

# Evolution des comportements des chaussées en béton de ciment

Par : AFECHKAR Mohamed  
Mme WAFI Naima

## 1. INTRODUCTION

Les qualités principales d'une chaussée en béton de ciment sont sa tenue à la fatigue qui garantit sa durabilité, son module d'élasticité élevé qui permet d'assurer une bonne répartition des contraintes verticales engendrées par le trafic sur le sol support qui n'est de ce fait que peu sollicité. Certes, cette rigidité élevée et sa constance avec la température permettent de s'affranchir des problèmes d'orniérage ou de déformations sous l'effet des charges roulantes. A cet effet, ces performances mécaniques font de la chaussée béton une technique qui offre des simplifications substantielles au niveau de la conception des structures de chaussées, du profil en travers ... et par suite des économies notables sur l'investissement et sur l'entretien des routes.

Dans ce cadre la Direction des Routes (DR) a procédé à la réalisation de deux sections expérimentations en 1990 au RP3606 (CT1063) (18Km) entre El Gara et Jamaat Rayah (province de Settat) et en 1995 au RP3042(CT1029) et au RP3007(CT 1213) (16 km) (Casablanca). L'objectif principal de ces sections expérimentales était de :

- Maîtriser la mise en œuvre de la technique de la chaussée en béton de ciment ;
- Chercher les conditions d'adaptation de ces techniques au contexte technico-économique du pays;
- Dégager des clauses techniques à adopter pour ces types de structures;
- Mieux apprécier le coût global (construction+entretien) de ces techniques.

## 2. EXPERIMENTATION

Trois expérimentations ont été réalisées dans ce cadre. La première sur la RP3606(CT 1063) et la dernière sur les RP3042 (CT 1213) et RP3007(CT1029).

### a. Section du RP3606

En 1990 un chantier pilote sur la RP3606( le CT 1063) de 18,160 km de longueur a été réalisé. Cette route relie la ville d'Elgara à la RP13.Cette section est caractérisée par :

- Une pluviométrie de 380 à 400 mm/an,répartie sur une moyenne de 60 jours de précipitations;
- Les températures sont douces en hiver et clémentes en été avec une moyenne de 25°C;
- La nappe phréatique est à plus de 10 m de profondeur;

-Le sol support, datant du quaternaire récent, est constitué, soit par du tirs, soit par du limon rouge. Ce sont des argiles très plastiques caractérisés par une faible portance au contact de l'eau.

#### a-1 Matériaux :

-Granulats: les granulats sont issus d'une roche sédimentaire d'origine siliceuse "quartzite". Cette roche est caractérisée par sa résistance à l'érosion par sa dureté et sa cohésion.

-Sable: c'est un sable de concassage calcarenite 0/31.5 ayant 12% de filler.

-Ciment: Le ciment utilisé est celui de la cimenterie CINOUCA, de la classe CPJ45, caractérisé par un pourcentage de clinker d'au moins 65% et un pourcentage des ajouts d'au moins 35%.

-Adjuvants: L'adjuvant BV40 est utilisé pour jouer le double rôle de plastifiant et de retardateur de prise.

-L'eau de gachage : Elle a une teneur en sel dissoute inférieure à 7g/l et une teneur en matière en suspension inférieure à 0.5%

Aciers : l'acier utilisé pour le goujonnage est de nuance FE400.

-Béton : Les études de la formulation du béton au labo, ont conduit à la composition suivante:

| Elément                                  | Dosage en kg | Dosage en l |
|------------------------------------------|--------------|-------------|
| Gravette 16/150                          | 885          | 660         |
| Gravette 5/120                           | 395          | 299         |
| Sable de concassage                      | 668          | 514         |
| Ciment CPJ 45                            | 330          |             |
| Eau de gachage                           |              | 165         |
| BV40                                     |              | 3.96        |
| Poids d'un m <sup>3</sup> du béton frais | 2445         |             |
| G/S                                      | 1.95         |             |
| E/C                                      | 0.48         |             |
| Affaissement au cône d'Abrams            | 2.5 cm       |             |

#### a-2 La mise en œuvre:

La mise en œuvre a été effectuée par un matériel approprié et performant Slip-Form. La structure adoptée sur ce chantier était :

\* structure courante chaussée : 20 cm GNF + 18 cm BC

\* structure courante accotement : 20 cm GNF + 18 MS.

Pour pouvoir tirer un maximum possible de renseignements sur le mode de fonctionnement des dalles en béton , il a été retenu de réaliser différentes variantes relatives à :

- La fondation , trois variantes : GNF,MS et sol support;

- Les dalles : + épaisseurs variables ( 18, 20 et 22cm)  
+ largeurs variables 4,10m et 3,93m
- Les joints : goujonnés, non goujonnés
- Drainage : composition et épaisseur d'accotement variable en MS et MD.

Le tableau suivant récapitule ces différentes variantes.

| Variante         | Pk                     | N°<br>Dalle        | Fondation   | Dalle                                         | Accotement                               | Type de joint |
|------------------|------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|---------------|
| 1                | 17+330<br>au<br>17+530 | 3368<br>au<br>3115 | 20 GNF      | longueur : 5 m<br>largeur : 4 m<br>Ep : 18 cm | Largeur: 2m<br>MS : 38 cm                | G             |
| 2                | 16+530<br>au<br>16+730 | 3209<br>au<br>3247 | 20 GNF      | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 18 cm   | largeur : 2m<br>MS : 18 cm<br>MD : 20 cm | G             |
| 3                | 16+730<br>au<br>16+930 | 3248<br>au<br>3287 | 20 GNF      | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 18 cm   | largeur : 2m<br>MS : 13 cm<br>MD : 25 cm | G             |
| 4                | 17+130<br>au<br>17+330 | 3328<br>au<br>3367 | 30 MS       | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 18 cm   | largeur : 2m<br>MS : 18 cm<br>MD : 20 cm | G             |
| 5                | 16+930<br>au<br>17+030 | 3288<br>au<br>3307 | Sol support | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 18 cm   | largeur : 2m<br>MS : 18 cm<br>MD : 20 cm | G             |
| 6                | 16+430<br>au<br>16+530 | 3188<br>au<br>3208 | 20 GNF      | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 20 cm   | largeur : 2m<br>MS : 20 cm<br>MD : 20 cm | G             |
| 7                | 17+030<br>au<br>17+130 | 3308<br>au<br>3327 | Sol support | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 22 cm   | largeur : 2m<br>MS : 12 cm<br>MD : 8 cm  | G             |
| 8                | 18+036<br>au<br>18+136 | 3514<br>au<br>3534 | 20 GNF      | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 18 cm   | largeur : 1m<br>MS : 18 cm<br>MD : 20 cm | G             |
| Section courante | 0+000<br>au<br>16+430  |                    | 20 GNF      | longueur : 5m<br>largeur : 4m<br>Ep : 18 cm   | largeur : 2m<br>MS : 18 cm<br>MD : 20 cm | G             |

#### **b- Section RP3042 et RP3007**

C'est une section d'environ 16 km de longueur. Le Pk 0 du RP se situe au Pk 34 de la RP7.

Cette expérimentation a été réalisée sur un sol argilo-sableux légèrement tirsifié, sous un trafic T4 (avec fort % des poids lourds).

\*Les travaux sont Réalisés par ENPC ( Entreprise nouvelle des ponts et chaussées )

|                            | RP3042                  | RP3007                  |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Longueur                   | 13 km                   | 2.5 km                  |
| Trafic                     | 15PL/j (PL>5t)          | 100 à 250PL/j(PL> 8t)   |
| Structure chaussée adoptée | 15 GNB + 20 BC          | 15 GNB + 20 BC          |
| Structure accot. :         | 15 MD + 20 MS           | 15 MD + 20 MS           |
| Largeur chaussée           | 4m                      | 6m                      |
| Largeur accot.:            | 2m                      | 2m                      |
| Long . dalles              | Dalles de 5m goudonnées | Dalles de 5m goudonnées |
| Nombre . dalles            | 2551                    | 487                     |

### **Caractéristiques des matériaux**

- Sable : C'est un mélange de sable de mer et de concassage de propreté ES > 70%
- Gravette : 2types de gravettes ont été choisies: G1(5/16) et G2( 12.5/ 31.5) répondant aux critères suivantes :

Dureté : LA < 25

Propreté : % d'éléments fins < 1 %

forme : CA> 25

Polissage : CPA > 0.45

-Ciment : c'est un ciment CPJ 45 livré par CINOUCA à Bouskoura

-Adjuvant : Ce sont des adjuvants de type BV 40 et AER

-Goujons : Ce sont des barres d'acier lisse FeE22 de 20 mm de diamètre; leur longueur est 60cm et sone espacés de 30cm.

### **Formulation du béton**

Le mélange proposé est constitué de :

- Ciment 375 kg
- Eau 157 l
- Sable concassé 295 kg
- Sable de mer 313 kg
- Gravette G1 877 kg
- Gravette G2 415 kg
- Adjuvant BV 40 1.87 kg
- Adjuvant AER 0.12 kg

Total 2334 kg

A 28 jours, la performance du béton est :

- Résistance à la flexion est > 45 bars
- Résistance à la compression > 350 bars

### **Matériel de mise en oeuvre**

Le matériel utilisé dans la réalisation est :

- machine à coffrage glissant CT 350 de CMI
- 4 camions ben pour le transport du béton
- passerelle pour la pulvérisation du produit de cure
- file de guidage
- Centrale à béton

### **3-RESULTATS DES EXPERIMENTATIONS**

#### **3.1 Section RP3606 ( DPE SETTAT)**

Après 20 ans de mise en service, sous un trafic relativement agressif pour certaines sections (transport de matériaux de construction : gravettes et argile pour l'industrie de briques et céramiques à BERRECHID), le comportement global de la chaussée expérimentale est jugé satisfaisant.

Au cours de la mise en œuvre quelques problèmes ont été constatés :

- Apparition de quelques fissures transversales dues à un retard de sciage, il a fallu réaliser les deux premiers kilomètres pour fixer le temps opportun pour le sciage;
- Irrégularité et insuffisance des résistances de béton atteintes au départ. Ce problème était du principalement à une contamination des granulats par la poussière (stockage en plein air durant une longue période;
- Fluctuation de l'épaisseur du béton mis en place, cette fluctuation était due, en partie à la nature de la couche de fondation (GNF) et à la finition de cette dernière qui n'était pas compatible avec les tolérances désirées pour l'épaisseur des dalles en béton.

Avant 1993 ces fissures n'affectaient que 3,2% de l'ensemble des dalles constituant les 18,160 km du RP3606 . Ce taux de fissuration a évolué par la suite pour atteindre 31% en 2008( voir annexe).

Les fissures longitudinales se sont les plus évolutives et les plus dangereuses, elles ne sont apparues avec une grande importance qu'à partir de 1993(voir la représentation graphique de l'évolution des fissures longitudinales-annexe-). Cette évolution peut être expliquée par la propagation des fissures des dalles fissurées vers les dalles voisines non fissurées.

Les variantes les plus touchées par ce type de fissures se sont les variantes 6 et 8 et les moins touchées sont les variantes 4,7, et 9.

Les fissures transversales ont un caractère peu évolutif, elles n'ont commencées avec une grande intensité qu'à partir de 1995. Les variantes les plus affectées par ce type de fissures sont les variantes 6 et 8 et les moins affectées sont les variantes 7 et 9.

Les fissures transversales joint ne sont pas évolutives, elles se sont apparues dès le début de la mise en service du RP3606. Les variantes les plus touchées par ce type de fissures c'est la variantes 9 les moins touchées se sont les variantes 1 et 7.

les fissures obliques ont un caractère évolutif, elles se sont apparues avec une grande ampleur en 1993. La variante la plus touchée est la variante 6 et les moins touchées se sont les variantes 1, 4, et 7.

Cassures d'angles se sont moins évolutives, elles se sont apparues en 1991. La variante la plus touchée est la variante 9, les autres variantes ne sont quasiment pas touchées.

Les fissures les plus critiques, qui constituent les dégradations les plus graves pour les chaussées en béton de ciment sont les fissures longitudinales sont localisées essentiellement entre les PK 7 et 8 sur une longueur de 152.75m, ainsi qu'entre les PK 16 et 18 sur 811.45m.

Dans le même cadre on peut tirer les conclusions suivantes:

- les dalles posées sur une fondation de 20GNF se comportent mieux que celles qui ont une fondation de 30MS;
- les dalles de fondation en MS se comportent mieux que celles sans fondation posée directement sur le sol;
- Les dalles posées directement sur le support support sont très dégradées (existence des fissures longitudinales et transversales de largeur grandes)
- la réduction de la largeur de l'accotement favorise l'apparition des cassures d'angles;
- les fissures transversales de joints sont indépendantes du type de fondation et de l'épaisseur de la dalle;

### **3.2 Section RP3042 ET RP3007** **(DRE DU CENTRE - Casa) (1995)**

Après environ 15 ans de mise en service, sous un trafic relativement agressif pour certaines sections (transport de matériaux de construction), le comportement global de la chaussée expérimental du RP3042 (CT1213) est jugé bon.

En effet, les dégradations qui ont affecté les dalles de ciment sont limitées à quelques fissurations longitudinales, transversales et transversales au niveau du joint.

Le tableaux ci-dessous montrent l'évolution des longueurs et des nombres des dégradations (Tab1) ainsi que leur pourcentage (par rapport à la longueur total de la section et le nombre total des dalles affectées) entre 1998 et 2008 (Tab2) :

|            | LTFL | NFL | LTFT | NFT | LTFTJ | NFTJ | LTFOB | NFOB | LTCA | NCA |
|------------|------|-----|------|-----|-------|------|-------|------|------|-----|
| 23/06/1998 | 0,5  | 1   | 19,8 | 5   | 59,1  | 17   | 0     | 0    | 0,3  | 2   |
| 05/07/2003 | 350  | 91  | 162  | 52  | 90,65 | 33   | 8,25  | 3    | 3,9  | 15  |
| 27/02/2008 | 483  | 159 | 232  | 74  | 92,95 | 35   | 9,45  | 4    | 5,8  | 23  |

**Tab 1 : évolution des paramètre L-NF par type de dégradations**

|            | LTFL | NFL  | LTFT | NFT  | LTFTJ | NFTJ | LTFOB | NFOB | LTCA | NCA  |
|------------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| 23/06/1998 | 0,00 | 0,04 | 0,15 | 0,20 | 0,45  | 0,67 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,08 |
| 05/07/2003 | 2,69 | 3,57 | 1,25 | 2,04 | 0,70  | 1,29 | 0,06  | 0,12 | 0,03 | 0,59 |
| 27/02/2008 | 3,71 | 6,23 | 1,78 | 2,90 | 0,72  | 1,37 | 0,07  | 0,16 | 0,04 | 0,90 |

**Tab2 : % Pourcentage de L-NF par rapport à la longueur total de la section et le nombre total des dalles affectées**

Ces résultats montrent que :

- Jusqu'au 2008, les fissures longitudinales n'ont affecté que 6% des dalles constituant les 13 Km du RP3042 et que les pourcentage des dalles affectées par les autres types de dégradations sont négligeables.

-Les fissures longitudinales (les plus dangereuses) ont un caractère peu évolutif, elles n'ont commencées qu'à partir de 2003 tandis que les autres types de fissures ne sont pas évolutifs.

-Concernant la section RP3606(CT1029), le comportement de la section est jugé très bon après 15 ans de mise en service.

Les tableaux suivantes récapitulent l'évolution des paramètres (longueur (L) et nombres des fissures(NF) par type de dégradations) et leur % par rapport à la longueur total de la section et le nombre total des dalles affectées

|            | LTFL | NFL | LTFT | NFT | LTFTJ | NFTJ | LTFOB | NFOB | LTCA | NCA |
|------------|------|-----|------|-----|-------|------|-------|------|------|-----|
| 23/06/1998 | 0    | 0   | 0    | 3   | 0     | 0    | 0     | 0    | 0    | 0   |
| 24/07/2003 | 15,6 | 5   | 3    | 1   | 4,65  | 2    | 0     | 0    | 0,3  | 2   |
| 26/02/2008 | 28,6 | 10  | 9    | 3   | 9,3   | 4    | 0     | 0    | 0,65 | 4   |

**Tab 1 : évolution des paramètre L-NF par type de dégradations**

|            | LTFL | NFL  | LTFT | NFT  | LTFTJ | NFTJ | LTFOB | NFOB | LTCA | NCA  |
|------------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| 23/06/1998 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,62 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 05/07/2003 | 0,62 | 1,03 | 0,12 | 0,21 | 0,19  | 0,41 | 0,00  | 0,00 | 0,01 | 0,41 |
| 27/02/2008 | 1,14 | 2,05 | 0,36 | 0,62 | 0,37  | 0,82 | 0,00  | 0,00 | 0,03 | 0,82 |

**Tab2 : % Pourcentage de L-NF par rapport à la longueur total de la section et le nombre total des dalles affectées**

On remarque que le pourcentage des dalles affectées par les fissures longitudinales ne dépasse pas 2% alors que ce pourcentage est presque nul pour les autres types de dégradations.

La section se comporte bien après 15 ans de mise en circulation.

### **Conclusions Générales**

A travers ces réalisations, la technique des chaussées en béton de ciment a été introduite avec succès au Maroc et il est recommandé de lui assurer une continuité. En matière de conception, la technique des dalles courtes (4à5m de longueur ) est à retenir.

Sur les sols fins à faible portance, il y a lieu d'éviter la réalisation des dalles en béton de ciment directement posées sur le sol naturel.

En ce qui concerne la largeur des dalles, il y a lieu de la limiter à la largeur d'une voie de circulation (3,5m), sinon il faut prévoir un joint longitudinal, notamment sur les sols sensibles à la variation des teneurs en eau.

L'apport du goudonnage des joints transversaux, opération coûteuse et de réalisation assez délicate, a été faible et il est recommandé de l'éliminer pour les cas de trafic faible à moyen.