

UTILISATION DU CIMENT DANS LES CHAUSSEES EN TUNISIE

Kaouther BEN MACHTA , Abdelmonem MASMOUDI* Sami.YAICH ***

** Maître technologue ** Technologue ISET de SFAX*

RESUME : Ce projet vise à valider l'utilisation du béton de ciment pour les routes à faible trafic par la réalisation d'une planche expérimentale. Une composition de béton routier à partir de matériaux provenant des carrières Oueslatia, Hawareb, et Sfax a été développée en premier volet. Des essais de contrôle sur le béton ont été effectués en deuxième volet. Un dispositif expérimental de mesure des frottements sur la chaussée a permis d'apprécier l'aspect rugueux de la chaussée en béton.

ABSTRACT : This project aims at validating the use of the cement concrete in roads with low traffic through carrying out an experimental board. The first stage was to develop a special composition of road concrete consisting of materials coming from Weslatia, Hwareb and Sfax quarries. The second stage was to carry out control tests on concrete. An experimental mechanism of friction measurement on the road allowed assessing the rough aspect of the concrete road.

ملخص : تهدف هذه الدراسة لتثبيت استعمال الخرسانة الإسمنتية في الطرقات ذات حركة السير الخفيفة باستعمال نموذج تطبيقي، تم إيجاد تركيبة الخرسانة الملائمة باستعمال مواد أولية من مقاطع الوسلاتية و الهوارب و صفاقس في مرحلة أولى ثم في مرحلة ثانية تم إجراء تجارب على الخرسانة الإسمنتية مثل قياس الإحتكاك باستعمال معدات خاصة و مبتكرة لهذا الغرض. و قد أدت النتائج إلى مزيد التأكيد من ميزة الطرقات المبنية بالخرسانة الإسمنتية

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

1- INTRODUCTION

Un intérêt croissant pour les routes en béton se développe dans le monde entier, tant pour la réalisation des grands axes routiers et autoroutiers que pour les voiries urbaines ou pour des applications plus modestes, mais très nombreuses, telles que les routes secondaires à faible trafic et la voirie rurale, forestière ou de lotissement. Les caractéristiques mécaniques du béton de ciment (grande rigidité, forte résistance vis-à-vis de diverses sollicitations, etc.) permettent d'apporter des simplifications substantielles au niveau de la conception de la structure. Les économies observées suite à une étude économique favorable à moyen et long terme laisse développer une étude expérimentale avec l'élaboration d'une planche expérimentale pour étudier le comportement réel de la chaussée en béton de ciment.

2- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Des chaussées en béton sont construites depuis plus d'un siècle. Tous les pays industrialisés ont des chaussées ayant largement dépassé la cinquantaine d'années. Il ne faut pas en conclure que les techniques sont figées : c'est un domaine où l'innovation est extrêmement active et où les échanges d'informations sont importants, au plan national comme international.

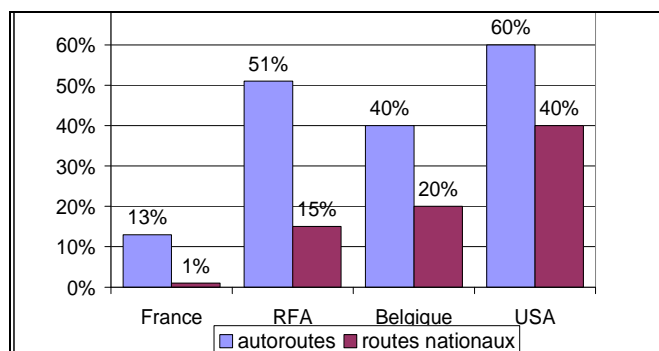


Figure 1 : Part du béton dans les réseaux routiers

2.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES CHAUSSEES

Ce qui différencie une chaussée en béton de tout autre type de structure est d'une part son aptitude à mieux répartir la charge imposée par le trafic et d'autre part, du fait du retrait du béton, d'être constitué de dalles quasi indépendantes. Une chaussée en béton réduit de façon très sensible les contraintes de compression transmises au sol support ou à la plate forme de chaussée. L'amortissement des contraintes verticales est compensé par l'apparition dans la dalle de contraintes de compression dont la valeur est très inférieure à la résistance à la compression du matériau, mais surtout des efforts de traction par flexion relativement élevés qui se manifestent à la base de la dalle.

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

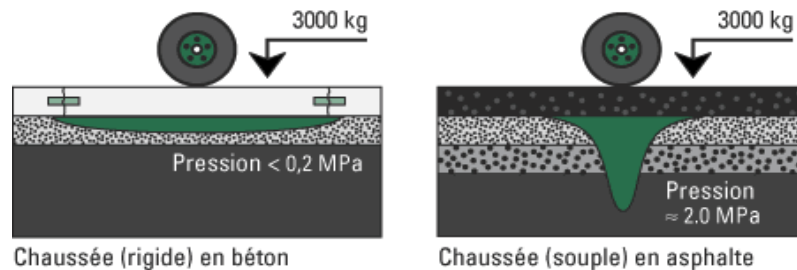


Schéma 1 : Transmission et répartition des contraintes

2.2 SPECIFICATIONS REQUISES POUR LE BETON ROUTIER

▪ *Ciment*

La construction d'une route en béton ne requiert pas de ciments spéciaux. Des ciments normalisés de classe 32.5 et 42.5 sont utilisés à raison de 300 à 350 Kg par mètre cube.

▪ *Granulats et sables*

Le béton routier s'accommode assez bien de différents types de granulats ou de sables, pour autant que ces matériaux répondent à certains critères techniques concernant notamment la granularité, la forme et la propreté. Pour la voirie à faible trafic, la qualité des granulats est moins contraignante que pour les routes. On admet des matériaux de coefficient $LA \leq 40$, une granularité continue (0/25 mm par exemple) est favorable à l'obtention d'une bonne ouvrabilité et d'une bonne compacité du béton. La propreté du sable est une caractéristique importante pour la durabilité du béton. Il faut veiller à ce qu'il soit exempt de matières organiques.

▪ *Dosage en eau*

Le dosage en eau d'un béton est évalué par le rapport E/C. Pour un béton routier, ce rapport varie de 0.4 à 0.5 tout en assurant un affaissement de 5 à 10 cm.

▪ *Adjuvant*

L'incorporation d'un adjuvant fluidifiant dans une proportion entre 0.5 et 2% du poids du ciment dans la bétonnière augmente considérablement sa maniabilité et facilite sa mise en œuvre.

▪ *Résistance mécanique*

L'essai de fendage est utilisé pour caractériser le béton destiné aux couches de roulement. La norme NF P 98-170 prévoit cinq classes de résistance. Le tableau suivant précise les conditions de choix en fonction du trafic

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

Classe de résistance	Résistance caractéristique à 28 jours	Résistance moyenne à viser lors de l'étude (MPa)		Destination
	Fendage	Dispersion normale	normale réduite	
6	3.3	4	3.8	Chaussées aéronautiques
5	2.7	3.3	3.1	Couche de roulement pour trafic $\geq T3$
4	2.4	2.9	2.7	Couche de roulement pour trafic $< T3$; pour un trafic supérieur , il faut prévoir une couche de surface
3	2	2.4	2.3	
2	1.7	2.1	2	Pas applicable en couche de roulement,
1	1.3	1.6	1.5	

Tableau 1 Classe de résistance du béton pour les couches de roulement

3 EXPERIMENTATION

Une étude menée à l'ISET de Sfax consiste à l'élaboration d'une planche expérimentale en vraie grandeur. Dans un premier temps nous avons recensé manuellement le trafic sur le tronçon étudié et ce dans le but d'estimer la classe du trafic. Une étude du sol support est également faite et par conséquent un dimensionnement a été proposé pour la chaussée. Dans un deuxième temps une étude d'identification des matériaux utilisés est faite pour passer à l'étude de composition.

3-1 ETUDE DU TRAFIC

Afin de déterminer le trafic réel sur le tronçon de route, objet de la planche expérimentale, il a été procédé à un comptage manuel qui consiste à compter le nombre de passage des véhicules sur ce tronçon. Ce trafic est par la suite converti en nombre d'essieux standard de 13 tonnes. Le trafic cumulé « N » exprimé en nombre cumulé d'essieux standard de 13t, est déterminé par l'expression : $N = 365 \cdot T \cdot C \cdot A$

Le facteur de cumul C est déterminé à partir des hypothèses fixées par le projeteur, d'une part, la période de service et d'autre part, le taux annuel de croissance du trafic.

En désignant par **n** la période de service et par **r** le taux annuel de croissance du trafic, l'expression est donnée par : $C = [(1 + r)^n - 1] / r$.
Pour une période de service de **30 ans** et un taux annuel de croissance du trafic de **2 %** $C = 41$.

Concernant cette planche d'essai il s'agit d'une structure rigide et un trafic faible $T=25 \text{ PL/j/v}$ donc $A=0.8$ ce qui donne $N = 3 \cdot 10^5$. La valeur du trafic cumulé permet de classer le trafic pour le tronçon donné en classe **T3**.

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

3-2 ETUDE DU SOL SUPPORT

Dans le but d'identifier les différentes couches constituant le sol, une fouille de un mètre de profondeur a été réalisée. Des échantillons prélevés ont permis de déterminer certaines caractéristiques du sol support.

Reconstitution du sol :

Pour réaliser les essais sur le sol support, nous devons reconstituer le sol pour retrouver les mêmes caractéristiques en place. La masse volumique en place, déterminée à partir de l'essai densitomètre à membrane, est $\rho=2.03 \text{ g/cm}^3$. Le matériau est compacté à teneur en eau réelle et à énergies de compactage différentes. On mesure la masse volumique pour chaque énergie de compactage. Ceci a permis de déterminer l'énergie de compactage correspondante à la masse volumique en place, soit 11 coups par couche.

Détermination de la classe du sol support :

La classe du sol est déterminée à partir de l'indice de portance CBR. L'indice de portance immédiat et l'indice de portance saturé ont permis de déduire, en tenant compte de la région de sfax, un CBR = 20,84. Ce sol est de classe S4 (très peu déformable).

3-3 DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE:

Les paramètres d'entrée indispensables au dimensionnement d'une structure de chaussée (rigide dans ce cas) sont relatifs :

- à l'action du trafic.
- à la portance du sol support ou plate-forme de la chaussée.
- aux caractéristiques des matériaux qui constituent la chaussée.

Le choix de ces différents paramètres et notamment l'évolution du trafic, conditionneront en grande partie le comportement futur de la chaussée.

Le dimensionnement de la couche de roulement en béton de ciment est déterminé par l'abaque qui donne l'épaisseur de la couche de roulement en fonction du trafic cumulé N et de la plate-forme.

La classe de trafic T3 permet de déduire pour une portance de sol S4 une dalle d'épaisseur 17cm et une couche de forme en grave concassé de 30 cm.

3-4 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES POUR LA COUCHE DE ROULEMENT

Les matériaux utilisés sont les suivants :

- sable d'oued 0/5 provenance « Oueslatia »
- sable concassé 2/4 provenance « Sfax »
- gravier 4/12 provenance « Hwareb »
- ciment portland I32.5 cimenterie de Gabes

Les résultats des essais d'identification sont présentés dans le tableau 2.

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

Désignation	MVapp. (g/cm ³)	MV abs (g /cm ³)	ES (%)	M	VB	LA	Absorpt pn	MDE
Ciment portland 122.5	1.0	3.0						
Sable d'oued 0/5	1.6	2.6	78	2.	0.73			
Sable concassé 2/4	1.2	2.7	98	5.			1.7%	
Gravier 4/12	1.4	2.7				21	1.8%	32

Tableau 2 : Résultats des essais d'identification

La classe du ciment a été vérifiée et l'essai de consistance a donné un rapport E/C=0.25

3-5 ETUDE DE COMPOSITION

La méthode de composition que nous avons adopté est connue sous le nom méthode de 1 mètre cube. Cette méthode est basée sur l'équation

$$V_{\text{ciment}} + V_{\text{sable}} + V_{\text{gravier}} + V_{\text{eau}} + V_{\text{adj}} + V_{\text{air}} = 1000 \quad (I)$$

D'après les résultats d'optimisation, un mètre cube de béton de ciment comporte un mélange de sables :

- 30 % de sable d'oued 0/5.
- 70% de sable concassé 2/4.

Le béton qu'on envisage de composer doit être plastique, ce qui se traduit par un affaissement au cône de 5 à 10 cm.

Pour avoir un béton plus ou moins résistant, on adopte généralement un rapport E/C = 0,45. Ce rapport doit être vérifié pendant le malaxage de façon à avoir l'affaissement indiqué ci -dessus. Six compositions ont été réalisées pour retenir finalement la composition suivante:

ELEMENT	Unités	Dosages pour 1 m ³
Ciment	Kg	330
Sable 0/5	Kg	334
Sable 2/4	Kg	780
Gravier 4/12	Kg	747
Adjuvant	Kg	3.3
Eau	Litres	148.5
Ft28=2.9 MPa Affaissement =7cm	Densité =2.47 G/S=0.67 et E/C=0.45	

Le béton retenu présente une résistance par fendage selon NFP 18-408 de 2.9 MPa. D'après le tableau 1, il est de classe de résistance 5.

Des essais de convenance avant le coulage de la planche d'essai ont été réalisés à la centrale de la société SUD BETON.

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

4 REALISATION DE LA PLANCHE EXPERIMENTALE

La planche expérimentale a pour dimensions 8.00 m de longueur et 5.00 m de largeur. D'après le dimensionnement de la structure nous avons décaissé une épaisseur totale de 17 cm. Des travaux de piquetage ont permis de contrôler le niveau de décaissement dans la couche de forme existante (ancienne structure). La pente longitudinale a été conservée dans le but d'assurer la continuation de l'évacuation des eaux pluviales.



Photo n° 1 : Préparation de la plate forme



Photo n° 2 : Coffrage de la planche d'essai

Une jauge de déplacement a été placée avant le coulage du béton à mi épaisseur et au milieu longitudinal et transversal de la planche au niveau du joint.



Photo n° 3 : Placement de la jauge

Pour réaliser le bétonnage de la couche de roulement dans de bonnes conditions, des dispositions ont été prises avant et pendant l'exécution des travaux. Sept mètres cube de béton fournis par la société SUD BETON par un camion toupie à été coulé sur la couche de forme après arrosage de celle-ci. Le béton est étalé manuellement par deux ouvriers jusqu'à l'épaisseur nécessaire. Le béton est vibré en profondeur par une aiguille vibrante ensuite deux autres ouvriers ont fait vibrer superficiellement le béton à l'aide d'une planche donnant à la surface un aspect rugueux (en remplacement de la règle vibrante).

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26



Photo n° 4: Vibration du béton



Photo n° 5: Joint de retrait finie

Le lendemain du bétonnage, le béton a été recouvert par un produit de cure SIKA. Un joint de retrait de 4mm d'ouverture et de 4 cm de profondeur est réalisé avec une meule à disque. Ce joint est rempli par la suite avec un mastic bitumineux souple.

5 ESSAIS REALISES SUR LA PLANCHE

5-1 CONTROLE DU RETRAIT

Le retrait de la dalle à jeune âge est contrôlé par la jauge noyée dans le béton au niveau du joint. La jauge est reliée à un pont extensométrique de type P3500. La jauge à trois fils de résistance 300 Ohms présente un facteur jauge de 2,07 indiqué par le constructeur.



Photo n° 6 : Pont extensométrique du type P3500.

Des mesures des retraits ont été prélevées au micromètre avec le pont d'extensométrie en utilisant le montage $\frac{1}{4}$ de pont. Les mesures des retraits au niveau du joint sont illustrées sur la courbe suivante :

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

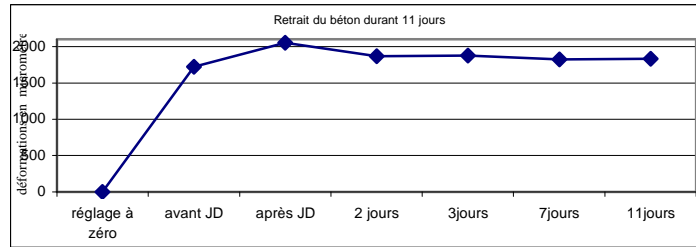


Figure n°2 : Retrait du béton

5-2 ESSAI DE FROTTEMENT

Pour déterminer le coefficient de frottement roue/chaussée nous avons réalisé un montage expérimental composé d'une roue fixée à un axe horizontal. Différentes charges sont appliquées sur le montage. Pour avoir le vrai glissement de la roue chargée, le moment provoqué par la force exercée à été neutralisé. La force horizontale exercée sur le montage est assurée par la poussée d'une voiture. Un capteur force 10KN est placé entre le montage et la voiture. Le capteur est relié à une chaîne d'acquisition qui affiche en temps réel la valeur de la force horizontale exercée provoquant le glissement de la roue chargée (photo 7 et photo 8).



Photo n° 7: Capteur force 10 KN



Photo n° 8: mesure en temps réel

Ces essais ont été réalisés sur différents types de revêtements à surfaces sèches, puis mouillées. Les résultats sont illustrés par les courbes suivantes.

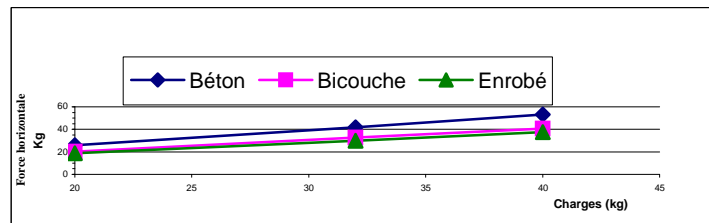


Figure n°3 : Coefficient de frottement surface sèche

$$f_{\text{roue /béton}} = 1.3$$

$$f_{\text{roue /bicouche}} = 1.02$$

$$f_{\text{roue /enrobé}} = 0.93$$

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26

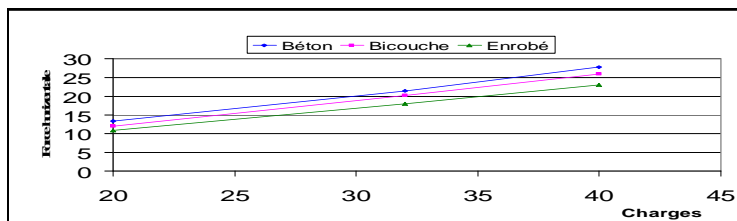


Figure n°4 : Coefficient de frottement surface mouillée

$$f_{\text{roue/béton}} = 0.66 \quad f_{\text{roue/bicouche}} = 0.63 \quad f_{\text{roue/enrobé}} = 0.56$$

5-3 SUIVI DANS LE TEMPS

Pour étudier la durabilité du béton, douze éprouvettes normalisées 16 x 32 sont prélevées. Ces éprouvettes sont placées dans des milieux différents ; trois éprouvettes dans l'huile de vidange, trois dans l'eau de la nappe, trois dans un milieu gazeux et trois éprouvettes de référence.

Ceci consiste à étudier de la résistance du béton au cours du temps.

L'écrasement de ces éprouvettes qui sera réalisé dans un deuxième volet de l'étude permet de visualiser l'effet des milieux agressifs cités sur le béton.

6 CONCLUSION

L'utilisation du béton de ciment dans les routes en Tunisie est un projet ambitieux. La planche expérimentale que nous avons réalisée à l'ISET de Sfax a prouvé par la pratique que la technique de béton de ciment dans les routes est possible, elle n'est pas compliquée et elle peut remplacer le béton du bitume qui devient de plus en plus cher.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Les routes en béton Cim béton
- [2] Voirie à faible trafic en béton de ciment guide du prescripteur Cim beton
- [3] Les chaussées en béton guide technique Laboratoire central des ponts et chaussées Document publié sous le numéro 502 708 de 1997
- [4] ERES consultant, Review of life-Cycle Costing Analysis Procedures Ontario CANADA 1998

* article « Etude économique des chaussées en béton de ciment » les mêmes auteurs voir N° 26