

Etude De Formulation D'enrobe Avec Les Gres Bitumineux De Bemolanga

¹LALAHERIJAONA Andrianantenaina Alain Désiré Patrick, ²RANDRIAMALALA Tiana Richard,

³RANAIVONIRIVO Velomanantsoa Gabriely

^{1,2,3}Equipe d'Accueil Doctorale Ingénierie des Matériaux et des Matières Premières (IMMP),
Ecole Doctorale en Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation (STII), - Université d'Antananarivo

¹ alalaherijaona@yahoo.com, ²randriamalalatiana@yahoo.fr, ³ranaivomana@gmail.com

Auteur Correspondant : LALAHERIJAONA Andrianantenaina Alain Désiré Patrick, alalaherijaona@yahoo.com



Résumé : Les gisements de grès bitumineux dans le centre Ouest de Madagascar, Région de Morafenobe de Mahajanga (Bepatsa, Mitsiotaka, Driez et Panneau C3) restent inexploitable jusqu'à ce jour. La valorisation de ces produits dépend des résultats obtenus avec les études réalisées en laboratoire en visant les spécifications imposées dans les guides et normes de la construction des routes.

Repartie sur une superficie de 420Km², 3 milliards de tonnes de grès bitumineux ayant teneur en liant variant de 5,8 à 14,73 T/m³ et généralement des grains de classe 0/2 peuvent être exploités et utilisés dans les travaux routiers. A l'état naturel, le grès bitumineux peut être considéré comme Sand-Asphalt et être utilisé pour imperméabiliser les routes en terre.

En se référant de la teneur en liant du grès, l'idée sera de procéder à une étude de formulation d'enrobé en utilisant le grès bitumineux de Bemolanga comme liant.

Le principe d'approche est de déterminer les caractéristiques de chaque constituant (Grès, concassés et autres apports), la composition optimale et les caractéristiques de l'enrobé 0/12⁵ ou 0/14.

Les résultats permettront de définir le type de grès bitumineux qu'on pourra utiliser et de fixer aussi les caractéristiques des concassés pour la suite de l'étude de formulation d'enrobé suivant la norme NF EN 13108-1.

Mots clés : Enrobé, Grès, Morafenobe, Sand-asphalt, Stabilité.

Abstract: The oil shale deposits in central-western Madagascar, in the Morafenobe Region de Mahajanga (Bepatsa, Mitsiotaka, Driez, and Panneau C3), remain unexploited to this day. The utilization of these products depends on the results of laboratory studies aimed at meeting the specifications set forth in road construction guidelines and standards.

Spanning an area of 420 km², 3 billion metric tons of oil shale with a binder content ranging from 5.8 to 14.73 metric tons per cubic meter and generally consisting of 0/2-class grains can be mined and used in road construction. In its natural state, oil shale can be considered "sand-asphalt" and used to seal unpaved roads.

Based on the oil shale's binder content, the objective is to conduct a study on the formulation of asphalt mix using Bemolanga oil shale as a binder.

The approach is to determine the characteristics of each component (sandstone, crushed stone, and other additives), the optimal composition, and the characteristics of the 0/125 or 0/14 asphalt mix.

The results will make it possible to define the type of bituminous sandstone that can be used and to establish the characteristics of the crushed stone for the remainder of the asphalt mixture formulation study in accordance with standard NF EN 13108-1.

Keywords: Asphalt mixture, Sandstone, Morafenobe, Sand-asphalt, Stability

I INTRODUCTION

Le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB Madagascar), œuvrant dans le domaine géotechnique des travaux du génie civil, organisme rattaché avec Ministère des Travaux Publics, a réalisé des divers projets de recherches appliquées pour la valorisation de l'utilisation des grès bitumineux dans les travaux routiers. Cet article rapporte les études de formulation d'enrobé confectionné avec le grès bitumineux de Bemolanga.

L'objectif de ce projet est d'étudier la possibilité d'utiliser les grès bitumineux de Bemolanga dans la fabrication de l'enrobé dense à chaud.

Des études ont été faites pour déterminer les caractéristiques physique et mécanique du grès de Bemolanga et celle de la formulation de l'enrobé de calibre 0/12,5 et 0/14 confectionné avec ce dernier.

II METHODOLOGIES

Durant la descente, des prélèvements d'échantillons ont été réalisés afin de collecter les informations sur les caractéristiques mécaniques et physiques du grès bitumineux pour compléter les résultats d'étude antérieure.

Par rapport aux résultats obtenus sur les grès bitumineux, malgré l'hétérogénéité du grès, une étude d'amélioration de ces caractéristiques a été menée en ajoutant des granulats, de dope et de bitume issu de raffinerie. Les compositions ont été soumises à des essais qui peuvent donner les caractéristiques physico-mécaniques d'un enrobé.

Les étapes de l'étude de mélange réalisées sont :

- détermination des caractéristiques des constituants d'ajout (Concassés, bitume)
- détermination de la composition optimale du grès bitumineux et granulats
- évaluation des caractéristiques du mélange avec et sans dope (POLYRAM L200 à 3‰)
- évaluation des caractéristiques du mélange avec ajout de bitume 60/70

Conformément aux étapes d'étude de formulation, il a été réalisé :

Sur le grès bitumineux :

- Mesure de la densité apparente
- Mesure du poids spécifique ;
- Extraction du bitume en vue de déterminer : la teneur en liant et les granulométries ;
- Essai Marshall pour les caractéristiques mécaniques ;
- Essai Duriez pour la tenue à l'eau ;

Les caractéristiques mécaniques ont été évaluées en faisant varier les températures pour bien fixer la température adéquate pour l'étude de formulation.

Sur les concassés de classe 0/12⁵ et 0/14 :

- Mesure de la densité apparente
- Mesure du poids spécifique ;
- Analyse granulométries ;
- Coefficient d'aplatissement
- Coefficient de Los Angeles (LA)

— Coefficient de Micro-Deval avec l'eau (MDE)

A noter que trois (03) concassés de famille différente ont été utilisés : le granite du haut plateau, le calcaire de l'Ouest et le basalte de l'Est.

Sur l'enrobé confectionné :

- Essai Marshall NF EN 12697-30 pour les caractéristiques mécaniques ;
- Essai Duriez NF P 98-251-1 pour la tenue à l'eau.

En se basant des résultats obtenus, des ajustements ont été entamés afin de voir l'évolution des caractéristiques.

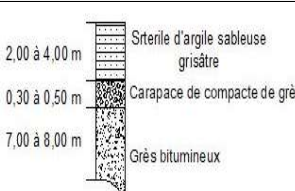
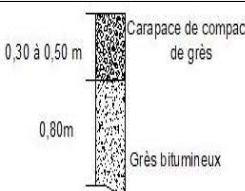
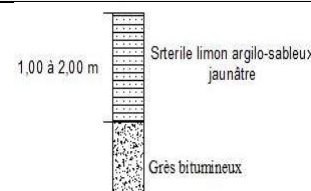
III RESULTATS OBTENUS

III.1 Site

Le gisement de grès bitumineux de Bemolanga se trouve dans le district de Morafenobe, dans la région de Mahajanga. Il s'étend entre les latitudes 17°37' et 17°52' Sud et les longitudes 45°00' et 45°16' Est. Sur le plan géologique, il est localisé dans la partie nord du bassin sédimentaire de Morondava. Les formations imprégnées par le bitume sont les sédiments de l'Isalo du Jurassique inférieur (Lias) du système de Karroo.

Le gisement est recouvert par une couche stérile composée d'argiles et de matériaux argilo-sableux dont l'épaisseur peut atteindre 15 mètres. Sous cette couverture se trouve la couche de grès imprégnée de bitume, généralement épaisse de moins de 20 mètres.

Avec une superficie d'environ 420 km², la puissance du grès en place est estimée à trois (03) milliards de tonnes de grès bitumineux repartit sur les quatre (04) gisements : MITSITAKA, PANNEAU C3, DRIEZ et BEPATSA. Ci-après ces coupes synthétiques des gisements :

DRIEZ	PANNEAU C3	MISTIOTAKA	PHOTO
 2,00 à 4,00 m Srtérile d'argile sableuse grisâtre 0,30 à 0,50 m Carapace de compacte de grès 7,00 à 8,00 m Grès bitumineux	 0,30 à 0,50 m Carapace de compacte de grès 0,80m Grès bitumineux	 1,00 à 2,00 m Srtérile limon argilo-sableux jaunâtre Grès bitumineux	

III.2 Grès bitumineux

III.2.1 Caractéristiques physiques

Tableau 1: Caractéristiques physiques du grès bitumineux

Carrière	Panneau C3	Driez	Mitsiotaka
Densité apparente (T/m3)	1,56 à 1,72	1,63 à 2,06	1,97
Poids spécifique (T/m3)	2,23 à 2,27	2,30 à 2,37	2,29

La densité apparente du grès bitumineux varie de 1,56 à 2,06 et le poids spécifique est compris entre 2,23 à 2,37. Ces valeurs sont très dispersées.

III.2.2 Extraction du liant

Les essais d'extraction ont été réalisés par la méthode KUMAGAWA.

Tableau 2: Résultats d'extraction

Carrière	Panneau C3 (E1 et E11)	Driez (E2 à E9)	Mitsiotaka E10)
Teneur en liant	9,4 à 9,8	5,8 à 10,8	7,1
Module de richesse	5,24 à 5,79	3,5 à 6,38	4,27
Surface spécifique	11,3 à 23,4	10,3 à 14,1	12,6
Classe réelle	0/1 à 0/1,6	0/2 à 0/8	0/10
Coefficient d'uniformité (Cu)	2,07 à 2,85	1,71 3,71	2,7
Coefficient de courbure (Cc)	0,85 à 1,58	0,64 à 1,63	1,04

Le pourcentage du liant est très variable de 5,8 à 10,8. Son module de richesse K varie de 3,50 à 6,38. Ces valeurs de K sont recommandées pour le SAND -ASPHALT ($3,75 < K < 4,25$).

Les valeurs de Cu et Cc montrent qu'on est en présence de sable mal gradué. Pour un SAND-ASPHALT, $Cu > 5$ et $1 < Cc < 3$.

Les courbes granulométriques des grès bitumineux sont présentés par la figure ci-après :

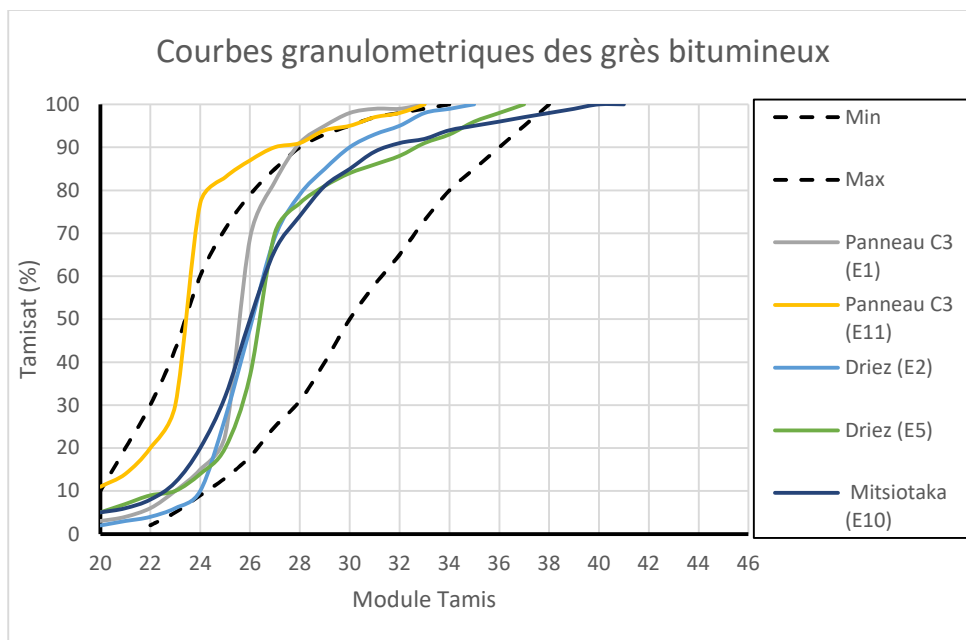


Figure 1: Granulométries des grès bitumineux

III.2.3 Essais mécaniques

Pour voir l'influence de la température sur le comportement mécanique du grès bitumineux, les essais Marshall et Duriez ont été exécutés aux températures : 20 à 25°C, 100°C, 150°C et 190°C.

III.2.3.1 Essai Marshall

Les résultats obtenus aux diverses températures de l'essai Marshall sont récapitulés dans le tableau ci-après :

Tableau 3: Caractéristiques Marshall-Grès bitumineux

Carrière	Panneau C3	Driez	Mitsiotaka	Moyenne
T=25°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,47 à 1,58	1,53 à 1,69	1,66	1,59
Compacité Marshall (%)	65,9 à 69,6	64,3 à 72,5	72,2	68,5
Stabilité Marshall (daN)	40 à 100	20 à 53	60	47,2
Fluage Marshall (1/10mm)	39 à 66	34 à 49	30	42
T=100°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,84	1,75 à 1,96	1,83	1,85
Compacité Marshall (%)	81,2	73,6 à 84,9	80	80
Stabilité Marshall (T/m ³)	533	440 à 707	467	570,8
Fluage Marshall (1/10mm)	37	32 à 33	35	34
T=150°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,85	1,77 à 1,96	1,83	1,87
Compacité Marshall (%)	81,5	74,7 à 84,6	79,7	80,5
Stabilité Marshall (daN)	733	627 à 900	540	717,4
Fluage Marshall (1/10mm)	34	32 à 34	31	33
T=190°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,79	1,77 à 1,91	1,8	1,82
Compacité Marshall (%)	78,8	74,6 à 83	78,7	78,5
Stabilité Marshall (T/m ³)	553	413 à 953	513	640
Fluage Marshall (1/10mm)	24	19 à 26	32	25

D'après ces résultats, la meilleure performance mécanique moyenne (MARSHALL) du grès bitumineux de Bemolanga est obtenue à la température de 150°C environ.

III.2.3.2 Essai Duriez

Tableau 4: Caractéristiques Duriez-Grès bitumineux

Carrière	Panneau C3	Driez	Mitsiotaka	Moyenne
T=25°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,84 à 1,87	1,75 à 1,94	1,89	1,86
Compacité DURIEZ (%)	81,2 à 83,7	73,6 à 83,1	82,3	80,5
Rc (0jour) (bars)	16 à 19,9	9,1 à 19,5	18,4	15,8
Rc (7jour) (bars)	18,2 à 21,6	9,5 à 20,3	21	17,2
R'c (7jour) (bars)	12,3 à 14,3	6,4 à 13,5	13,8	11
R'c/Rc	0,57 à 0,78	0,52 à 0,77	0,66	0,64
T=100°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,8	1,73 à 1,91	1,86	1,83
Compacité DURIEZ (%)	79,5	72,8 à 82	81,2	79
Rc (0jour) (bars)	17,6	9,2 à 19,1	15,4	15,9
Rc (7jour) (bars)	17,6	6,5 à 24,8	16	17,4
R'c (7jour) (bars)	11,6	5,7 à 19,4	9,3	12,3
R'c/Rc	0,67	0,7 à 0,87	0,58	0,72

Carrière	Panneau C3	Driez	Mitsiotaka	Moyenne
T=150°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,8	1,74 à 1,91	1,86	1,84
Compacité DURIEZ (%)	79,6	73,2 à 82	81	79,1
Rc (0jour) (bars)	21,4	11,9 à 24,8	22,9	19,9
Rc (7jour) (bars)	21,5	12,7 à 24,8	25,5	22,2
R'c (7jour) (bars)	15,4	5,9 à 19,4	13,9	14,4
R'c/Rc	0,72	0,46 à 0,78	0,55	0,63
T=190°C				
Densité apparente (T/m ³)	1,81	1,69 à 1,92	1,84	1,81
Compacité DURIEZ (%)	79,4	71,4 à 83	80,3	78,2
Rc (0jour) (bars)	24,7	9,9 à 24,8	25	21,3
Rc (7jour) (bars)	32,2	9,5 à 27,6	21,3	23,4
R'c (7jour) (bars)	19,3	5,7 à 23,4	11,6	16,1
R'c/Rc	0,6	0,6 à 0,85	0,54	0,67

Avec :

- Rc (7jours) : Résistance à la compression à 7 jours à l'air
- R'c (7jours) : Résistance à la compression à 7 jours à l'eau

La résistance à la compression moyenne (25 à 190°C) varie de 16,5 à 23bars après 7jours à l'air et de 10,6 à 15,9bars après 7jours à l'eau. La stabilité s'améliore avec l'augmentation de la température.

Le rapport des stabilités obtenu est compris entre 0,63 à 0,72.

Les valeurs obtenues sont très dispersées mais le grès bitumineux a une tenue à l'eau prometteuse.

III.2.3.3 Commentaires

Comme le grès bitumineux est composé d'un sable et de bitume. On prendra les spécifications ci-après d'un SAND-ASPHALT comme référence de comparaison.

Tableau 5: Tableau récapitulatif des résultats-grès bitumineux

	Caractéristiques	Sand-Asphalt	Grès bitumineux	Observations
1	Granulométrie	$Cu > 5$ et $1 < Cc < 3$	$1,71 < Cu < 3,71$ et $0,64 < Cc < 1,60$	Non vérifié
2	Marshall			
	Compacité (%)	$\geq 85\%$	78,5 à 80,5 (T=100 à 190°C)	Non vérifié
	Stabilité (daN)	≥ 300	570 à 717 (T=100 à 190°C)	Vérifié
	Fluage (1/10mm)	≤ 50	25 à 34 (T=100 à 190°C)	Vérifié
3	Module de richesse K	$3,75 < K < 4,25$	$3,67 < K < 6,38$	Non vérifié
4	Tenue à l'eau (Duriez)			
	Compacité (%)	$\geq 85\%$	78 à 79	Non vérifié
	Rc à 7j à l'air	≥ 20 bars	22,8 à 23 (T=150 à 190°C)	Vérifié
	R'c/Rc	$\geq 0,75$	0,63 à 0,72	Non vérifié

Pour conclure, les caractéristiques du grès bitumineux de Bemolanga sont proches de ceux du Sand-Asphalt.

Des dispersions sur les résultats obtenus ont été constatées. Cela peut être dû à l'hétérogénéité (variation de la granularité du sable) du grès bitumineux.

III.3 Caractéristiques de l'enrobe 0/12,5 confectionne avec les grès bitumineux

Avec la méthode granulaire, les compositions testées et les résultats obtenus sont récapitulées ci-dessous :

Notations :

- Rc (7jours) : Résistance à la compression à 7 jours à l'air
- R'c (7jours) : Résistance à la compression à 7 jours à l'eau

❖ ESSAIS AVEC APPORT GRANULATS SEULEMENT

Tableau 6: Grès bitumineux + Granulats

Nature de la roche	Granite			Calcaire			Basalte		
Composition	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Grès bitumineux (%)	75	67	67	67	63	63	70	65	68
0/5 (%)	10	18	23	20	30	24	15	20	17
5/8 (%)	10	10	10	10	7	10	10	10	10
8/12,5 (%)	5	5		3		3	5	5	5
Caractéristiques MARSHALL									
Compacité Marshall (%)	85,7	81,4	81,8	80,9	79,1	79,9	83,2	85	84,3
Stabilité Marshall (daN)	820	807	893	986	746	760	1150	910	1033
Fluage Marshall (1/10mm)	25	30	23	26	23	26	29	29	29
Caractéristiques DURIEZ									
Compacité DURIEZ (%)	85,7	80,9	79,5	79	78,1	77,6	75,9	79,5	79,1
Rc (0jour) (Bars)	20,8	24	22	12	25,2	16,5	165,6	18,9	24,4
Rc (7jour) (Bars)	31,9	10	19,2	14,8	29	15,5	26,8	38,4	12,5
R'c (7jour) (Bars)	17,6	6,5	10	12,5	13,5	11,6	12,4	21,2	6,8
R'c/Rc	0,55	0,65	0,52	0,84	0,47	0,75	0,46	0,55	0,54

❖ ESSAIS AVEC APPORT GRANULATS + DOPE POLYRAM

Tableau 7: Grès bitumineux + Granulats + Polyram

Nature de la roche	Granite			Calcaire			Basalte		
Composition	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Grès bitumineux (%)	75	70	65	75	70	65	75	70	65
0/5 (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5/8 (%)	10	10	15	10	10	15	10	10	15
8/12,5 (%)	15	20	20	15	20	20	15	20	20
Caractéristiques MARSHALL									
Compacité Marshall (%)	85,6	85,9	86,1	83,5	84,9	83,4	85,3	86,8	87,2
Stabilité Marshall (daN)	887	840	713	1147	1173	1140	673	927	960
Fluage Marshall (1/10mm)	27	25	26	30	31	26	27	31	34
Caractéristiques DURIEZ									
Compacité DURIEZ (%)	83,2	83,7	84,7	80,9	82,7	80,4	83,4	83,9	83,8
Rc (7jour) (Bars)	9,1	16,8	22,1	23,1	28	23,3	17,2	14,8	23,6
R'c (7jour) (Bars)	5,3	7,3	11,2	5,2	13,7	5,7	7,7	7,6	9,9
R'c/Rc	0,58	0,43	0,51	0,23	0,49	0,24	0,45	0,51	0,42

❖ ESSAIS AVEC APPORT GRANULATS + BITUME 2%

Tableau 8: Grès bitumineux + Granulats + Bitume 2%

Nature de la roche	Granite			Calcaire			Basalte		
Composition	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Grès bitumineux (%)	75	70	65	75	70	65	75	70	65
0/5 (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5/8 (%)	10	10	15	10	10	15	10	10	15
8/12,5 (%)	15	20	20	15	20	20	15	20	20
Caractéristiques MARSHALL									
Compacité Marshall (%)	91,3	92	87,8	86,3	84,2	89,3	90,5	89,9	86,2
Stabilité Marshall (daN)	1053	1173	1200	1100	1173	1230	1120	993	980
Fluage Marshall (1/10mm)	24	20	25	22	24	20	23	22	27
Caractéristiques DURIEZ									
Compacité DURIEZ (%)	86,5	86,6	86,7	83,6	83,9	84,4	85,4	85,7	85,9
Rc (7jour) (Bars)	41	38,5	38,8	40,8	36,8	40,8	37,2	37,2	43,6
R'c (7jour) (Bars)	18,3	20,7	17,3	12,3	21,2	22,5	26,5	20,5	18,3
R'c/Rc	0,45	0,54	0,45	0,30	0,58	0,55	0,71	0,55	0,42

Quel que soit le mélange étudié, les caractéristiques mécaniques (stabilité Marshall et tenue à l'eau) sont très faibles par rapport aux spécifications d'un Enrobé Dense à Chaud 0/12,5 ($92 < \text{Compacité} < 96$; $\text{Stabilité} \geq 900\text{Kg}$; $\text{Fluage} \leq 4\text{mm}$; $\text{Rc}_{7j} \geq 50\text{bars}$ et $\text{R}'c_{7j}/\text{Rc}_{7j} \geq 0,75$).

IV AJUSTEMENT DES FORMULES « BETON GRES BITUMINEUX AVEC AJOUT D'AUTRES MATERIAUX (Bitume 60/70, Dope Dynoram et des concassés 0/14) »

Comme les résultats précédents présentent beaucoup de valeurs prometteuses, l'étude a été poursuivie pour déterminer en laboratoire d'autres formules ayant des meilleurs comportements mécaniques de couche de roulement « BETON GRES BITUMINEUX ».

En se basant des résultats sus dits, la fabrication du mélange a été faite de la façon suivante :

- Identification des constituants (Grès bitumineux, bitume 60/70, concassés 0/14)
- La température de fabrication est fixée à 150°C ;

IV.1 Vérification des teneurs en liant des grès de Bemolanga

Les résultats obtenus après extraction sur les grès de Bemolanga à l'état naturel avant l'étude de formulation sont les suivantes :

Tableau 9: Caractéristiques du grès des quatre carrières

Echantillon	DRIEZ	MITSIOTAKA	BEPATSA	PANNEAU C3
Teneur en liant :	7,41	12,08	14,73	7,59
$D_{\max}$ (mm)	2,00	1,00		1,00
Pourcentage des fines (%)	12	15		10

La teneur en liant varie de 7,41 à 14,73 %.

IV.2 Choix et caractéristiques des constituants d'apport

IV.2.1 Concassés

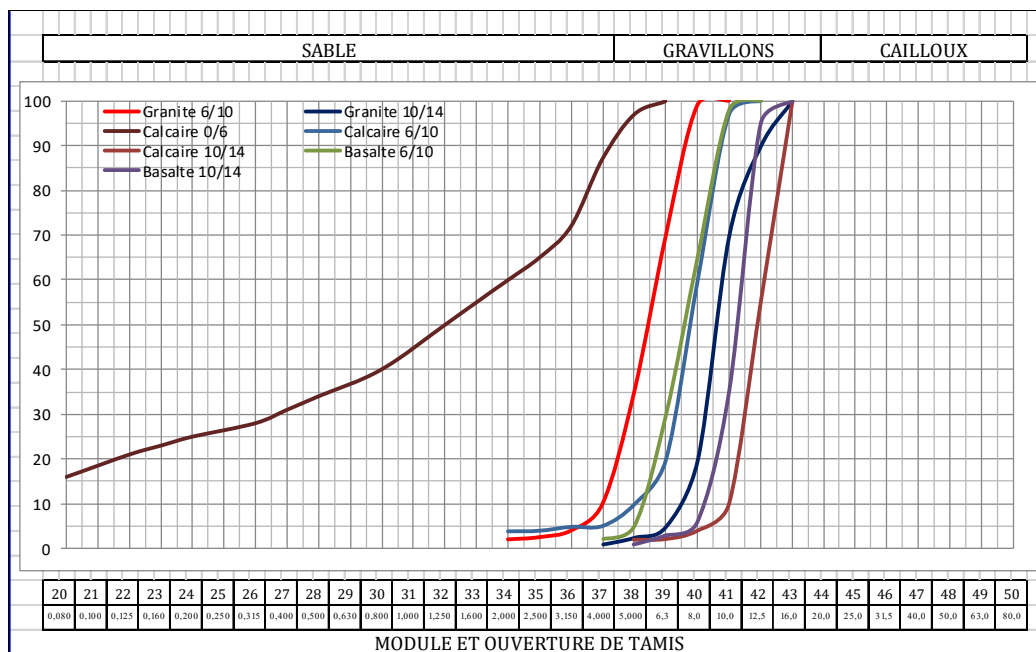
Les granulats d'apport utilisés sont issus des différentes familles de roches que l'on utilise fréquemment en technique routière à Madagascar : Granite du haut plateau, Basalte de l'Est et calcaire de l'Ouest.

Le tableau ci-après récapitule les caractéristiques des concassés 0/14 issus des trois types de roche utilisés.

Tableau 10: Quelques caractéristiques des concassés

CARACTERISTIQUES	GRANITE		CALCAIRE		BASALTE	
	6/10	10/14	6/10	10/14	6/10	10/14
Coefficient d'aplatissement (%)	21	19	21	38	8	18
Los Angeles (L.A)	33		48		17	
Micro-Deval (MDE)	18		32		11	

Les courbes granulométriques des granulats sont présentées dans la figure ci-dessous.



IV.2.2 Bitume et dope

L'apport d'un bitume 60/70 a été testé aussi afin de voir quelle sera l'évolution. Les caractéristiques du bitume sont données ci-après :

Tableau 11: Caractéristiques du bitume 60/70

ESSAIS	RESULTATS
- Densité à 25 °C [T/m ³]	1,02
- Pénétration DOW à 25 °C avant perte à la chaleur [mm/10]	59,1
- Perte à la chaleur à 163 °C [%]	0,09
- Pénétration DOW à 25 °C après perte à la chaleur [mm/10]	71
- Point de ramollissement [°C]	50,75
- Indice de pénétrabilité (IP)	-0,911

Le dope utilisé est DINORAM.

IV.3 Détermination des caractéristiques du mélange

IV.3.1 Formules

Après étude de mélange, les formules testées sont les suivantes :

Tableau 12: Formules ajustées

Nature de la roche	GRANITE		CALCAIRE		BASALTE
Formule	A1	A4	A3	B3(*)	A2
Grès bitumineux (%)	50	67	50	67	50
4/6 (%)	-	-	-	5	-
6/10 (%)	15	10	15	10	15
10/14 (%)	35	23	35	18	35

(*) : Formule A3 modifiée

IV.3.2 Approche d'ajustement

Les éprouvettes de béton grès bitumineux sont illustrées par les photos suivantes.



IV.3.3 Caractéristiques Marshall et tenue à l'eau

Les caractéristiques Marshall et Duriez du mélange (avec et sans apport de bitume ou dope) sont récapitulées dans le tableau ci-après :

Tableau 13: Synthèse des résultats

Gisement	Nature des granulats	Formule	Essai Marshall			Duriez		
			Stabilité (daN)	Fluage (1/10 mm)	Compacité (%)	Résistance à l'air R (bar)	Résistance à l'eau (r') (bar)	Rapport r'/R
1-Sans apport de bitume et non dopé								
Gisement BEPATSA	Granite	A1	920	32	86,1	65,3	50,9	0,78
		A4	700	28	86,1			
	Basalte	A2	1260	36	89,0	39,4	26,9	0,69
	Calcaire	A3	800	38	85,4	55,7	36,6	0,68
Gisement PANNEAU C3	Granite	A1	-	-	86,7	51,8	42,4	0,82
	Basalte	A2	-	-	87,3	31,0	23,9	0,77
	Calcaire	B3	-	-	84,8	45,8	36,6	0,80
2-Sans apport de bitume /avec et sans dope								
Gisement Driez	Calcaire	B3 (sans dope)	360	21	86,1	-	-	-
		B3	1060	28	92,1	-	-	-
3-Avec apport 2% de bitume 60/70 et avec 3‰ de dope								
Gisement MITSITAKA	Granite	A1	1220	26	-	49	19	0,39
		A4	1220	27	-	32	12	0,37
	Basalte	A2	630	33	-	31	12	0,37
	Calcaire	B3	1110	24	-	33	15	0,45

IV.3.4 Commentaires

En se référant des spécifications d'un Enrobé Dense à Chaud classique, sauf pour la formule B3 sans dope avec une stabilité Marshall de 360 daN, une amélioration de la performance mécanique a été observée surtout sur la tenue à l'eau des mélanges grès bitumineux et granulats.

Les meilleurs résultats de béton grès bitumineux est obtenus avec les grès bitumineux de BEPATSA, PANNEAU C3 et des concassées de nature granite.

V CONCLUSIONS

Les gisements de grès bitumineux dans le centre Ouest de Madagascar, Région de Morafenobe, Province de Mahajanga sont Bepatsa, Mitsiotaka, Driez et Panneau C3. Repartie sur une superficie de 420Km², 3 milliards de tonnes de grès bitumineux ayant teneur en liant variant de 5,8 à 14,73 T/m³ et généralement des grains de classe 0/2.

Les grès bitumineux à l'état naturel pour les températures supérieures à 150°C ont les meilleures performances mécaniques avec une stabilité Marshall de 640 à 717kg et une tenue à l'eau de 0,65 à 0,67. Ces caractéristiques sont proches de ceux du Sand-Asphalt. Des dispersions sur les résultats obtenus ont été constatées. Cela peut être dû au non homogénéité (variation de la granularité du sable) du grès bitumineux. Un léger apport de sable grossier pourra donner les meilleures spécifications.

L'enrobé confectionnée avec les granulats 0/12⁵ (granite, basalte et calcaire) présente une stabilité Marshall variant de 673 à 1230T/m³ et une tenue à l'eau comprise entre 0,23 à 0,84. Ces caractéristiques sont jugées faibles par rapport aux spécifications d'un Enrobé Dense à Chaud 0/12,5 (92< Compacité < 96 ; Stabilité ≥900Kg ; Fluage ≤ 4mm ; Rc7j ≥50bars et R'c7j/Rc7j ≥ 0,75).

Après ajustement des compositions avec les concassés (4/6-6/10 et 10/14 de nature granite, basalte et calcaire), le dope Dinoram et 2% de bitume 60/70, une amélioration des caractéristiques mécaniques de l'enrobé testé a été observée dont la stabilité Marshall varie de 700 à 1260 daN sauf pour la formule B3 sans dope et une tenue à l'eau de 0,37 à 0,82.

Les meilleurs résultats de Béton Grès Bitumineux sont obtenus avec les grès bitumineux de BEPATSA, PANNEAU C3 et des concassées de nature granite.

REFERENCES

- [1]. NF EN 12591, Bitumes et liants bitumineux — Spécifications des bitumes routiers ;
- [2]. XP P 18 540 Granulats-Définitions, conformité et spécification ;
- [3]. NF EN 1426 Pénétrabilité à 25°C
- [4]. NF EN 1427 Point de ramollissement
- [5]. NF EN 13108-8, Mélanges bitumineux — Spécifications des matériaux — Partie 1 : Béton bitumineux
- [6]. NF EN 13108-1, Mélanges bitumineux — Spécifications des matériaux
- [7]. NF EN 1097-6, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats — Partie 6 : Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau.
- [8]. NF EN 1426, Bitumes et liants bitumineux — Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille.
- [9]. NF EN 1427, Bitumes et liants bitumineux — Détermination de la température de ramollissement — Méthode bille et anneau.
- [10]. NF T66-043-2, Bitumes et liants bitumineux-Détermination de l'adhésivité passive des liants bitumineux par l'essai d'immersion dans l'eau-Méthode utilisant des granulats
- [11]. NF EN 12697-30 — Mélanges bitumineux - Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Préparation des éprouvettes par compacteur à impact (Marshall)
- [12]. NF EN 12697-34 - Mélanges bitumineux - Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud-Essai Marshall
- [13]. NF EN 12697-12, Mélanges bitumineux- Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud-Partie 12 : Sensibilité à l'eau
- [14]. Dossier 99 M 10-1 : Etude de faisabilité de l'utilisation du grès de Bemolanga en technique routier-Phase I-Grès Bitumineux à l'état naturel-MTP/LNTPB 1999
- [15]. Dossier 99 M 10-2 : Etude de faisabilité de l'utilisation du grès de Bemolanga en technique routier-Phase II-Grès Bitumineux élaboré avec apport d'autres matériaux-MTP/LNTPB 1999 ;
- [16]. Dossier 20 M 73-1E : Essai laboratoire sur les grès Bitumineux-Suite de la phase II-LNTPB 2000