

# LES BETONS COMPACTES AU ROULEAU A FAIBLE DOSAGE EN CIMENT, UNE SOLUTION POUR LES ROUTES RURALES: CAS DES MATERIAUX DE GISEMENTS LOCAUX

M. Zdiri<sup>\*(1)(2)</sup>, M. Ben Ouezdou<sup>(1)(3)</sup> & J. Neji<sup>(1)(3)</sup>

## Résumé

*Le Béton Compacté au Rouleau (BCR) est un nouveau matériau qui couvre une grande diversité d'application: Barrages, routes de transport, rues, aires de stationnement...Il peut être considéré comme un matériau économique, rentable et non polluant.*

*Nous introduisons dans le présent travail l'utilisation des bétons compactés au rouleau (BCR) en technique routière en utilisant des matériaux de gisements locaux avec la spécification d'un faible dosage en ciment donnant lieu à un moindre coût et un délai de réalisation réduit, dans le temps où on rencontre des difficultés d'approvisionnement et d'applications des produits hydrocarbonés dans les zones rurales et montagneuses.*

*Dans notre étude nous avons effectué une identification des différents constituants granulaires qui serviront pour la confection des BCR. Nous avons déterminé aussi les proportions nécessaires des différents constituants en utilisant le Logiciel "René LCPC" et en faisant varier le dosage en ciment entre 6 et 11% de la masse totale des granulats secs des mélanges confectionné à base de matériaux de gisements locaux. Ensuite nous avons fait une campagne d'essais expérimentaux de compression et de traction par fendage (brésilien) sur des éprouvettes cylindriques confectionnées selon la Méthode du Projet National Français BaCaRa.*

*Les résultats obtenus montrent que le BCR, faiblement dosé en ciment, développe des résistances très satisfaisantes pour le corps de chaussée, et d'autre part l'évaluation du coût de revient prouve aussi que c'est un matériau économique comparé à la chaussée à structures souples.*

## Mots clés :

*Béton compacté au rouleau, matériaux granulaires, faible dosage en ciment, évaluation économique, logiciel René-LCPC, essais expérimentaux*

## 1. INTRODUCTION

Le béton compacté au rouleau est un matériau peu coûteux, à mise en place rapide qui convient parfaitement aux chaussées et aires de stockage, offrant ainsi une bonne durabilité et minimisant par conséquent les frais d'entretien. Sa résistance, sa durabilité et sa facilité d'exécution en font la bonne solution pour les travaux routiers.

Le béton compacté au rouleau (BCR) est défini comme étant un mélange raide sans affaissement de granulats inertes, de ciment et d'eau (avec éventuellement des additions) qui est mis en place par compactage à l'aide des engins de travaux publics (rouleau compresseur vibrant, plaques vibrantes...) [1,2]. Le dosage en ciment varie de 60 à 350 kg/m<sup>3</sup> [3,4].

Le BCR s'est développé selon deux axes différents: le BCR pour barrages et ouvrages massifs, et le BCR pour routes (pavages). La formulation, les méthodes de confection et les méthodes de mise en œuvre diffèrent en fonction du type de BCR.

Anderson a relié l'utilisation du BCR aux années 1930 [5]. La première construction d'un revêtement en BCR

en Amérique du Nord date depuis 1942 [6]. Alors que la première application du BCR publiée au Canada a été construite en 1976 [7]. Après ce succès plusieurs projets ont été réalisés en utilisant le béton compacté au rouleau en pavage en Amérique, Espagne, Chine, Australie et d'autre pays [6,7].

En Afrique, le béton compacté au rouleau (BCR) reste jusqu'à maintenant une nouvelle technique et ne s'est développé que pour la construction des barrages (Photos 1 et 2) et l'utilisation de ce matériau en pavage n'est pas encore abordée.

D'autre part, la répartition et la surabondance des matériaux granulaires naturels roulés et concassés (sables et graviers), l'implantation presque uniforme des cimenteries sur les territoires, les difficultés d'approvisionnement en liants hydrocarbonés, le moindre coût et le délai de réalisation réduit du béton compacté au rouleau sont des facteurs qui nous mènent à des réflexions et à la réalisation des études afin de caractériser ce matériau et l'utiliser en techniques routières.

1. Laboratoire Génie Civil LGC, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis ENIT BP37, Tunis, Belvédère 1002 TUNISIE ;

2. ISET RADES TUNISIE ;

3. ENIT - TUNISIE

\* Correspondance de l'auteur: Tel: +21698270195, Fax: +21671442322, E-mail: zdiri\_ms@yahoo.fr



**Photos 1 et 2:** Etat du BCR frais lors de son déversement pour la préparation d'une planche d'essais (Tunisie) [20]

Des études expérimentales sont faites par Gauthier et al. [1,2], au centre de recherche interuniversitaire sur le béton à l'université Laval au Canada pour caractériser et évaluer des mélanges de BCR avec des dosages en ciment variant de 225 à 300 kg par m<sup>3</sup>. Généralement, on cherche à employer que des matériaux résistants, peu sensibles à l'eau, et susceptibles d'être compacté.

On s'intéresse dans ce travail à l'étude de la formulation et de la résistance du BCR pour pavage (application routière) ainsi qu'une évaluation économique de ce matériau avec une composition à base de granulats de gisements locaux (Tunisie). Nous cherchons par ce-ci une éventuelle utilisation de ce matériau dans les routes urbaines et rurales.

## II. AVANTAGES DU BCR

Les avantages du BCR sont résumés dans les points suivants :

- ✓ La durabilité: L'un des avantages les mieux connus du béton est sa durabilité. Cette durabilité mène à une réduction des travaux de construction et d'entretien qui entravent la circulation [1,16].
- ✓ Moins de travaux d'entretien: ERES indique en outre dans son rapport que les routes asphaltées exigent des travaux d'entretien tous les trois à cinq ans. Par contraste, on ne commence à faire des travaux d'entretien mineurs aux routes en béton qu'après 12 ans [1,16].
- ✓ Moins de déformation: Vu la souplesse du revêtement en asphalté, les véhicules de fort tonnage peuvent finir par y creuser des ornières. La poussée qu'ils exercent sur le revêtement peut aussi, à long terme, le faire plisser et lui donner l'apparence d'une tôle ondulée. La rigidité du béton empêche toutefois ce genre de déformations de se produire. D'autre part le béton ne se déforme pas sous l'effet de la chaleur [1,16].

- ✓ Une meilleure adhérence: Les études ont démontré que le béton assure, dans l'ensemble, une meilleure adhérence et une distance d'arrêt plus courte que l'asphalte, surtout lorsque le revêtement est mouillé et comporte des ornières [1,16].
- ✓ Des économies de carburant (jusqu'à 20 %): La chaussée souple fléchit davantage que la chaussée rigide sous l'effet des poids lourds. Ce qui mène à supposer qu'il faut plus de carburant, pour rouler sur une chaussée souple. La rigidité de la chaussée en béton réduit la déflexion et diminue ainsi la consommation de carburant [1,16].
- ✓ Une meilleure visibilité la nuit: La chaussée en BCR assure une meilleure visibilité la nuit. Comme le béton est de couleur claire, il réfléchit mieux la lumière des phares et des lampadaires que l'asphalte, qui est foncé. Autrement dit, il y a plus de lumière visible [1,16].

## III. INCONVENIENTS DU BCR

Les inconvénients du BCR sont résumés aussi dans les points suivants :

- ✓ La qualité et l'uni de surface des revêtements en BCR peuvent être adaptés selon les différents types d'applications visées, ils représentent le majeur inconvénient de cette technique. La texture de la surface d'un revêtement est mesurée à l'aide de l'essai de tache de sable. Cet essai détermine la profondeur moyenne de la macrotexture de la surface (ASTM E 965). Il existe également d'autres méthodes de mesure de la texture d'un revêtement telles que le laser, le texturomètre et la stéréoscopie [1,16].
- ✓ L'uni d'une chaussée est exprimé par la variation positive ou négative des élévations de la surface d'une chaussée par rapport à une surface plane. On distingue des ondulations longitudinales des ondulations

transversales. L'uni (confort au roulement) d'un revêtement en BCR a resté toujours un problème limitant relativement les applications du BCR où la vitesse des véhicules représente une caractéristique importante. L'uni de surface des revêtements en BCR est grandement influencé par les procédures de construction, par les variations du degré de compactage, par l'uniformité de la mise en place du finisseur et par les opérations de compactage [1,16].

#### IV. IDENTIFICATION DES CONSTITUANTS DU MELANGE DU BCR

La qualité et le comportement du béton compacté au rouleau (BCR) dépendent essentiellement de la pâte (ciment Portland, eau et air), du choix et du dosage des granulats convenables (sables, graviers et graves). Ces derniers représentent les principaux éléments du mélange [8]. Le dosage recherché consiste à déterminer les différentes proportions massiques ou volumiques nécessaires à l'obtention d'un béton de meilleure qualité.

##### 1. Dosage en ciment :

Généralement, les mélanges de BCR sont fabriqués avec un ciment hydraulique de teneur totale comprise entre 12 et 16% de la masse totale des constituants secs [3]. Dans notre étude, nous avons utilisé, pour des raisons économiques, un faible dosage en ciment qui varie entre 5 et 11%. Le ciment que nous avons utilisé est un ciment hydraulique du type Portland, de provenance la cimenterie Kharrouba (Nord de la Tunisie), de Classe C.P.C. II/C.L 32.5 et de masse volumique 3029 kg/m<sup>3</sup> [9].

##### 2. Qualité et dosage des granulats:

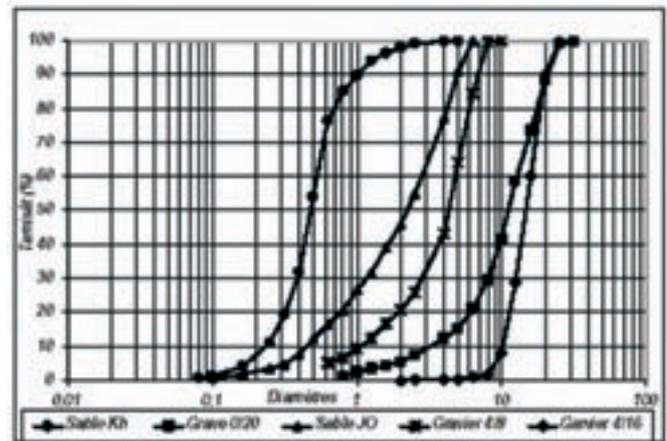
Les granulats représentent généralement pour les bétons conventionnels un pourcentage de 75% du volume total du mélange solide. Pour le BCR, le pourcentage des granulats est approximativement compris entre 75 et 85% du volume total du mélange solide [1,4,5].

Nous avons utilisé deux types de granulats: roulés pour les sables siliceux et concassés pour les sables calcaires, les graviers et les graves (Tableau 1).

La dimension maximale des granulats grossiers est généralement fixée à 20 mm pour résoudre le problème de ségrégation lors de la confection et de la mise en place du BCR [3,4,9].

La figure 1 représente les différentes courbes granulométriques des 5 granulats utilisés.

Fig. 1: Analyses granulométriques des 5 granulats



##### 3. Dosage en eau:

La plage de variation de la teneur en eau (pourcentage de la masse de l'eau contenu dans un mélange par rapport à la masse totale des solides secs) est comprise entre 4,5% et 6% [3,6]. Ce dosage en eau considéré relativement faible par rapport au béton conventionnel, permet d'obtenir un béton sec à affaissement nul. Le BCR à l'état frais est traité comme un sol humide. Pour déterminer la teneur en eau optimale et par conséquent, le dosage en eau, nous avons utilisé la méthode Proctor modifiée utilisée aussi pour les sols [9]. Dans la partie expérimentale de notre travail, la qualité d'eau utilisée est une eau potable.

#### V. FORMULATION ET IDENTIFICATION DES MELANGES:

Nous avons traité dans notre étude huit différents mélanges granulaires dont les constituants sont résumés dans le tableau 2. Le logiciel "René LCPC" nous permet de produire des mélanges secs à compacité optimale pour une maniabilité donnée, c. à. d, pour un indice de serrage représentant le phénomène de compactage par un cylindre compacteur [10,11,12,13]. Un exemple de résultats de simulation par le logiciel est présenté sur la figure 2.

Granulats	Type	Provenance	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Ap	Los Angeles	Micro-Deval
Sable Kh	Sable roulé 0/5	Khlidia <sup>(1)</sup>	2575			
Sable JO	Sable concassé 0/4	Djebel Ouest <sup>(1)</sup>	2530			
Gravier 4/8	Gravier concassé 4/8	Djebel Ouest <sup>(1)</sup>	2614	21.23	28,08	11
Gravier 4/16	Gravier concassé 4/16	Djebel El-Ressas <sup>(1)</sup>	2650	19.37	28,3	18
Gravier 0/20	Grave concassé 0/20	Djebel El-Ressas <sup>(1)</sup>	2631	25.58	26,5	12

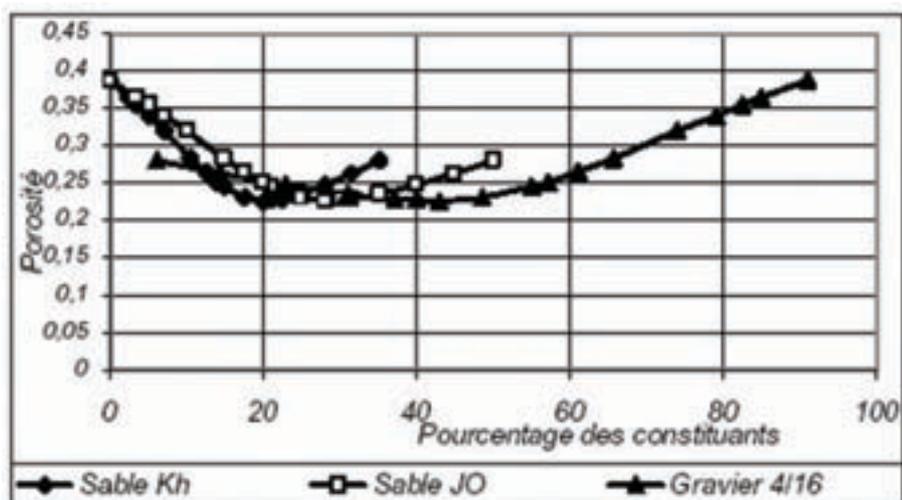
(1) Carrière au Nord de la Tunisie, Ap: Coefficient d'aplatissement et  $\rho$  : Masse volumique.

Tableau 1 : Caractéristiques des granulats utilisés

N°	Mélange
M1	Sable Kh et Grave 0/20
M2	Sable Kh, Sable JO et Grave 0/20
M3	Sable Kh, Sable JO, Gravier 4/8 et Grave 0/20
M4	Sable JO et Grave 0/20

N°	Mélange
M5	Sable Kh, Sable JO et Gravier 4/16
M6	Sable Kh et Gravier 4/16
M7	Sable Kh, Sable JO, gravier 4/8 et Gravier 4/16
M8	Sable Kh et Gravier 4/8

**Tableau 2 :** Constituants des huit mélanges utilisés



**Figure 2:** Courbes des variations de la porosité en fonction des dosages des constituants suivant le modèle "René LCPC".

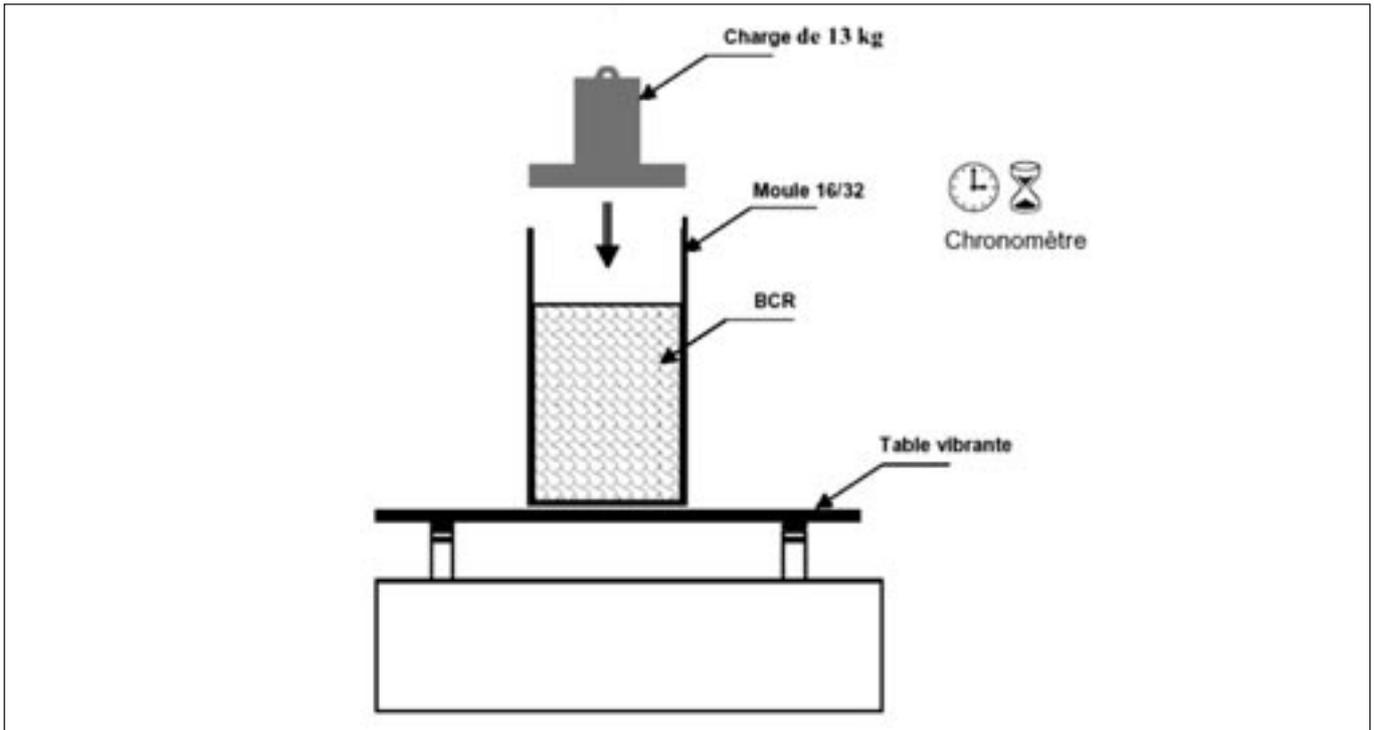
## VI. PREPARATION DES MELANGES ET CONFECTION D'EPROUVETTES

Nous avons utilisé le Modèle d'Empilement Compressible développé au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en France (LCPC) pour la

formulation des mélanges à travers le logiciel de calcul qui a été développé à cet effet: le logiciel "René LCPC" [10,13]. Ce logiciel nous a permis de déterminer les pourcentages des différents constituants des mélanges. Les résultats des huit mélanges sont les suivants (voir tableau n° 3):

N°	Mélange	ciment	Sable Kh	Sable JO	Gravier 4/8	Grave 0/20	Gravier 4/16
M1	Sable Kh et Grave 0/20	9	27,291	63,679		63,679	
M2	Sable Kh, Sable JO et Grave 0/20	9	18,396	18		45,594	
M3	Sable Kh, Sable JO, Gravier 4/8 et Grave 0/20	9	18,495	15	15	45,495	
M4	Sable JO et Grave 0/20	9		27,3		63,7	
M5	Sable Kh, Sable JO et Gravier 4/16	9	23	22,57			45,57
M6	Sable Kh et Gravier 4/16	9	36,412				54,618
M7	Sable Kh, Sable JO, gravier 4/8 et Gravier 4/16	9	18,624	18	18		36,416
M8	Sable Kh et Gravier 4/8	9	45,51		45,51		

**Tableau 3 :** Pourcentage des constituants des mélanges granulaires utilisés (dosage 250 kg/m<sup>3</sup>)



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

Le malaxage des différents constituants des mélanges a été fait dans un malaxeur à tambour basculant. Les éprouvettes, de type: Éprouvettes cylindriques 16x32, sont confectionnées dans les 30 minutes qui suivent le malaxage, suivant la technique de vibro-compaction (Fig. 3). La technique que nous avons adoptée dans ce travail est celle utilisée et décrite dans le Projet National Français BaCaRa [4].

La résistance à la compression du béton compacté au rouleau est généralement considérée comme sa plus importante propriété, elle nous donne une image globale sur la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus, la résistance du béton représente l'élément principal pour la conception et le dimensionnement des structures de pavages en BCR [8,14,15]. Les mélanges de bétons compactés au rouleau que nous avons utilisés sont caractérisés par un faible dosage en ciment et par conséquent le volume de pâte recouvrant les granulats est relativement faible. Le squelette granulaire compact devra par conséquent supporter les efforts et contribuer fortement aux résistances mécaniques auxquelles le BCR est sollicité (voir Photo 3 et 4).

## VII. CARACTERISATION MECANIQUE:

### 1. Expérimentation:

Le but du dosage des différentes proportions des matériaux secs des mélanges de BCR est d'obtenir des bonnes résistances à la compression spécifiquement

lorsque les teneurs en ciment de ces bétons sont faibles. Pour augmenter la compacité et réduire la porosité du squelette granulaire nous avons commencé par faire varier les constituants des mélanges, c'est-à-dire, en fixant le dosage en ciment, et sans avoir recours à des ajout de fines du types fumée de silice, cendres volantes, laitiers et autres matériaux fins pour leur absence et leur coût élevé en importation. Le faible dosage en ciment est choisi pour des raisons économiques. C'est pourquoi nous recommandons une plus petite quantité de pâte de ciment juste nécessaire pour lier les granulats.

Après la confection des éprouvettes selon la méthode du Projet National Français BaCaRa, le démoulage a été fait après 24 heures et les éprouvettes confectionnées ont été conservées dans l'eau, un milieu à température proche de 20°C et d'hygrométrie plus que 95%. Les essais d'écrasement par compression et de traction par fendage ont été faites sur la machine de traction-compression Modèle C70-Matest de capacité 3000KN et ce ci selon une échéance de 3, 7, 14 et 28 jours de la date de confection. Les résultats sont reportés sur les figures 4-5-6-7 et le tableau 4.

### 2. Interprétation:

L'évolution de la résistance du béton compacté au rouleau est liée à la qualité et le dosage en ciment ainsi qu'au taux d'hydratation du ciment. Plus la quantité de ciment est importante plus l'évolution est plus rapide, surtout qu'une fois mis en place le BCR doit supporter, dans la majorité des cas, à jeune âge des charges routières très importantes [17,18].

Résistance Traction		Mélange 1à8				150 kg
Age j	0	3	7	14	28	
M1	0,00	0,67	1,09	1,28	1,39	
M2	0,00	1,33	1,38	1,42	1,48	
M3	0,00	0,34	0,44	0,76	0,94	
M4	0,00	0,74	0,89	0,94	1,14	
M5	0,00	0,41	0,60	0,65	1,13	
M6	0,00	0,69	0,86	1,18	1,41	
M7	0,00	0,58	0,65	1,83	0,95	
M8	0,00	0,37	0,48	0,49	0,68	

Résistance Traction		Mélange 1à8				150 kg
Age j	0	3	7	14	28	
M1	0,00	0,86	1,47	1,54	1,63	
M2	0,00	0,89	1,03	1,09	1,24	
M3	0,00	0,75	0,96	1,07	1,09	
M4	0,00	0,97	1,03	1,17	1,29	
M5	0,00	0,90	1,15	1,16	1,48	
M6	0,00	0,80	0,96	1,19	1,28	
M7	0,00	1,10	1,27	1,30	1,43	
M8	0,00	0,59	0,69	0,72	0,79	

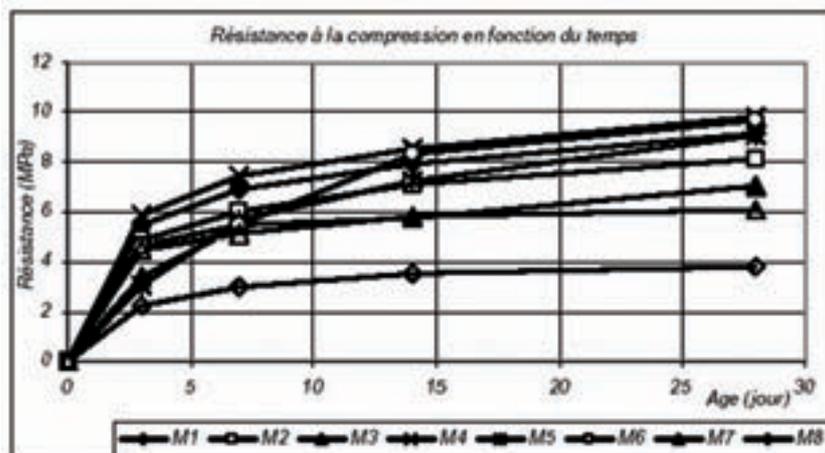
Résistance Traction		Mélange 1à8				150 kg
Age j	0	3	7	14	28	
M1	0,00	0,94	1,17	1,26	1,36	
M2	0,00	0,57	0,90	1,06	1,26	
M3	0,00	0,51	0,90	0,91	1,12	
M4	0,00	1,06	1,39	1,44	1,50	
M5	0,00	0,84	0,96	1,31	1,42	
M6	0,00	0,94	1,18	1,24	1,36	
M7	0,00	0,72	0,98	1,09	1,29	
M8	0,00	0,49	0,62	0,67	0,73	

**Tableau 4:** Résultats de l'essai de traction sur les mélanges de 1 à 8 pour trois dosages: 150,200 et 250 kg de ciment/m<sup>3</sup>. Les résistances sont exprimées en MPa

La bonne résistance à la compression de certains mélanges de BCR formulés par le modèle "René LCPC" exemple M1 et M4 (Fig. 4-5-6), peut être expliqué par le développement d'un important phénomène d'enchevêtrement et d'arrangement à l'intérieur des mélanges.

Certains mélanges de BCR formulé ainsi par le modèle comme M1, M4, M5, et M6 (Fig. 6), peuvent développer des bonnes propriétés mécaniques suffisantes pour résister aux trafics.

Généralement, les résistances mécaniques des mélanges de BCR à jeunes âges et après 28 jours sont nettement supérieures à celles d'un mélange de béton conventionnel pour des faibles teneurs en ciment. Tel qu'illustré à la figure 6, les mélanges M4 et M6 possèdent, des résistances à la compression qui peuvent dépasser 18 MPa.



**Figure 4:** Variation des résistances à la compression des mélanges de 1 à 8 dosage 150 kg de ciment

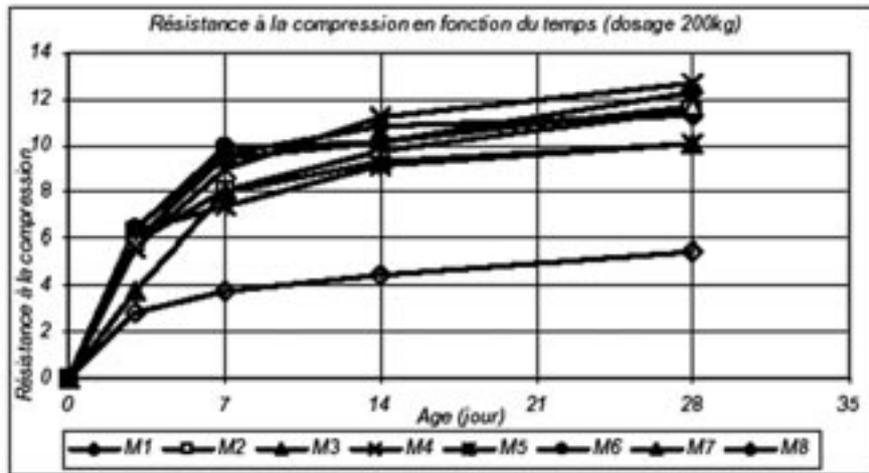


Figure 5: Variation des résistances à la compression des mélanges de 1 à 8, dosage 200 kg de ciment

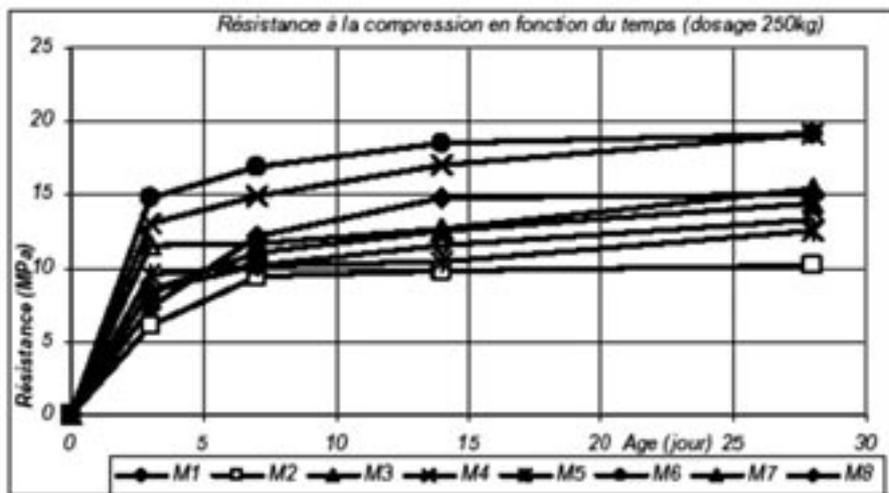


Figure 6: Variation des résistances à la compression des mélanges de 1 à 8, dosage 250 kg de ciment

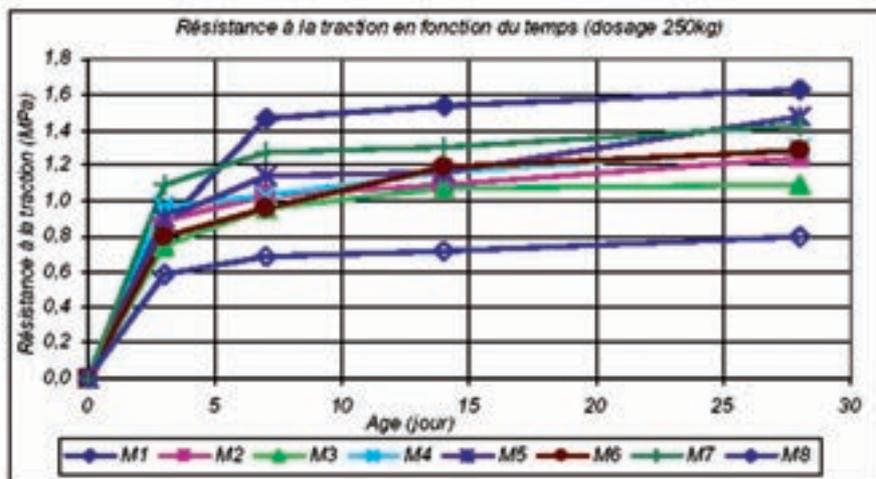


Figure 7: Variation des résistances à la traction des mélanges de 1 à 8, dosage 250 kg de ciment

## VIII. EVALUATION ECONOMIQUE

Nous traitons dans cette partie de notre travail une évaluation économique de deux variantes différentes de structures de chaussées: (Fig. 8 et 9) :

- **Variante N° I:** structure conventionnel de Type: couche de fondation et couche de base en grave non traité avec une couche de roulement en béton bitumineux.

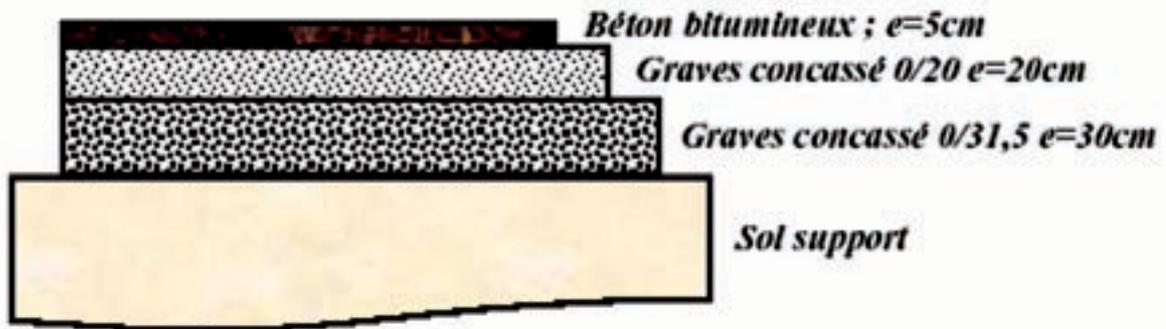


Figure 8: Structure conventionnel : Variante I

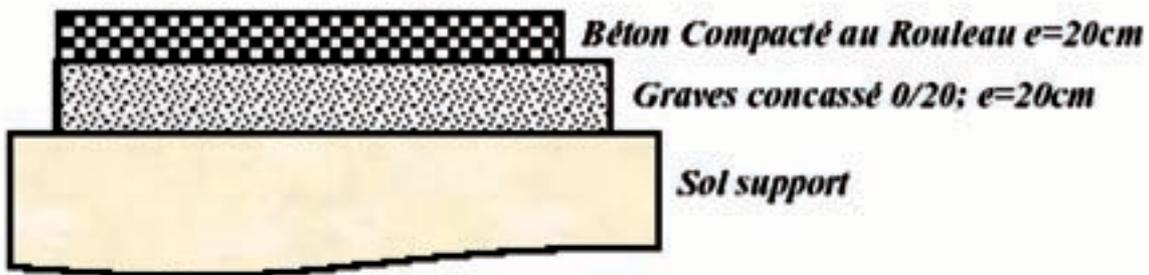


Figure 9: Structure Type BCR sur couche de base: Variante II

### Références bibliographiques

- [1] Association Béton Québec (ABQ), "Conception et réalisation de revêtements en béton compacté au rouleau au Québec".
- [2] P. Gauthier, J. Marchand, L. Boisvert, E. Ouellet, M. PIGEON, "Conception, formulation, production et mise en oeuvre de revêtement en béton compacté au rouleau", formation continue GCI-A2455, Centre de recherche interuniversitaire sur le béton, Département de génie civil, Université Laval, 2000, pagination multiple.
- [3] ACI Committee 207, "Roller-Compacted Mass Concrete", ACI 207.5R-99, ACI Committee 207 Report, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999.
- [4] Projet National BaCaRa 1988-1995. "Le béton compacté au rouleau". Presse ENPC 1996 200 pages.
- [5] R. Anderson, Roller Compacted pavements- Physical Properties, CBI report No. Ra 3:86, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Sweden 1986.

- La couche de base: est en grave concassée 0/20.
  - La couche de fondation: est en grave concassée 0/31,5.
  - La couche de roulement: est en Béton Bitumineux (BB) 0/14.
- **Variante N° II:** structure de chaussées en BCR sur une couche de base en graves non traité reposant elle même sur le sol support.
- La couche de base/ fondation: est en grave concassée 0/20.

#### 1. Données de bases:

- Le trafic: Nous choisissons un trafic moyen de classe T2 selon le catalogue des structures neuves édité par le Ministère de l'Équipement et de l'Habitat et de l'Aménagement de Territoire (Tunisie), [19], un trafic considéré comme le plus fréquent sur le réseau routier tunisien.
- Climat et hydrologie: la Tunisie est subdivisée en trois zones A, B et C selon la pluviométrie annuelle, nous traitons les trois cas possible dans le pays.



**Photos 3 et 4:** Mise en œuvre du BCR frais (étalage et compactage) pour la préparation d'une planche d'essais (Tunisie) ([20])

### Références bibliographiques

- [6] ACI 325.10R-95, State-of-the-art report on roller-compacted concrete pavements, ACI manual of concrete Practice, ACI, USA, 2000.
- [7] R. Piggot, Roller compacted concrete for heavy-duty pavement: Past performance, Recent Projects and Recommended Construction Methods, TRR 1062, National Research council, Washington, DC, 1986, pp 7 -12
- [8] A. M. Neville, "Propriétés des bétons", Centre de recherche interuniversitaire sur le béton, Laval, Eyrolles 2000, pages 255-296.
- [9] M. Zdiri, J. Neji, M. BenOuedou, M.R. Elouni, "Formulation et simulation des bétons compacté au rouleau: applications aux matériaux de gisement locaux" Cmedimat Algérie Déc.2005, 8 pages, à paraître.
- [10] T. Sedran, F. De Larrard, "Manuel d'utilisation de René-LCPC Version 6.1d: logiciel d'optimisation granulaire".
- [11] N. Pouliot, T. Sedran, F. De Larrard, J. Marchand, "Prédiction de la compacité des bétons compactés au rouleau à l'aide d'un modèle d'empilement granulaire" 2001.
- [12] T. Sedran, F. De Larrard, D. Angot, "Prévision de la compacité de mélanges granulaires par le modèle de suspension solide-Partie1: Fondements théoriques et étalonnage du modèle", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 1994, vol. 194, pp. 59-70.
- [13] T. Sedran, F. De Larrard, D. Angot, "Prévision de la compacité de mélanges granulaires par le modèle de suspension solide-Partie2: Validation-Cas des mélanges confinés", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 1994, vol. 194, pp. 71-86.

- A : 6 mois humides et 6 mois secs  
 B : 4 mois humides et 8 mois secs  
 C : 2 mois humides et 10 mois secs

- Le sol support: Nous considérons que la structure repose sur un sol de bonne qualité.

L'identification a été faite sur la base des essais CBR et en utilisant le même catalogue [19], notre sol est classé S3.

### 2. Dimensionnement:

Pour la Variante N° I: D'après [19], nous obtenons :

- 5 cm Béton Bitumineux (BB) en couche de roulement
- 20 cm de grave concassée 0/20 en couche de base
- 30 cm de grave concassée 0/31,5 en couche de fondation.

Pour la Variante N° II: Nous employons les méthodes et les logiciels de dimensionnement développés dans la [16] qui nous donnent les épaisseurs résumées dans le tableau 5.

Ouvrages	Dimensions
Les trottoirs	100 mm –125 mm
Les allées	100 mm –125 mm
Les parkings	100 mm –125 mm
Les rues, Routes /Access	150 mm –200 mm
Les Autoroutes secondaires	150 mm –200 mm
Les Autoroutes urbaines	200 mm –250 mm
Les Autoroutes de liaisons	250 mm

**Tableau 5:** Epaisseurs des ouvrages en BCR [16].

Couche	Matériaux	Prix unitaire /m <sup>3</sup> (en euros)	Quantité/m <sup>2</sup>	Sous total (en euros)
Roulement/de surface	Béton bitumineux	120,000	0,05	6
Base	Graves concassé 0/20	17,000	0,20	3,40
Fondation	Graves concassé 0/31,5	15,000	0,30	4,50
				13,9
Coef de règlement K				1,23
Total				17,097

**Tableau 6:** Sous détails de prix de la variante N° I

Couche	Matériaux	Prix unitaire /m <sup>3</sup> (en euros)	Quantité/m <sup>2</sup>	Sous total (en euros)
Roulement/de surface	Béton Compacté au Rouleau	55,000	0,15	8,25
Base/Fondation	Graves concassé 0/20	17,000	0,20	3,40
				11,65
Coef de règlement K				1,23
Total				14,33

**Tableau 7:** Sous détails de prix de la variante N° II (en BCR)

### Références bibliographiques

- [14] F. De Larrard, P. Tondat, "sur la contribution de la topologie du squelette granulaire à la résistance en compression du béton", *Materials and structures*, RILEM, 1993, Vol. 26, pp 505-516
- [15] F. De Larrard, "Structures granulaires et formulation des bétons", *études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées* 2000.
- [16] Canadian Portland Cement Association, "Thickness design for concrete highway and street pavements", Canadian Edition/metric, *Engineering Bulletin*.
- [17] W. Baalbaki, "Béton à haute performance à matrice constante: influence de la nature des granulats sur le comportement mécanique", *mémoire de maîtrise és science appliquées*, Université de Sherbrooke, 1990.
- [18] F. A. Oluokun, "Prediction of concrete tensile strength from its compressive strength": Evaluation of existing relations for normal weight concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 88, N°3, Mai-Juin.
- [19] Ministère de l'Équipement et de l'Habitat et de l'Aménagement de Territoire (Tunisie): "catalogue de dimensionnement des structures chaussées neuves" 1984.
- [20] M. Belaïd, "Photo sur le barrage Rmil, Tunisie" Communication personnelle.

Dans notre étude comparative nous prenons un exemple représentatif de chaussée, et les résultats sont présentés sur les tableaux 6 et 7.

### 3. Sous détail de prix:(Voir Tableau 6 et 7)

### 4. Interprétation:

L'étude économique à travers la préparation des sous détail de prix pour les deux variantes différentes montre clairement la différence dans le prix de revient des deux propositions.

La variante N° II dont laquelle nous utilisons le BCR en couche de roulement se distingue par son prix plus bas par rapport à la variante traditionnelle dont laquelle nous utilisons le Béton bitumineux en couche de roulement.

Le rapport entre le prix de la variante N° I et le prix de la variante N° II, est de 1,19 et ont peut gagner par conséquent 20% par l'utilisation de ce matériaux.

## CONCLUSION

- Les avantages précités, tel que la durabilité (moins d'entretien) et la résistance des Bétons Compactés au Rouleau, appuyés aussi par des études de formulation, de résistance et d'une évaluation économique montre que le BCR est un matériau très convenable et rentable pour la construction et l'entretien des chaussées en milieux urbains et rurales.
- L'utilisation du logiciel "René LCPC" est une méthode fiable pour la formulation de mélange optimal de BCR à base de matériaux de gisements locaux avec un faible

dosage en ciment car il nous a facilité la détermination de la formulation et nous a permis de réduire énormément le nombre d'essai de façon à réaliser qu'un nombre limité de gâché correspondant à la valeur de la compacité optimale.

- Le fait de réduire le dosage en ciment dans la fabrication du béton compacté au rouleau de la marge (12%-16%) à la marge (5%-11%), encourage les décideurs à choisir cette variante pour la construction des chaussées rigides surtout lorsqu'il s'agit des moyens économiques réduits.

- La résistance mécanique du BCR est fortement influencée par la faible quantité de pâte qui entoure les granulats et il reste aux gros granulats serrés du mélange de BCR à supporter les efforts en donnant lieu à des excellentes résistances mécaniques comparé aux cas des bétons conventionnels.

- L'étude économique, suite à l'établissement des sous détails de prix pour les deux variantes différentes, explique la rentabilité de l'utilisation de la technique de BCR dans les travaux routiers surtout dans le cas de la construction et l'entretien des routes rurales.