



Full Length Research Paper

Etude comparative des Caractéristiques des Bétons Hydrauliques et des Bétons Bitumineux à base de Granulats de basaltes de Diack et de quartzites de Bakel

¹Makhaly Ba, ¹Babacar Diop, ²Oumar Kamara

¹Laboratoire de Mécanique et Modélisation, UFR Sciences de l'Ingénieur - Université de Thiès (Thiès, Sénégal)

²Technicien géotechnicien indépendant (Dakar, Sénégal)

Received October 2014 – Accepted December 2014



*Corresponding author. E-mail: makhaly.ba@univ-thies.sn

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

Résumé

Les résultats expérimentaux obtenus dans le cadre de cette étude montrent que les valeurs respectives de la résistance à la compression simple à 28 jours du béton hydraulique formulé selon la méthode Dreux-Gorisse avec un dosage en ciment CEM II/B 32,5R de 350 kg/m³ et les granulats de basaltes de Diack, et du béton hydraulique à base de granulats de quartzites de Bakel sont de 30 MPa et 27 MPa. Ces deux valeurs sont convenables. Les résultats des essais Marshall montrent que les bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de quartzites ont des caractéristiques sensiblement égales : les stabilités respectives à 60° C sont égales à 1612 kg et 1618 kg et sont nettement supérieures à la valeur minimum requise de 1000 kg ; les valeurs respectives de fluage sont élevées (4,06 mm et 3,96 mm), en considérant la limite maximum requise de 4 mm. Les résultats des essais Duriez réalisés sur les bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de quartzites sont satisfaisants : les valeurs respectives de compacité sont de 92,9 % et 92,8 %, et sont comprises entre les limites exigées de 92 % et 96 % ; ces valeurs sont conformes aux spécifications techniques en vigueur au Sénégal ; les valeurs respectives de résistance à la compression (après une cure de 7 jours à l'air à 18° C) sont de 6,81 MPa et 6,28 MPa et sont supérieures à la valeur minimum requise de 6 MPa ; les valeurs respectives du rapport R'_c/R_c sont convenables (0,77 et 0,86) et sont supérieures à la valeur minimum requise de 0,75 ; ce qui montre que les enrobés bitumineux ont une bonne tenue dans l'eau. En considérant le projet d'élargissement et de réhabilitation du tronçon Ndioum - Ourosogui - Bakel de la RN2, la comparaison des coûts des deux matériaux montre que le prix de revient des granulats de basaltes est deux fois plus élevé que celui des quartzites pour la classe 0/3 et 1,75 fois plus élevé pour les classes 3/8 et 8/16. Cette différence notable est liée au coût de transport.

Keywords: Diack, Bakel, basaltes, quartzites, béton hydraulique, béton bitumineux

Cite this article:

Makhaly Ba, Babacar Diop, Oumar Kamara (2015). Etude comparative des caractéristiques des bétons hydrauliques et des bétons bitumineux à base de granulats de basaltes de Diack et de quartzites de Bakel. Revue Cames – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 1(2), 57-64. ISSN 2312-8712.

1. Introduction

Au Sénégal, le secteur du bâtiment, des travaux publics et des routes (BTP-Routes) est en plein essor. La réalisation de bâtiments, de ponts et d'infrastructures routières exige des quantités importantes de matériaux de qualité. Les caractéristiques des matériaux constituant les assises des chaussées doivent bien répondre à certaines exigences minimales de qualité. En ce qui concerne le corps de la chaussée plusieurs catégories de matériaux

peuvent être utilisées. Cependant, les ingénieurs routiers, par souci d'économie, sont contraints de tenir compte des distances de transport et des moyens d'exploitation des gisements. Ceci les a amené à utiliser des matériaux très particuliers ou présentant des qualités souvent inférieures, et cela dans toutes les couches du corps de chaussée [1]. Dans les régions administratives de Thiès et Dakar, l'intense activité d'extraction des roches massives (calcaires, marnes, basaltes) pour la production de

granulats concassés et la fabrication du ciment pose le problème de la planification des réserves et de la sauvegarde de l'environnement notamment la protection des forêts classées et des aires de reboisement. Dans la région administrative de Thiès, la carrière de basaltes de Diack est très sollicitée. Il faut diversifier les sources d'approvisionnement en granulats et réduire les distances de transport entre les carrières de roches massives et les grands chantiers du pays. L'exploitation des roches massives du Sénégal oriental doit permettre d'approvisionner régulièrement les chantiers situés dans les régions administratives de Tambacounda, Kédougou et Matam.

L'Entreprise Maphathé NDIUCK S.A exploite depuis novembre 2013 les quartzites de Bakel, dans la région administrative de Tambacounda. Les investissements financiers sont importants et s'élèvent à 12 740 661 067 FCFA. Pour assurer la rentabilité de l'exploitation, les granulats de quartzites produits doivent trouver des débouchés intéressants dans le secteur BTP-Routes. L'étude des propriétés des quartzites doit être complétée par la définition de leur condition d'utilisation.

2. Propriétés des matériaux et Procédures d'essai

2.1. Caractéristiques pétrographiques

Deux granulats de natures pétrographiques différentes sont utilisés dans cette étude: le Basalte de Diack (situé à 37 km au Sud-Est de la ville de Thiès, dans la communauté rurale de Ngoundiane, et à 80 km à l'Est de Dakar) et le Quartzite de Bakel (qui se trouve dans la région administrative de Tambacounda, à 687 km à l'Est de Dakar, le long du fleuve Sénégal, au milieu de buttes rocheuses). Le basalte est une roche volcanique de couleur foncée, de densité voisine de 3. La roche est composée essentiellement de plagioclases et de pyroxènes avec parfois d'autres minéraux accessoires comme l'olivine. Il est possible de distinguer trois types de faciès à Diack [2] :

- un faciès à grains fins, majoritaire, représenté essentiellement par des basanites,
- un faciès à grains moyens, moins abondant que le faciès précédant ;
- un faciès à gros grains, représenté par des roches grenues entièrement cristallisées.

Les quartzites sont des roches siliceuses compactes constituées de cristaux de quartz intimement liés. L'observation en lames minces permet parfois de distinguer des orthoquartzites d'origine sédimentaire et des métaquartzites d'origine métamorphique. Les quartzites de l'étude se situent dans le secteur de Bakel. Les quartzites sont des roches siliceuses compactes constituées de cristaux de quartz intimement soudés, associés à des paillettes de chlorites et séricites. L'observation en lame mince permet de distinguer trois sous faciès [3, 4, 5, 6] :

- les orthoquartzites : le quartz à extinction roulante,

forme des grains aplatis parallèlement au plan de schistosité. La séricite et le chlorite peu abondants se présentent en paillettes fines,

- les quartzites micacés : ces quartzites sont constitués de quartz et d'abondantes paillettes de séricites et de chlorites ;
- les quartzites ferrugineux : ils sont formés de grains d'oxydes de fer et de quartz.

2.2. Caractéristiques géotechniques et Procédures d'essai

Les classes granulaires utilisées sont 0/3, 3/8 et 8/16. Les essais d'identification ont porté sur l'analyse granulométrique (NF EN 933-1), le coefficient d'aplatissement (NF EN 933-3), la masse volumique absolue (NF P 18-554), la masse volumique apparente (NF P 98-250-1), la résistance à l'usure MDE (EN 1097-1), et la résistance à la fragmentation par choc LA (NF EN 1097-2). Les résultats des essais d'identification sur les échantillons de granulats de basaltes et de granulats de quartzites sont consignés dans les figures 1 et 2 et dans le tableau 1. Les masses volumiques des granulats de basaltes sont plus élevées que celles des granulats de quartzites. Les échantillons de granulats de quartzites de classe 3/8 et 8/16 ont une résistance à l'usure plus grande (MDE est égal à 4) que celle des échantillons de granulats de basaltes (MDE est égal à 10 pour la classe 3/8 et 11 pour la classe 8/16). La résistance à la fragmentation aux chocs des échantillons de granulats de basaltes est légèrement plus grande (LA est 16 pour la classe 3/8 et pour la classe 8/16) que celle des quartzites (LA est égal à 17 pour la classe de 3/8 et 12 pour la classe de 8/16).

3. Résultats et Discussions

3.1. Formulation du béton hydraulique

Elle consiste à déterminer les proportions de chaque classe granulaire afin de réaliser une combinaison optimale permettant d'obtenir à la fois une bonne ouvrabilité et une bonne résistance mécanique. Dans cette étude, la méthode de formulation de Dreux-Gorisse est utilisée. Cette méthode permet de déterminer les quantités optimales d'eau E et de matériaux (ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. Le liant utilisé dans la formulation est le ciment CEM II/B 32,5R fabriqué par les Ciments du Sahel. Le sable est un matériau de diamètre maximal inférieur à 6,3 mm et dont le passant à 80 μm n'excède pas 35 %. Le tableau 2 présente les quantités optimales de granulats nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. Nous avons confectionné des éprouvettes de forme cylindrique de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm (section de 200,96 cm^2).

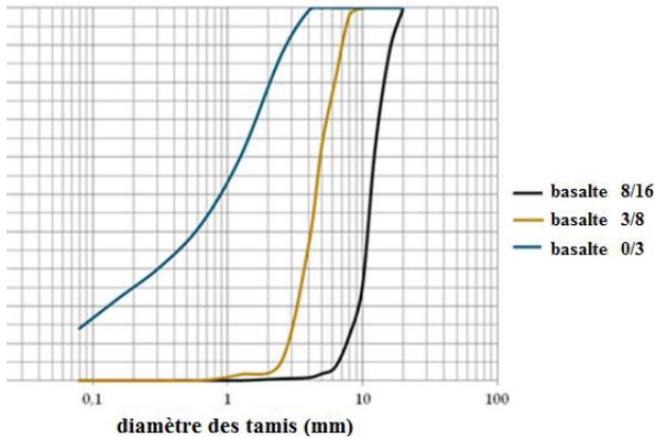


Figure 1. Courbes granulométriques des échantillons de granulats de basaltes

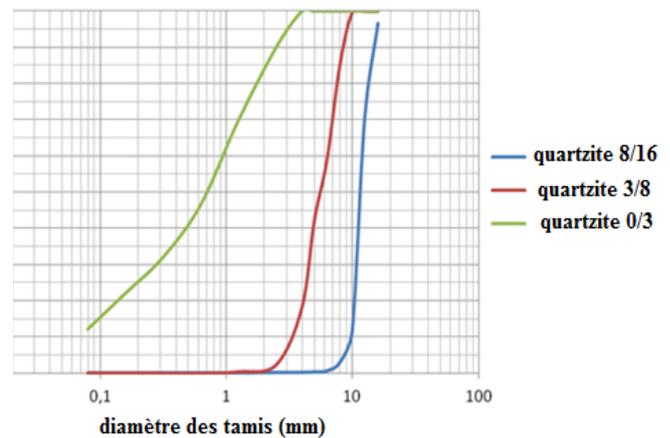


Figure 2. Courbes granulométriques des échantillons de granulats de quartzites

Tableau 1. Résultats des essais d'indentification sur les échantillons de granulats de basaltes et de quartzites

Matériaux	Classes granulaires	Masses volumiques absolues (g/cm^3)	Masses volumiques apparentes (g/cm^3)	Coefficient d'aplatissement A (%)	MDE	LA
Basalte	0/3	2,906	1,760			
	3/8	2,970	1,590	21,61	10	16
	8/16	2,980	1,670	11,28	11	11
Quartzites	0/3	2,570	1,760			
	3/8	2,638	1,595	7,37	4	17
	8/16	2,659	1,519	12,19	4	12

Tableau 2. Composition finale (en kg) d'un mètre cube de béton

Matériaux	Ciment	Eau	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/16
Basalte	350	183	547,2	494,1	832,8
Quartzites	350	185	572,1	432,1	732,3

Le remplissage d'un moule se fait en deux couches vibrées normalement. Le démoulage s'effectue vingt-quatre heures après la mise en œuvre. Pour chaque matériau étudié, nous avons confectionné six éprouvettes dont trois sont immergées dans l'eau pendant 28 jours, les trois autres sont conservées à l'air pendant 7 jours. La valeur de la résistance en compression simple à 7 jours est désignée par R_{C7} , tandis que R_{C28} est la valeur de la résistance en compression à 28 jours. Le tableau 3 présente les valeurs de résistances à la compression simple des éprouvettes des différents bétons hydrauliques.

La composition des deux bétons hydrauliques à base de granulats de basaltes et de granulats de quartzites, selon la méthode de Dreux-Gorisse, est simple et rapide. Pour un dosage en ciment de 350 kg/m^3 , la résistance nominale du béton visée à 28 jours est de 28 MPa pour le béton hydraulique à base de granulats de basaltes et 25 MPa pour le béton hydraulique à base de granulats de quartzites. Les résultats consignés dans le tableau 3 montrent que le béton à base de granulats de basaltes a une résistance à 28 jours R_{C28} qui est égale à 30 MPa. Cette valeur de résistance en compression est supé-

rieure à celle de 28 MPa visée. Avec le béton à base de granulats de quartzites, R_{C28} est égale à 27 MPa et est supérieure à celle de 25 MPa visée. L'ouvrabilité recherchée sur le chantier correspond à la consistance du béton mesurée par l'affaissement A au cône d'Abrams. D'après les résultats du tableau 3, les deux bétons sont plastiques ($5 \text{ cm} \leq A \leq 9 \text{ cm}$).

3.2. Formulation du béton bitumineux

Le béton bitumineux est un mélange de différentes fractions de gravillons, de filler et d'une quantité précise de bitume comme liant. Il est mis en œuvre à chaud à une température pouvant aller jusqu'à $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Dans cette étude, le bitume utilisé est de classe 35/50. Un mélange théorique est réalisé, en proportions convenables, des différentes classes de granulats, qui s'insèrent dans le fuseau de spécification 0/14 (SETRA-LCPC, 1994). Ce mélange est le suivant, pour chaque matériau:

- pour les granulats de basaltes : 50 % de 0/3, 15 % de 3/8 et 35 % de 8/14 ;
- pour les granulats de quartzites : 43 % de 0/3, 27 % de 3/8 et 30 % de 8/14.

Le pourcentage de bitume contenu dans le mélange gra-

nulaire est variable. Les mélanges ont été testés avec les pourcentages de bitume suivants :

- pour les granulats de basaltes : 4,8 %, 5,0 % et 5,2 % de bitume ;
- pour les granulats de quartzites : 5,2 %, 5,4 % et 5,6 % de bitume.

Pour déterminer les performances des mélanges, des essais Marshall (EN 12697-34) et Duriez (NF P 98-251-1) ont été effectués. Le principe de l'essai Marshall consiste à confectionner des éprouvettes de mélange hydrocarboné par compacteur à impact selon un processus déterminé, puis de faire l'essai de compression suivant une génératrice dans des conditions définies. L'essai Marshall a pour objectif de déterminer, pour une température et une énergie de compactage données, la résistance mécanique dite « stabilité », l'affaissement dit « fluage » et le quotient Marshall des éprouvettes de mélange hydrocarboné. L'essai est répété pour plusieurs teneurs en liant dans les mêmes conditions. La teneur en liant retenue est celle qui respecte les spécifications concernant les limites de fluage, ainsi que la stabilité minimale à atteindre. Le tableau 4 donne les résultats de ces essais.

L'essai Duriez consiste à déterminer la stabilité d'un mélange (granulats et bitume dont la teneur optimale est définie par l'essai Marshall) qui est soumis à une pression. Il s'agit de déterminer, pour un compactage donné, la résistance à la compression d'une éprouvette de béton

bitumineux de masse et de section connus. Il permet également de définir la tenue à l'eau du béton bitumineux par le rapport des résistances à la compression avec ou sans immersion de l'éprouvette. Les éprouvettes à confectionner sont au nombre de sept. Une éprouvette permet de déterminer la densité apparente par pesée hydrostatique. Les autres éprouvettes sont conservées à 18° C :

- deux éprouvettes sont conservées dans l'air à 18° C pendant 24 h ;
- deux éprouvettes sont immergées dans l'eau à 18° C pendant 7 jours ;
- deux éprouvettes sont conservées dans l'air à 18° C pendant 7 jours.

Les résultats des essais Duriez sont présentés dans le tableau 5.

La teneur en liant obtenue avec la formulation du béton bitumineux à base de granulats de basaltes est plus faible que celle retenue pour la formulation du béton bitumineux à base de granulats de quartzites. Les résultats des essais Marshall montrent que les bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de quartzites ont des caractéristiques sensiblement égales :

- les stabilités respectives à 60° C sont égales à 1612 kg et 1618 kg ;
- les valeurs respectives de fluage sont élevées (4,06 mm et 3,96 mm).

Tableau 3. Résultats des essais de résistances en compression simple à 7 jours et 28 jours réalisés sur les éprouvettes de bétons hydrauliques

Compression simple	Résistance moyenne Rc (MPa)			Affaissement A au cône d'Abrams (cm)
	Rc7 (7 jours)	Rc28 (28 jours)	Rc28/Rc7	
Basaltes	20	30	1,50	6,0
Quartzites	17	27	1,59	5,5

Tableau 4. Résultats des essais Marshall sur les éprouvettes de béton bitumineux à base de granulats de basalte et à base de granulats de quartzites

Matériaux	Bitume (%)	Stabilité Marshall (kg)	Fluage Marshall (mm)	Compacité (%)	Densité apparente (g/cm ³)
Basalte	4,8	1512	4,00	96,46	2,617
	5,0	1612	4,06	97,30	2,632
	5,2	1440	4,10	97,22	2,621
Quartzites	5,2	1592	3,86	96,38	2,343
	5,4	1618	3,96	98,00	2,388
	5,6	1532	4,03	99,70	2,410

Tableau 5. Résultats des essais Duriez réalisés sur les différentes éprouvettes de béton bitumineux

Matériaux	Résistances (MPa)				
	24 h à l'air à 18° C	7 jours après immersion à 18° C R'c	7 jours à l'air à 18° C Rc	Rapport R'c/Rc	Compacité (%)
Basaltes	5,80	5,27	6,81	0,77	92,9
Quartzites	5,43	5,39	6,28	0,86	92,8

La comparaison des résultats obtenus dans notre étude expérimentale avec les spécifications techniques en vigueur au Sénégal est présentée dans les tableaux 6 et 7.

3.3. Comparaison et Interprétation

Les valeurs des paramètres de forme (*coefficient d'aplatissement A*), de résistance à l'usure (coefficient Micro Deval MDE) et de résistance à la fragmentation aux chocs (*coefficient Los Angeles LA*) des échantillons de granulats de basaltes et de quartzites de classes 3/8 et 8/16 satisfont toutes aux spécifications en vigueur pour la confection du béton hydraulique (tableau 6).

En ce qui concerne l'utilisation des granulats de basaltes et de quartzites pour la confection du béton bitumineux, les exigences sont satisfaites sauf pour l'échantillon de granulats de basaltes de classe 3/8 qui a une valeur de coefficient d'aplatissement A égale à 21,61 % supérieure à la limite maximum requise de 20 % (tableau 6).

Les échantillons de granulats de quartzites de classe 3/8 et 8/16 ont une résistance à l'usure plus grande (MDE est égal à 4) que celle des échantillons de granulats de basaltes (MDE est égal à 10 pour la classe 3/8 et 11 pour la classe 8/16). La résistance à la fragmentation aux chocs des échantillons de granulats de basaltes est légèrement plus grande (LA est 16 pour la classe 3/8 et pour la classe 8/16) que celle des quartzites (LA est égal à 17 pour la classe de 3/8 et 12 pour la classe de 8/16) (tableau 6).

Les résultats consignés dans le tableau 7 montrent que, pour un dosage en ciment de 350 kg/m^3 , les valeurs respectives de la résistance à la compression simple à 28 jours du béton hydraulique à base de granulats de basaltes et du béton hydraulique à base de granulats de quartzites sont de 30 MPa et 27 MPa. Ces valeurs sont convenables et sont supérieures à la limite minimum requise de 25 MPa.

En considérant les résultats des essais Marshall (tableau 7) les bétons bitumineux respectivement à base de granulats de basaltes et de quartzites présentent des valeurs satisfaisantes et conformes aux spécifications en ce qui concerne la compacité à 50 coups et la stabilité Marshall à 60° C . Les valeurs respectives de compacité sont de 97,3 % et 98,0 % et sont supérieures à la limite minimum requise de 95 %. Les valeurs respectives de stabilité sont

de 1612 kg et 1618 kg et sont supérieures à la limite minimum requise de 1000 kg. Le fluage du béton bitumineux à base de granulats de basaltes est égal à 4,06 mm, est légèrement supérieur à la limite maximum requise de 4 mm et ne satisfait pas aux spécifications techniques. Le béton bitumineux à base de granulats de quartzites à un fluage égal à 3,96 mm. Les résultats des essais Duriez (tableau 7) réalisés sur les bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de quartzites montrent que les valeurs respectives de compacité sont sensiblement égales (92,9 % et 92,8 %) et se situent entre les limites exigées de 92 % et de 96 %. Les valeurs respectives de résistance à la compression (après 7 jours à l'air à 18° C) sont de 6,81 MPa et 6,28 MPa et sont supérieures à la limite minimum requise de 6 MPa. Enfin les valeurs respectives du rapport $R'c/Rc$ sont convenables (0,77 et 0,86) et sont supérieures à la valeur minimum requise de 0,75 ; ce qui montre la bonne tenue dans l'eau des enrobés bitumineux.

4. Évaluation des coûts de transport du tronçon Ndioum-Ourossogui-Bakel de la RN2

4.1. Présentation du projet

Le gouvernement du Sénégal met un accent particulier sur le développement des infrastructures routières et sur leur entretien pour assurer un développement économique et social équilibré de l'ensemble du territoire national. Il s'agit d'améliorer le niveau de service global du réseau routier classé et d'assurer la desserte des zones enclavées pour relever le niveau de vie des populations rurales et lutter contre la pauvreté. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet d'élargissement et de réhabilitation du tronçon Ndioum - Ourossogui - Bakel de la RN2, sur une longueur de 335 km. L'élargissement et la réhabilitation de ce tronçon s'inscrit dans la continuité des programmes de travaux déjà en cours d'exécution ou achevés sur les Routes Nationales N°2 (RN2) et N°3 (RN3). Il s'agit notamment :

- de l'élargissement et de la réhabilitation de l'axe Saint Louis – Richard Toll (RN2) sur 110 km ;
- de l'élargissement et de la réhabilitation de l'axe Richard Toll - Ndioum (RN2) sur environ 120 km, retenu dans le programme Millénaire Challenge Account (MCA) ;
- de la construction de la route Matam – Linguère (RN3) sur environ 221 km.

Tableau 6. Comparaison des paramètres de forme et de résistances des granulats de basaltes de Diack et de quartzites de Bakel avec les spécifications en vigueur au Sénégal

Paramètres	Valeurs obtenues				Valeurs requises	
	granulats de basaltes		granulats de quartzites		béton hydraulique	béton bitumineux
	classe 3/8	classe 8/16	classe 3/8	classe 8/16		
Coefficient d'aplatissement A (%) (EN 933 - 3)	21,16	11,28	7	12,19	≤ 25	≤ 20
Coefficient Micro Deval Mdr (EN 1097 - 1)	10	11	4	4	≤ 25	≤ 20
Coefficient Los Angeles LA (EN 1097 - 2)	16	11	17	12	≤ 25	≤ 20

Tableau 7. Comparaison des caractéristiques de bétons hydrauliques et des bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de granulats de quartzites avec les spécifications en vigueur au Sénégal

Essais		Valeurs obtenues		Valeurs requises
		granulats de basaltes	granulats de quartzites	
Résistance à la compression simple à 28 jours du béton hydraulique (MPa)		30	27	$R_c \geq 25$
Marshall (EN 12 697 - 34)	Compacité à 50 coups (%)	97,3	98,0	Compacité > 95
	Stabilité Marshall à 60° C (kg)	1612	1618	Stabilité > 1000
	Fluage (mm)	4,06	3,96	$2 < \text{Fluage} < 4$
Duriez (NF P 98 251 - 1)	Compacité (%)	92,9	92,8	$92 < \text{Compacité} < 96$
	Résistance à la compression 7 jours à l'air à 18° C (MPa)	6,81	6,28	$R_c \geq 6$
	Rapport $\frac{R_c}{R_c}$	0,77	0,86	$r \geq 0,75$

Le principe d'aménagement du tronçon Ndioum-Ourossogui - Bakel consiste en l'élargissement et en la réhabilitation de la route en suivant le tracé existant, tout en faisant passer le niveau d'aménagement actuel aux normes CEDEAO. Les caractéristiques retenues pour le projet sont les suivantes :

- une largeur de 7,20 m de chaussée ;
- un revêtement en béton bitumineux sur 5 cm d'épaisseur ;
- une couche de base en graveleux latéritiques améliorés au ciment (GLC) ;
- une couche de fondation en graveleux naturel ou constituée par l'ancienne chaussée revêtue recyclée (selon les tronçons) ;
- des accotements de 1,50 m chacun revêtus en bicouche ;
- des aménagements spéciaux dans les traversées d'agglomération (parking de stationnement) et en tronçon courant (zone d'arrêt d'urgence).

Le coût global de la réhabilitation du tronçon Ndioum - Ourossogui - Bakel est estimé à 100 Milliards FCFA (Travaux et Contrôle). Toutes les recherches et essais de laboratoire nécessaires seront effectués pour définir la conformité des matériaux, les dosages, les compositions des bétons, les traitements et les différents apports qui permettront de répondre, pour la totalité de l'ouvrage, aux critères d'utilisation des matériaux latéritiques, des sables limoneux et des divers granulats et aux spécifications techniques requises pour les couches de fondation et de base, les accotements, les ouvrages et les revêtements [7]. La carrière de granulats de basaltes de Diack est sollicitée pour les matériaux routiers du revêtement. Les études que nous avons menées montrent que les granulats de quartzites de Bakel pourraient se substituer aux granulats de basaltes pour réaliser le revêtement, avec des performances comparables. Les coûts de transport des granulats de basaltes de Diack et des granulats de quartzites de Bakel sont évalués depuis leur site res-

pectif d'extraction et d'élaboration jusqu'à Galoya.

4.2. Evaluation des coûts des granulats de basaltes et de quartzites pour le projet

Le transport des matériaux routiers dépend du marché (projet). Au Sénégal, dans les marchés, on parle généralement de plus value de transport, c'est à dire que le marché prévoit une distance au-delà de laquelle le transport est payé par m^3/km (mètre cube par kilomètre de transport). A titre d'exemple, pour le projet de l'élargissement et de la réhabilitation de la Route Nationale numéro 6 (RN6), retenu dans le programme Millénaire Challenge Account (MCA), la plus value de transport est estimée à 157 FCFA/ m^3/km selon l'Ageroute (tableau 8). Dans cette étude, une plus value de transport égale à 160 FCFA/ m^3/km est utilisée. Le prix total d'une quantité V_i de granulats à transporter sur une distance d est calculé en utilisant la formule suivante :

$$P_T = V_i(P_1 + 160 \times d)$$

P_T : prix total des granulats (CFA, Hors Taxe) ;

V_i : volume des granulats à transporter (m^3) ;

P_1 : prix d'un mètre cube de granulats (CFA, Hors Taxe) ;

d : distance de transport (km).

Tableau 8. Estimation des coûts de 20 m^3 de granulats de basaltes et de quartzites pour le projet d'élargissement et de réhabilitation du tronçon Ndoum - Ourosogui – Bakel

		Granulats de basaltes	Granulats de quartzites
Itinéraires		Diack - Galoya	Bakel - Galoya
Distance (km)		524,4	228,4
Volume à transporter (m^3)		20	20
Coût de transport (FCFA)		1 678 080	730 880
Prix de 20 m^3 de granulats (FCFA, Hors Taxe)	Désignation		
	0/3	180 000	140 000
	3/8	240 000	350 000
	8/16	240 000	350 000
Prix total de 20 m^3 de granulats (FCFA, Hors Taxe)	Désignation		
	0/3	1 858 080	870 880
	3/8	1 918 080	1 080 880
	8/16	1 918 080	1 080 880

Les granulats de quartzites sont vendus par tonne, la densité apparente au niveau de la carrière est égale à 1,4. Le rapport de la masse sur la densité apparente nous donne volume V (m^3). Pour 1 t de granulats de quartzites le volume est égal à 0,714 m^3 . Pour la classe 0/3 le prix total de 20 m^3 de granulats de basaltes est deux fois plus élevé que celui des granulats de quartzites. Pour les granulats de classes 3/8 et 8/16 le prix total de 20 m^3 de

granulats de basaltes est 1,75 fois plus élevé que le prix des granulats de quartzites (tableau 8). Cette différence notable est liée au coût de transport. Il y a un autre type de tarification qui est caractérisé par une location de camion pour la journée, avec le carburant à la charge du client. Dans ce cas, la consommation de carburant sera prise en compte, et elle est fonction de la distance de transport des matériaux routiers. L'utilisation des granulats de quartzites NDIOUCK de Bakel, pour le projet d'élargissement et de réhabilitation du tronçon Ndoum - Ourosogui – Bakel de la RN2, doit permettre d'optimiser les investissements financiers lourds consentis par l'Etat pour satisfaire la demande de transport.

5. Conclusion

L'étude expérimentale réalisée pour comparer les caractéristiques des bétons hydrauliques et des bétons bitumineux à base de granulats de basaltes de Diack et de quartzites NDIOUCK de Bakel s'appuie sur des essais normalisés de laboratoire. Ces essais ont été effectués au Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes pour l'Equipement (CEREEQ). Le béton hydraulique formulé selon la méthode de Dreux-Gorisse avec un dosage en ciment CEM II/B 32,5R de 350 kg/m^3 et les granulats de basaltes présente une valeur de résistance en compression simple à 28 jours R_{c28} égale à 30 MPa supérieure à la valeur de 28 MPa visée. Avec les granulats de quartzites la résistance en compression à 28 jours est de 27 MPa et est supérieure à la valeur de 25 MPa visée. Ces deux valeurs sont convenables, car elles sont supérieures aux valeurs respectives de 28 MPa et 25 MPa visées. Les résultats des essais Marshall montrent que les bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de quartzites ont des caractéristiques sensiblement égales qui satisfont aux spécifications techniques en vigueur ; mais le fluage du béton bitumineux à base de granulats de basaltes est élevé avec une valeur de 4,06 mm qui dépasse la limite maximum requise de 4 mm. Les résultats des essais Duriez réalisés sur les bétons bitumineux à base de granulats de basaltes et de quartzites sont satisfaisants et conformes aux spécifications. Les valeurs respectives de résistance à la compression (après 7 jours à l'air à 18° C) sont de 6,81 MPa et 6,28 MPa et sont supérieures à la valeur minimale requise de 6 MPa. Les enrobés bitumineux ont une bonne tenue dans l'eau, car les valeurs respectives du rapport $R'c/Rc$ sont convenables (0,77 et 0,86) et sont supérieures à la limite minimum requise de 0,75. Les résultats de cette étude montrent qu'il est effectivement possible de substituer les granulats de quartzites aux granulats de basaltes en couche de roulement en construction routière. En considérant le projet d'élargissement et de réhabilitation du tronçon Ndoum – Ourosogui – Bakel de la RN2, la comparaison des coûts des matériaux montre que le prix de revient des granulats de basaltes est deux fois plus élevé que celui des quartzites pour la classe 0/3 et 1,75 fois plus élevé pour les classes 3/8 et 8/16. Cette diffé-

rence notable est liée au coût de transport. Dans un souci d'économie et pour éviter la surexploitation des granulats de basaltes de Diack qui sont en phase d'épuisement, il est possible d'utiliser les quartzites de Bakel pour réaliser des projets routiers.

REFERENCES

- [1] Ba, M. (2012) "Comportement Mécanique sous Sollicitations Cycliques de Granulats Quartzitiques de Ba-*kel*-Comparaison avec des Matériaux de Référence du Sénégal et d'Amérique (USA): Application au Dimensionnement Mécanistique des Chaussées Souples," Thèse de Doctorat Université Cheikh Anta Diop de Dakar, p. 239.
- [2] Dia, A. (1982). Contribution à l'étude des caractéristiques pétrographiques, pétrochimiques des granulats basaltiques de la presqu'île du Cap – Vert et du plateau de Thiès. Thèse Doctorat 3eme cycle, Université de Dakar, 183 pages.
- [3] Dabo, M. (2007). "Caractérisation Pétrographique et Structurale de la Chaîne des Mauritanides Méridionales (région de Bakel, Sénégal oriental), " Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 190 p.
- [4] Le Page, A. (1983). Les grandes unités des Mauritanides, aux confins du Sénégal et de la Mauritanie. L'évolution structurale de la chaîne du Précambrien Supérieur au Dévonien. Thèse d'Etat Aix-Marseille III, France, 518 p..
- [5] Bassot, J.P. (1966). Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins guinéo- maliens, Mémoire BRGM, N° 40, 332 pages
- [6] PASMI (2009). Cartographie géologique du Sénégal oriental notice_bakel-semme_200k_v4, 158 p.
- [7] Ageroute (2014). Fiche de projet – RN2 – Ndioum – Ourosogui – Bakel_335 KM_vf 22 5 2013.



ISSN (Online) : 2312-8712

Editeur en Chef : SG Cames, Prof. Bertrand Mbatchi

Directeur de Publication : Le CAMES

Rédacteur en Chef : Prof. Meissa Fall, Université de Thiès

Rédacteurs : Dr Mapathé Ndiaye – Dr. Adama Dione

Spécialiste PAO : Diarga Diouf, Irempt/Resafad UCAD/Min. Education Sénégal

Génie de l'eau et de l'Environnement – Hydraulique
Génie des Procédés – Géologie Appliquée - Hydrologie
Génie Civil – Infrastructures – Géologie de l'Ingénieur
Génie Electrique – Géologie Minière - Hydrogéologie
Génie Mécanique – Mécanique - Modélisations
Electronique – Automatisation -Génie Informatique
Etc.

Comité Internationale de lecture

1. Prof. **Yves BERTHAUD**, Directeur de l'UFR Ingénierie - Université de la Sorbonne - Pierre et Marie Curie (Paris VI) - yves.berthaud@gmail.com (*Mécanique*)
2. Prof. **Fabrice GATUINGT**, - ENS Cachan / Département/Secteur Génie Civil LMT - 61 Avenue du président Wilson 94230 CACHAN (Tél : 33 (0)1 47 40 53 69 - Fax : 33 (0)1 47 40 74 65) - fabrice.gatuingt@dgc.ens-cachan.fr (*Génie Civil*)
3. Prof. Emeritus **Tuncer B. EDIL**, University of Wisconsin-Madison - 2226 Engineering Hall / 1415 Engineering Drive - Madison, WI 53706-1691 - Tel: 608/262-3225 - edil@engr.wisc.edu (*Geotechnical Engineering*)
4. Prof. **Dante FRATTA**, Associate Professor, University of Wisconsin-Madison - 2208 Engineering Hall - 1415 Engineering Drive / Madison, WI 53706-1691 - Tel: 608/265-5644 - fratta@wisc.edu (*Civil and Environmental Engineering*)
5. Prof. **James M. TINJUM**, - University of Wisconsin-Madison - 2214 Engineering Hall - 1415 Engineering Drive / Madison, WI 53706-1691, Tel: 608/262-0785 - tinjum@epd.engr.wisc.edu (*Civil and Environmental Engineering*)
6. Prof. **Serigne FAYE**, Département de Géologie - Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) - sfaye@ucad.sn (*Hydrogéologie*)
7. Papa Malick NGOM, Département de Géologie - Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) - papam.ngom@ucad.edu.sn (*Géologie - Géologie de l'Ingénieur*)
8. Dr **Ayité Sénah Akoda AJAVON**, Maître de Conférences des Universités, ENSI - Université de Lomé - Lomé TOGO - asajavon@yahoo.fr (*Génie Electrique*)
9. Dr. **Farid BENBOUDJEMA**, Maître de conférences HdR - ENS Cachan / Département/Secteur Génie Civil LMT - 61 Avenue du président Wilson 94230 CACHAN (Tél : 33 (0)1 47 40 53 69 - Fax : 33 (0)1 47 40 74 65) <http://www.lmt.ens-cachan.fr/benboudjema> - farid.benboudjema@dgc.ens-cachan.fr (*Génie Civil*)
10. Prof. **Salif GAYE**, Directeur de l'IUT - Université de Thiès (Sénégal) - sgaye@univ-thies.sn (*Génie Mécanique*)
11. Prof. **Claude LISHOU**, ESP-Dakar (Université Cheikh Anta Diop de Dakar) - claudio.lishou@gmail.com (*Informatique*)
12. Prof. **Codou MAR**, ESP-Dakar (Université Cheikh Anta Diop de Dakar) - cgmare@gmail.com (*Génie Chimique et Biologie Appliquée*)
13. Prof. **Joseph BATHIEBO** - Unité de Formation et de Recherche en Sciences Exactes et Appliquées (U.F.R. S.E.A.) - Tel.: +226 76 65 09 42 / jbathiebo@univ-ouaga.bf; djbathiebo@gmail.com (*Génie Civil*)
14. Dr **Félix Adangba AMARI**, Professeur de Génie Civil - Département Bâtiment & Urbanisme / Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro BP 1093 Yamoussoukro - Tel: (225) 07 87 52 99 / amarifelixad@yahoo.fr (*Génie Civil*)
15. Prof. **Francois TSOBNANG**, 2iE, Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement - ftsobnang@gmail.com (*Matériaux et Physique de l'Ingénieur*)
16. Dr **Roger Marcelin FAYE**, Maître de Conférences - Ecole Supérieure Polytechnique - B.P 5085 Dakar-Fann SENEGAL / roger.faye@ucad.edu.sn (*Génie Electrique*)

Volume 1 - N° 2 :

1. **Konaté, P. Yoboue, E. Soro, O. Asseu, P. Tety, X. Lin-Shi (2015)**. Implementations of a reduced-order Estimator for an Asynchronous Machine drive system. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), pp. 37-45. ISSN 2312-8712.
2. **Mahamane Djoudou (2015)**. Préparation et Calcul du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la région lacustre de la rive gauche du Delta intérieur du Niger au Mali : Estimation de sa Précision. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 46-56. ISSN 2312-8712.
3. **Makhaly Ba, Babacar Diop, Oumar Kamara (2015)**. Etude comparative des caractéristiques des bétons hydrauliques et des bétons bitumineux à base de granulats de basaltes de Diack et de quartzites de Bakel. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 57-64. ISSN 2312-8712.
4. **Adama Dione, Meissa Fall, Yves, Berthaud, Farid Benboudjama, Alexandre Michou (2015)**. Implementation of Resilient Modulus - CBR relationship in Mechanistic-Empirical (M. -E) Pavement Design. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 65-71. ISSN 2312-8712.
5. **Seyni Ndoye, Mamadou Issa Ba, Serigne Faye (2015)**. Hydrodynamique de la nappe côtière du Saloum (Sénégal) : étude par modèle numérique. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 72-78. ISSN 2312-8712.
6. **Seybatou Diop, Momar Samb, Fary Diome, Meissa Fall (2015)**. Etude de caractérisation des matériaux de la carrière de Sindia (Sénégal occidental) pour une utilisation en géotechnique routière. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 79-85. ISSN 2312-8712.
7. **Moustapha Diène, Cheikh Hamidou Kane, Déthié Sarr (2015)**. Overview of the aquifer system in the Senegalese and Mauritanian sedimentary basin. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 86-91. ISSN 2312-8712.
8. **Mapathé Ndiaye, Mohamadou Moustapha Thiam, Seydou Coulibaly, Oustasse Abdoulaye Sall (2015)**. Astronomical Calibration of the Danian Formation of Ndayane : Paleogeographic and Paleoclimatic Implications. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 92-96. ISSN 2312-8712.
9. **Ouoba S., Cherblanc F., Bénét J.-C., Koulidiati J. (2015)**. Modélisation numérique des mécanismes d’atténuation naturelle des polluants organiques volatiles dans les sols du Burkina Faso : application au trichloréthylène (TCE). *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 97-103. ISSN 2312-8712.
10. **S. Gueye, I. Gueye, L. Thiaw, G. Sow, A. Ndiaye, M. Thiam (2015)**. Conception d’un régulateur solaire avec commande MPPT. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 104-108. ISSN 2312-8712.
11. **Fagla B. F. Z., Gradeck M., Baravian C., Vianou A., Dègan G., Lebouché M. (2015)**. Etude Thermique Expérimentale des Suspensions Newtoniennes en Solutions du Glucose et de l’Eau en Ecoulement dans une Conduite Horizontale à Section Constante. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 109-121. ISSN 2312-8712.
12. **Fagla B. F. Z., Gradeck M., baravian C., vianou A., lebouche M. (2015)**. Etude Thermique Expérimentale des Suspensions Non-Newtoniennes en Solution de Carboxyméthylcellulose en Ecoulement dans une Conduite Horizontale à Section Constante. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 122-133. ISSN 2312-8712.