

Le grès bitumineux de Bemolanga : une matière première locale pour le revêtement des routes en terre de Madagascar

[Bemolanga tar sand: A local raw material for tarring roads in Madagascar]

Simon Rakotoarison¹, Eddy H. Rasolomanana¹, Baholy Robijaona¹, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua²

¹Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Madagascar

²Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The price of the crude is continuing to scaling down, but one wonders what would be the consequence of that crude price drop off on the bitumen produced at the refineries. Madagascar would have a solution to use either the Bemolanga tar sands naturally (as it is) or to use extracted bitumen to replace the imported bitumen for tarring its roads. In fact, Madagascar is importing bitumen since 1960 and needs much foreign currency to pay out the bitumen product bills; nevertheless it has the possibility to use these petroleum materials to tar its roads. Using only imported bitumen for tarring roads would certainly not well develop the road construction in Madagascar. On 1962 (when Madagascar became independent country) the streets of Bemolanga village and all the streets in Morafenobe, the main town situated in Western part of Madagascar, located at 30 km away from Bemolanga deposit were tarred with Bemolanga bituminous tar sands by the "Société des Pétroles de Madagascar). The tar sands were dropped into a metal barrel and then, heated up with wood fire while mixing from time to time to produce viscous liquid, which is poured on the top of the prepared road and compacted manually afterwards. These tarred streets lasted more than twenty years life, thus, on 1980, almost of the tarred streets stay unbroken. In many countries who own tar sands, bituminous shale, natural bitumen and heavy oil, such materials were used in road construction to tar their roads since longtime ago. Thus our study consists in evaluating the possibility to use the Bemolanga tar sands to tar the maximum length of roads in Madagascar. The conclusion of the study is that it is technically possible to tar Madagascar roads with the Bemolanga tar sands. The decision to go further to the project would just be political decision.

KEYWORDS: Madagascar, tarred roads, sand, Bemolanga mining.

RÉSUMÉ: Actuellement, alors que le prix du brut pétrolier accuse une chute importante, on se demande quel est le niveau de prix du bitume routier produit au niveau des raffineries. Madagascar aurait une solution de remplacement du bitume routier importé par le bitume extrait des grès bitumineux, soit par l'utilisation des grès bitumineux tels quels. En effet, Madagascar importait une quantité importante de bitume pour revêtir ses routes depuis 1960. Ceci aurait et continuerait à grever ses réserves en devises alors qu'elle a la possibilité de produire les matières citées plus haut pour les utiliser en revêtement routier. N'utiliser que du bitume importé freine certainement le développement des réseaux des Routes Nationales bitumées. En 1962 (après l'indépendance de Madagascar), les rues de la ville de Morafenobe, ville située à l'Ouest de Madagascar, localisée à 30 km du gisement des grès bitumineux de Bemolanga, ont été « goudronnées » avec le grès bitumineux de Bemolanga par la Société de Pétroles de Madagascar. Un système de goudronnage qui a duré plus de vingt ans. Dans beaucoup de pays qui possèdent des grès ou schistes bitumineux ou des huiles lourdes naturelles, les routes sont revêtues de ces matières qui sont utilisées comme liants hydrocarbonés dans la technique routière. Notre étude consiste en l'évaluation de la possibilité d'utiliser les grès bitumineux de Bemolanga pour le revêtement des routes en terre de Madagascar. Une décision plutôt politique que technique engagera le pays dans l'utilisation de cette matière qui existe en

quantité importante dans ce gisement connu depuis longtemps. Nos résultats indiquent que l'utilisation des grès bitumineux de Bemolanga en tant que revêtement routier est techniquement faisable. Ainsi, la décision de faire « bitumer » les routes en terre de Madagascar par les grès bitumineux de Bemolanga n'est plutôt que politique.

MOTS-CLEFS: Madagascar, revêtement routier, grès, Mine de Bemolanga.

1 INTRODUCTION

Le gisement de Bemolanga recèle une quantité non négligeable de bitume valorisable en produits pétroliers. Madagascar aurait grand besoin de produire son brut pétrolier à partir de ces grès bitumineux et aussi à partir des huiles lourdes dans le gisement de Tsimiroro. A partir des différentes études sur l'évaluation de réserve, des travaux et des études géophysiques, géologiques, minières, géochimiques et chimiques ont été entrepris et ont délimité le gisement en zones selon son intérêt économique. Quelques 250 km² ont été circonscrits pouvant contenir d'huile à différente profondeur mais seulement quelques km² de surface ont fait l'objet d'études plus ou moins approfondies aboutissant aux études de faisabilité technico-économiques [1].

Il reste néanmoins une étendue encore mal définie qui contiendrait de faible teneur de bitume et qui pourrait faire l'objet d'une étude pour le revêtement routier à Madagascar. En effet, Il est connu de part le monde que les schistes bitumineux dont les comportements physico-chimiques ressemblent à ceux du grès bitumineux ont été utilisés dans beaucoup de pays comme revêtement routier, à l'instar des schistes d'Utah et de Wyoming aux États Unis d'Amérique, avec lesquels ils ont pu construire des kilomètres de routes revêtues de schistes bitumineux [2].

Par ailleurs, l'utilisation des grès bitumineux tels quels pour un revêtement routier a déjà fait sa preuve entre 1962 et 1980, puisque d'après le rapport de la Société Pétrolière de Madagascar (SPM) N° 528 en 1962, les rues de toute la ville de MORAFENOBE ont été « goudronnées » avec les grès bitumineux de Bemolanga dont le gisement se trouve à 30 km de la ville [3].

En 1980, nous étions parmi les témoins oculaires sur l'existence de ces travaux dans la ville de Morafenobe qui ont duré plus de 20 ans avant de se dégrader à la suite des intempéries (les cyclones). Nous avons effectué des travaux de recherche pour la faisabilité de ce projet de bitume routier tout en gardant l'esprit de production éventuelle de brut à partir des grès bitumineux. A cet effet, nous avons suggéré d'exploiter les zones relativement à faible teneur en bitume (inférieure à 7 %), d'ailleurs ce type de gisements présentent l'avantage d'être friable et la mine est plus facile à exploiter que celle ayant une importante teneur en bitume (supérieure à 10 %), qui est plus compact et difficile à exploiter à cause de la force de colmatage de bitume avec le grès.

On appelle bitume routier le résidu de traitement des bruts pétroliers dans une raffinerie de pétrole. Cependant, il existe plusieurs types de bitumes utilisés en technique routière tels que le bitume naturel qu'on trouve un peu partout dans le monde : le bitume issu des schistes, le bitume issu de charbon et enfin le bitume issu des grès et des sables [4], [5].

D'après les études antérieures et les constats des applications des grès de Bemolanga vers les années 60, le bitume issu des grès bitumineux de Bemolanga pourrait faire partie de ceux qu'on pourrait utiliser directement comme revêtement routier [6].

Les essais pratiques que nous avons effectués ont été réalisés avec des échantillons prélevés sur la zone proposée pour notre étude. Aussi, il a été nécessaire tout d'abord de connaître les caractéristiques de ces échantillons. Notre étude a été axée sur la faisabilité technique et une évaluation sommairement économique d'un grand projet d'utilisation de grès bitumineux de Bemolanga pour revêtement routier à Madagascar. Un exemple de quelques chiffres clés pour le revêtement de 250 km de route en terre est présenté dans les hypothèses à prendre en compte du paragraphe conclusion et recommandations de cet article.

La SPM a utilisé du bois de chauffe lors de la réalisation de ces travaux en 1962 mais les bois existaient en quantité suffisante à cette époque. De même que lors de nos essais expérimentaux nous avons aussi utilisé du bois de chauffe et parfois de charbon mais on ne peut pas envisager ces types d'énergie pour le projet industriel. Aussi, le problème sur l'environnement se pose et d'autres études énergiques et environnementales pourront apporter des solutions à ce problème. En effet, le diagramme de traitement du grès inclut le « chauffage » des matières qui nécessite une quantité conséquente d'énergie même si l'on adopte la méthode artisanale ou semi-industrielle.

Dans la présente étude, nous avons démontré que les briquettes fabriquées à partir des grès bitumineux de Bemolanga et qui sont ensuite posées sur une portion de route en terre, seraient l'équivalent d'une portion de route « goudronnée » avec les grès bitumineux à l'échelle pilote. L'utilisation des briquettes ne sont que des simulations de l'utilisation directe des grès bitumineux chauffés et compactés. Ces briquettes ont présenté les meilleures caractéristiques physico-chimiques et le projet est techniquement faisable à l'échelle industrielle. Un projet en ce sens est proposé à cet effet. Une étude complète de faisabilité économique devra être entreprise avant la mise en œuvre du grand projet industriel.

2 MATERIEL ET METHODES

Les figures 1 (a-d) montrent respectivement la cuisson de grès bitumineux de Bemolanga lors de nos essais de préparation des matériaux (fig. 1a), un bitume naturel utilisable comme bitume routier et pour d'autres applications comme le colmatage des fissures et l'étanchéité des toits (fig. 1b), Morceau de grès bitumeux de Bemolanga (fig. 1c) et les grès broyés (fig. 1d).



Figure 1a: Cuisson de grès bitumeux



Figure 1b: Bitume naturel



Figure 1c: Morceau de grès bitumeux de Bemolanga



Figure 1d: Grès broyés

Le bitume est une substance composée d'un mélange d'hydrocarbures, très visqueuse (voire solide) à la température ambiante et de couleur noire. Connue depuis la plus haute Antiquité sous forme naturelle, mais de nos jours, il s'obtient presque exclusivement dans la distillation des pétroles bruts.

Dans le langage courant, on le confond souvent avec l'asphalte dont il n'est qu'un composant (l'asphaltène est le produit majoritaire du bitume de raffinerie). Plus généralement, le bitume désigne tout mélange d'hydrocarbures extraits

du pétrole par fractionnement qui, sous forme pâteuse ou solide, est liquéfiable à chaud et adhère sur les supports sur lesquels on l'applique [7].

En construction routière, le bitume sert de liant pour la réalisation de matériaux *enrobés à chaud*, tels que les bétons bitumineux ou les graves bitumes. Il entre également dans la fabrication d'enduits superficiels sous forme d'émulsion ou bien fluidifié par un solvant.

Le bitume existe aussi à l'état naturel sous forme de résidu d'anciens gisements de pétrole dont les éléments les plus légers ont été éliminés au cours du temps par une sorte de distillation naturelle, les éléments légers étant très volatils à température ambiante. Extraits à ciel ouvert, les gisements se présentent comme de véritables lacs. Le bitume peut aussi se présenter sous forme de filons en sous-sol. Le plus connu de ces bitumes naturels est le bitume de Trinidad qui relève du premier type de gisement [8].

Les bitumes naturels ne sont guère utilisés que comme ajouts pour certaines utilisations particulières, compte tenu de leurs caractéristiques spécifiques (aptitude à être colorés, effet stabilisateur pour les asphaltes coulés...).

Un bitume fluidifié, ou cut back, est un bitume dont on a réduit la viscosité en lui ajoutant un diluant assez volatil (du pétrole ou du kérosène par exemple). Par contre, un bitume fluxé est un bitume dont la viscosité a été réduite par l'ajout d'une huile de fluxage. Un bitume routier (*paving bitumen* en anglais, *Straßenbaubitumen* en allemand) est un bitume utilisé pour l'enrobage des granulats destinés à la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées.

Environ 90 % du bitume produit dans le monde est utilisé pour la construction routière. La consommation de bitume dans le monde en 2006 (d'après European Asphalt Pavement Association (EAPA) avoisinait les 40 millions de tonnes. En Europe, les pays les plus gros consommateurs sont la France, l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne. A eux seuls ces pays totalisent une consommation de plus de 10 millions de tonnes en 2006 [9].

On distingue trois groupes de classes pour les bitumes routiers :

- Bitumes durs de pénétrabilité comprise entre 20 et 330 1/10ème de mm ;
- Bitumes semi-durs de pénétrabilité comprise entre 250 et 900 1/10ème de mm ;
- Bitumes mous spécifiés par leur viscosité à 60 °C [10].

La caractérisation des roches a consisté en la détermination de la perméabilité, de la masse volumique, de la porosité, de la densité apparente.

La masse volumique de l'échantillon ρ_e a été calculée avec la méthode de la balance à contrepoids utilisant la pousse-à-Archimède en utilisant la formule suivante :

$$\rho_e = \frac{m \rho_f}{m + m_1 - m_2}$$

Où

m = masse de l'échantillon

m_1 = masse du contrepoids en 1

m_2 = masse du contrepoids en 2

ρ_f = masse volumique du liquide.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES ROCHES ET DU BITUME DE BEMOLANGA

• CARACTÉRISATION DE LA ROCHE

○ Perméabilité

La perméabilité de la roches est de 83.3 mdy dans le sens vertical et 243,4 mdy dans le sens horizontal ;

○ Masse volumique

La mesure de la masse volumique des trois échantillons de grès bitumineux est regroupée dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1. Mesure de la masse volumique ρ_e de grès bitumineux

Echantillon	m (g)	m_1 (g)	m_2 (g)	ρ_f (g/cm ³)	ρ_e (g/cm ³)
82	3.59	15.93	18.45	0.77	2.58
83	4.02	15.87	19.04	0.82	2.60
84	3.68	16.01	22.22	0.78	2.57

La masse volumique du grès bitumineux faisant l'objet de la présente étude est de 2,58 g/cm³.

○ Porosité, densité apparente

Le tableau 2 donne les valeurs des mesures de la porosité et de densité apparente.

Tableau 2. Mesure de la porosité et de densité apparente

No Ech.	Poids avec poussée (g)	Poids réel (g)	Poids taré (g)	Volume (cm ³)	Poussée (g)	Densité apparente	Porosité (%)	Porosité moyenne (%)
1	175.35	97.70	401.63	49.79	674.68	1.96	23.73	24.30
2	173.50	96.83	401.63	49.59	671.96	1.96	24.12	
3	172.90	96.30	401.63	49.51	670.83	1.94	24.45	
4	178.40	96.48	401.63	49.93	676.57	1.93	24.90	

La porosité moyenne des grès étudiés est de 24,30%, ce qui montre un compactage moyen de ces grès dû à la faible teneur en bitume.

● CARACTÉRISATION DU BITUME

○ Teneur en bitume

Nous avons considéré un exemple de zone dont le gisement pourrait être exploité dans le cadre du projet de bitumage des routes en terre. La teneur en bitume d'une zone déterminée du gisement est donnée dans le tableau 3 ci-après :

Tableau 3. Saturation en bitume de quatre forages d'une zone dans le gisement de Bemolanga

Nom du forage	Saturation moyenne en bitume (% en poids)
Forage no. 1	5.32
Forage no. 2	7.79
Forage no. 3	6.43
Forage no. 4	6.87
Saturation moyenne de la zone (%)	6.62

Vu la teneur moyenne du bitume dans l'ensemble de cette zone, celle-ci pourrait être considérée comme une zone qui conviendrait au projet. Il faudrait encore explorer d'autres zones pour l'ensemble du projet.

○ Asphaltène dans bitume

La teneur en asphaltène des bitumes est résumée dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4. Teneur en asphaltène du bitume

Echantillon	Masse (g)	Asphaltène	Asphaltène	Moyenne (% masse)
B1	5.313	0.958	18.03	17.95
B2	6.015	1.075	17.87	
B3	5.666	1.016	17.94	

La teneur moyenne en asphaltène du bitume de Bemolanga est largement supérieure à celle d'un bitume standard issu d'une raffinerie qui varie entre 60 à 70% [11]

Par ailleurs, les grès bitumineux contiennent des argiles dont le pourcentage est détaillé dans le tableau 5 ci-dessous.

- o Les argiles

Le tableau 5 regroupe la teneur en argile des grès bitumineux :

Tableau 5. Teneur (% en poids) en différents types d'argiles

Nom	Symbole	Echantillon-1	Echantillon-2	Echantillon-3
KAOLINITE	K	7	3.5	2.3
ILLITE ou MUSCOVITE	I-Mu	10	5.0	3.3
MONTMORILLONITE	M	12-15	6.0-7.5	4.0-5.0
CHLORITE	C	14	7.0	4.7
VERMICULITE	V	14	7.0	4.7

Il ressort du tableau 5 que la teneur totale en argiles varie entre 19 et 60% en poids. C'est l'échantillon no. 1 qui possède une assez forte concentration en argiles. La concentration en argile n'influence pas le mode de liaison intramoléculaire des molécules qui sont liées par le bitume.

Le tableau 6 donne les caractéristiques physico-chimiques d'un bitume dur.

Le tableau 6. Caractéristiques rhéologiques et physico-chimiques d'un bitume classé dur [12]

Caractéristique	Unité	Essai normalisé	Classe								
			20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Pénétrabilité à 25 °C	(1/10 mm)	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
Point de ramollissement bille et anneau	(°C)	EN 1427	55 à 63	52 à 60	50 à 58	48 à 56	46 à 54	43 à 51	39 à 47	35 à 43	30 à 38
Pénétrabilité restante après durcissement, minimum	%	EN 1426	55	53	53	50	50	46	43	37	35
Point de ramollissement après durcissement, minimum	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Point d'éclair, minimum	°C	EN 22592	240	240	240	230	230	230	230	220	220

Le tableau 6 permet de classer le bitume de Bemolanga que nous avons étudié comparativement aux bitumes standards utilisés en revêtement routier.

Le tableau 7 est un tableau comparatif des caractéristiques d'un bitume dur et du bitume de Bemolanga :

Le tableau 7. Caractères physico-chimiques du bitume extrait des grès de Bemolanga et du bitume dur.

Caractéristiques	Bitume Bemolanga	Bitume dur classe 70/150
Poids moléculaire apparent (g/cm ³)	690	600-800
Densité	0.992	0.900-1.000
Point de ramollissement (%C)	46	39-51
Viscosité (cSt) 100 °C	1.038	1.000-1.200
Pouvoir calorifique sup. (kCal/kg)	10.210	6.000-10.000
Pouvoir calorifique inf. (kCal/kg)	9.650	6.000-10.000
Pénétrabilité 25° 100g 5s (1/10 mm)	146	70-150

On peut noter que le bitume de Bemolanga pourrait être considéré comme un bitume dur de classe 70/100 et 100/150.

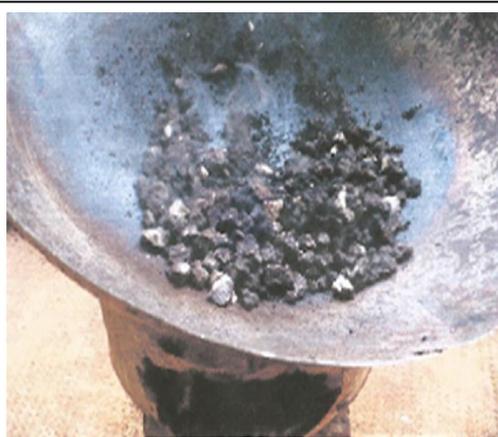


Figure 2a: Grès en debut de chauffage

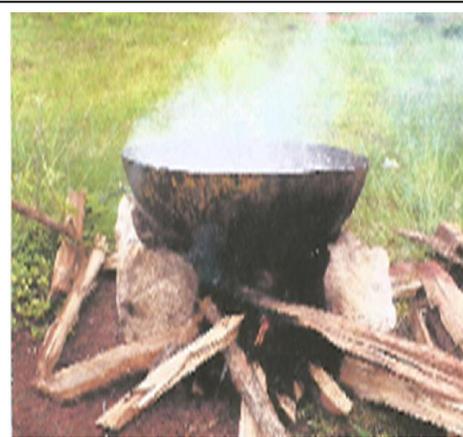


Figure 2b: Grès en plein chauffage

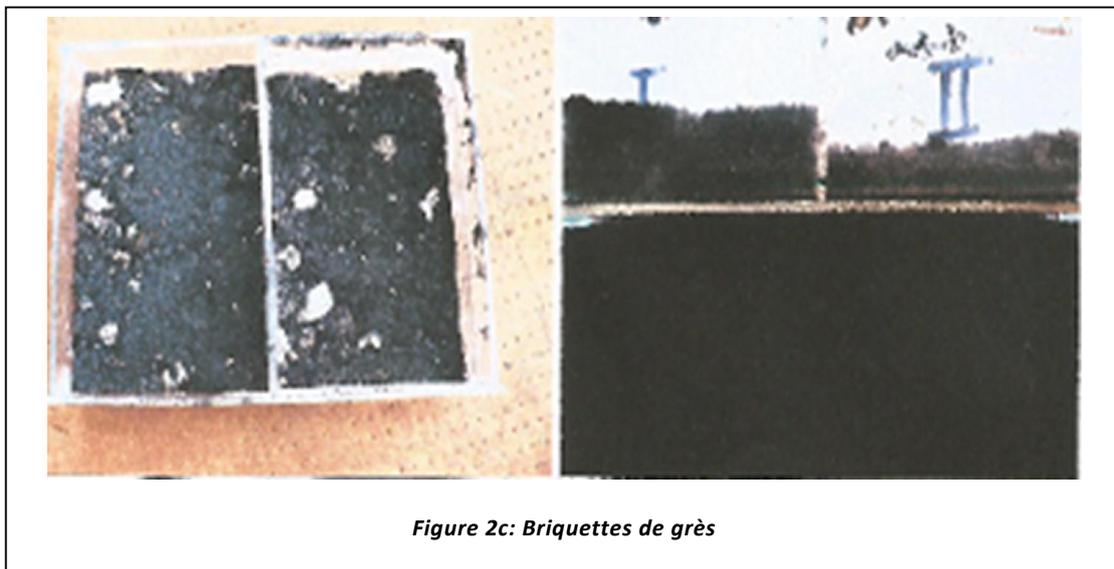


Figure 2c: Briquettes de grès

3.2 ESSAIS PILOTES

○ Historique

En 1962, des essais de revêtement des rues, le camp de village de Bemolanga ainsi que le lieu de construction de l'unité pilote de traitement de grès bitumineux, ont été effectués par la Société de Pétrole de Madagascar. Tous les revêtements ont

duré plus de vingt ans. Ceci démontre qu'expérimentalement les grès bitumineux chauffés et épandus comme revêtement du sol ont une durée de vie supérieure à vingt ans. Il est à noter que les camions de grosses charges ont utilisé cette portion de route pendant le transport des grès de la mine vers l'usine pilote. Avec le même procédé artisanal d'utilisation des grès bitumineux tels quels dans les rues de la ville de Morafenobe, les « goudrons » ont tenu jusqu'en 1980 malgré les charges des véhicules qui empruntaient ces rues et les conséquences des intempéries qui se sont succédées durant les temps cycloniques.

○ Les essais à plus petite échelle

Nous avons entrepris des essais de colmatage des routes en terre pendant nos travaux de recherche et les résultats ont été concluants. Nous avons reproduit les méthodes d'essais de 1962 mais à l'échelle beaucoup plus petite sur des routes en terre latéritique.

○ Réalisation de plaquettes de grès bitumineux

Nous avons aussi réalisé des briquettes concassées de grès bitumineux que nous avons posées dans des trous de la route en terre. Ces briquettes ont bel et bien résisté aux chocs des pneus de voitures qui y passaient. Nous estimons que ces types de briquette peuvent remplacer des pavés. On pourrait même confectionner des pavés autobloquants avec ce type de briquettes en utilisant des moules confectionnés à cet effet.

Les figures 3 (a-c) illustrent le compactage des briquettes dans les moules (fig. 3a), le compactage sur le trou à colmater après cuisson de grès bitumeux (fig. 3b) et les grès compactés dans les trous (fig. 3c).

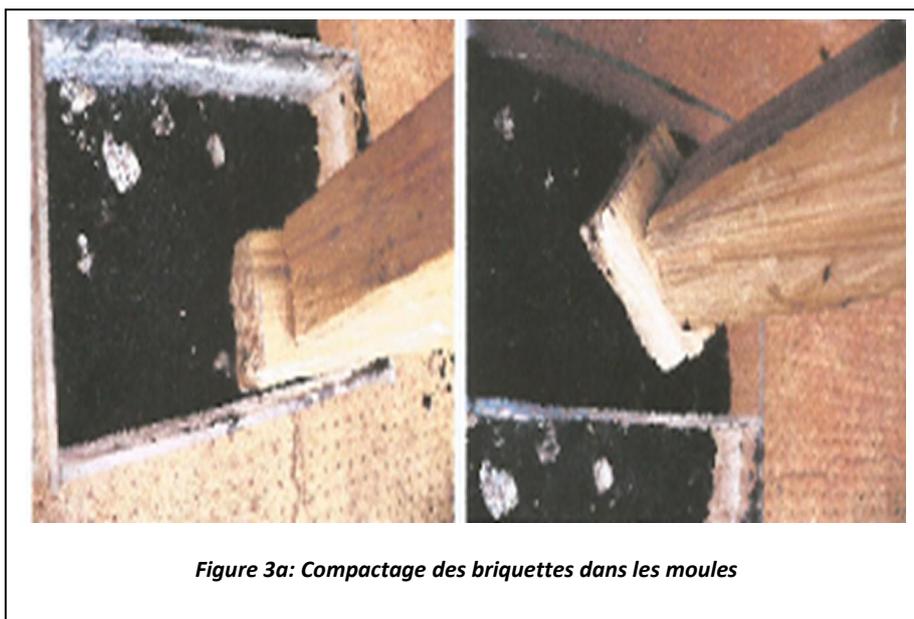




Figure 3b: Compactage sur le trou à colmater après cuisson



Figure 3c: Grès compactés dans les trous

Les essais ont été concluants car les matériaux mis en œuvre sont compacts et pourraient durer beaucoup plus longtemps que ceux utilisés pour boucher les trous des rues de la capitale et qui utilisent le bitume standard encore importé.

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le but de notre étude était de vérifier la faisabilité technique du projet. Notre conclusion est, qu'il est possible de « goudronner » nos routes en terre avec les grès bitumineux de Bemolanga. C'est pour cette raison que nous avons effectué les essais expérimentaux sur les routes en latérites de la haute terre.

On pourrait envisager un programme national pour un projet de revêtement des routes en terre, en commençant par exemple par revêtir la portion Mine Bemolanga-Morafenobe (40 km), ensuite la portion Morafenobe-Maintirano (110 km), et enfin la portion Ankalalo-Tsiroanomandidy (100 km).

Les hypothèses à prendre en compte pour le projet sont les suivantes :

- La longueur totale de la route en terre à revêtir sera de 250 km.
- L'épaisseur de la couche de revêtement sera de 10 cm compactés tandis que la route aura une largeur moyenne de 5 m. Le volume total de grès à extraire de la mine sera de 7 500 m³. La densité moyenne des grès est de 2.55, aussi le poids total des grès à exploiter sera de 20.000 tonnes.
- Les grès à utiliser seront ceux à faible teneur en bitume (< 6 % en poids), ainsi une étude d'évaluation de gisement nécessaire sera entreprise avant le début du projet. Cette étude nécessitera un programme de forage de délimitation à mailles de 50 m de côté sur une superficie de 40 000 m² (4 ha). Le forage sera carotté dans la partie imprégnée de bitume. Le nombre total de forage carotté sera de 25 sur une profondeur à déterminer en fonction de l'épaisseur de la couche payante en bitume.
- Des analyses en teneur de bitume dans les grès seront effectuées sur les carottes issus des forages, ainsi qu'une interprétation géologique, géophysique et minière du gisement.
- Une évaluation de quantité de stérile sera effectuée lors des forages. De toutes les manières le choix préliminaire des zones à exploiter sera déterminé après une synthèse géologique des anciens travaux déjà effectués sur le gisement. Le choix sera surtout conditionné par l'épaisseur des stériles pour que le coût de l'exploitation minière ne pèse pas trop sur le coût du projet.
- L'exploitation de la mine sera confiée à une société Malgache spécialisée dans l'exploitation des mines à ciel ouvert après une étude de faisabilité technico-économique détaillée.
- Une fois cette première tranche de 250 km terminée, le projet pourrait s'étendre sur toutes les provinces de Madagascar car la distribution pourrait se faire à partir du port de Maintirano, une fois que la portion Bemolanga – Maintirano sera bitumée. La distribution vers le centre de l'île se fera via la RN1 une fois que la portion Bemolanga – Tsiroanomandidy sera revêtue.

Ainsi donc, en adoptant ce projet, Madagascar fera une économie certaine de devises sur l'importation de bitume. De plus des emplois seront créés au niveau de l'exploitation minière, de la mise en œuvre des matériaux (cuisson et épandage), du transport des grès bitumineux en plus des emplois générés par l'effervescence économique d'un tel projet qui fera tâche d'huile au fur et à mesure que le projet s'élargit. Par ailleurs, la durée de vie de nos routes secondaires augmentera sensiblement une fois qu'elles seront revêtues de « goudron » de Bemolanga.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (Madagascar) pour son assistance technique.

REFERENCES

- [1] KLÖCKNER INDUSTRIE Anlagen. Valorisation des grès bitumineux de Bemolanga Madagascar, rapport OMNIS, 1988.
- [2] http://fr.wikipedia.org/wiki/schiste_bitumineux.
- [3] Société Pétrolière de Madagascar (SPM). Rapport N° 528, Utilisation des grès bitumineux pour revêtement routier à Bemolanga et Morafenobe, Rapport OMNIS, 1962.
- [4] <http://www.ressourceshydrocarbonéesfossilesdeMadagascar>.
- [5] http://commons.wikipedia.org/wiki/File:world_bitume_consumption.
- [6] S. Donato. Expérimentation préliminaire sur l'utilisation routière et industrielle du grès bitumineux de Bemolanga, Milano, 1977.
- [7] E.F. Rouviere, J.M. Ruiz, L. Léna. Analyse structurale des composés hydrocarbonés fossiles malgaches. Séparation par famille d'hydrocarbures, analyses des composés saturés aromatiques, polaires et des asphaltes, IPSOI Marseille, 1983.
- [8] www.bitume.info/pdf.
- [9] <https://fr.wikipedia.org/wiki/bitume>.
- [10] www.bitume.info/le-bitume
- [11] C. Bernard. Étude des émulsions eau-pétrole brut, rôle des asphaltènes, Thèse de Docteur-Ingénieur Université de Strasbourg, 1980.
- [12] www.bitume.info/utilisations