

**EXPERIMENTATION DES
CHAUSSEES EN BETON
DE CIMENT
BILAN DU COMPORTEMENT
DES SECTIONS
EXPERIMENTALES**

**Mr. HIMMI
(CNER)**

RESUME

Les avantages technico - économiques de la technique des chaussées en béton de ciment, ont incité la Direction des Routes et de la Circulation Routière à multiplier des efforts pour l'introduction de cette technique au Maroc, dans le but de diversification des techniques de construction des chaussées et de leur adaptation aux ressources nationales .

L'intérêt pour cette technique s'est manifesté pour les raisons principales suivantes:

- La nécessité de disposer d'un éventail plus large de techniques permettant de faire les choix adaptés aux contextes technico économique rencontrés;
- Le Maroc possède une capacité importante de production de ciment, alors que les produits hydrocarbonnés sont importés .

Les actions entreprises pour l'introduction et l'adaptation de cette technique aux conditions du pays peuvent se résumer en:

- La réalisation, en 1985, d'une section expérimentale à petite échelle (600m) et le suivi de son comportement;
- L'élaboration de cahier de spécifications et d'un catalogue de structures provisoires;
- La réalisation, en 1990, d'un chantier pilote (18 km).

L'article proposé a pour but principal la présentation de l'expérience nationale dans cette technique et ce à travers les résultats de suivi de réalisation et suivi de comportement des expérimentations réalisées et la première mise à l'épreuve des spécifications provisoires élaborées en matière de conception et de réalisation des chaussées en béton de ciment .

INTRODUCTION

Dans le cadre de la recherche d'optimisation du coût global de construction et d'entretien des chaussées, et dans le but de diversifier les types de structures de chaussées, notamment par l'introduction des techniques à base de liants hydrauliques, la DRCR a entrepris, depuis le début des années 80, plusieurs actions d'expérimentation de techniques nouvelles, en particulier les chaussées en béton de ciment .

L'expérimentation de cette technique, en vue de son introduction au Maroc, a été faite en deux étapes:

- expérimentation à petite échelle (section de 500 ml) réalisée en 1985 sur la RS 229 (DPTP de KENITRA);
- réalisation d'un chantier, pilote en 1990, d'une vingtaine de kilomètres, sur le CT 1063 (DPTP du SETTAT).

La présente communication a pour objet de présenter succinctement ces deux expérimentations, et de dresser des bilans de leur comportement .

II SECTION EXPERIMENTALE A PETITE ECHELLE RS 29

I-1/ Objectif de l'expérimentation

Les principaux objectifs visés par cette expérimentation étaient:

- dégager des conclusions relatives à la faisabilité technique des chaussées en béton, par le suivi d'une réalisation dans les conditions technico - économiques du pays;
- suivre le comportement, sous trafic, de différents types de structures et recueillir des données à court, moyen et à long terme, en vue d'établir des règles de conception et de dimensionnement adaptées au contexte national et choisir les structures appropriées .

En résumé, l'expérimentation a été faite dans le but d'acquérir une première expérience dans la réalisation des chaussées en béton de ciment, et pour contribuer aux études de fonctionnement des structures rigides et de leur dimensionnement .

I-2/ Choix du site de l'expérimentation

La site choisi est un tronçon de la route secondaire 229, qui lie Sidi Kacem à la RS 205 (Dar Belamri), dans la direction provinciale des Travaux Publics de Kénitra .

Les critères de choix de ce site sont:

- Le sol support est un tirs (I_p : 30) et la région est pluvieuse, ce qui constitue le cas le plus défavorable pour l'expérimentation;
- L'ancienne chaussée était complètement dégradée et nécessite une reconstruction;
- La zone est agricole et le trafic susceptible de l'emprunter, a été estimé à 500 V/j, avec un fort pourcentage de poids lourds.

Du point de vue climatique, la région est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 450 à 600 mm, répartie sur environ 70 jours. La température moyenne se situe entre une valeur minimale de 6°C pendant l'hiver et une température maximale de 50°C , provoquée par le vent Chergui, pendant l'été. La région est très ensoleillée puisqu'on compte 4421 heures de soleil par an .

1- 3/Présentation des planches expérimentales

La largeur des dalles est de 4 m et la longueur totale prévue pour la section était de 460 m (planche de A à F). Néanmoins une autre planche a été ajoutée, lors de la mise en oeuvre (planche G), et certaines dalles ont été reprises, ce qui a amené la longueur totale réalisée à 560 m environ .

Pour tirer le maximum de renseignements de l'expérimentation, celle - ci a été réalisée avec différentes variantes concernant la fondation, les dalles en béton et les joints transversaux:

Couche de fondation:

4 variantes, GNF, grave ciment, sol traité à la chaux et sol naturel.

Dalle de béton:

Epaisseur variable (16, 20 et 25 cm)

Longueur variable: 4m, 5m, 6m, 6,5m, et 7m .

Joints de retrait - flexion:

Goujonnés ou non goujonnés .

Ainsi, la section expérimentale est divisée en 6 planches:

Planche A:

La longueur est de 90m, divisée en deux tronçons de 40 et 50m contenant, respectivement 10 dalles de 4 m et 10 dalles de 5m de longueur .

La couche de fondation de cette planche est constituée de 15 cm de GNF pour le premier tronçon, et de 15 cm de grave ciment (GC) pour le deuxième tronçon .

L'épaisseur des dalles en béton est de 25 cm sur toute la Planche.

Les joints de retrait sont goujonnés ou non goujonnés.

Planche B:

La structure de cette planche est semblable à celle de la planche A sauf au niveau de l'épaisseur des dalles qui n'est que de 20 cm .

Planche C:

Présente les mêmes caractéristiques que la planche A avec une épaisseur des dalles de 16 cm.

Planche D:

divisée en 3 tronçons d'une épaisseur de dalle respectivement de 16; 20 et 25 cm. La longueur totale du tronçon est de 90 m. Les dalles sont posées directement sur un sol (tirs) stabilisé à la chaux sur 30 cm, à raison de 45% de chaux . La longueur des dalles est de 5 m dans tous les cas et les joints sont pourvus de goujons .

Planche E:

Sa longueur est limitée à 40m, subdivisée en 2 tronçons égaux, l'épaisseur des dalles est de 20 cm et leur longueur est de 5 m sur le premier tronçon et 4 m sur le second. Les dalles sont posées directement sur le terrain naturel .

Planche F:

L'objectif poursuivi sur cette planche est l'étude de l'influence de la longueur des dalles. La couche de fondation est formée de 15 cm de GNF. Les dalles de béton ont une épaisseur de 20 cm.

Le schéma synthétique de ces différentes planches est donné ci - après.. (figure n°1).

Ces différentes variantes sont illustrées sur le schéma de l'expérimentation présenté en annexe n°1

I- 4/ Synthèse du comportement des planches expérimentales:

Dans ce qui suit est présentée une synthèse du comportement des planches expérimentales, en se limitant uniquement au paramètre fissuration des dalles en béton .

Le tableau n°1, ci après, présente, par planche, par type de fondation et par catégorie de fissures, leur nombre total. Il y a lieu de préciser qu'il s'agit là de véritables fissures des dalles .

Tableau n° 1

ANALYSE DE LA FISSURATION DES DALLES

Planche type de fissure	A		B		C		D	E	F
	GNF	GC	GC	GNF	GNF	GC			
NFL	0	0	13	19	17	23	31	19	6
NFL	0	1	2	13	16	17	17	7	9
NFO	0	1	4	2	7	6	4	3	3
Total/ Fondation	0	2	19	34	40	46			
TOTAL	2		5	3	8	6	52	29	18
NF/N. Dalle (%)	1	0	2	65	4	30	289	322	164
NF Longueur Total (%)	2	2	5	9	95	,5	57,7	72,5	26,3

Tableau n° 2

APPORT DU GOUJONNAGE DES JOINTS

Planche type de fissure	A		B		C		D	E	F	G
	G	NG	G	NG	G	NG	G	G	G	G
NFL	0	0	13	19	16	24	31	19	6	24
NFT	1	0	6	9	12	21	17	7	9	30
NFOB	1	0	3	3	6	7	4	3	3	1
TOTAL	2	0	22	31	34	52	52	29	18	55

Légende:

NFL	:	Nombre de fissures longitudinales
NFT	:	Nombre de fissures transversales
NFOB	:	Nombre de fissures obliques
G	:	Joint Goujonné
NG	:	Joint non Goujonné.

L'analyse des résultats de ce tableau permet de faire les constations et de tirer les conclusions suivantes:

1 - Pour ce qui est des dimensions des dalles en béton:

- Mis à part la planche A, dont les dalles correspondent à la plus forte épaisseur du béton (épaisseur moyenne = 26 cm), la fissuration longitudinale a concerné toutes les autres planches, avec des degrés variables, la cause principale de cette fissuration, apparue trois années environ après la réalisation, est liée à la forte sensibilité à l'eau, la largeur de 4 m adoptée pour les dalles en béton s'est avérée excessive. Le mauvais drainage de la chaussée a dû aggraver la situation en favorisant la stagnation prolongée de l'eau de pluie au niveau de certaines sections (plus fissurées);

- Toutes les dalles dont la longueur est supérieure à 5 m (6m; 6,5m et 7 m) sont fissurées dans le sens transversal, peu de temps après la réalisation, avant même l'apparition des fissures longitudinales. Pour les dalles de longueurs inférieures (4 ou 5m), les fissures transversales relevées sont apparues après la fissuration dans le sens longitudinal.

2/ Pour ce qui est du type de fondation:

- La planche E sans fondation (dalles posées directement sur le sol) a vu toutes ses dalles fissurées dans le sens longitudinal. La comparaison de cette planche à la planche F, correspondant à la même épaisseur de béton mais disposant d'une fondation en grave GNF, permet de mettre en évidence l'apport bénéfique de la fondation sur ce type de sol;

- Le traitement du sol à la chaux (planche D) ne semble pas être suffisant pour remplacer la réalisation d'une couche de fondation granulaire. Il semble même que ce traitement a aggravé la fissuration (dalles de 25 cm d'épaisseur fissurées) par déstabilisation de sol en place et réalisation d'un support hétérogène.

3/ Pour ce qui est du type de joint transversal:

Dans le tableau n° 2 sont présentés par type de fissures par planche, les fissures relevées en distinguant les dalles à joint transversaux goujonnés (munis de barres d'acier permettant le transfert de charge entre dalles adjacentes) ou non goujonnés.

De l'analyse de ces résultats il ressort que:

- pour les dalles d'épaisseur supérieures ou égales à 20 cm, l'apport du goujonnage des joints est faible et ne justifie peut être pas le surcoût important nécessaire;

- par contre, pour les dalles d'épaisseur faible (16 cm - planche C), l'apport du goujonnage est appréciable, ce qui est tout à fait logique étant donné que le transfert de charge par engrenement des matériaux au niveau des lèvres des joints devient plus faible.

4/ Constatations générales:

- l'analyse des résultats du suivi périodique des planches expérimentales montre que la fissuration des dalles a évolué de façon appréciable, sans toutefois que cette évolution porte atteinte à la tenue générale de la section;

- depuis sa réalisation en Mai 1985, la section expérimentale n'a fait l'objet d'aucune opération d'entretien .

I - 5/ Conclusion

Huit ans, environ après la réalisation de cette première expérimentation en béton, une évolution très importante a été constatée. Elle consiste en l'apparition de fissures longitudinales/transversales qui ont évoluées vers une fragmentation des dalles au niveau de certaines planches. La section n'a encore fait l'objet d'aucun entretien et l'évolution de la fissuration ne porte pas encore atteinte à la tenue générale de la chaussée.

II CHANTIER PILOTE (CT 1063)

2 -1/ Objectifs

Après les résultats obtenus à la suite de l'expérimentation, à petite échelle, de la technique des chaussées en béton de ciment au Maroc, il a été décidé de passer au stade de réalisation d'un chantier pilote qui devrait permettre d'atteindre les principaux objectifs suivants:

- sensibiliser et former des techniciens, et ceci aussi bien dans l'Administration que dans le secteur privé, dans la technique des chaussées en béton de ciment;
- confronter les études à la réalité, il sera, en particulier possible, de mettre à l'épreuve les données issues de l'étude de faisabilité technico économique, précédemment réalisée;
- mettre au point la technique d'exécution en fonction des paramètres spécifiques du pays;
- détecter par la pratique les contraintes et les problèmes qui n'étaient pas prévisibles au moment des études;
- disposer de données qui permettront d'amender les spécifications provisoires établies;

- expérimenter d'autres aspects de la technique pour compléter ceux prévus dans l'expérimentation sur la RS 229 .

II- 2 Conception

La structure de la chaussée rigide retenue pour la section courante du projet est la suivante:

- couche de fondation: 20 cm GNF;
- dalle en béton de ciment: 18 cm d'épaisseur;

- accotements de 2 m de largeur en matériaux drainants (prolongement de la GNF) surmontés de matériaux sélectionnés;

- largeur de la chaussée: $L = 4\text{m}$. La technique en béton choisie est la technique des dalles courtes non armées à joints transversaux goujonnés tous les 5 m.

Les joints de retrait sont réalisés par sciage dans le béton durci, sur au moins un quart de l'épaisseur de la dalle .

Des joints de dilatations sont prévus au niveau des ouvrages d'art et à la liaison de la section avec d'autres routes qui la traverse .

Des joints sont garnis à l'aide d'un produit de scellement destiné à éviter l'entrée d'eau dans la structure et à empêcher l'entrée dans la fente du joint de débris solides qui risqueraient de provoquer des épaufrures ou l'éclatement du Joint.

Les goujons prévus sont des barres d'acier doux de 25mm de diamètre et de 60 cm de longueur, mis en place à mi - hauteur des dalles avec un espacement de 30 cm.

II - 3/ Sections expérimentales:

Les planches expérimentales réalisées concernent le drainage de la chaussée, le type de matériaux de fondation et les épaisseurs des couches, l'épaisseur des dalles en béton et leur largeur .

II - 3 - 1/ Drainage

Les premiers résultats de suivi du comportement de la planche expérimentale RS 229 montrent l'apparition sur plusieurs dalles d'une fissuration longitudinale dont la cause la plus probable est un mauvais drainage du corps de chaussée, associé au caractère de la forte sensibilité à l'eau du sol de fondation de la chaussée.

Il a été ainsi, jugé intéressant d'expérimenter quelques structures variantes pour le drainage de la chaussée et des accotements .

*** Variante n° 1** (variante témoin): Tout l'accotement en matériaux sélectionnés (200 m).

*** Variante n° 2:** 20 cm de matériaux drainants (gravette 4/20) surmontés de 18 cm de matériaux sélectionnés (200 m).

*** Variante n° 3:** 30 cm de matériaux drainants surmontés de 8 cm de matériaux sélectionnés (200 m) .

II - 3 - 2/ Couche de fondation

Il serait souhaitable de pouvoir faire une distinction du comportement entre les types de graves non traitées mises en fondation de chaussées rigides et l'apport d'une simple couche de forme en matériaux sélectionnés:

*** Variante n° 5** (200 m): 20 CM de GNA au lieu de la GNF selon le profil en travers de base .

*** Variante n°6** (200 m): 30 cm de couche de forme en matériaux sélectionnés et élimination de la couche de fondation .

* Variante n° 7: (100 m) Dalles en béton posées directement sur le sol en place.

II - 3 - 3/ Dalle en béton

a) Epaisseur des dalles

L'épaisseur des dalles en béton fixée à 18 cm pour le CT 1063 semble être une épaisseur limite pour des sols de faible portance sensibles à l'eau .

Ainsi il a été jugé intéressant de réaliser sur une longueur minimale de 200 m, des dalles avec une épaisseur de 20 cm en conservant le profil de base. Puis 22 cm de béton directement sur le sol naturel, dans le but de pouvoir mieux interpréter des dégradations futures éventuelles. (variante n° 8 et 9) .

b) Largeur des dalles

Le suivi du comportement de la section expérimentale RS 229 laisse penser que la fissuration longitudinale apparue sur plusieurs dalles pourrait être due à la largeur de 4m adoptée et qui est peut être excessive dans le cas des sols à variation volumétrique importante .

Ainsi il a été jugé intéressant de réaliser, sur une section de 200 à 300 m, une chaussée large de 6 m avec un joint longitudinal au milieu. (variante n°10)

II- 4/ Réalisation

La centrale à béton est une semi - mobile de type Mobilimix 60 de LIEBHERR (60 m³/h), installée, environ, au milieu du tracé.

Le transport du béton a été assuré par des camions bennes. Pour la réalisation des dalles en béton, le matériel utilisé, spécialement acquis à l'occasion de la réalisation de ce chantier, est une machine à coffrage glissant (SF - 350 de CMI).

La protection de la surface du béton frais a été assurée, efficacement, à l'aide d'un produit de cure type SIKA pulvérisé.

Le transfert de charge entre dalles, au niveau des joints transversaux est assuré à l'aide de goudjons: barres d'acier de 30 mm de diamètre, 60 cm de longueur espacés de 30 cm et montés sur des berceaux pour être mis en place à mi - hauteur des dalles .

Le traitement de surface a été effectué par un simple brossage de la surface du béton frais à l'aide d'un balai à brins métalliques conçu par l'entreprise et adapté pendant la réalisation de la planche d'essais .

La réalisation des joints transversaux (et longitudinal au niveau de la section expérimentale à 6m de largeur) a été effectuée par sciage jusqu'au 1/3 de la hauteur des dalles. Ces joints ont été garnis, par la suite, à l'aide d'un produit de type thermoplastique, essentiellement à base de brais de houille, de polymères et de charges minérales (ACCOPLAST V).

II - 5/ Quelques problèmes

Après la réalisation des premiers kilomètres la majorité des problèmes rencontrés ont été surmontés:

- 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 dû, 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, en partie, due à la nature de la couche de fondation (grave non traitée de type GNF) et à la finition de cette dernière qui n'était pas compatible avec les tolérances désirées pour l'épaisseur des dalles en béton .

II - 6/ comportement de la chaussée

2 - 6 -1/ Etat de comportement global

Après environ 40 mois de service, sous un trafic relativement agressif pour certaines sections (transport de matériaux de construction: gravettes et argile pour l'industrie de briques et céramique à BERCHID), le comportement global de la chaussée expérimentale est jugé très bon .

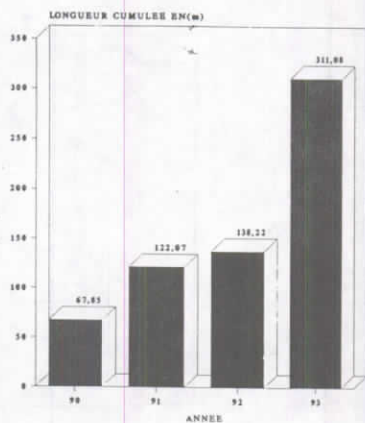
Les fissures (toutes catégories) apparues n'affectent pas l'uni de la chaussée et par conséquent le confort de l'usager et le niveau de service global de la route

2 - 6- 2/ Evolution de la fissuration

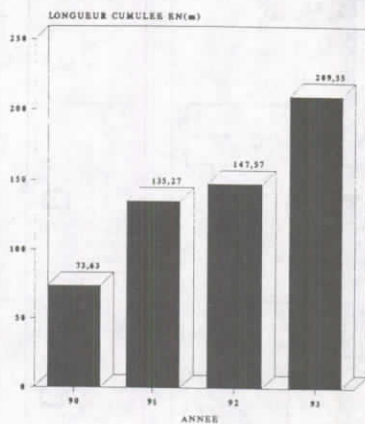
Avant 1993, les résultats de suivi du comportement de la chaussée expérimentale, montrent que des fissures, toutes catégories, affectaient 3,2% de l'ensemble des dalles constituant les 18,160 km du CT 1063 construits en béton de ciment .

Après le relevé effectué au mois de juin 1993, le pourcentage des dalles fissurées est de 5,9 %.

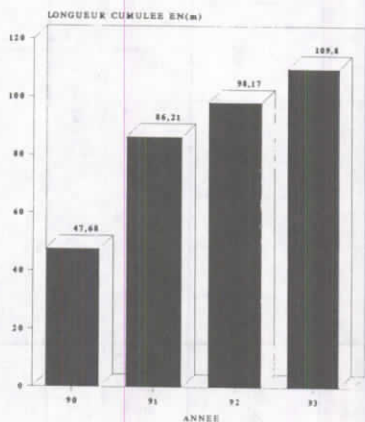
EVOLUTION DE LA LONGUEUR CUMULEE
DES FISSURES LONGITUDINALES
(CHAUSSEE EN BETON CT1063)



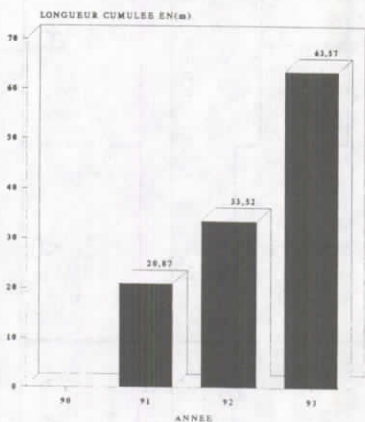
EVOLUTION DE LA LONGUEUR CUMULEE
DES FISSURES TRANSVERSALES
(CHAUSSEE EN BETON CT 1063)



EVOLUTION DE LA LONGUEUR CUMULEE
DES FISSURES TRANSVERSALES DU JOINT
(CHAUSSEE EN BETON CT1063)



EVOLUTION DE LA LONGUEUR CUMULEE
DES FISSURES OBLIQUES
(CHAUSSEE EN BETON CT 1063)



CNER

Le tableau ci - après récapitule, par type de fissure, le nombre et la longueur des fissures selon les dates des relevés effectués .

Cette évolution, par type de fissures est illustrée par les histogrammes de l'annexe n° 2 .

EVOLUTION DES FISSURES

Date de relevé	NFL / LTFL	NFT / LTFT	NFTJ / LTFTJ	NFOB / LTFOB	NCA / LTCA
05/12/90	14 67.85	18 73.63	12 47.68	-	-
30/12/91	15 54.22	16 61.64	16 38.53	8 20.87	13 10.20
13/08/92	4 16.15	4 12.30	3 11.96	5 12.65	6 4.3
16/08/93	45 172.86	16 61.98	7 11.63	10 30.05	7 2.55
TOTAL	76 311,08	54 209,55	38 109,80	23 63,57	26 17,05

N.B. :

- NFL : Nombre de fissures longitudinales
- LTFL : Longueur totale des fissures longitudinales
- NFT : Nombre de fissures transversales
- LTFT : Longueur totale des fissures transversales
- NFTJ : Nombre de fissures transversales du joint
- LTFTJ : Longueur totale des fissures transversale de joint
- NFOB : Nombre de fissures obliques
- LTFOB : Longueur totale des fissures obliques
- NCA : Nombre de fissures cassures d'angle
- LTCA : Longueur totale de cassures d'angles .

Les histogrammes de la figure n°1, ci - après présentent l'évolution dans le temps des différentes catégories de fissures .

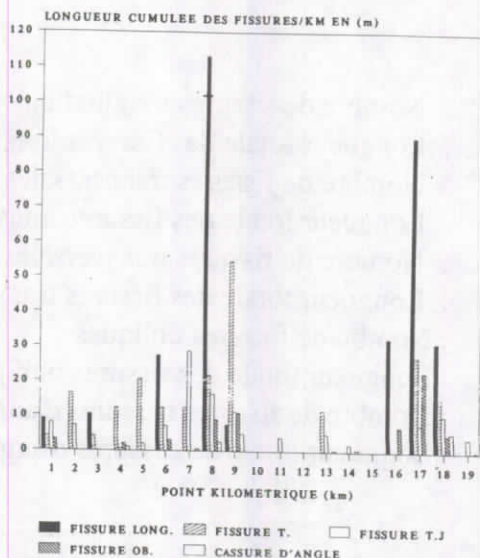
Les résultats précédents permettent de constater que l'évolution de la fissuration peut être caractérisée comme suit:

En moyenne, chaque année, 3,4% des dalles sont affectées par au moins l'une des catégories des fissures .

II- 6 - 3/ Analyse de la fissuration des dalles selon leur situation sur le tracé

La figure n° 2, ci - après illustre l'état de fissuration (longueur des fissures par type) de la route expérimentale en fonction des points kilométriques

ETAT DE FISSURATION DE LA CHAUSSEE EXPERIMENTALE EN BETON DE CIMENT (CT 1063) JUILLET 93



CNER

L'analyse des données présentées par cette figure permet de constater que :

- Les fissures transversales (Fissure T et fissure T.J) sont plus concentrées sur les neufs premiers kilomètres à partir d'EL GARA, 33% de ces fissures ont été relevées, déjà en 1990 sur les deux premiers kilomètres réalisés (PK 9 à PK 7), leur cause est liée à des problèmes d'exécution (retard de sciage, réalisation des goudjous, qualité du béton etc. . .):

- Les fissures longitudinales les plus critiques, qui constituent le type de dégradation le plus grave pour les chaussées en béton de ciment, sont surtout concentrées sur les sections suivantes:

- * entre les PK 7 et 8 sur une longueur de 113m . 60% des ces fissures ont été relevées en 1990, peu de temps après la mise en service de la route;

- * entre les PK 16 et 18, sur 30 dalles. Il y a lieu rappeler que cette section correspond à la variante relative au cas de dalle en béton posées directement sur le terrain naturel (sans couche de fondation). Ces fissures ont été détectées suite au dernier relevé effectué au mois de Juin 1993.

II - 6 - 4/ Conclusion

Après environ 40 mois de service, sous un trafic relativement agressif, sans aucun entretien, le comportement global de la chaussée expérimentale pilote en béton de ciment est jugé très bon .

La fissuration a affecté environ 6% de l'ensemble des dalles constituant les 18,160 km de la chaussée expérimentale. Les différents types de fissures relevés n'affectent pas encore le niveau de service de la chaussée .

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

A travers ces deux 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, par d'autres réalisations, pour capitaliser l'expérience déjà acquise .

La période de suivi de ces expérimentations ne permet pas encore de tirer les conclusions relatives à tous les objectifs fixés (notamment pour le cas du CT 1063) . Néanmoins, les conclusions suivantes peuvent être retenues:

- en matière de conception, la technique des dalles courtes (4 à 5 m de longueur), qui a été proposée provisoirement 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 sur le sol naturel;

- en ce qui concerne la largeur des dalles, à notre avis il y a lieu de la limiter à la largeur d'une voie de circulation (soit 3,50 m), sinon il faut prévoir 'un joint longitudinal, notamment sur les sols sensibles à la variation de teneur en eau;

l'apport du goudronnage des joints transversaux, opération coûteuse et de réalisation assez délicate, a été faible dans les deux cas d'expérimentation, aussi, on recommande de l'éliminer pour les cas de trafic faible à moyen .