

Chantier expérimental de Béton Compacté au Rouleau à Sabotsy-Namehana, Antananarivo Madagascar

J. L. Rakotomalala^{1*}, G. Escadeillas², G. Ranaivoniarivo³

(1) Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo, BP 8122, Antananarivo 101, Madagascar.

(2) Université de Toulouse, UPS, INSA, LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions), 135, avenue de Ranguéil, F-31 077 Toulouse Cedex 04, France

(3) Département Science des Matériaux et Métallurgie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Antananarivo 101, Madagascar

*Auteur correspondant Tél : +261331147303 - Email : jean.lalaina@gmail.com

Résumé- Après des études de faisabilité en laboratoire, un premier chantier expérimental routier de Béton Compacté au Rouleau (BCR) a été réalisé à Madagascar en novembre 2012. Il s'agissait de revêtir un tronçon de 150 m très dégradé de la route nationale n°3 (RN3) au niveau de la Commune Rurale de Sabotsy-Namehana, Antananarivo, Madagascar.

L'objectif était de procurer au tronçon un revêtement résistant et durable à la fois au trafic routier et à l'agressivité fréquente de ruissellement en crue. Les expériences ont permis de mieux appréhender les multiples avantages techniques du BCR et de détecter les difficultés de mise en œuvre. Les résultats ont montré qu'au bout de 18 mois, le BCR fabriqué avec les matériaux locaux sous conditions courantes présente un comportement satisfaisant en dépit des conditions les plus défavorables.

Mots clés- Sabotsy Namehana, béton compacté au rouleau, chantier expérimental

INTRODUCTION

Le Béton Compacté au Rouleau (BCR) est une technique de réalisation de chaussées à la fois économique et performante [4] mais qui est très peu utilisée. A Madagascar, les recherches en construction routière sur le béton compacté au rouleau restaient au stade des essais en laboratoire et à la réalisation d'une planche d'essai de dimension réduite [1]. Le chantier expérimental en grandeur nature, dont le déroulement et les premiers résultats sur le comportement en place font l'objet de cet article, est le premier à notre connaissance à se dérouler sur l'Ile. Il s'agit d'un revêtement en béton qui combine la résistance au trafic et la tenue à l'eau.

Un tronçon de 150 m de la RN3 a été choisi. Il se trouve au niveau de la Commune Rurale de Sabotsy-Namehana, dans la périphérie Nord, à 10 km de la ville d'Antananarivo. C'est un tronçon représentatif pour la vulnérabilité à l'agressivité combinée du trafic et de l'eau. En effet, la RN3 supporte actuellement un trafic assez élevé, avec plus de 2 000 véhicules/jour. En outre, le profil en long de la partie concernée se trouve immergée dans l'eau à maintes reprises pendant la saison de pluie. Le revêtement bitumineux régulièrement appliqué ne résiste pas longtemps à

l'arrachement dû aux effets néfastes de l'eau, notamment le gonflement de la chaussée, suivi de toutes sortes de dégradation telles que fissure maillée, rupture, nid-de-poule, etc....

Ce type de chaussée nécessite un matériau résistant à la fois à l'eau et au trafic tout en assurant en même temps une couche étanche en surface. Le BCR répond a priori à ces critères. L'objectif de ce chantier expérimental est de vérifier en pratique les avantages du BCR pour proposer au maître de l'ouvrage une solution alternative face aux dégradations répétitives des routes notamment en zones sous trafics lourds ou fréquemment inondées.

Méthode, matériels et matériaux

Etudes en laboratoire

Au stade de l'étude des matériaux, et suivant les normes ainsi que les recommandations requises pour la fabrication de BCR, les étapes suivantes ont été successivement réalisées :

- essais d'identification des matériaux : granulométrie, mesure de densité et équivalent de sable ;
- recherche de la formulation du béton basée sur la courbe optimale de Fuller Thompson ;
- fabrication du béton, essais de vibro-compactage et mesure de la densité à l'état frais du béton compacté (sur éprouvettes 16x32) ;
- essais mécaniques pour déterminer la résistance à la compression axiale des éprouvettes.

Les matériaux retenus satisfont aux exigences normatives. Un ciment certifié de classe minimale 42,5, conforme aux normes NF P15-301 et ENV 197-1, est employé. Les granulats retenus sont des granulats concassés de fabrication artisanale.

La composition du mélange a été déterminée pour un dosage en ciment fixé à 250 kg/m³ et un rapport eau/ciment compris entre 0,40 et 0,50. Elle s'appuie sur la courbe de référence de Fuller Thompson, présentée sur la Figure 2, avec recherche du rapport optimal des dosages en eau et en ciment.

Réalisation du chantier expérimental

L'objectif de l'expérimentation était d'abord de tester la mise en œuvre du BCR dans des conditions abordables pour toute catégorie d'entreprise, ce qui a conduit à adopter la méthode semi-HIMO (Haute Intensité de Main d'Oeuvre).

Concernant le sol support, il était considéré suffisamment portant pour pouvoir recevoir un revêtement rigide tel que le béton. Cette partie de la RN3 avait en effet une portance élevée, selon la dernière mesure de déflexion datant de 2009, pour recevoir le BCR.

Pour ce qui est de l'installation et de l'approvisionnement en matériaux du chantier, le site de fabrication du béton a été choisi à proximité du chantier (Photo 1). L'approvisionnement, la réception et le stockage des matériaux de base se sont déroulés correctement. Les granulats livrés ont été bien répartis selon leurs classes respectives. Le stockage du ciment a été effectué dans les règles de l'art, en particulier, bien à l'abri de l'humidité. L'eau de gâchage, bien que de nature douteuse car présentant des signes de poussières fines, était disponible en grande quantité

sur le site même du chantier. Un système de stockage dans des citernes a été adopté pour améliorer la qualité de l'eau par simple décantation.



Photo 1- Vue d'ensemble du chantier

Diverses dispositions, pour assurer l'avancement des travaux tout en permettant la libre circulation des usagers, ont été prises, entre autres la régulation de la circulation par des agents de sécurité.

La préparation de l'assise consistait au démontage du revêtement dégradé existant, au nettoyage des nids-de-poule avec rechargement en tout venant 0/20 suivi d'un compactage. Ceci a permis d'avoir une surface d'assise suffisamment plane.

Le BCR a été fabriqué à partir de deux bétonnières électriques, un nombre suffisant pour le présent projet, alimentées manuellement. Ensuite, le béton a été transporté et répandu toujours manuellement. L'épandage s'est fait à l'aide d'une barre de bois rectiligne pour assurer une surface plane avant le passage du compacteur. Des gabarits de 12 cm ont servi de contrôle de l'épaisseur. Pour le compactage, le nombre de passage a été fixé en fonction de la compacité obtenue : avec un compacteur à cylindre à bandage lisse de 3,5 tonnes, l'arrêt du compactage correspond au non-tassement observé visuellement du BCR, obtenu en moyenne entre 12 et 15 passes.

Les conditions du chantier permettaient une bonne cadence de la fabrication du béton. Le rendement était en moyenne de 160 m² par jour. Les photos 4 et 5 illustrent les différentes phases d'exécution.



Photo 2- Transport du BCR



Photo 3- Compactage de la couche

La route était ouverte à la circulation au plus tard 12 heures après le dernier compactage. Enfin, pendant une semaine une cure a été opérée pour limiter la formation des poussières et parfaire l'hydratation du béton.

Résultats

Formulation du BCR

L'analyse granulométrique des granulats est donnée (Figure 2). Les autres caractéristiques sont données sur le Tableau 1 qui présente ainsi la formulation du BCR d'étude, laquelle a été adoptée sur chantier sans modification par rapport aux conditions pratiques (distance de transport et réalisation par temps chaud).

Tableau 1- Caractéristiques des matériaux et composition pour 1 m³ de béton

Composants	Densité apparente	Volume apparent [litres]	Densité absolue	Volume absolu [litres]	Masse [kg]
- Sable 0/5	1,49	490	2,52	291	731
- Granulats 3/8	1,38	476	2,60	253	658
- Granulats 5/15	1,39	498	2,58	269	694
- Eau		112,5			

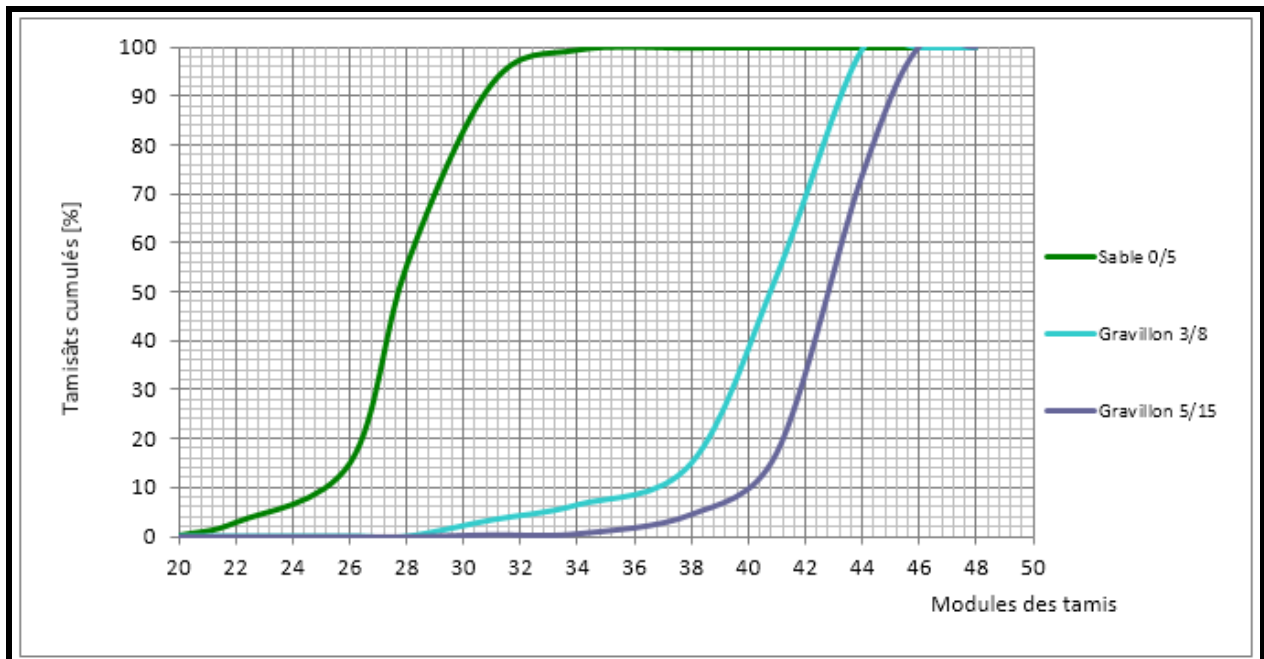


Figure 2- Courbes granulométries des granulats

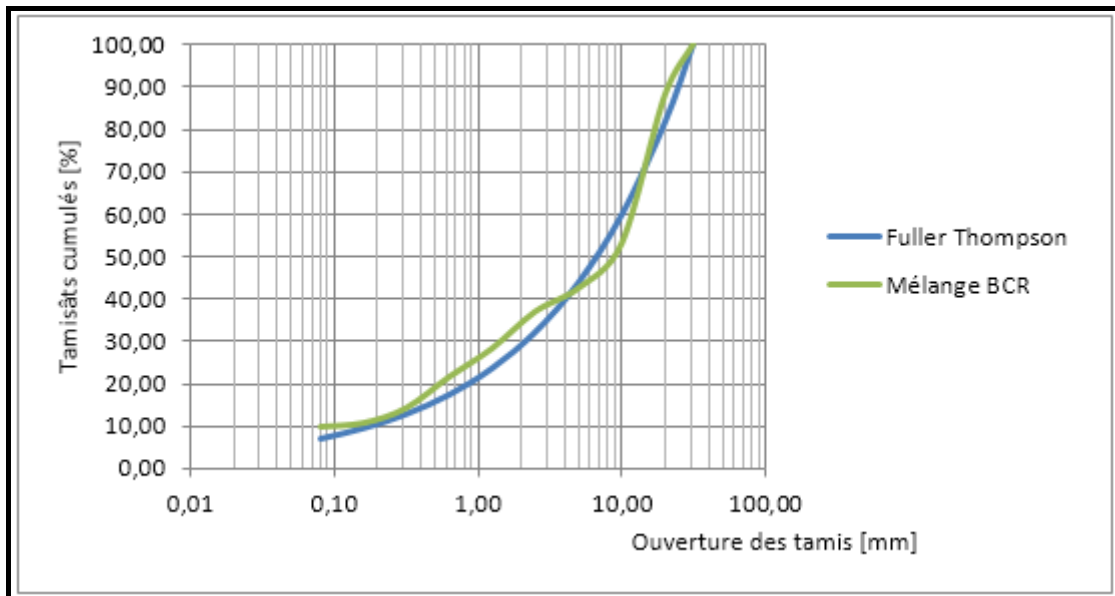


Figure 3- Courbes de référence de Fuller Thompson et courbe optimale du mélange

Les essais de caractérisation réalisés en laboratoire montrent qu'avec un rapport eau/ciment de 0,45 ; on obtient une densité de BCR variant entre 2,25 et 2,40 kg/m³ et une résistance caractéristique à 28 jours autour de 33 MPa. De plus, les essais ont montré que l'usage d'un sable de rivière à granulométrie étalée permet une mise en œuvre nécessitant moins d'énergie pour le compactage.

Evolution de la chaussée

Un problème sur le comportement du BCR a été constaté dans les quelques jours qui ont suivi la fin des travaux, et notamment au niveau des joints transversaux et longitudinaux. Des fissures et même des ruptures sont apparues.

On a pu remarquer que la manière dont le béton se fissurait sur les reprises de bétonnage ne ressemblait pas à la fissuration des parties en bord de chaussée. Des conditions spécifiques de reprise de bétonnage s'imposent.

Ainsi, lors des travaux de réparation, la création de joint de reprise jouant en même temps le rôle de joint de rupture a permis de limiter les fissures. Pour les fissures aux bords, un système de poutre longitudinale a été construit en maintenant le même principe que pour la reprise de bétonnage.

Discussion

La fabrication du béton a été, en général, correcte et exécutée avec une bonne cadence. La fabrication et la mise en œuvre du BCR ont ainsi été bien maîtrisées par une Petite Entreprise des travaux publics, dans la mesure où elle possède le minimum de matériels nécessaire.

Néanmoins, on ne peut pas dire que la mise en œuvre s'est déroulée sans difficulté. Le délai entre le déversement du BCR du godet de la bétonnière et la fin de l'épandage sur site variait notamment en fonction de la distance de transport et de la gêne de la circulation (l'épandage se faisant sur une demi-largeur était gêné par moment par la circulation sur l'autre demi-voie). En outre, le fait que la mise en œuvre était totalement manuelle constituait un paramètre de plus pour retarder le début du compactage. Par ailleurs, les conditions météorologiques étaient favorables pour provoquer un début d'évaporation, ce qui limitait par la suite le compactage pour une énergie donnée. Enfin, la température élevée qui régnait durant le chantier a rendu difficile la maîtrise préalable de la fissuration.

Tout ceci a eu un effet néfaste en retardant défavorablement le début du compactage, ce qui n'avait pas été envisagé durant les études en laboratoire et ne garantissait plus le bon compactage et par la suite le bon comportement du BCR. Cependant, grâce à la formulation et à la composition appropriée, une compacité très satisfaisante a été obtenue.

On peut souligner aussi que l'utilisation de granulats de fabrication artisanale ont permis d'obtenir un béton performant à condition que, pour chaque classe, l'ensemble vérifiait les caractéristiques déterminées en laboratoire.

Au final, les conditions de mise en œuvre, les données du trafic, les résultats de laboratoire et l'expérimentation en grandeur nature permettent de conclure favorablement sur l'adéquation de la méthode semi-HIMO et des granulats locaux aux normes de fabrication de BCR en mettant en évidence les paramètres à corriger.

Conclusion

L'objectif de ce chantier expérimental était non seulement d'étudier le BCR dans tous ses aspects (matériaux constitutifs, formulation, qualité mécanique, méthode de mise en œuvre) mais aussi d'étudier son comportement sous les conditions les plus défavorables à sa mise en œuvre à

Madagascar. A cette fin, cette technique devait être à même de répondre aux exigences structurales, de non-fissuration et d'esthétique.

Ce premier chantier expérimental a permis de conclure que le BCR est un matériau très efficace en revêtement routier moyennant quelques précautions de réalisation : il a toutes les qualités mécaniques requises et il est résistant à l'eau. Par contre, si les conditions de mise en œuvre ne sont pas bien observées, il reste vulnérable à la fissuration.

Les leçons tirées de ce premier chantier expérimental permettent de concevoir et de réaliser un deuxième essai en prenant en compte le retour d'expérience et les dispositions correctives proposées dans cet article.

Remerciements

Les auteurs voudraient adresser leurs sincères remerciements à Monsieur le Ministre des Travaux Publics, Monsieur le Président de l'Association des Ingénieurs du Bâtiment et Travaux Publics et son ingénieur conseil, Monsieur le Secrétaire Général du Fonds d'Entretien Routier, Monsieur le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Monsieur le Directeur Général et Monsieur le Directeur du Département du Génie Civil de l'Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo, pour la volonté sincère qu'ils ont montrée pour réaliser cette expérience.

Références bibliographiques

- [1] **J. L. Rakotomalala**, 2012. Opportunité du Béton Compacté au Rouleau à Madagascar. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Institut National des Sciences Appliquées de l'Université Paul Sabatier de Toulouse III.
- [2] **J. L. Rakotomalala, G. Escadeillas, S. Rakotonirina, V. Razafinjato**, 2011. Avantages du béton compacté au rouleau dans les pays en développement - Un nouveau revêtement de sol - Réalisation des dallages de deux entrepôts industriels. Madarevues/Madamines,
- [3] **J. L. Rakotomalal, G. Escadeillas, S. Rakotonirina, V. Razafinjato**, 2011. Avantages du béton compacté au rouleau dans les pays en développement : un nouveau revêtement de sol. Madarevues/Madamines.
- [4] **C. Jofré, M.J. Abdo, Andersson, B.T Bock et al.**, 1993. Emploi du béton compacté dans les chaussées. Comité technique AIPCR des routes en béton, AIPCR.
- [5] **Cimbeton**, 1997. Le béton : les techniques de mise en place du béton évoluent, CSTB magazine, N°109.