

AVANTAGES DU BETON COMPACTE AU ROULEAU DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT : UN NOUVEAU REVETEMENT DE SOL

Réalisation des dallages de deux entrepôts industriels

Jean Lalaina RAKOTOMALALA¹, Gilles ESCADEILLAS²,

Solonjatovo RAKOTONIRINA³, Victor RAZAFINJATO⁴

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

(2) Université de Toulouse, UPS, INSA, LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions), 135,
avenue de Rangueil, F-31 077 Toulouse Cedex 04, France, gilles.escadeillas@insa-toulouse.fr

(3) Département Bâtiment et Travaux Publics, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Antananarivo
101, Madagascar, hecmma@yahoo.fr

(4) Département Bâtiment et Travaux Publics, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Antananarivo
101, Madagascar, niryvictor@gmail.com

*Auteur correspondant Tél : +261331147303

RESUME

Cet article présente la synthèse de la réalisation des dallages de deux bâtiments industriels d'une société sis à Antananarivo Madagascar, de l'étude des matériaux en laboratoire jusqu'au calcul financier montrant les avantages offerts par le béton compacté au rouleau (BCR). L'étude s'appuie sur la construction desdits bâtiments industriels à ossature métallique et à surface exploitable de l'ordre de 2 800 m² chacun, réalisée dans le cadre de l'élargissement des infrastructures de la société dans la zone industrielle à Tanjombato Antananarivo. Le béton compacté au rouleau, de faible dosage en ciment mais de qualité mécanique performante, a permis de réduire sensiblement le coût de revient des dallages. En outre, le concept de la valorisation des matériaux locaux est satisfait par l'utilisation du BCR avec la spécification d'un faible dosage en ciment impliquant un moindre coût économique et écologique, et une surface à capacité portante élevée.

Cette réalisation résulte de travaux de recherche en laboratoire sur l'optimisation des quantités des composants en adoptant la courbe optimale de Fuller-Thomson pour le choix du squelette granulaire et en évaluant la valeur du rapport Eau/Ciment (E/C) à partir d'essais spécifiques. Les résultats mécaniques en compression ont été ensuite déterminés sur des éprouvettes cylindriques confectionnées selon la Méthode de vibro-compaction. De ces résultats ont été établies les conditions d'exécution des travaux.

En conclusion, les ouvrages réalisés démontrent la qualité technique du BCR et ses avantages financiers.

Mots clés : dallage, béton compacté au rouleau, entrepôt industriel, formulation de béton, vibro-compaction.

I. Introduction

Le chantier de dallages destinés à des entrepôts industriels objet de cet article a mis à profit la formulation d'un béton compacté au rouleau (BCR), développée en laboratoire en s'appuyant sur la méthode de vibro-compaction, pour devenir le premier chantier de BCR à Madagascar (juillet 2008). De l'intérêt technico-financier prévisible de cette technique, l'approche combine le cadre de nos travaux de recherche et

l'investissement en infrastructure industrielle dans la capitale menée au sein d'une société privée siégeant à Tanjombato.

Comme il s'agit d'une technique nouvelle à Madagascar, l'objectif est d'appliquer directement sur chantier les résultats des études en laboratoire pour mesurer en vraie grandeur sa performance et d'en déduire des conclusions convaincantes quant à sa vulgarisation. D'ailleurs, l'un des objectifs techniques est la réduction du taux de ciment dans le béton tout en exploitant les matériaux rocheux qui existent encore en quantité abondante.

Les études des matériaux constituent l'essentiel des recherches en laboratoire. Si la formulation a été basée sur la courbe optimale de Fuller-Thomson, la vérification de la qualité mécanique a été faite à l'aide d'un vibro-compacteur que nous avons développé.

II. Contexte technique

A l'instar des résultats sur le revêtement de chaussée, le BCR est un matériau qui peut remplir convenablement ses fonctions dans le domaine des revêtements industriels.

De sa performance mécanique approuvée ainsi que de son faible risque de fissuration, on peut affirmer que le BCR pourra supporter l'intensité et la diversité des charges d'exploitation dans les constructions industrielles, avec une durabilité au moins aussi longue que tout autre revêtement. Avec une conception optimisée, il est évident qu'on aura un dallage à la fois plus résistant et économiquement plus intéressant.

Ainsi, nous avons proposé le BCR pour la réalisation de dallage des deux constructions industrielles qui se trouvent dans la ville d'Antananarivo. Il s'agit de deux entrepôts industriels à ossature métallique de dimensions respectives 20 m x 72 m et 42 x 72 m sis à Tanjombato, Antananarivo.

III. Méthodologie

III.1. Etudes en laboratoire

III.1.1. Choix des matériaux

Les granulats proviennent de la carrière dite du PK18 sur la RN7 se trouvant dans la zone sud d'Antananarivo. La densité absolue varie de 2,55 à 2,70 et la densité apparente de 1,37 à 1,42. Pour limiter le problème de ségrégation lors de la confection des éprouvettes et de la mise en place du BCR, la dimension maximale des granulats a été fixée à 25 mm.

Le ciment que nous avons utilisé est de classe CEM II A 42,5 disponible facilement dans les marchés.

III.1.2. Formulations du mélange

III.1.2.1. Proportions optimales de granulats

La recherche des proportions optimales des granulats (sable, gravillon 5/15 et 15/25) est basée sur l'analyse granulométrique de ces granulats en se servant de la courbe granulométrique optimale de Fuller Thompson.

Les courbes granulométriques des granulats utilisés sont présentés sur la figure 1.

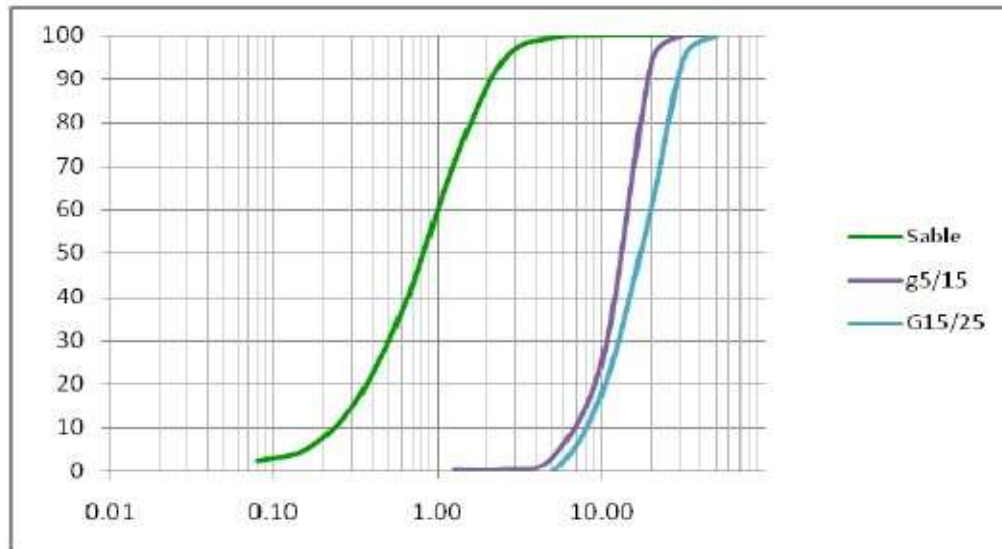


Figure 1 – Courbes granulométriques : Sable, gravillons 5/15 et 15/25

A partir de ces courbes et de la courbe de Fuller Thompson correspondante, nous avons obtenu la formulation suivante : ciment 6,26%, sable 34,0%, gravillon 5/15 24,0% gravillon 15/25 35,74%, qui donne la courbe granulométrique verte du mélange indiquée sur la figure 2.

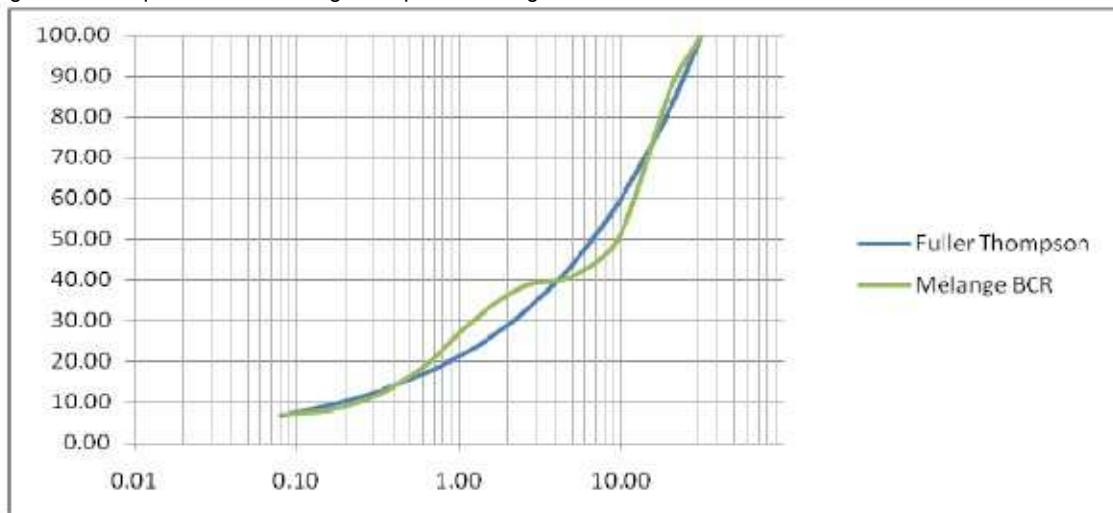


Figure 2 : Courbes optimales : courbe granulométrique de Fuller-Thompson et courbe du mélange

III.1.2.2. Dosage en ciment et en eau

En terme technique, le dosage en ciment des BCR est relativement faible (il avoisine les 175 kg), ce qui correspond à une quantité de pâte de ciment également faible, juste nécessaire pour lier les granulats. C'est l'optimisation du squelette granulaire et l'effet du compactage qui sont à l'origine de la forte résistance aux sollicitations supportées par le dallage en BCR.

En ce qui concerne les dosages en ciment et en eau, dans un premier temps, afin de trouver une teneur en eau répondant à la fois au bon comportement du BCR et sa mise en œuvre correcte (bon compactage), nous avons fait varier le rapport pondéral E/C en fixant le dosage du ciment. Ensuite, pour chercher le dosage en ciment optimal, nous avons fixé la teneur en eau et fait varier le dosage en ciment.

Les valeurs de E/C sont 0,35, 0,40 et 0,45 en fixant le dosage en ciment égal à 180 kg/m³.

Puis, lorsque le rapport E/C est fixé, le dosage en ciment est pris successivement égal à 170, 180, et 190 kg/m³.

III.1.3. Préparation des mélanges et confection d'éprouvettes : essai de vibro-compactage

Une fois l'étude de formulation du mélange réalisée, nous avons réalisé des essais de mesure de performance du produit obtenu. Les conditions de réalisation des éprouvettes sont :

- 3 éprouvettes à dosage en ciment constant (180 kg/m³) et à E/C variable : 0,35, 0,40 et 0,45
- 3 éprouvettes à teneur en eau constante (E/C = 0,40) et à dosage en ciment variable : 170, 180 et 190 kg/m³.

III.1.3.1. Matériel

Avec une table vibrante conventionnelle et un moule CBR 16x32, nous avons confectionné une machine de fabrication des éprouvettes en vue des essais de compression, avec les caractéristiques de chargement suivantes (figure 3) :

- Surcharge : 13,3 Kg
- Durée de vibration : 2 minutes

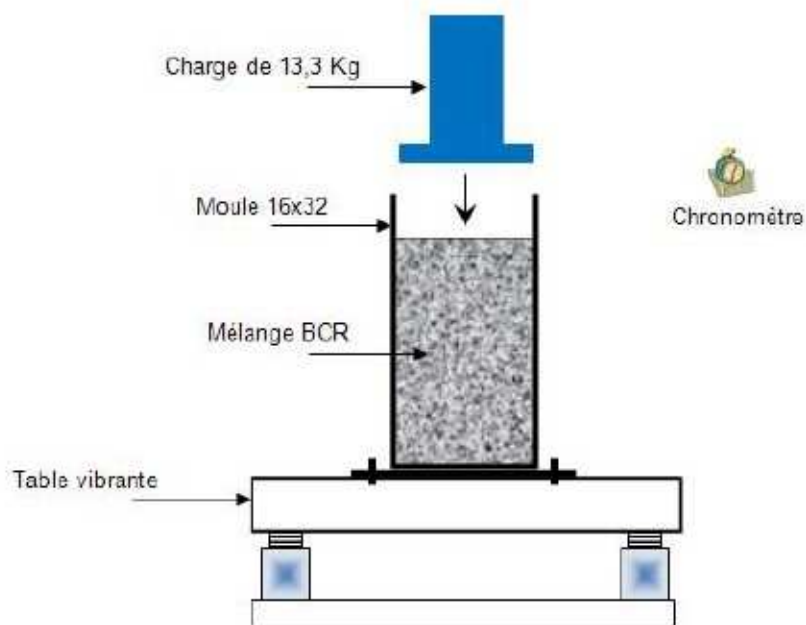


Figure 3 : Confection des éprouvettes de BCR (Méthode de Vibro-compactage)

III.1.3.2. Densité des éprouvettes et résultats mécaniques :

Les résultats obtenus montrent une densité du BCR plus élevée avec un rapport E/C = 0,45 et, avec ce rapport, un dosage optimum en ciment de 190 kg/m³.

Les éprouvettes ont été démoulées après 24 heures de confection et ont été conservées dans l'eau pendant 10 jours. Ensuite, elles ont été conservées à l'air libre jusqu'à la réalisation des essais.

Ainsi, la performance mécanique a été mesurée par des essais de compression axiale à 28 jours d'âge du béton. Les résultats des essais sur une famille de 6 éprouvettes montrent une résistance satisfaisante pour la même classe du béton conventionnel : soit 22,6 MPa pour le dosage en ciment de 190 kg/m³.

III.2. Réalisation du chantier

III.2.1. Préparation de l'assise

La préparation de l'assise granulaire pour un revêtement en BCR répond aux mêmes exigences que pour un revêtement classique de chaussée pour que le sol support puisse supporter les effets du compactage de la couche de BCR mise en place.

Le BCR est posé sur une assise constituée d'une fondation en quartzite de portance élevée et d'épaisseur minimale de 40 cm, et d'une couche de base en grave concassée non traitée de 0/31,5, de 20 cm d'épaisseur en moyenne et préalablement compactée selon les règles de l'art.

III.2.2. Moyens mis en œuvre et réalisation

Les matériels jouent un rôle important dans la qualité du BCR mis en œuvre. La mise en place du BCR a été réalisée de façon à assurer l'uniformité de la surface et l'épaisseur de la couche.

D'abord, la bétonnière a été installée et les matériaux sont stockés à proximité du chantier.

L'utilisation de lignes-niveaux (rails) en bordure des bandes de BCR permet de réaliser un profil de surface uniforme, facilitant ainsi le profilage du compactage. Pour la première bande, deux lignes-niveaux sont requises de part et d'autre de la bande tandis qu'une ligne-niveau est installée au milieu pour les bandes subséquentes.

A la place du finisseur d'enrobé, nous avons utilisé une règle vibrante à double lame qui glisse sur les deux lignes-niveaux, vibre et lisse en même temps le béton.

Pour le compactage, on a utilisé un compacteur moyen à rouleau.

L'épaisseur finie est de 10 à 12 cm ; la vérification de niveau a été faite grâce à un niveau d'ingénieur.

Etant donné qu'il s'agit d'une surface pouvant être à la fois roulable et habitable, et pour une apparence meilleure, on a fini la surface par un décrassage à l'hélicoptère suivi d'un lissage à la truelle et finalement le bouchardage.

Le mûrissement par cure d'au moins 7 jours du BCR consiste à la fois à favoriser le processus d'hydratation du ciment et à contrôler l'humidité du béton dans le but de développer convenablement ses propriétés mécaniques tout en réduisant le risque d'ouvertures des fissures.

Les joints de retrait entre deux panneaux sont réalisés en sciant la dalle sur la moitié de l'épaisseur du BCR. Suivant la longueur, ces joints divisent le bâtiment en deux et parallèlement à la largeur, leur espacement est de 24 m.

IV. Analyse et interprétation du BCR mis en place

IV.1. Sur le plan technique

La résistance mécanique du dallage en BCR de l'entrepôt réalisé a été déterminée par mesure de résistance d'échantillons cubiques extraits à l'aide d'une scie à béton.

Alors que la résistance moyenne des dallages en béton ordinaire est de l'ordre de 20 MPa, les valeurs obtenues sont environ de 23 MPa, ce qui correspond théoriquement à une résistance sur cylindre de 20 MPa également. Ceci est largement suffisant pour une surface de revêtement de dallage.

IV.2. Sur le plan financier

Pour la mise en évidence de l'avantage économique, nous avons déterminé les bénéfices financiers apportés par le BCR comparé au béton conventionnel dosé à 350 kg/m³ de ciment.

Les sous-détails des prix unitaires de deux types de béton ont été établis sur la base des données de l'entreprise chargée de l'exécution des travaux. Si pour le béton courant, le coût unitaire est de l'ordre de 440 000 Ar/m³, celui du BCR est estimé à 382 000 Ar/m³. Ce qui équivaut à un bénéfice financier de 25 168 900 Ar (soit environ 10 067 €) pour les deux entrepôts.

Ainsi, l'utilisation du béton compacté au rouleau a permis de réduire le coût de deux dallages d'au moins 13 % du coût avec un béton classique de même performance.

CONCLUSION

Les essais réalisés dans le cadre de ce chantier ont démontré que, dans le domaine de dallage industriel, le béton compacté au rouleau peut offrir une résistance mécanique du même ordre de performance, voire supérieure, que celle du béton conventionnel, en gardant des « conditions courantes de fabrication » du béton. Les résultats des essais de résistance en laboratoire et sur des échantillons extraits des dallages permettent de classer le BCR réalisé dans la catégorie C20/25.

La cohérence des résistances prévisibles et réelles a montré que la méthode de formulation utilisée est convenable. La méthode offre un avantage technique dans la mesure où elle permet de redéterminer rapidement les proportions optimales du mélange de BCR au cas où la granularité voire la provenance des granulats change. Ce qui se produit très souvent en chantier.

Références bibliographiques

[1] RAKOTONIRINA Solonjatovo. Contraintes et déformations en mécanique des chaussées : application aux routes de Madagascar. UFR, Sciences fondamentales et appliquées de l'Université de Poitiers. Avril 1986.

[2] Gabriel J. ASSAF, George CAMERON, Le béton compacté au rouleau et le BCR à haute performance Ciment Québec Inc. Nov-06

[3] Vision d'avenir du BCR. Volume 6. Synergie 5, publication de Ciment Québec Inc. Mars-07

[4] Spécial BCR. Synergie, publication de Ciment Québec Inc. Août-03

[5] Richard GAGNE. Méthodes de formulation et d'optimisation des mélanges de BCR pour barrage. Centre de Recherche sur les infrastructures en béton (CRIB). Université de Sherbrooke. 2004

[6] Pierre Gauthier, Jacques Marchand. Conception et réalisation de revêtements en BCR au Québec. Synergie, publication de Ciment Québec Inc. 2006

[7] Bruno Pelletier, Eric Ouellet. Comparaison de la perméabilité à l'eau du béton compacté au rouleau (BCR) et d'un mélange de béton conventionnel. Service d'Expertise en matériaux Inc. Association canadienne du ciment. Juil-05

[8] Vivian W.Y. Tam, C.M. Tam, Y. Wang. Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete. Construction and Building Materials, Mai-06.