

ETUDE ECONOMIQUE DES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT

Kaouther Machta, Abdelmonem MASMOUDI, Sami YAICH

ISSET de Sfax

Jemel ZRIG, Kamel SAIDANE

Direction Régionale de l'Equipement, de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire - Sfax

RESUME : L'objectif de ce travail est d'examiner l'opportunité de l'utilisation du béton hydraulique dans les chaussées en Tunisie. Dans un premier volet une évaluation des prix des deux liants ciment et bitume a été réalisée sur la dernière décennie. Dans un deuxième volet une comparaison a été faite entre les techniques de conception des chaussées en béton bitumineux et en béton de ciment à paramètres égaux.

La projection de nouvelles techniques (structure rigide) et le bilan économique favorable à moyen et long terme laisse développer une étude expérimentale pour étudier le comportement réel du produit

ABSTRACT : The objective of this study is to consider the advantages of using concrete in road's construction in Tunisia. In the first part the prices of the cement and bitumen over the last decade have been assessed. In the second part a comparison on equal parameters has been made between the techniques of bituminous concrete and hydraulic concrete. The projections of new techniques such as rigid structure and the favorable economical balance in medium and long terms let us develop an experimental study focusing on the behavior of this real product

ملخص : يهدف هذا البحث لدراسة جدوى استعمال الخرسانة الهيدروليكية و الخرسانة الإسفلتية في الطرقات بالبلاد التونسية. في مرحلة أولى تم دراسة أسعار المواد الأولية خلال العشرية الأخيرة من إسمنت و إسفلت. و في مرحلة ثانية تمت المقارنة بين الخرسانة الهيدروليكية و الخرسانة الإسفلتية على مستوى تقنيات الإنجاز. و قد مكنت الموازنة الاقتصادية الإيجابية على المدى البعيد ظهور تقنيات جديدة من طرقات صلبة من إجراء دراسة تطبيقية لمعرفة تفاعلات المنتج الجديد.

1- INTRODUCTION

Les techniques routières en Tunisie comme au pays du grand Maghreb font appel exclusivement au bitume comme liant, notamment pour les axes importants des réseaux nationaux. Le bilan des techniques faisant appel au ciment est très faible, les seules expériences utilisant les techniques de béton de ciment se limitent à la réalisation de quelques pistes aéronautiques civils et militaires et quelques rues comme l'avenue Mohamed V à Tunis. Il ressort des enquêtes menées, que le coût du ciment est très compétitif par rapport à celui du bitume à long terme.

Dans cette étude nous avons essayé de calculer le prix de réalisation d'une chaussée en béton de ciment et de la comparer à une chaussée réalisée en béton bitumineux. Le choix de la structure de la chaussée est tributaire d'abord de la considération des contraintes techniques, mais il doit aussi prendre en compte les contraintes économiques attachées au choix de la structure. Ces contraintes concernent :

- les dépenses consenties pour la construction de la route
- les budgets d'entretien ultérieurs
- les répercussions économiques que pourront avoir ces opérations d'entretien sur la qualité de service de l'infrastructure.

2- EVOLUTION DU PRIX DU CIMENT ET DU BITUME

Une étude faite sur l'évolution des prix des liants utilisés dans les deux techniques de construction routière sur les cinq dernières années est donnée dans le tableau suivant.

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2005
Prix du ciment* (HT) en DT	52,280	53,645	55,548	61,333	61,333	80,000
Prix du bitume* (HT) en DT	247,027	247,027	386,024	386,024	386,024	

* Prix relevés de la revue « Tunisie économique »

On remarque que le prix du ciment a augmenté de 9,055 DT sur ces cinq dernières années ce qui correspond à une augmentation de 10% par contre le prix du bitume pur a augmenté de 130 DT ce qui fait 40 % d'augmentation.

3-HYPOTHESES DE CALCUL

Pour l'étude comparative, on considère une route supportant un trafic T_3 (50-150 PL/j) construite sur un sol support de classe S_4 ce qui correspond à la plate forme PF_3 . La route est de 5m de largeur, ce qui donne :

- pour la structure 1 en chaussée rigide :

- une couche de forme en grave concassée 0/20 de 20 cm d'épaisseur
- une couche de roulement en béton de ciment non goujonnée de 17 cm d'épaisseur
- pour la structure 2 en chaussée souple
 - une couche de fondation en tous venant 0/ 31,5 de 20 cm d'épaisseur
 - une couche de base en grave concassée 0/20 de 15 cm d'épaisseur
 - une couche de roulement en béton bitumineux 0/14 de 6cm d'épaisseur

Le prix du ciment hors taxes est celui de la cimenterie de Gabès à 67.333DT la tonne (année 2004), le prix hors taxes du bitume de l'usine Exxon- mobil de Sfax à 386,024 DT la tonne. Les autres matériaux ainsi que la main d'œuvre, le transport des matériaux ont été prix à partir du flash UTICA tiré de la revue professionnelle Tunisie économique septembre 2003.

Pour le matériel nous avons considéré un taux horaire de location en vigueur. Ce taux comprend l'amortissement du matériel, à défaut de la machine à coffrage glissant nous l'avons aligné au prix du finisseur. Pour le rendement de la main d'oeuvre et du matériel nous avons estimé une moyenne de rendement donnée par des entreprises ayant leur référence dans le domaine routier. Les calculs sont conduits au m² puis rapportés au Km.

4- CALCUL DU PRIX DE REVIENT DE LA STRUCTURE 1

4-1. LA COUCHE DE ROULEMENT EN BETON DE CIMENT

□ Matériaux :

Selon l'étude de composition du béton, menée au laboratoire, un mètre cube de béton de revêtement routier se compose de :

- 330 Kg de ciment
- 334,4 Kg de sable 0/5
- 780,25 Kg de sable 2/4
- 764,6 Kg de gravier 4/12
- 148,5 l d'eau
- 3,3 kg d'adjuvant plastifiant
- matériel
 - Une centrale à béton pour la fabrication du béton
 - 5 camions à toupie pour le transport du béton depuis la centrale au chantier
 - la machine à coffrage glissant
- main d'œuvres
 - 5 mains d'œuvres sur chantier

Ceci nous donne un prix de 10,768 DT le m² soit 53 840 DT pour 1 Km linéaire

4-2. LA COUCHE DE FORME EN GRAVE CONCASSEE

- matériaux :
 - Grave concassée 0/20 à raison de 20 cm d'épaisseur, soit 1000 m³ pour 1 Km linéaire.
- matériel :
 - 3 camions pour le transport
 - 1 niveleuse
 - 3 camions pour le transport
 - 1 compacteur à pneu
 - 1 cylindre à jante lisse
 - 1 camion arroseur de 5000L

Ceci nous donne un prix de 4,956 DT le m² soit 24780 DT pour 1Km linéaire
Soit un coût total structure 1 15,72 3 DT le m² et 78618DT/km

5- CALCUL DE PRIX DE REVIENT STRUCTURE 2

5-1 COUCHE DE ROULEMENT EN BETON BITUMINEUX

- matériaux

On considère un béton bitumineux semi grenu 0/14 formulé à partir de l'essai Marshall :

 - 450 Kg de sable 0/4
 - 150 Kg de gravier 4/8
 - 400 Kg de gravier 8/14
 - 5,1 % de bitume pur 35/50
- matériel
 - 1 centrale d'enrobé
 - 1 finisseur
 - 2 camions pour le transport
 - 1 cylindre à jante lisse
 - 1 compacteur à pneu
- main d'œuvre
 - 4 mains d'œuvres pour la mise en œuvre

Le prix de revient fourniture mise en œuvre et transport d'une tonne d'enrobé est de 35 DT. Pour une épaisseur de 6cm on estime avoir 150Kg/m². Alors pour 1 Km de route il faut 750 T d'enrobé pour une largeur de 5m. La couche de revêtement revient alors à 5,250 DT le m² et 26250DT le Km linéaire.

5-2 CORPS DE CHAUSSEE EN GRAVE CONCASSEE

- matériaux :
 - Tous venant 0/ 31,5 à raison de 20 cm d'épaisseur soit 1000 m³ pour 1 Km linéaire.

- Grave concassée 0/20 à raison de 15 cm d'épaisseur soit 750 m³ pour 1 Km linéaire.
- matériel :
 - une niveleuse
 - 3 camions pour le transport
 - 1 cylindre à jante lisse
 - 1 compacteur à pneu
 - 1 camion arroseur de 5000 L

Ceci nous donne pour le corps de chaussée un prix de 7,745 le m² et 38 727 DT pour 1Km

Soit un coût total structure 2 12,995 DT le m² et 64 977 DT / Km

La comparaison entre structure 1 et structure 2 est faite sur le coût global de construction et d'entretien.

6 ENTRETIEN DES CHAUSSEES

Pour l'entretien des chaussées, on considère des scénarios type d'entretien définis sur la base de données statistiques à partir du bilan de comportement d'un certain nombre de sections de routes et autoroutes en France pour appréhender le coût de l'entretien pour les deux structures étudiées. On considère une règle financière d'actualisation pour une évaluation des dépenses ramenées à la date de la construction. La règle financière d'actualisation correspond au choix d'un taux d'actualisation 'a', qui est choisit en fonction du taux d'intérêt pour une durée comparable ou du taux d'inflation, éventuellement augmenté d'un taux de risque. Dans l'estimation du coût global «construction et entretien», la dépense d'entretien D_n, faite à l'année n est valorisée pour un montant : D_n C_{an}

$$\text{Avec } C_{an} = \frac{1}{(1+a)^n} \quad (1)$$

C_{an} est le coefficient d'actualisation, selon les données de la banque centrale de Tunisie le coefficient 'a' vaut 8 %.

6-1 CHAUSSEE STRUCTURE1

La durée de vie d'une telle structure est estimée à 30 ans, en effet avec des structures en béton aucun apport structurel n'est prévu avant 30ans. On prévoit une réfection des joints transversaux tous les 5 ans et une réfection de la surface en enduit superficiel après 7,17 et 23 années de service

Durée (ans)	Travaux	Coût (DT)	Coefficient D'actualisation	Coût actualisé	Coût global DT
0	construction	78618	1	78618	78618
5	JT	100	0.68	68	78686
7	S	8335	0.58	4863	83549
10	JT	100	0.46	46	83595
15	JT	100	0.32	32	83627
17	S	8335	0.270	2252	85880
20	JT	100	0.21	21	85901
23	S	8335	0.17	1419	87321
25	JT	100	0.14	14	87335
30	Renforcement	35000	0.10	3478	90813

JT : réfection des joints transversaux - S : réfection de surface en enduit superficiel

6-2 CHAUSSEE STRUCTURE 2

La durée de vie de la chaussée structure 2 (chaussée souple) est estimée à 20 ans. Une intervention au niveau de la couche de revêtement est nécessaire tous les 5 ans pour palier aux dégradations superficielles de cette chaussée qui touche l'uni de surface et la sécurité et le confort de l'utilisateur. Au bout de 20 ans il faut appliquer un renforcement c'est à dire une reprise au niveau du corps de chaussée. En Tunisie on intervient souvent bien avant ces délais suite aux apparitions de dégradations comme l'orniérage, l'apparition du phénomène de la tôle ondulée ou alors la formation de bourrelets etc.

Durée (ans)	Travaux	Coût année DT	Coefficient D'actualisation	Coût actualisé	Coût global DT
0	construction	64977	1	64977	64977
5	CR	26250	0.68	17865	82842
10	CR	26250	0.46	12159	95001
15	CR	26250	0.31	8275	103276
20	renforcement	64977	0.21	13941	117217
25	CR	26250	0.14	3833	121050
30	CR	26250	0.10	2609	123659

CR: reprise de couche de roulement

On remarque que juste après achèvement des travaux le prix de revient d'une chaussée revêtue d'un béton bitumineux est inférieur à celle d'une route construite en béton de ciment sauf que en considérant les interventions d'entretien sur la chaussée dans les deux situations, on remarque qu'au bout de 5 ans le coût de la chaussée en BB commence à prendre de l'ampleur.

Il est à signaler que d'autres dépenses peuvent être comptabilisées pour établir les coûts encourus par les deux techniques de construction routière.

En effet d'autres coûts importants concerne ceux pour les usagers de la route, comme le coût des véhicules ou le coût du temps mis par les personnes sur les routes, le coût des accidents, le coût qui résulte de l'impact sur l'environnement de chacune de ces constructions routières.

7 COMMENTAIRES

Les deux coûts des deux techniques citées ci-dessus se rapprochent, en effet au bout de dix ans de service, la chaussée en BB recevra la seconde couche de revêtement, alors que celle en BC, ne nécessite que des petites interventions. Le coût de la chaussée en BB dépassera le coût de la chaussée en BC pour atteindre au bout de 30 ans 140 MD, ce qui représente un écart de 25 %.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Route en béton éditions Cim béton
- [2] Chaussée en béton guide technique Laboratoire central des ponts et chaussées
- [3] Enrobées hydrocarbonées à chaud guide d'application des normes pour le réseaux routier SETRA LCPC
- [4] Comparaison de prix de vente entre une chaussée en béton de ciment non goujonnée et une chaussée à base de bitume Brahim Ennaifer CTMCCV acte de séminaire route en béton 1990 Tunis
- [5] Opportunité d'utilisation du ciment dans les chaussées, Jallouli Actes du séminaire 2001 Hammamet
- [6] ERES consultant, Review of life-Cycle Costing Analysis Procedures Ontario CANADA 1998