1870
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm ³)	1,926	2,003	2,053	2,053
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	467,2	458	447,3	441
Poids de l'eau (g)	32,8	42	52,7	59
Teneur en eau W(%)	7,0	9,2	11,8	13,4
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,800	1,835	1,836	1,810

Graphique



Résultat des essais

Masse volumique sèche _{OPM} $\gamma_{d \max} = 1,84 \text{ t/m}^3$	Teneur en eau optimale $W_{OPM} = 10,5 \%$
--	---



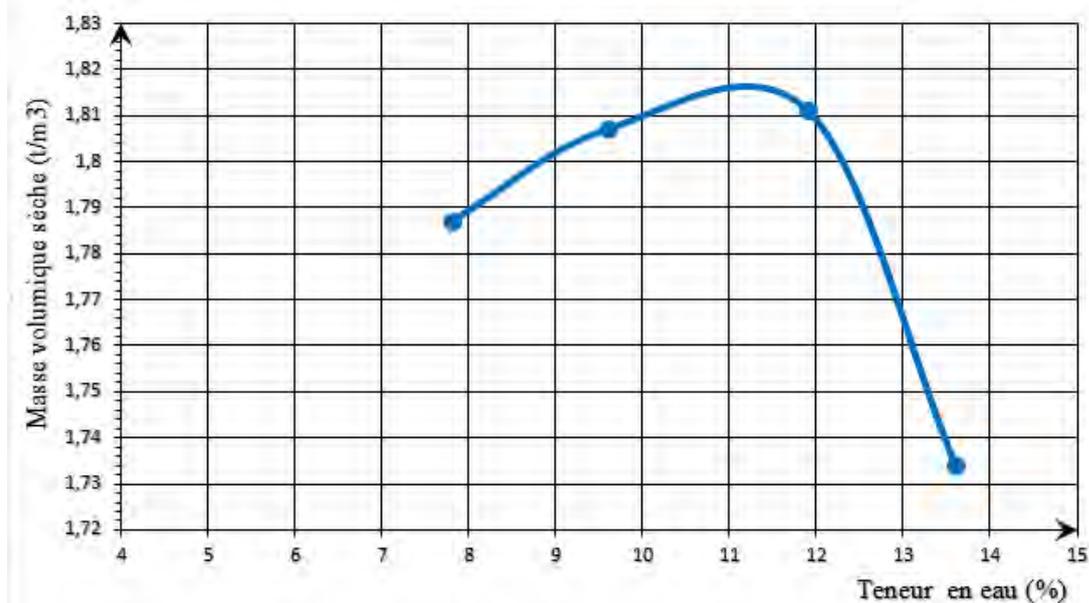
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIE	Documents de Référence NF P94-093
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M ₆ (S ₉)		Profondeur : 1 m
Nature : Sable blanc		Classe granulaire : < 5 mm

Expression des résultats

Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1769	1842	1869	1875
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm ³)	1,942	2,022	2,052	2,058
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	465,1	453,8	447,6	440,9
Poids de l'eau (g)	34,9	46,2	52,4	59,1
Teneur en eau W(%)	7,5	10,2	11,7	13,4
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,806	1,835	1,837	1,815

Graphique



Résultat des essais

Masse volumique sèche OPM $\gamma_{d \max} = 1,817 \text{ t/m}^3$	Teneur en eau optimale $W_{OPM} = 11,2 \%$
--	---



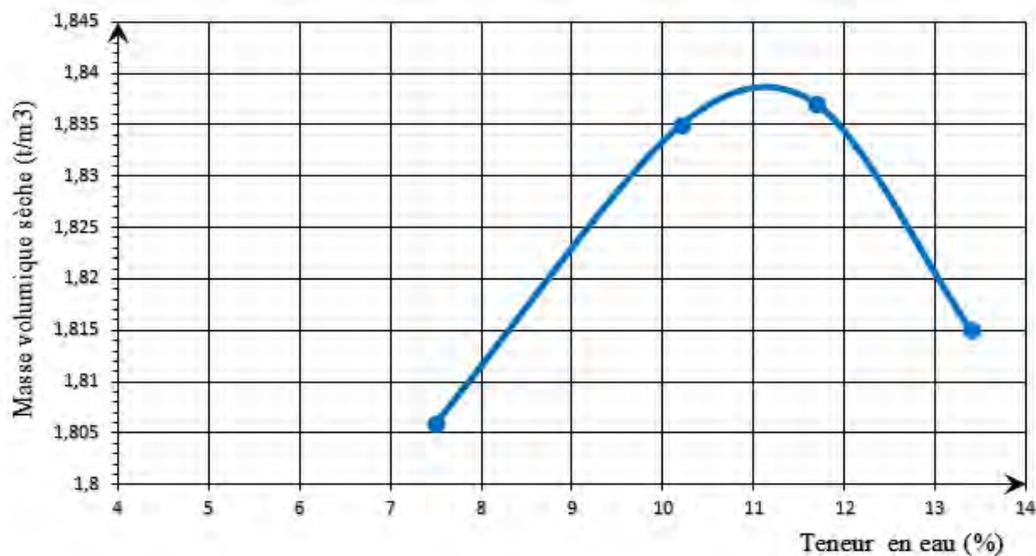
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	PROCTOR MODIFIE	Documents de Référence NF P94-093
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M ₇ (S ₂)		Profondeur : 1 m
Nature : Sable grisâtre		Classe granulaire : < 5 mm

Expression des résultats

Eau de moulage (%)	6	8	10	12
Poids sol humide (g)	1755	1805	1845	1795
Volume du moule (cm ³)	911	911	911	911
Densité humide (g/cm ³)	1,926	1,981	2,025	1,970
Poids humide (g)	500	500	500	500
Poids sec (g)	463,8	456	447	440
Poids de l'eau (g)	36,2	44	53	60
Teneur en eau W(%)	7,8	9,6	11,9	13,6
Masse volumique sèche (g/cm ³)	1,787	1,807	1,811	1,734

Graphique



Résultat des essais

Masse volumique sèche _{OPM} $\gamma_{d \max} = 1,838 \text{ t/m}^3$	Teneur en eau optimale $W_{OPM} = 11 \%$
---	---



ANNEXE D : RESULTATS DES ESSAIS CBR

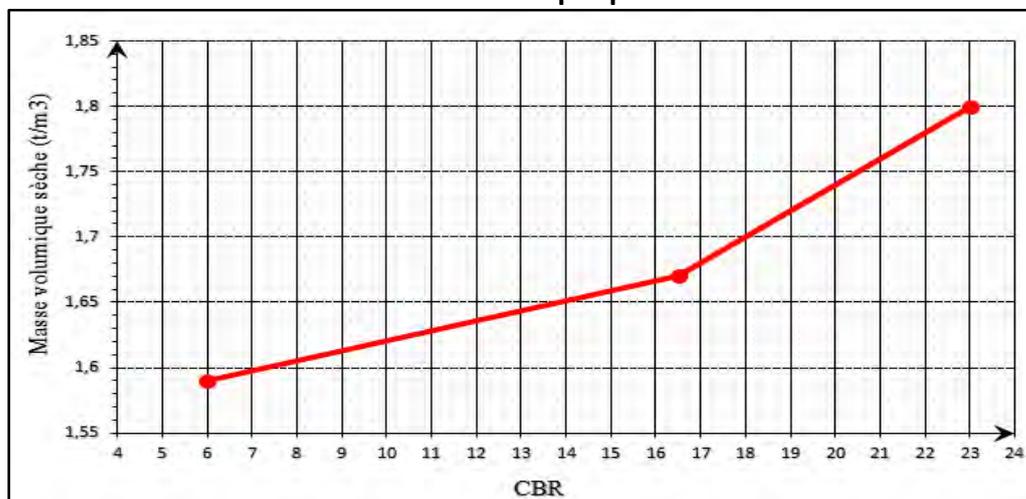
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M₁ (S₁ + S₂)		Dame utilisé : grande
Nature : Sable		Nombre de couches = 5

Expression des résultats

Nombre de coups	10	25	55	Moulage	Après saturation		
	C	Y	T		10	25	55
Moule N ^o	C	Y	T	Nombre de coups			
Poids total humide	7525	7950	8310	Poids humide (PH)(g)	500	500	500
Tare du moule	3625	3835	3885	Poids sec (PS) (g)	448,7	424,4	434
Poids matériau humide	3900	4115	4425	Poids eau = P _H - P _S	51,3	75,6	66
Volume du moule	2207	2207	2207	W (%)	11,4	17,81	15,21
Densité humide	1,76	1,865	2,01				
Densité sèche	1,59	1,67	1,8				
Compacité (%)	90,1	95,07	102,2				

Graphique



Résultat des essais

Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,80	23	13,1	16,5
25	95	1,67	16,5	15,2	
10	90	1,59	6	17,8	



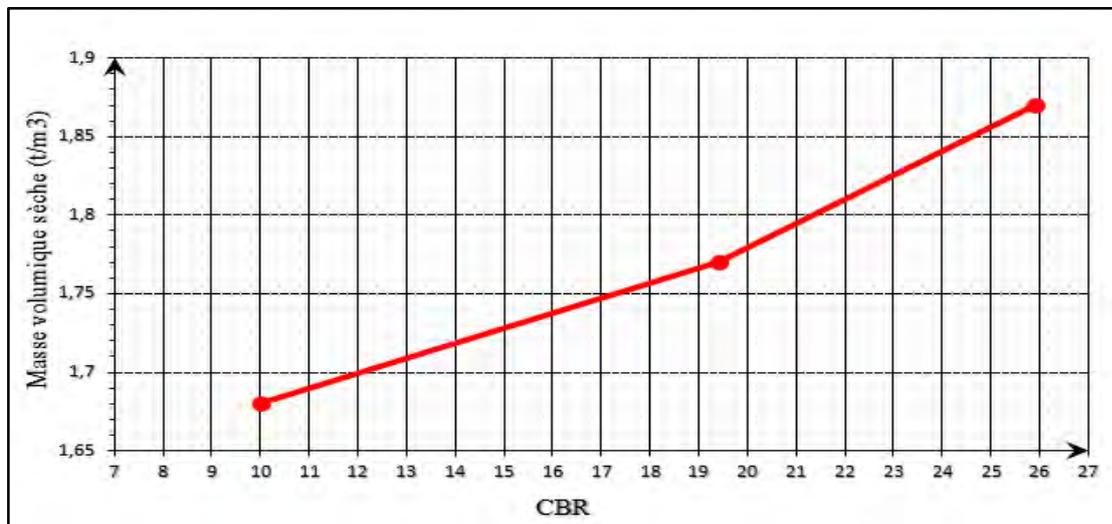
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M₂ (S₃ + S₅)		Dame utilisé : grande
Nature : Sable rougeâtre		Nombre de couches = 5

Expression des résultats

Nombre de coups	10	25	55	Moulage	Après saturation		
	J	X	P		10	25	55
Moule N ^o	J	X	P	Nombre de coups			
Poids total humide	7705	8150	8427	Poids humide (PH) (g)	701,6	500	500
Tare du moule	3625	3855	3890	Poids sec (PS) (g)	636,6	429	438
Poids matériau humide	4080	4295	4537	Poids eau = P _H - P _S	65	71	62
Volume du moule	2207	2207	2207	W (%)	10,2	16,55	14,16
Densité humide	1,849	1,946	2,056				
Densité sèche	1,68	1,77	1,87				
Compacité (%)	90,67	95,45	100,8				

Graphique



Résultat des essais

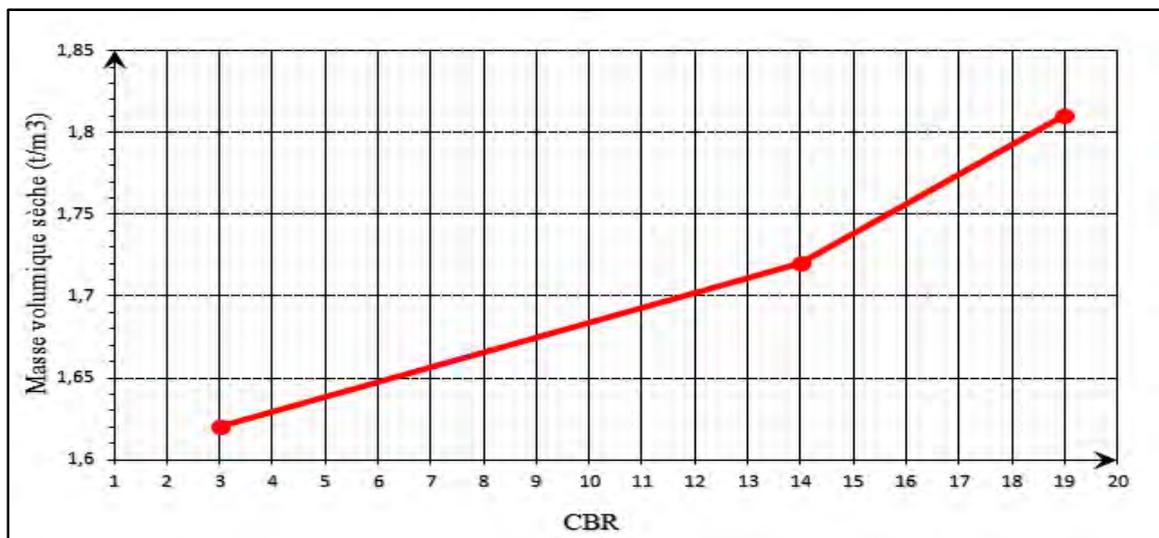
Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,87	25,9	12,1	19
25	95	1,77	19,4	14,2	
10	90	1,68	10	16,5	



Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078						
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015						
Echantillon : M₃ (S₄ + S₇)		Dame utilisé : grande						
Nature : Sable grisâtre+ inclusions		Nombre de couches = 5						
Expression des résultats								
Nombre de coups	10	25	55	Moulage	Après saturation			
	K	S	G		10	25	55	
Moule N°				Nombre de coups				
Poids total humide	7920	8445	8410	Poids humide (PH)(g)	500	500	500	500
Tare du moule	3795	4090	3825	Poids sec (PS) (g)	451,2	436,3	442	442
Poids matériau humide	4125	4355	4585	Poids eau = P _H - P _S		72,3	63,7	58
Volume du moule	2291	2291	2291	W (%)	10,8	14,6	13,12	13,12
Densité humide	1,801	1,901	2,001					
Densité sèche	1,62	1,72	1,81					
Compacité (%)	90,02	95,04	100,05					

Graphique



Résultat des essais

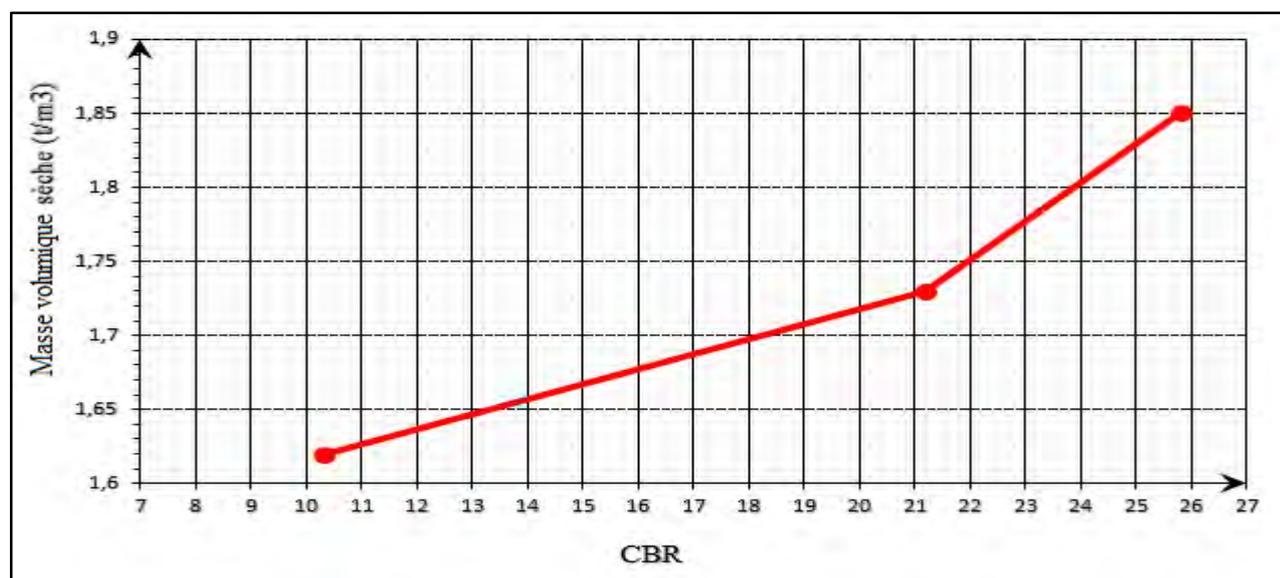
Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,81	19	12,8	14
25	95	1,72	14	14,6	
10	90	1,62	3	16,9	



Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078						
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015						
Echantillon : M₄ (S₁₀C₁ + S₁₀C₂)		Dame utilisé : grande						
Nature : Sable		Nombre de couches = 5						
Expression des résultats								
Nombre de coups	10	25	55		Moulage	Après saturation		
Moule N°	F	Z	R		Nombre de coups	10	25	55
Poids total humide	7650	8055	8481		Poids humide (PH)(g)	500	500	500
Tare du moule	3625	3765	3890		Poids sec (PS) (g)	445	422,5	430,1
Poids matériau humide	4025	4290	4591		Poids eau = P_H - P_S	55	77,5	69,9
Volume du moule	2207	2207	2207		W (%)	12,4	18,34	16,25
Densité humide	1,84	1,944	2,08					
Densité sèche	1,62	1,73	1,85					
Compacité (%)	89,8	95,05	101,7					

Graphique



Résultat des essais

Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,85	25,8	12,8	21,1
25	95	1,73	21,2	14,6	
10	90	1,62	10,3	16,9	



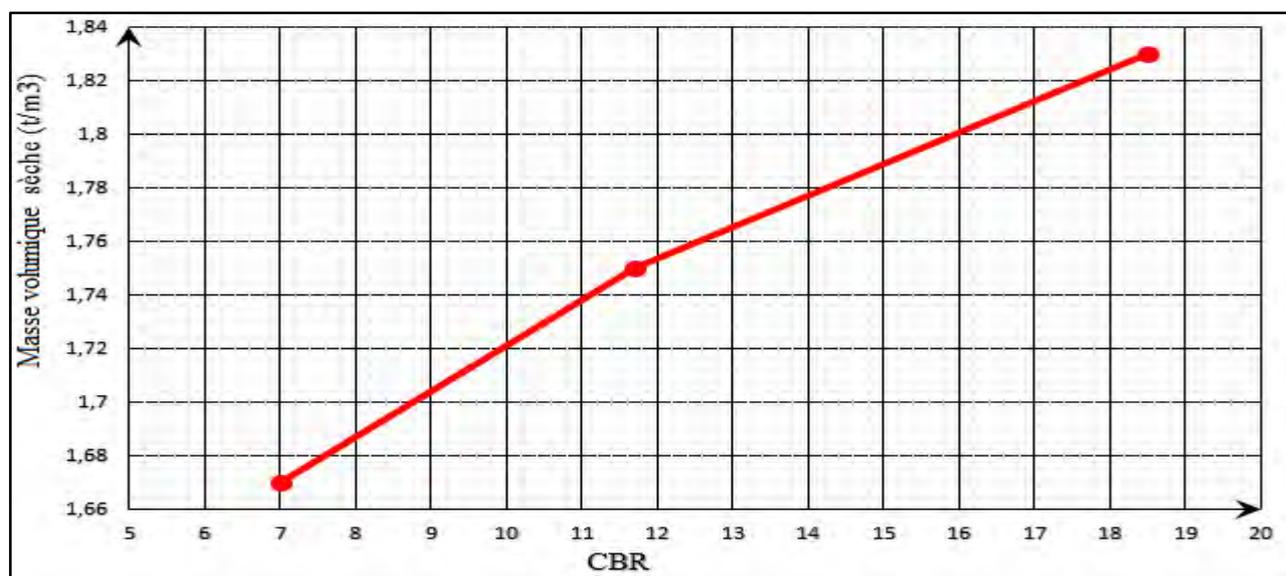
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M₅ (S₄ bis Bretelle)		Dame utilisé : grande
Nature : Sable grisâtre		Nombre de couches = 5

Expression des résultats

Nombre de coups	10	25	55	Moulage	Après saturation		
	H	N	O		10	25	55
Moule N ^o	H	N	O	Nombre de coups	500	500	500
Poids total humide	7700	8375	8576	Poids humide (PH)(g)	500	500	500
Tare du moule	3625	4100	4100	Poids sec (PS) (g)	451	428	436,3
Poids matériau humide	4080	4275	4476	Poids eau = P _H - P _S	49	72	63,7
Volume du moule	2207	2207	2207	W (%)	10,9	16,82	14,60
Densité humide	1,84	1,937	2,028				
Densité sèche	1,67	1,75	1,83				
Compacité (%)	90,6	94,96	99,42				

Graphique



Résultat des essais

Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,83	18,5	112,3	12
25	95	1,75	11,7	14,6	
10	90	1,67	7	16,8	



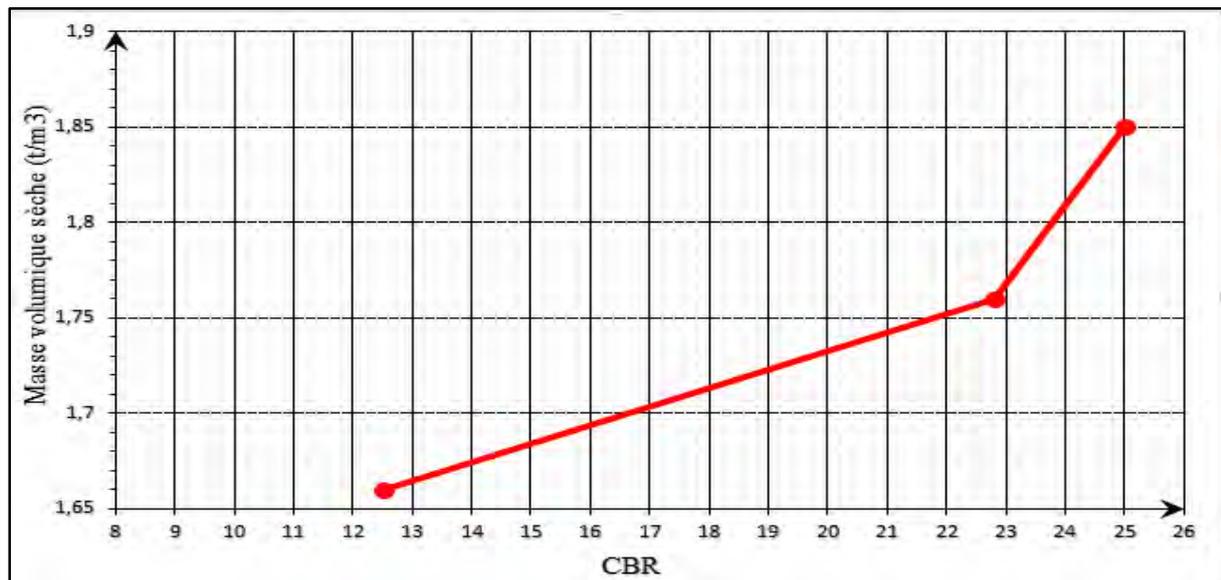
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M ₆ (S ₉)		Dame utilisé : grande
Nature : Sable blanc		Nombre de couches = 5

Expression des résultats

Nombre de coups	10	25	55	Moulage	Après saturation			
	V	U	D		10	25	55	
Moule N°	V	U	D	Nombre de coups		10	25	55
Poids total humide	7705	8400	8695	Poids humide (PH)(g)	500	500	500	500
Tare du moule	3625	4090	4135	Poids sec(P_S) (g)	448,7	424,4	434	442
Poids matériau humide	4080	4310	4560	Poids eau = P_H - P_S	51,3	75,6	66	58
Volume du moule	2207	2207	2207	W (%)	11,4	17,81	15,21	13,12
Densité humide	1,849	1,953	2,066					
Densité sèche	1,66	1,75	1,85					
Compacité (%)	90,16	95,25	100,77					

Graphique



Résultat des essais

Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,85	25	13,1	22
25	95	1,76	22,8	15,4	
10	90	1,66	12,5	17,2	



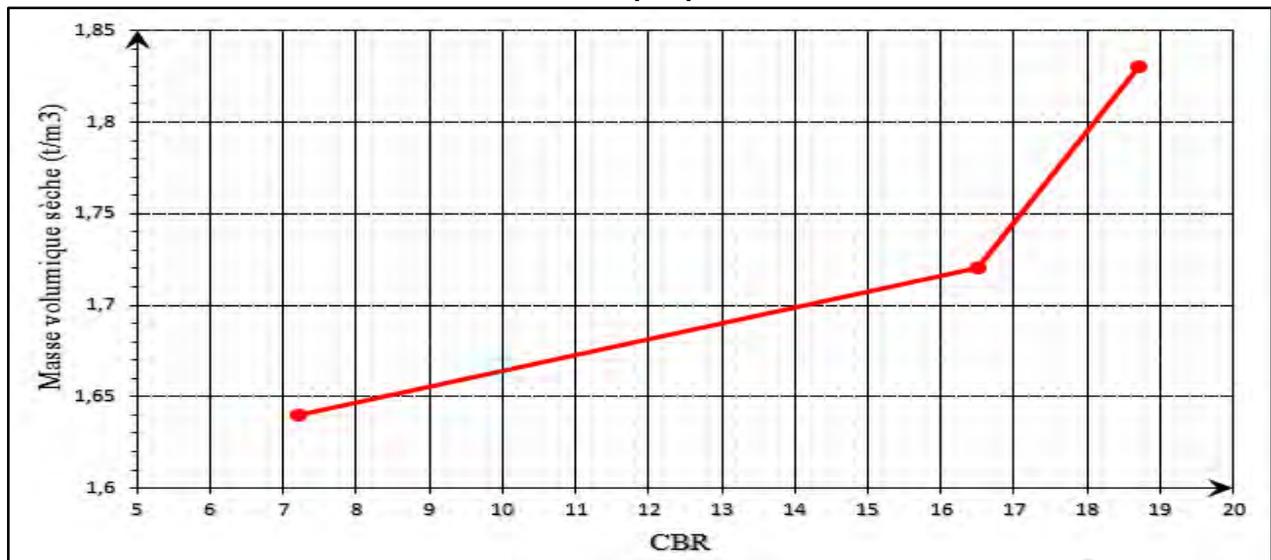
Procès-verbal d'essais de Laboratoire

Laboratoire de SOCETRA	Essai CBR	Documents de Référence NF P94-078
Provenance : Voirie Pikine Irrégulier Sud		Date : 16 /09/ 2015
Echantillon : M₇ (S₂)		Dame utilisé : grande
Nature : Sable grisâtre		Nombre de couches = 5

Expression des résultats

Nombre de coups	10	25	55	Moulage	Après saturation			
	SN	M	E		10	25	55	
Moule N°	7650	8450	8084	500	500	500	500	
Poids total humide	3625	4220	3595	448,7	424,4	434	442	
Tare du moule	4025	4230	4489	Poids humide (PH)(g)	51,3	75,6	66	58
Poids matériau humide	2207	2207	2207	Poids sec (PS) (g)	11,4	17,81	15,21	13,12
Volume du moule	1,824	1,917	2,034	Poids eau = P _H - P _S				
Densité humide	1,64	1,72	1,83	W (%)				
Densité sèche	90,37	94,97	100,79					
Compacité (%)								

Graphique



Résultat des essais

Nombre de coups	Compacité (%)	$\gamma_{d \max}$ (t/m ³)	CBR	W _{imbibition} (%)	CBR à 95 % OPM
55	100	1,83	18,7	13,1	16,5
25	95	1,72	16,5	14,2	
10	90	1,64	7,2	15,7	



ANNEXE E : RESULTATS DES ESSAIS GRANULOMETRIQUES POUR LA FORMULATION DU BETON HYDRAULIQUE POUR PAVES

Nature échantillon		Sable 0/3		Gravier 3/8		Pourcentage du Mélange		
Tamis AFNOR		Poids initial=1500 g		Poids initial=3000 g				
MODULES AFNOR	Ouverture Tamis (mm)	Refus cumulés (mm)	% passant	Refus cumulés (mm)	% passant	Sable 50 %	Gravier 50 %	Mélange obtenu (%)
						à 100%		
50	125							
49	100							
48	80							
47	63		100	0	100		50	100
46	50		100	0	100		50	100
45	40		100	0	100		50	100
44	32		100	0	100		50	100
43	25		100	0	100		50	100
42	20		100	0	100		50	100
41	16		100	0	100		50	100
40	14		100	0	100		50	100
39	12,5		100	0	100		50	100
38	10		100	0	100		50	100
36	8		100	96	96,8		48,4	98,4
35	6,3		100	864	71,2		35,6	85,6
32	5		100	2097	30,1	50	15,1	65,1
31	4	0	99,8	2850	5	49,9	2,5	52,4
29	2,5	3	88,7	2910	3	44,4	1,5	45,9
27	1,25	169,5	53,2	2994	0,2	26,6	0,1	26,7
26	0,63	960	36			18	0	18
24	0,315	1113	25,8			12,9	0	12,9
23	0,16	1224	18,4			9,2	0	9,2
20	0,08	1324	11,7			5,9	0	5,9



Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max} .

		$D_{max}=5$	$D_{max}=8$	$D_{max}=12,5$	$D_{max}=20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max}=50$	$D_{max}=80$
Molle (TP-F ₁)	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique (P)	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme (F)	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Compacité du béton en fonction de D_{max} , de la consistance et du serrage.

Qualité des granulats	Dimension D_{max} des granulats		
	Fins $D_{max} < 12,5$ mm	Moyens $20\text{mm} < D_{max} < 31,5\text{mm}$	Gros $D_{max} > 50$ mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Affaissement au cône en fonction du type d'ouvrage

Affaissement (cm)	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	FERME	F	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrages d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
≥ 16	Fluide	F ₁	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

ANNEXE F : ILLUSTRATIONS



Laboratoire de la SOCETRA



Bassin d'immersion des éprouvettes de béton et presse



Mesure d'affaissement



La table de vibration



A gauche on a une formulation du mélange, à droite le matériel de moulage



Sèchage et pose des pavés



Route en pavés

TABLE DES MATIERES

<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1
<i>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU PROJET ET DU CADRE D'ETUDE</i>	3
<i>INTRODUCTION</i>	3
1.1. <i>PRESENTATION DU PROJET</i>	3
1.2. <i>PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE</i>	4
1.2.1. <i>Localisation géographique</i>	4
1.2.2. <i>Données climatologiques</i>	6
1.2.3. <i>Données démographiques</i>	8
1.2.4. <i>Données hydrogéologiques</i>	9
1.2.5. <i>Relief et contexte géologique</i>	11
1.2.5. 1. <i>Le relief</i>	11
1.2.5.1.1. <i>Les dunes</i>	11
1.2.5.1.2. <i>Les dépressions sableuses (Niayes)</i>	12
<i>CHAPITRE 2 : CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS DE LA PLATEFORME</i>	16
2.1. <i>RECONNAISSANCE DES SOLS DE LA PLATEFORME</i>	16
2.1.1. <i>Mode de prélèvement</i>	16
2.1.2. <i>Description lithologique des puits manuels</i>	16
2.2. <i>RESULTATS DES ESSAIS D'IDENTIFICATION ET DE CARACTERISATION</i>	19
2.2.1. <i>Analyse granulométrique par tamisage</i>	20
2.2.2. <i>Mesure de la masse volumique humide</i>	20
2.2.3. <i>Mesure de la masse volumique sèche</i>	21
2.2.4. <i>Mesure de l'équivalent de sable</i>	21
2.2.5. <i>Essai Proctor Modifié</i>	21
2.2.6. <i>Essai CBR</i>	22
2.3. <i>INTERPRETATION DES RESULTATS</i>	23
2.4. <i>STRUCTURE DE CHAUSSEE PROPOSEE</i>	23
<i>CHAPITRE 3 : FORMULATION DU BÉTON HYDRAULIQUE POUR PAVES</i>	26
<i>INTRODUCTION</i>	26
3.1. <i>APPROCHE DE LA FORMULATION</i>	27
3.1.1. <i>Dosage en ciment et en eau</i>	27
3.1.2. <i>Choix des granulats</i>	28



3.2. ETUDE DE FORMULATION DU BETON HYDRAULIQUE POUR PAVES.....	28
3.2.1. Données de base.....	29
3.2.1.1. Dosage en ciment.....	29
3.2.1.2. Paramètres physiques des granulats.....	29
3.2.1.3. Dosage en eau.....	29
3.2.1.4. Courbe de référence OAB.....	30
3.2.1.5. Dosage des granulats.....	31
3.2.1.6. Coefficient de compacité.....	32
3.2.1.7. Détermination du volume des granulats.....	33
3.2.1.8. Détermination du volume absolu de chaque granulat.....	33
3.3. ESSAIS D'ETUDE – CORRECTIONS.....	33
3.3.1. Etudes d'essais.....	33
3.3.1.1. Formulation théorique.....	33
3.3.1.2. Dosage des granulats pour la confection des éprouvettes.....	34
3.3.2. CORRECTIONS.....	34
3.3.2.1. Ajustement de la formule au m ³	34
3.3.2.2. La correction du dosage en ciment.....	35
3.5. RESULTATS DE LA FORMULATION DES BETONS Q ₄₀₀ APRES GACHEE	
EXPERIMENTALE.....	37
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	40
SOURCES INTERNET.....	43
LISTE DES NORMES CITEES.....	43
ANNEXES.....	XXX