

LE BETON COMPACTE
EN TECHNIQUE ROUTIERE

Abdelaziz DAHBI
Directeur du Centre National
d'Etudes et de Recherches Routières
D R C R

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

I - INTRODUCTION :

la crise de l'énergie de ces dernières années a conduit les entreprises et les Administrations dans plusieurs pays à multiplier leurs efforts d'imagination pour réduire les quantités de bitume utilisées dans les travaux routiers.

Une des premières idées qui pouvaient venir à l'esprit était de concevoir des chaussées pratiquement sans bitume. Dans ce domaine une solution existait : Les chaussées en béton de ciment vibré. Cette technique qui a fait ses preuves de grande longévité, d'entretien pratiquement nul et de coût raisonnable a déjà fait l'objet de plusieurs actions de la Direction des routes et de la Circulation Routière, pour son introduction au Maroc. En effet, les études et recherches menées au Centre National d'Etudes et de Recherches Routières, depuis quelques années, ainsi que l'expérimentation en vraie grandeur, ont mis en évidence que cette technique est applicable au Maroc. Il en est de même pour d'autres techniques de chaussée faisant appel aux liants hydrauliques tels que le traitement des sols en place et les graves ciments.

Cependant, malgré tous ses atouts, la technique des chaussées en béton de ciment a contre elle deux défauts importants :

- La réalisation des travaux nécessite un matériel spécial et ne peut donc pas être faite par la plupart des entreprises.
- Elle n'est pas adaptée à la réalisation des travaux sous circulation.

Pour pallier à ces défauts tout en profitant des hautes performances d'un matériau à liant hydraulique, les études et expérimentations menées en France depuis 1974 ont abouti à ce qui est devenu le béton compacté.

Cette note a pour objet de donner un aperçu sur cette nouvelle technique: le béton compacté. L'analyse de ses performances, des problèmes posés par sa conception et sa réalisation, de son coût et son comportement permettront de tirer des conclusions quant à son avenir au Maroc.

II - DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DU BETON COMPACTE :

le béton compacté est un matériau réalisé à partir d'une grave entièrement ou partiellement concassée, traitée en centrale par un liant hydraulique et mise en couche de base des chaussées par compactage à l'aide des engins classiques de travaux routiers.

Ce matériau peut être caractérisé par :

- * une granulométrie bien étudiée pour assurer une stabilité naturelle permettant l'ouverture à la circulation immédiatement après mise en oeuvre.

- * un dosage en liant assez fort permettant d'obtenir des résistances analogues à celles d'un béton plastique.

* une teneur en eau relativement faible ce qui permet d'augmenter les résistances et de limiter la fissuration par rapport à un béton classique, mais suffisante pour obtenir une compacité maximale.

Quelques jours après la mise en oeuvre, les bétons compactés reçoivent une couche de roulement ou d'usure fonction de la destination de l'ouvrage et de son importance.

III - ETUDE DE LABORATOIRE :

A - Méthodologie

La méthodologie d'étude en laboratoire des bétons compactés est actuellement la suivante :

a/ Recherche à partir d'essais Proctor modifiés de la courbe granulométrique optimale. C'est la courbe qui conduit à la compacité la plus élevée sans rendre le matériau particulièrement sensible aux variations de teneur en eau.

b/ Etude des caractéristiques mécaniques en cours et en fin de prise.

La mesure des résistances en traction et des modules correspondants se fait par essai de fondage sur éprouvettes 16x32 compactée par vibro-compression.

Eventuellement les résistances peuvent être mesurées en traction directe

Ces essais devront permettre de définir la teneur en liant qui permet d'atteindre les performances requises par les spécifications. Ces essais pourront être complétés par une étude de l'influence de certains paramètres de formulation sur les performances.

B - L'influence de certains paramètres

1 - L'influence des granulats :

Les granulats pour bétons compactés peuvent parvenir soit de roches massives concassées, soit d'alluvions, leurs caractéristiques, (dureté, angularité etc...) sont en principe celles définies pour les graves traitées aux liants hydrauliques, (spécifications françaises). Des seuils de caractéristiques inférieures peuvent être acceptés pour certains matériaux calcaires compte tenu des résultats plus performants généralement obtenus avec ce type de roche et de sa moindre susceptibilité thermique qui tend à limiter la fissuration .

Le tableau ci-après, résultant de 22 études de formules à 14% de ciment compacté à 100% de L'OPM met en évidence ce phénomène.

Nature des granulats	Résistance en tractions (MPa)
calcaire tendre	3,1 à 3,6
calcaire dur à très dur	4,0 à 5,5
silico-calcaires	3,2 à 4,7
granite - gneiss	3,3 à 4,1

TABLEAU N°1

Influence de la nature des granulats sur les performances mécaniques à 28 jours.

par ailleurs, la technique du béton compacté exige :

-Des graviers de tailles maximum de 20 mm. En effet l'expérience de chantier a montré que pour éviter la ségrégation et obtenir une meilleure qualité de surface, il faut limiter la granulatrie. La courbe granulométrique du mélange granulat + liant rentre dans un des fuseaux de référence ci-après (figure 1)

-Des sables dont la part majoritaire peut être du sable roulé mais doivent contenir obligatoirement une part concassée dans le but d'augmenter la compacité et d'améliorer l'ouvrabilité.

Ces sables doivent être exempts d'éléments fins nocifs, mais peuvent par contre, dans le cas des sables de concassage avoir une teneur en éléments fins relativement importante. (si ces éléments ne sont pas nocifs).

2 - L'influence de la teneur en eau :

Pour ce matériau contenant une forte proportion de fines, la maîtrise de la teneur en eau est fondamentale. Celle-ci doit permettre :

- l'hydratation du liant
- un compactage optimal sur chantier.

La fourchette est en général comprise entre 4 et 7%.

Dans ce domaine, l'étude de l'optimum proctor conserve toute sa valeur.

Les bétons compactés montrent une très grande sensibilité aux variations de teneur en eau : un excès ou un manque d'eau abaissent fortement les performances mécaniques comme c'est indiqué ci-après.(figure 2).

fig. 1

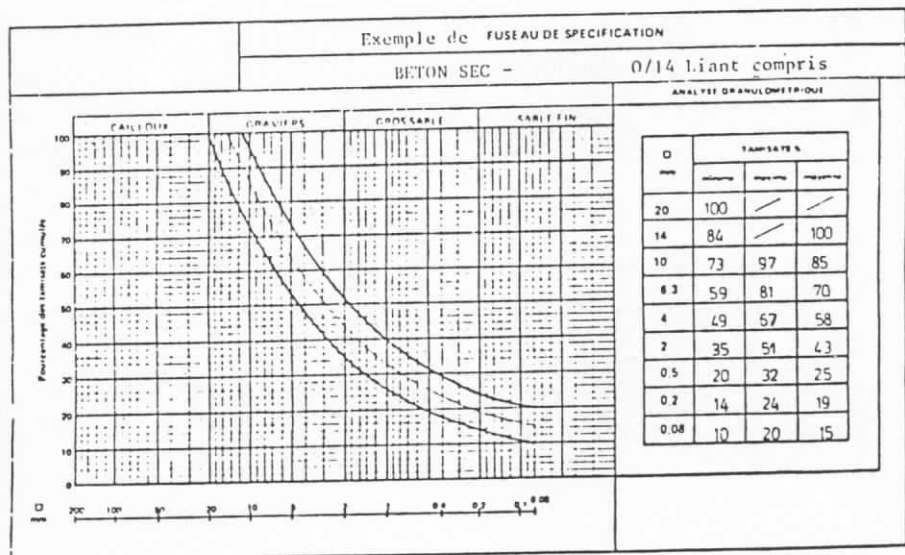
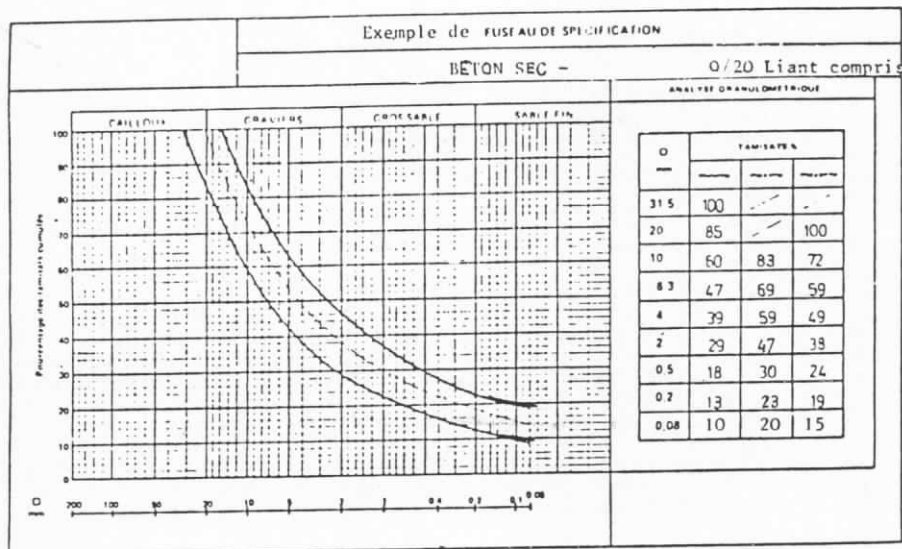
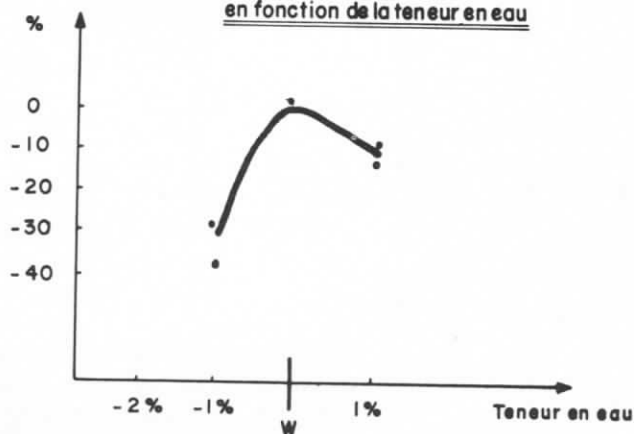


Figure N° 2 :

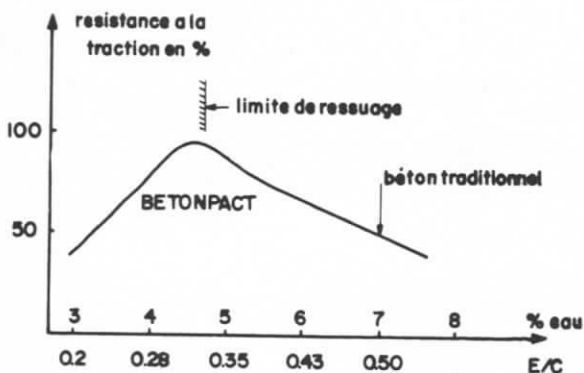
Variations de la résistance à la Traction R_{TB} à 28j
en fonction de la teneur en eau



R_{TB} : Résistance de traction par fondage (Brésilien)

La courbe ci-dessous de la figure n°3 montre la variation de la résistance en traction en fonction du rapport E/C. La teneur en eau optimale ne peut être inférieure à celle d'un béton traditionnel par suite de l'existence de la limite de ressuage au delà de laquelle le compactage devient impossible.

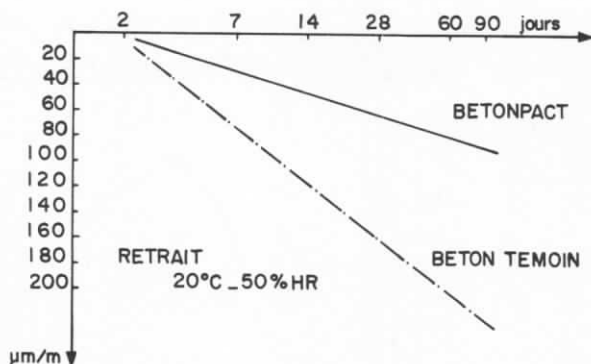
Figure n° 3 :



Variation de la résistance à la traction en % en fonction du rapport E/C

Il est à signaler que du fait de sa faible teneur en eau et en ciment le béton compacté présente des retraits hydrauliques plus faibles que ceux d'un béton plastique et par conséquent une fissuration plus réduite

Figure N°4 :



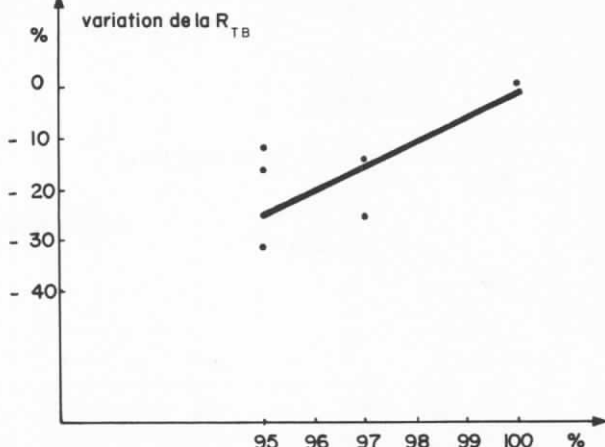
Comparaison du retrait du béton compacté
et d'un béton plastique mesuré sur cylindres
16x32 cm et conservé à 20°C et 50 % HR

3 - Influence du taux de compactage :

Comme pour tous les matériaux mis en oeuvre par compactage, le niveau de compacté obtenu a une grande influence sur les propriétés mécaniques (figure n°5).

A teneurs en eau égales, les gains de performances moyennes entre 97 et 100% de l'OPM sont de l'ordre de 15 à 20% suivant les matériaux.

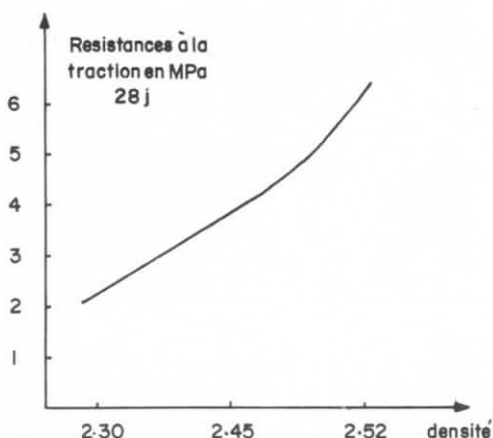
Figure n° 5 :



Variations de la résistance à la traction R_{TB} à 28j en fonction de la compacité

La figure 6 montre la variation très rapide des résistances du béton compacté en fonction de la densité obtenue.

Figure N°6



Variation très rapide des résistances du béton compacté en fonction de la densité obtenue

Il est donc très important.

-De disposer à la mise en oeuvre d'un support permettant un compactage efficace.

-D'accepter de mettre en oeuvre une énergie et un type de compactage permettant d'atteindre de façon fiable les 97% de L'OPM en tout point.

4 - Influence du dosage en ciment :

Les liants les plus employés dans la composition des bétons compactés sont :

Soit du ciment seul (CPA), soit des mélanges ciment plus cendres volantes silico-alumineuses avec ou sans ajout de chaux, selon le type de ciment employé.

Les dosages en liant les plus courants sont :

-10 à 14% poids par rapport aux matériaux secs.

-6 à 8% de ciment plus 5% à 6% de cendres volantes.

Le tableau 2 ci-après donne la progression des résistances en traction par fondage entre 2 et 90 j pour deux dosages différents d'un ciment aux cendres volantes.

TABLEAU N°2 :

**Progression des résistances en traction par fondage
entre 2 et 90 j**

RESISTANCE EN TRACTION		2 J	28 j	90 j
RTB (MP)				
Calcaire dur	c =14%	1,6	4,0	5,5
	c =10%	1,4	3,5	5,0
silico-calcaire	c =14%	2,8	4,7	6,1
	c =10%	2,1	3,5	4,6

D'après ce tableau, il est intéressant de prendre en compte les résistances à 90j à condition que les résistances à 2j soient suffisantes pour permettre la livraison immédiate au trafic.

Le tableau montre de même que les résistances à 28j sont largement supérieures aux limites retenues dans les spécifications provisoires françaises :

R_T	3,3 MPa pour T	T_2
R_T	2,8 MPa pour T	T_2

IV - EXECUTION DES CHANTIERS :

Les domaines d'emploi du béton compacté , ont été très divers :

- Les voiries à trafic faible et léger
- Les chaussées et plates-formes industrielles
- Les routes nationales et chemins départementaux aux chaussées neuves ou en renforcement.

A - Fabrication des bétons compactés

La fabrication s'effectue en centrale de façon à obtenir un matériau homogène et de composition stable.

Selon les possibilités locales et les débits prévus, cette fabrication s'effectue soit en centrale à béton discontinu (notamment centrale de béton prêt à l'emploi) soit en centrale de recomposition pour graves traitées.

Le débit de la centrale est un critère fondamental de choix.

B - Le transport

Le transport est réalisé par des camions bennes ordinaires. Des dispositions sont à prendre pour éviter la ségrégation et l'évaporation de l'eau pendant le transport.

C * La mise en oeuvre

1 * Le répandage :

Il est assuré par deux types d'engins :

- La niveleuse
- Le finisseur

Le matériel le plus couramment utilisé est la niveleuse en raison de sa souplesse, en particulier lorsqu'elle travaille sur des surfaces à géométrie complexe.

Quant au finisseur, son emploi a été jugé indispensable sur les chaussées où les exigences en matière d'uni sont sévères. Par ailleurs pour des épaisseurs du béton compacté supérieures ou égales à 20 cm, les finisseurs standards sont à remplacer par des finisseurs plus performants, permettant d'assurer un très bon uni.

Deux problèmes importants sont encore à résoudre pour ce matériau dont les défauts de mise en oeuvre ne sont pas rattrapés par une couche de roulement épaisse en béton bitumineux :

- La ségrégation
- Un uni insuffisant.

Les problèmes de ségrégation peuvent être réglés par une formulation bien adaptée et surtout par des précautions particulières à chaque opération de fabrication, de transport, et de mise en oeuvre.

Les problèmes d'uni sont beaucoup plus difficiles à maîtriser et le résultat de mesures effectuées sur les chantiers réalisés est souvent médiocre.

Pour obtenir la meilleure qualité de surface (uni), l'expérience acquise conduit à conseiller le processus suivant:

- Répandage et réglage du matériau avec une surépaisseur de quelques centimètres à l'aide d'une niveleuse ou d'un finisseur.
- Compactage partiel destiné à limiter le foisonnement du matériau
- Rabotage à l'aide d'une niveleuse spéciale jusqu'à obtention de l'épaisseur prévue.
- Poursuite et achèvement du compactage.

2 * Le compactage

L'expérience a montré, tout d'abord que pour obtenir un compactage convenable, le support doit présenter une résistance suffisante (déflexion $< 200 / 100$).

L'atelier type de compactage comporte un rouleau vibrant et un rouleau à pneu.

Le choix du type et du nombre de compacteurs est fonction de l'épaisseur de la couche et des cadences de mise en oeuvre. Le nombre de passes des compacteurs varie de 15 à 20 pour les vibrants et de 10 à 15 pour les pneus.

Outre le choix des compacteurs, la qualité du compactage est particulièrement liée au respect de la teneur en eau optimale.

Les défauts les plus couramment rencontrés sont :

- Des gradients de densité importants et de faibles densités en fond de couche.
- Des sous compacités en rive non butées.
- Des sous compacités liées aux irrégularités de répartition de la niveleuse ou le finisseur léger.

Les contrôles de compactage réalisés sur un chantier à l'aide du gammadensimètre (nombre de mesures 30) ont fourni, dans 80% des cas, des compacités moyennes supérieures à 98% de la densité de référence avec un écart type comprise entre 0,5 et 1,4%. Dans les 20% des cas restants la compacité moyenne a toujours été supérieure à 95,5% de la densité de référence avec des écarts types variants de 0,7% à 2,7%. Ces derniers cas correspondent, en général, à des réalisations où la portance du sol était insuffisante.

Un autre problème souvent rencontré est la perte d'eau entre la fabrication et la fin de compactage. Ce problème peut s'aggraver dans des climats chauds et secs et entraîner des chutes de résistance par un compactage insuffisant ou une hydratation incomplète du ciment.

	! CONTROLE DE !	CONTROLE DE !
	! FABRICATION !	! COMPACTAGE !
NOMBRE DE MESURES	! 69	! 54
MOYENNE DES W %	! 5,7	! 5,4
ECART TYPE (%)	! 0,5	! 0,5
ETENDUE (%)	! 4,5 - 6,5	! 4,3 - 6,2

TABLEAU N° 3 :

-Exemple de perte d'eau entre la fabrication et le compactage du béton compacté.

3 - Couche de cure :

Une couche de cure est indispensable au maintien d'une humidité suffisante en surface pour que la prise du ciment se fasse normalement.

La protection de la surface contre la dessiccation se fait en deux étapes :

- Arrosage modéré mais fréquent en évitant tout ruissellement en surface.

- Exécution d'une couche de cure consistant en une couche d'émulsion de bitume basique (pH 4 environ 600g/m²) suivi d'un sablage.

D - Revêtement d'usure :

La solution la plus courante consiste à réaliser un mois après la mise en oeuvre, un enduit superficiel.

Cet enduit peut être, suivant le trafic et la qualité de l'enduit de cure, un enduit monocouche simple double gravillonnage, ou un bicouche.

L'allongement du délai séparant la livraison au trafic initial et l'exécution de l'enduit superficiel final, permet la détection des zones localisées faibles et leur traitement.

V - COMPORTEMENT DANS LE TEMPS SOUS TRAFIC :

Le comportement à long terme des bétons compactés est mal connu. En effet les réalisations les plus anciennes, en France, n'ont que quelques années d'âge et sont insuffisantes pour porter des jugements définitifs sur la technique.

Cependant certaines constatations ont été faites :

- Les fissures de retrait des bétons compactés apparaissent systématiquement au cours de la première année.

- Les fissures ont souvent un écartement et donc une ouverture en hiver comparable à celle des fissures des graves ciment.

- Sur certains chantiers une fissuration très espacée (30 à 50cm) a été observée. Dans ce cas l'écartement des bords de la fissure en hiver est tel qu'il a une perte totale du transfert de charge.

Il a été constaté, de même, que les bétons compactés présentent une sensibilité très importante aux sous compactages.

VI - CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT :

Compte tenu des connaissances actuelles le dimensionnement des chaussées en béton compacté pose encore des problèmes, c'est ainsi que leur utilisation a été limitée en France à des trafics moyens (T_{2}).

Les problèmes sont liés à la difficulté de prévoir et de définir les caractéristiques des fissures de ce type de matériau :

- espacement
- largeur
- comportement sous trafic (transfert de charge).

Parmi les questions posées :

Une couche de chaussées en béton compacté pouvait-elle être assimilée à une chaussée en béton vibré avec joint, travaillant comme une suite de dalles non liées ? Ou au contraire, grâce à l'engrenement existant au droit des fissures, se comporte t-elle comme un massif infini ?

En attendant de mieux connaître le comportement du matériau, le dimensionnement des bétons compactés, pour les chaussées neuves est fait, en France, par analogie avec celui des chaussées en béton plastique:

- Les couches de fondation ont les mêmes caractéristiques.
- Les épaisseurs des couches de béton sont prises égales à celles des bétons plastiques.

Pour les chaussées à faible trafic le dimensionnement est effectué en fonction des caractéristiques réelles du matériau (RT et module) et en assimilant les bétons compactés à des graves hydrauliques avec enduit.

Pour les renforcements, le dimensionnement est fait cas par cas.

VII - ASPECT ECONOMIQUE ET ENERGETIQUE :

Des calculs de comparaison économique menés en France ont montré que, du fait de l'absence de couche de roulement en béton bitumineux, les structures en béton compacté présentent des bilans économiques et énergétiques très favorables.

Il est à signaler que ces bilans, favorables au béton compacté, peuvent s'inverser par suite d'une mauvaise qualité de surface et notamment l'uni.

L'annexe présente, les résultats d'une comparaison économique de cette technique avec la technique classique et le béton de ciment dans le contexte Marocain. La comparaison concerne le renforcement d'une section de la RP.3 en grave ciment.

VIII - L'EXPERIENCE NATIONALE ACTUELLE :

En vue d'introduire au Maroc la technique des graves traitées aux liants hydrauliques, pour acquérir une première expérience avant de passer à l'expérimentation des bétons compactés, la Direction des Routes et de la Circulation Routière avait réalisé en 1983 une section expérimentale en grave ciment sur la RP.3 du PK 52+300 au PK 53+600 soit sur une longueur de 1300m.

Le suivi, depuis lors, du comportement de cette section montre des résultats très satisfaisants, signes d'une bonne réussite de l'expérimentation.

A - Les données de base

La section considérée, qui était programmée pour être renforcée, présentait un état de dégradation avancé

- Classe de déflexion C 5
- Indice de planéité RI = 5000 mm/km
- Déformation transversale (ornière) 3-4cm

Le trafic relevé sur la section correspond à la classe T3 du catalogue des structures types de chaussées.

La structure de renforcement retenue était 22cm GC + 6cm EB.

La réalisation du tapis d'enrobé a été reporté dans un avenir proche.

B - Etude du laboratoire

Les essais menés au laboratoire ont permis d'arrêter la formulation suivante :

Sable	0/6	40 %
Gravillons	6/20	60 %
Ciment CPAZ	325	4 %
Retardateur SODAP		0,6 %
Eau		5,7 %

Les granulats utilisés sont des matériaux locaux des carrières de LALLA MIMOUNA 0/6 est un sable de concassage très propre se caractérisant par un filler dont la teneur est très homogène.

Le fuseau 0/20 adopté est présenté dans le graphique de la figure 7.

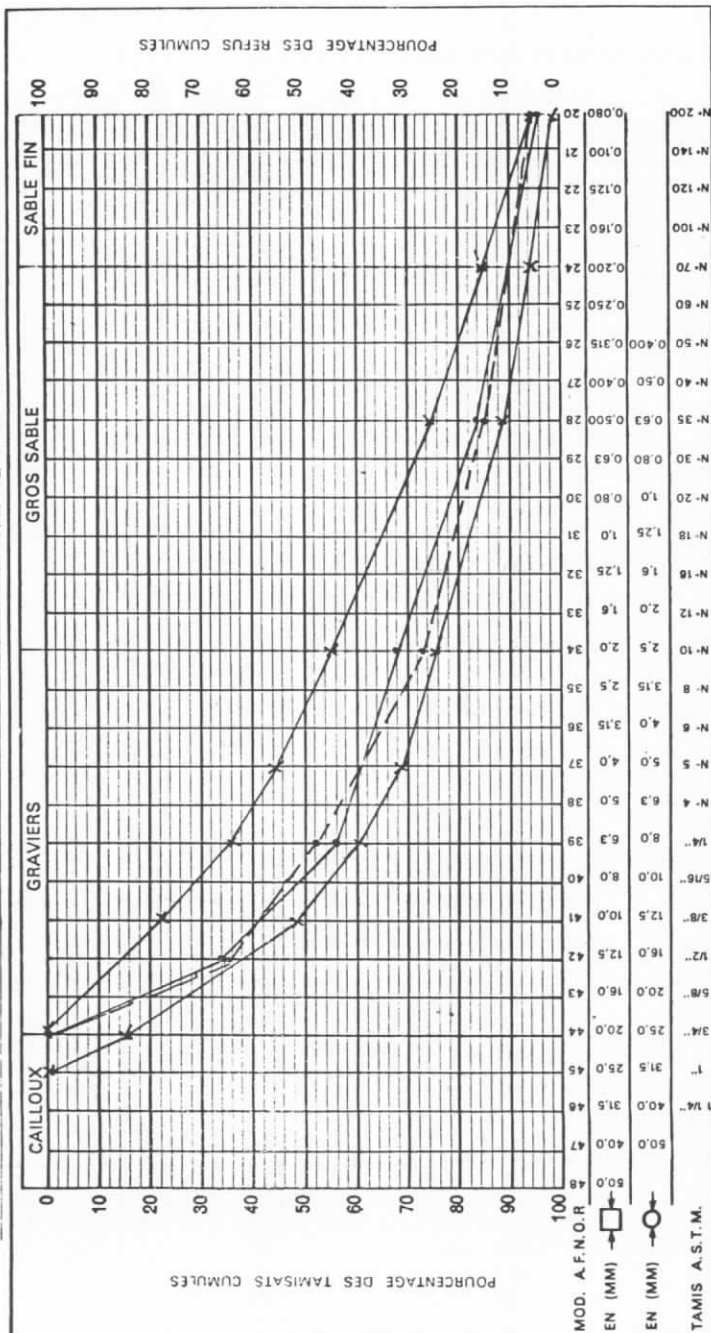
C - Exécution du chantier

1 - Mise en oeuvre :

La centrale a été située au milieu du tronçon et le transport s'effectuait rapidement par camions bennes. Le répandage a été effectué par la niveleuse.

Nature, Provenance et N° de l'Échantillon : _____

Grave Ciment



OBSERVATIONS :

~~XXXX~~ PUSCAU G.C

— courbe théorique

--- courbe ajustée

Le compactage a été réalisé par :

- Un compacteur vibrant sismopactor 8 tonnes.
- Un compacteur ortho pacteur avec 4 et 5 roues chargées à 25t.

Après réalisation d'une planche d'essai, il a été retenu la cadence de 5 passes du compacteur vibrant et 15 passes du compacteur à pneus.

2 - Protection de surface-couche d'usure :

Tous les jours 3 à 4h après la fin du compactage, une émulsion de bitume a été répandue sur la planche terminée suivie d'un sablage.

Un enduit superficiel bicouche a été réalisé sur la grave ciment pour constituer sa couche d'usure en attendant de réaliser le tapis d'enrobé prévu.

D - Comportement sous trafic :

Depuis la mise en service, la section a été l'objet de plusieurs campagnes de mesure d'uni, de déflexion et de relevé visuel. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et encourageants.

-Les fissures relevées sont régulières, elles sont espacées de 8 à 10m et correspondent à celles caractérisant les graves-ciments.

-Les résultats des dernières mesures de déflexion et de l'uni au bump intégrator attestent d'une bonne portance et d'un bon uni.

E - Coût de réalisation de la section

Le coût au mètre linéaire de réalisation de la section de renforcement se décompose comme suit :

- Fourniture et mise en oeuvre de la grave ciment : 628,94 DH/ml
- Enduit de cure sablé : 13,31 DH/ml
- Revêtement enduit bi-couche : 47,57 DH/ml
- Matériaux sélectionnés pour accotement : 1,03 DH/ml

IX - CONCLUSION - INTERET DE LA TECHNIQUE POUR LE MAROC

Avant de conclure, il est utile de rappeler les avantages sur la base desquels il a été établi, en France, que la technique du béton compacté constitue une solution nouvelle intéressante :

- Facilité de mise en oeuvre due à l'emploi de matériel routier courant.
- L'économie de matériaux en quantité et en qualité grâce à la possibilité d'utiliser des matériaux locaux.
- L'ouverture immédiate au trafic.
- Les bilans économiques et énergétiques intéressants.

Il est évident que tous ces avantages sont très intéressants pour un pays comme le Maroc qui, n'étant pas producteur de pétrole et qui, cherche à diversifier les techniques de construction de chaussées et de les faire adapter aux conditions et aux ressources locales.

En particulier la possibilité d'emploi de matériel traditionnel est un atout considérable. L'impossibilité de cet emploi entrave partiellement, dans les conditions actuelles, l'introduction de la technique du béton plastique. Il en est de même de la possibilité d'emploi des matériaux calcaires de caractéristiques mécaniques moyennes, très abondants au Maroc, ainsi que les sables de concassage à forte teneur en fines.

Néanmoins, étant encore jeune et récente, la technique du béton compacté pose encore certains problèmes techniques et des questions restent encore posées quant à la conception et au comportement à long terme.

Ainsi, pour le Maroc, il serait illusoire de porter le même jugement, qu'en France, sur cette technique. En effet, d'après les développements ci-avant, relatifs aux différents stades de l'étude et de mise en oeuvre, le béton compacté peut être qualifié, à notre avis, de **technique pointue** et certains problèmes risquent de se poser davantage dans le contexte Marocain. En particulier, les questions suivantes méritent être soulevées :

- La technique de mise en oeuvre du béton compacté s'apparente beaucoup à celle des graves traitées aux liants hydrauliques. La France, ayant une grande expérience dans cette dernière technique a pu développer le béton compacté et résoudre en partie, les problèmes posés. L'expérience Marocaine, très limitée dans la technique de la grave ciment, lui permet-elle d'introduire facilement cette nouvelle technique ?

- La grande sensibilité de la technique aux variations de teneur en eau, jointe aux conditions climatiques plus sévères au Maroc (température et ensoleillement plus élevés, vents plus chauds...) permettront-elles de surmonter facilement et économiquement les problèmes?

- Les problèmes de ségrégation et d'uni, non totalement résolus jusqu'à présent, trouveront-ils une solution économique dans un avenir proche ?

L'expérience Française a montré qu'il est très difficile d'obtenir les compacités attendues sur les sols à faibles portances (C.B.R. < 5). La technique serait-elle intéressante économiquement au Maroc sur des sols de portance supérieure (C.B.R. > 5)?

Enfin, les comportements à long terme du béton compacté n'étant pas encore bien maîtrisés, des durées de vie importantes et des entretiens réduits sont encore douteux pour cette nouvelle technique. Néanmoins, les études détaillées de cette technique en vue de l'introduire au Maroc doivent être poursuivies. En particulier, la première expérience réussie de la grave-ciment, à petite échelle doit donner suite à d'autres réalisations plus importantes et diversifiées (chantier pilote) pour faire le point sur cette technique. En parallèle, avec cette action, une étude de laboratoire du béton compacté est lancée dès maintenant pour pouvoir passer par la suite à la réalisation d'une planche expérimentale. C'est une technique qui pourrait, particulièrement, être adaptée au renforcement des chaussées existantes.

ANNEXE

PRIX COMPARÉS AU ML DE 3 STRUCTURES DE RENFORCEMENT (SECTION GRAVE CIMENT) (CHAUSSEE DE 7 m DE LARGE)

1- Grave ciment + enduits bicouche : (22cm GC)

-Fourniture et mise en oeuvre	628,93 DH/ml
-Enduit de cure sablé	13,31 DH/ml
-Revêtement bicouche	73,84 DH/ml

TOTAL :	716,08 DH/ml

2-25 cm GNA + 6 cm EB :

-Fourniture et mise en	
-oeuvre de la GNA	192,5 DH/ml
-Imprégnation au CB 0/1	
(y compris liant)	17,47 DH/ml
-Enrobé bitumineux	
(y compris liant)	182,19 DH/ml

TOTAL :	397,16 DH/ml

3- 18 cm BC :

-Fourniture et mise	
en oeuvre	756,00 DH/ml

B I B L I O G R A P H I E

* Congrès Mondial de la route Sydney 1983 le rapport Français.

* Revue Générale des routes et des Aérodrômes 1986 n°17

* Revue Générale des Routes et des Aérodrômes n° 554 (1979)

* Revue Générale des Routes et des Aérodrômes n° 581 (1981)

* Les bétons compactés-journées d'étude chaussées rigides à L'E N P C Mars 1983.

* 1er Congrès National de la Route Marrakech
Le Béton compacté; A.MARSOT-J.C. NISSOUX

*CNER : Rapport de suivi et de réalisation de la section en grave ciment sur la RP. 3