

TECHNIQUE DES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT
L'EXPERIMENTATION NATIONALE

Mohamed HIMMI
Service des Etudes Specifiques
C N E R - D R C R

INTRODUCTION

Les avantages technico-économiques de la technique des chaussées en béton de ciment, joints aux conditions favorables du pays, ont incité la Direction des Routes et de la Circulation Routière à multiplier les efforts pour l'introduction de cette technique au Maroc.

Les actions entreprises jusqu'à présent peuvent se présenter en une étape de réflexion globale sur la technique puis une étape de l'étude de sa faisabilité technico-économique dans le contexte local.

L'étape de réflexion globale correspond aux actions principales suivantes :

- faire le point sur l'expérience internationale et le bilan mondial de la technique
- entamer des actions de formation et d'information pour initier des cadres de l'Administration, des entrepreneurs et des cimentiers à l'introduction de cette technique (séminaires animés par des experts, stages etc...)

L'étape de l'étude de la faisabilité technico-économique est caractérisée, en plus des résultats intéressants de l'étude d'évaluation obtenus, par la réalisation d'une section expérimentale (RS 229) et l'étude d'autres projets d'expérimentations.

I - EXPERIMENTATION SUR LA RS 229

Après l'étude de formulation du béton routier au laboratoire et la réalisation de quelques planches d'essai, une première section expérimentale, en vraie grandeur, a été réalisée en 1985 par une entreprise nationale.

A - Conception et objectifs de l'expérimentation

Le site choisi est un tronçon de la route secondaire 229 situé dans la DPE de Kénitra (Sidi Slimane). Le sol support est un tirs très plastique et gonflant, l'ancienne chaussée avait presque entièrement disparue.

L'expérimentation a été réalisée avec différentes variantes concernant la fondation, les dalles en béton et les joints transversaux (fig.1)

Les principaux objectifs visés sont :

- Dégager des conclusions relatives à la faisabilité technique des chaussées en béton par le suivi d'une réalisation dans les conditions locales.

-Suivre le comportement sous trafic de différents types de structures et recueillir des données à court, moyen et à long terme pour établir des règles de conception et de dimensionnement nationales et choisir les structures appropriées.

-Analyser l'évolution des caractéristiques de surface et l'usure des matériaux constitutifs des structures expérimentées

-Etudier le comportement des dalles en béton sur sols gonflants.

B * Réalisation du chantier

1 - formulation du béton :

L'étude de la formulation du béton routier au laboratoire du CNER a abouti à la composition suivante :

*Gravette calcaire d'Oued Akreuch

25/40 : 1121,6 kg

5/15 : 159,0 kg

3/ 8 : 178,2 kg

*Sable silicieux d'Oued Beht : 434,7 kg

*Ciment CADEM CPAZ 325 : 400,0 kg

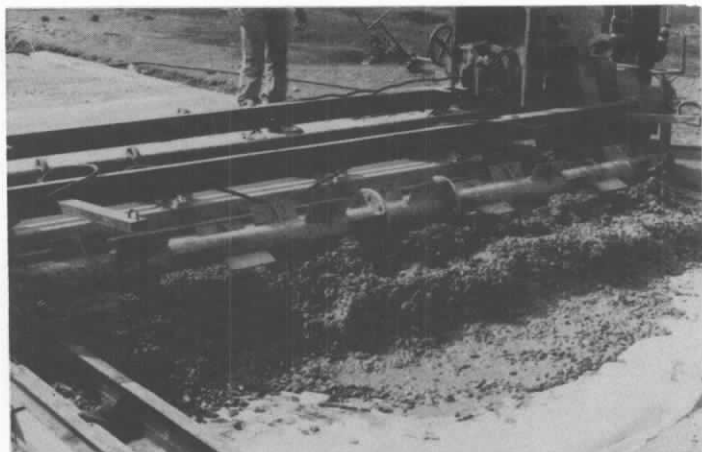
*Eau : 175,4 kg

*Plastifiant BV 40 SIKA : 002,0 kg

Soit une densité du béton 2,47t/m3

2 - Exécution des travaux

La réalisation des travaux a été faite par une entreprise nationale selon la technique des coffrages fixes à l'aide d'un mini vibro-finisher constitué par un répandeur de béton à poutre vibrante muni d'une lisseuse:



Des planches d'essai ont été réalisées avec ce matériel avant d'entamer l'exécution des planches expérimentales et ceci dans le but de vérifier le bon fonctionnement du matériel et l'adaptation éventuelle de la composition étudiée au laboratoire.

Lors de l'exécution de ce chantier expérimental, le Centre National d'Etudes et de Recherches Routières assurait l'encadrement technique et le contrôle de qualité et de conformité aux spécifications.

Le contrôle a été effectué aux différents stades de l'exécution et portait notamment sur les points suivants :

- Les contrôles avant l'exécution portant sur la vérification du matériel et des matériaux, de la qualité du support, ainsi que sur l'étude de la composition du béton et son adaptation

- Les contrôles en cours d'exécution, concernant toutes les opérations à effectuer avant et en cours de bétonnage, à la centrale du bétonnage et sur chantier (maniabilité et densité du béton, contrôle de la composition, dosage du produit de cure, prélèvement d'éprouvettes, mise en place des gougeons et le sciage des joints...etc)

- Les contrôles après l'exécution, pour vérifier les caractéristiques de surface du revêtement ainsi que la qualité du béton durci (mesure de l'uni, contrôle de la rugosité à la tâche au sable et au pendule SRT, mesure de la résistance du béton au laboratoire sur carottes et sur éprouvettes...etc.).

- Il est à signaler que la réalisation de la section n'a pas posé de problèmes majeurs. Le rendement s'est amélioré du jour à l'autre pour passer de 20 m³/j au début à 40 m³/j à la fin du chantier, malgré que des arrêts de chantier s'imposaient à cause des contraintes de matériel

Les résistances à la compression obtenue par planche, sur éprouvettes 16 x 32 à 7 jours et à 28 jours, et sur carottes ($\phi=11,27\text{mm}$) prélevées à 28 jours sont présentées dans les tableaux suivants :

- a - résistance à la compression sur éprouvettes 16x32 à 7 jours et à 28 jours.

a) résistance à la compression à 7 jours :

PLANCHE	NOMBRE D'EPROU- VETTES	RESISTANCE A 7 JOURS (EN BARS)	VALEUR MOYENNE	VALEUR EXIGE	ECART TYPE
essais de con- venance planche G	3	277 242 240	253	245	20,8
Planche A	3	291 230 320	280	245	45,9
Planche B	3	260 301 311	291	245	27
Planche C	3	201 207 194	201	245	6,5
Planche D	3	305 279 258	281	245	23,5
Planche E	3	269 258 217	248	245	27,4
Planche F	3	263 258 299	273	245	22,4
		moy.	273	245	24,8

b) résistance à la compression à 28 jours :

PLANCHE	NOMBRE D'EPROU- VETTES	RESISTANCE A 28 JOURS (EN BARS)	VALEUR MOYENNE	VALEUR EXIGEE	VALEUR TYPE
essais de con- venance	3	297 372 332	334	350	37,5
Planche G	3	346 367 357	357	350	10,5
Planche A	3	372 316 306	331	350	35,6
Planche B	3	312 309 317	313	350	4
Planche C	3	316 343 331	330	350	13,5
Planche D	3	398 320 322	347	350	44,5
Planche E	3	296 316 331	314	350	17,6
Planche F	3	419 393 388	400	350	16,6
		MOY.	337	350	22,5

L'examen de ces résultats montre que le béton fabriqué dans cette expérimentation a donné en moyenne de toutes les planches une résistance à 7 jours de 273 bars, ce qui dépasse la valeur exigée qui est de 245 bars, quant à la résistance à 28 jours elle n'atteint que 338 bars, ce qui correspond à un écart de 15,5% par rapport au laboratoire et ceci est tolérable surtout pour une première expérimentation.

D'autre part, l'écart type de résistance des planches est de 24,8 à 7 jours et 22,5 à 28 jours ce qui montre qu'il y a une dispersion de résistance entre planches malgré qu'elles sont toutes fabriquées avec la même composition du béton et ceci s'explique par la non homogénéité dans la fabrication du béton et sa vibration même pour les gâchées d'une même planche puisque l'écart type atteint 45,9 à 7 jours et 44,5 à 28 jours.

c + Résistance à la compression sur carottes prélevée à 28 j :

P	NOMBRE	AGE							M	E	T
L	DE	D'ECRASEMENT	RESISTANCES						O	X	
N			EN						Y	I	Y
C	CARTE		B A R S						E	G	
H									N	E	P
E									N	E	
									E		E
G	6	56 jours	360	380	360	390	395	365	380	400	16
A	6	56 jours	310	315	290	330	350	310	318	400	20
B	6	56 jours	390	345	381	362	381	361	371	400	17
C	6	56 jours	375	389	384	430	394	416	398	400	21
D	6	56 jours	345	385	360	372	352	346	360	400	16
E	3	56 jours	300	350	325	/	/	/	325	400	25
F	3	56 jours	350	360	340	/	/	/	350	400	10
									MOYENNE	357	19

Il est à signaler enfin, que la densité moyenne obtenue, aussi bien sur béton frais que sur béton durci, est de 2,46.

C » Suivi du comportement de la section expérimentale

Depuis sa construction, la section expérimentale a fait l'objet de plusieurs campagnes de relevé visuel et de mesures, pour le suivi de son comportement :

- Mesure de la rugosité au pendule SRT et à la tâche au sable.

- Mesure des battements de dalles aux niveau des joints transversaux.

- Mesure de l'ouverture des joints transversaux à l'aide d'un déformomètre.

- Mesure de l'uni transversal et longitudinal de la chaussée, à l'aide du transverso-profilographe

- Mesure du gardient de température dans les dalles.

Les 2 pages suivantes donnent un exemple de résultats du suivi du comportement et concernent le traitement des profils relevés au transversoprofilographe.

MESURE DE LA RUGOSITE A LA TACHE AU SABLE
ET AU PENDULE SRT



EVOLUTION DE L'UNI TRANSVERSAL
AU TRANSVERSOPROFILOGRAPHE
ENTRE 1985 ET 1986

ROUTE : RS 229 DATE DE MESURE : 10.5.85 Nb. DE PROFILS : 10

I n/n I	Numero I	PK I	PENTE I	VARIANCE I	CLASSE I
I I	I PROFIL I	I	I x 1/100 I	I x 1/10000 I	I
I 1 I	1 I	1.000 I	1.635 I	1.202 I	**** I
I 2 I	2 I	2.000 I	0.929 I	2.535 I	##### I
I 3 I	3 I	3.000 I	1.026 I	2.617 I	##### I
I 4 I	4 I	4.000 I	1.438 I	1.365 I	#### I
I 5 I	5 I	5.000 I	2.427 I	1.361 I	#### I
I 6 I	6 I	6.000 I	1.227 I	5.333 I	##### I
I 7 I	7 I	7.000 I	2.284 I	3.324 I	##### I
I 8 I	8 I	8.000 I	2.822 I	4.413 I	##### I
I 9 I	9 I	9.000 I	2.462 I	3.079 I	##### I
I 10 I	10 I	10.000 I	3.022 I	2.848 I	##### I

ROUTE : RS 229 DATE DE MESURE : 11.11.86 Nb. DE PROFILS : 10

I n/n I	Numero I	PK I	PENTE I	VARIANCE I	CLASSE I
I I	I PROFIL I	I	I x 1/100 I	I x 1/10000 I	I
I 1 I	1 I	1.000 I	1.796 I	3.202 I	##### I
I 2 I	2 I	2.000 I	2.775 I	2.345 I	##### I
I 3 I	3 I	3.000 I	1.834 I	1.800 I	#### I
I 4 I	4 I	4.000 I	1.577 I	0.440 I	#### I
I 5 I	5 I	5.000 I	1.756 I	0.522 I	#### I
I 6 I	6 I	6.000 I	2.006 I	1.238 I	#### I
I 7 I	7 I	7.000 I	2.763 I	2.222 I	##### I
I 8 I	8 I	8.000 I	2.323 I	1.705 I	#### I
I 9 I	9 I	9.000 I	1.777 I	2.490 I	##### I
I 10 I	10 I	10.000 I	2.460 I	1.800 I	#### I

EVOLUTION DE L'UNI LONGITUDINAL
AU TRANVERSOPROFILOGRAPHE (niveau des joints)
ENTRE 1985 ET 1986

ROUTE : RS 229 DATE DE MESURE : 11 01 85 Nb. DE PROFILS : 7

I n/a I	Numero I	PK I	I PENTE I	I VARIANCE I	CLASSE I	I
I I	I PROFIL I	I	I x 1/100 I	I x1/10000 I		I
1 1 1	1	3.000	1 1.053	1 1.855	1 #####	1 1
1 2 1	2	7.000	1 0.564	1 2.249	1 #####	2 1
1 3 1	3	8.000	1 0.251	1 2.916	1 #####	2 1
1 4 1	4	11.000	1 0.242	1 6.667	1 #####	2 1
1 5 1	5	13.000	1 0.364	1 15.478	1 #####	2 1
1 6 1	6	15.000	1 0.462	1 3.197	1 #####	2 1
1 7 1	7	17.000	1 0.773	1 4.821	1 #####	2 1

ROUTE : RS 229 DATE DE MESURE : 11 11 86 Nb. DE PROFILS : 7

I n/a I	Numero I	PK I	I PENTE I	I VARIANCE I	CLASSE I	I
I I	I PROFIL I	I	I x 1/100 I	I x1/10000 I		I
1 1 1	1	3.000	1 0.253	1 3.896	1 #####	2 1
1 2 1	2	7.000	1 0.910	1 5.442	1 #####	2 1
1 3 1	3	8.000	1 1.586	1 12.848	1 #####	2 1
1 4 1	4	11.000	1 1.077	1 6.313	1 #####	2 1
1 5 1	5	13.000	1 -9.029	1 6.181	1 #####	2 1
1 6 1	6	15.000	1 0.500	1 4.440	1 #####	2 1
1 7 1	7	17.000	1 1.771	1 6.014	1 #####	2 1

Ces mesures ainsi que l'examen visuel du revêtement ne permettent pas encore de tirer des conclusions définitives concernant les variantes testées. Néanmoins, les données du suivi du comportement de la section, disponibles actuellement, permettent de faire les remarques et les constatations suivantes :

- D'une manière globale, l'aspect général de la section est satisfaisant. Une évolution a été notée, récemment, ce qui nécessitera de multiplier les missions et d'affiner les programmes de suivi.

- Le traitement des profils relevés au transversoprofilographe a mis en évidence :

- * une légère évolution des profils en travers qui s'explique par l'apparition de fissures longitudinales sur certaines dalles.

- * une évolution moins appréciable a été constatée pour les profils longitudinaux (de part et d'autres des joints transversaux).

- La mesure des battements des dalles aux joints a mis en évidence un apport appréciable du goujonnage des joints au transfert de charges entre les dalles.

- L'analyse des mouvements des dalles au niveau des joints, après un écart de température de 10°C, a montré que les mouvements ont concernés tous les joints, c'est à dire que tous les joints fonctionnent, néanmoins, la variation de l'ouverture est tout à fait aléatoire d'un joint à un autre et varie de (-88) à (+2267) millièmes de millimètre.

- Une légère différence du comportement a été notée, pour la même structure en béton, sur le sol naturel et sur le sol traité à la chaux, une amélioration du comportement étant en faveur de cette dernière variante.

- Les premières mesures de rugosité à la surface des dalles avait mis en évidence une bonne rugosité de ces dernières, qui n'a pas évolué de manière appréciable depuis lors (traitement de surface par brossage transversal du béton frais). La profondeur au sable moyenne sur toutes les planches a faiblement varié de 1,02mm à 1mm.

- Sur les argiles gonflantes, dont les tirs de Sidi Slimane sont un exemple représentatif, la nécessité d'assurer un drainage efficace, du corps de chaussée, est un paramètre primordial, pour diminuer l'influence des déformations volumétriques du sol sur le comportement des dalles en béton. Pour des chantiers à venir, sur des sols gonflants. Cette influence pourra aussi être diminuée en adoptant des largeurs de dalles inférieures à celles expérimentées sur la RS. 229 (l=4m) ou en faisant recourt à un joint longitudinal.

II- AUTRES EXPERIMENTATIONS

A - Projet de l'expérimentation CINOUC

Suite à la demande de la cimenterie CINOUC, le CNER a étudié une expérimentation sur un tronçon de 2,400 km reliant l'usine CINOUC à la route secondaire 103 dans la DPE de SETTAT.

Cette deuxième expérimentation vise, entre autres, la réalisation d'une chaussée large avec joint longitudinal et l'observation de son comportement sous les aspects suivants :

- Existence d'un trafic spécial, très agressif, constitué par les camions de la cimenterie.

- L'utilisation de deux types de ciment : un ciment normal (325) et un ciment spécial (400) .

L'étude de conception du projet a permis de prévoir une largeur de chaussée de 7m en prévoyant un joint de chaussée longitudinal au milieu. L'étude de dimensionnement des dalles a permis d'arrêter une longueur de 4m et une épaisseur de 22cm.

L'étude de la formulation du béton, selon la méthode de la maniabilité optimale (LPC), sur les matériaux des carrières de la région et pour les deux types de ciment (normal et spécial), a aboutit aux résultats suivants :

CIMENT NORMAL : FORMULATION DU BETON ETUDIEES

FORMULATION	1	2	3	4	5	6	7
CIMENT NORMAL	400	400	400	400	400	400	400
EAU	172	172	188	188	172	188	168
ADJUVANT	2	2	2	2	2	2	2
S . M .	313	313	310,4	310,4	313	310,3	315,7
S . C .	313	313	310,4	310,4	313	310,3	315,7
6 / 10	219,1	262,9	217,2	260,7	164,3	162,9	106,2
10 / 14	203,5	244,1	201,8	242,1	152,6	151,3	168,1
14 / 20	203,5	244,0	201,8	242,1	152,6	151,3	168,1
20 / 40	626	500,8	620,7	496,5	782,5	775,8	715,9
C O N E	0,5CM	1 CM	5,5 CM	6,5CM	2 CM	6 CM	3 CM
Ve Be	7s	6s	2s	1,5s	5s	2s	4s

*Les 3 FORMULATIONS A RETENIR POUR TESTER LA RESISTANCE A LA COMPRESSION A 28 JOURS SONT :

N° FORMULATION	OBSERVATION	CONE	Ve	Be
2	E/c = 0,43, G/K=1,5:	1cm	6s	:
5	E/C = 0,43, G/K=0,6:	2cm	5s	:
7	DREUX	3cm	4s	:

CIMENT SPECIAL : FORMULATION DU BETON ETUDIEES

N°	1	2	3	4	5	6	7
FORMULATION	1	2	3	4	5	6	7
CIMENT NORMAL	350	350	350	350	350	350	370
EAU	175	175	189	189	175	189	185
ADJUVANT	2	2	2	2	2	2	2
SABLE DE MER	320,8	320,6	318,5	318,5	320,8	318,5	349,2
S.CONCASSE	320,8	320,6	318,5	318,5	320,8	318,5	349,2
GRAVITE6/10	224,6	269,5	223	267,5	168,4	167,2	124,5
10 / 14	208,6	250,3	207	248,4	156,4	155,3	177,9
14 / 20	208,6	250,3	207	248,4	156,4	155,3	177,9
20 / 40	641,7	513,3	637	509,6	802,1	796,2	630
C O N E	1 cm	3 cm	7,5 cm	6 cm	2 cm	Impraticable	
Ve Be	6,5s	3 s	1,2 s	1,5s	4 s	1,2 s	1 s

*Les 3 FORMULATIONS A RETENIR POUR TESTER LA RESISTANCE A LA COMPRESSIONS A 28 JOURS SONT :

N°	FORMULATION	OBSERVATION	CONE	Ve	Be
1		E/c =0,5 : G/k=1	1cm	6,5s	
2		E/C =0,5 :G/K=1,5:	3cm	3s	
5		E/C =0,5 :G/K=0,6:	2cm	4s	

Les test de résistance ont aboutit aux résultats suivants :

1) Ciment normal:

N° DE FORMULATION	AFFAISSEMENT AU CONE D'A- BRAMS	RESISTANCE MOYENNE A 7 JOURS (BARS)	RESISTANCE MOYENNE A 28 JOURS (BARS)
2	1 cm	264	436
5	2 cm	296	354
7	3 cm	344	428

2) Ciment spécial:

N° DE FORMULATION	AFFAISSEMENT AU CONE D'A- BRAMS	RESISTANCE MOYENNE A 7 JOURS	RESISTANCE MOYENNE A 28 JOURS
1	1 cm	300 BARS	383 BARS
5	2 cm	284 BARS	403 BARS
2	3 cm	309 BARS	405 BARS

Il ressort de ces résultats que les formulations définitives à retenir sont :

- ↳ La formulation N° 7 pour le ciment normal.
- ↳ La formulation N° 2 pour le ciment spécial

Enfin, ces formulation ont subi de légères modifications pour adapter les densités théoriques aux densités réellement obtenues au laboratoire.

B - Projet d'une expérimentation dans l'oriental :

L'objectif principal recherché dans cette expérimentation est d'expérimenter la technique dans les zones arides en envisageant d'employer les cendres volantes comme ajout au ciment (réduction du dosage en ciment). La section expérimentale sera choisie soit sur un tronçon de la RP.39, constituant une deuxième voie de 7m avec la voie existante, soit sur un tronçon de la RS.333 fortement dégradée et qui est programmée pour être renforcée et élargie. Il est à signaler que ces deux sections supportent un trafic exceptionnel très agressif constitué par les camions d'exploitation du complexe sédérurgique SONASID.

CONCLUSION

Les résultats tirés de l'étude technico-économique des chaussées en béton de ciment ont permis de conclure que cette technique pourra constituer une variante intéressante dans les zones non arides sur les sols de faible portance (S0+S1). L'étude de l'expérience internationale, dans ce domaine, et la réalisation des études des différents projets d'expérimentation ont permis d'acquérir une expérience suffisante en matière de conception des projets des chaussées en béton et de l'étude en laboratoire du béton routier. La réalisation de la première section expérimentale, à petite échelle, sur la RS. 229 a été l'occasion pour acquérir une première expérience pratique dont le résultat est très encourageant pour conclure quant à la faisabilité technique des routes en béton de ciment.

Ces multiples actions ont permis de réfléchir, déjà, à fixer des spécifications nationales provisoires pour la conception et la réalisation des projets de chaussées en béton de ciment. Ainsi, des fiches de structures provisoires en béton ont été établies en même temps qu'un projet de cahier de prescriptions communes comportant notamment des prescriptions techniques et des recommandations relatives à la conception et à l'exécution des chaussées en béton de ciment.

Enfin, il est utile d'insister encore une fois sur le caractère provisoire des spécifications établies qui nécessitent, pour être rendues définitives, de multiplier les réalisations et de suivre leur comportement, dans différents contextes techniques et économiques. En particulier, il est indispensable de permettre une formation pratique plus large du personnel avant de passer aux réalisations à l'échelle industrielle. C'est ainsi que la Direction des Routes et de la Circulation Routière envisage de poursuivre ses actions, pour l'introduction de cette technique, par la réalisation, en plus des sections programmées, d'un chantier pilote à plus grande échelle. Les études relatives à ce projet sont en cours et sa réalisation est programmée dans un proche avenir.