

# BETON COMPACTE : CONCEPTION DIMENSIONNEMENT

DECEMBRE 1985

## RESUME

Cette Note d'Information accompagne la Recommandation pour la réalisation des chaussées en béton compacté qui vient de paraître. Cette Recommandation fixe les règles de l'art en matière de constituants, formulation et mise en oeuvre de cette technique.

Les aspects relatifs à la conception des structures, qui sont actuellement moins bien maîtrisés, font l'objet de cette note d'information qui précise les hypothèses retenues pour le dimensionnement, les difficultés rencontrés et les structures actuellement préconisées.

## PREAMBULE

Les précautions de formulation, fabrication et mise en oeuvre des chaussées utilisant du béton compacté sont maintenant connues et ont fait l'objet d'une Recommandation qui apporte un début de codification de cette technique.

L'objet de cette note d'information de la Division des Chaussées du SETRA, s'appuyant sur les premières observations réalisées sur chaussées expérimentales, est de donner une information rapide sur les premières conclusions tirées de ces observations et en particulier des tendances relatives aux dimensionnements et dispositions constructives pour conclure sur une première approximation du domaine d'emploi de cette technique.

## HISTORIQUE

Introduite en France depuis 1976 pour les premières planches, la technique des bétons compactés s'est développée à partir de 1980-1981. Dans le souci de réduire l'utilisation des couches de surface en béton bitumineux, cette technique tente de cumuler les avantages des bétons de ciment

traditionnels pervibrés (en particulier les résistances mécaniques très élevées obtenues avec ces matériaux) et les avantages des graves traitées aux liants hydrauliques mises en oeuvre avec des matériels plus courants dans les entreprises, ainsi que l'aptitude à recevoir la circulation immédiatement après mise en oeuvre. Après une période de mise au point qui a pu conduire à l'observation de certains défauts de qualité et en particulier des problèmes de surface, la technique est maintenant suffisamment bien maîtrisée pour qu'une Recommandation complétant la Directive pour la "Réalisation des assises de chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques" ait pu être préparée. On note par ailleurs, que depuis Février 1980, une Circulaire de la Direction des Routes relative aux économies d'énergie a incité à expérimenter le béton compacté pour les trafics inférieurs ou égaux à T<sub>2</sub>, éventuellement T<sub>1</sub> ; l'excellente tenue de la surface des assises utilisant du béton compacté permet en effet d'envisager d'utiliser un enduit superficiel comme couche de roulement, ce qui constitue un atout important alors que l'on cherche à économiser le bitume.

## BIBLIOGRAPHIE

SETRA - LCPC - Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves (1977).

SETRA - LCPC - Guide pour le Dimensionnement des Renforcements de Chaussées souples (1978).

SETRA - LCPC - Manuel de Conception des Chaussées Neuves à Faible Trafic (1981).

SETRA - LCPC - Bétons Compactés - Recommandation (1984).

## NOTATIONS

### Matériaux

GH: graves hydrauliques

BC: béton pervibré

Bc: béton compacté

Ti: classe de trafic (fort trafic)

ti: classe de trafic (faible trafic)

CAPL: coefficient APL 25

APL: analyseur de profil en long

RT<sub>B</sub> résistance à la traction par contrainte fendage

N: nombre de répétition de la contrainte

PF: plate forme

d: déflexion

C'est dans ce contexte qu'un groupe de travail associant SETRA, LCPC, CETE et Maîtres d'Oeuvre a été créé dans le but de préciser le domaine d'emploi préférentiel de ces matériaux, ainsi que les règles de conception des structures de chaussées neuves et de renforcements qui y font appel. Les points suivants ont plus particulièrement été étudiés :

- différences entre performances en laboratoire et performances in situ,et conséquences quant à la conception des chaussées,
- fissuration,
- difficultés pour réaliser un uni de qualité.

## PERFORMANCES MECANIQUES EN LABORATOIRE

La Recommandation relative à la réalisation des chaussées en béton compacté précise des performances minimales de laboratoire ; le critère de performance retenu est la résistance  $R_{TB}$  à la compression diamétrale (essai Brésilien) dont on déduit une valeur conventionnelle de résistance à la traction notée  $R_{TB}$ .

**Caractéristique des chaussées : résistances , fissuration, uni**

### 1. Résistances en place

La comparaison des performances réelles des matériaux extraits de la route (carottes) et des performances obtenues en laboratoire n'est jamais facile.

- La carotte n'est pas toujours extraite en entier.
- La dimension des éprouvettes n'est pas la même.
- Le degré de durcissement n'est pas le même (les âges diffèrent en général, mais à âge égal la prise n'atteint pas le même stade en laboratoire et sur la route).
- Les gradients de compacité entraînent des variations des propriétés mécaniques d'un point à l'autre des éprouvettes extraites de chantiers ; les mesures faites reflètent une valeur moyenne.

Il est néanmoins important, éventuellement en recoupant plusieurs sources d'information, de se faire une opinion des écarts qui peuvent exister entre les performances obtenues sur la route et les performances obtenues en laboratoire et ensuite de critiquer les observations faites compte tenu de la connaissance de la sensibilité de la résistance aux paramètres de fabrication

**1.1.** L'analyse des carottes extraites des chaussées en béton compacté montre un très fort gradient de compacité en fond de couche, et des compacités relativement faibles dans les 5 cm inférieurs; les taux de compactage en fond de couche peuvent être, dans certains cas, inférieurs à 95% et même atteindre parfois 93%. La chute de résistance correspondante est très élevée (20% dans le premier cas et près de 40% dans le deuxième), ce qui explique de grandes variations de performances.

**1.2.** En éliminant les cas extrêmes (certaines résistances sont très faibles) pour se placer dans les conditions moyennes d'un chantier normalement réalisé on admettra une chute de 25% à 30% des performances entre les résultats de laboratoire et les résultats effectivement obtenus sur la route. La valeur retenue en référence représente ainsi une moyenne sur l'épaisseur de la carotte et intègre donc les faibles résistances observées en bas de couche.

## **2. Fissuration**

**2.1.** L'intervalle entre fissures est rarement connu à un âge suffisant pour que l'on soit certain de la stabilisation de l'état de fissuration. De plus, certains bétons compactés correspondant aux premiers chantiers ayant été revêtus en raison d'arrachements et d'un mauvais uni, les observations sont retardées de la durée de remontée des fissures au travers du revêtement.

De ce fait, le pas de fissuration apparaît extrêmement variable : de 7 à 50 m environ et ne semble pas lié à la nature du béton compacté. On pouvait s'attendre à cette dernière constatation : les conditions de frottement et la nature du support, ainsi que les conditions météorologiques lors de la réalisation du revêtement ont plus d'influence que les éventuelles différences de retrait ou de résistance entre bétons compactés.

On doit aussi remarquer que les intervalles plus élevés conduisent, lorsque les observations ont été faites, aux ouvertures de fissure les plus fortes : de 1 à quelques millimètres ; on ne peut attendre aucun transfert de charge au droit de telles fissures.

**2.2.** Quelques mesures de battement ont montré selon le cas :

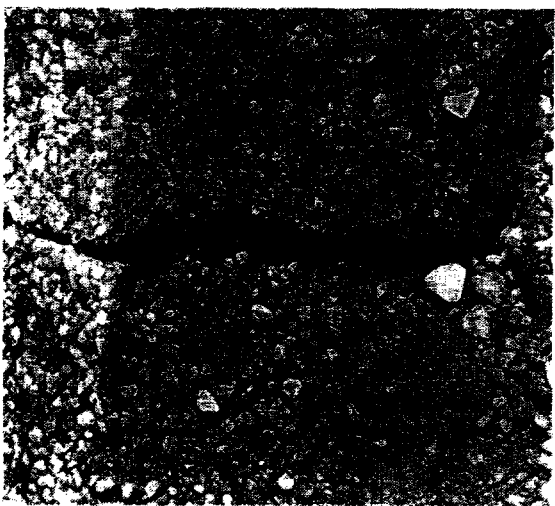
- Un comportement type "béton", caractérisé par un battement de dalle relativement élevé sur toutes les fissures. Les battements sont tous sensibles à la température moyenne : toutes les fissures s'ouvrent lorsqu'il fait froid et se bloquent lorsqu'il fait chaud.
- Un comportement type "grave traitée", caractérisé par un battement relativement élevé sur quelques fissures seulement ; ces fissures sont alors très sensibles à la température moyenne, les autres fissures battent peu et sont insensibles à la température.

**2.3.** Evolution de la fissuration sous trafic (dédoublés, épaufures)

Des observations effectuées entre deux et quatre ans d'âge sur des chantiers en béton compacté ont montré dans certains cas une évolution particulièrement inquiétante des fissures transversales de retrait, susceptibles d'affecter le comportement structurel et de nécessiter un entretien coûteux (du fait de sa forte rigidité ce matériau est probablement difficile à réparer).



Les photos fournissent d'une part un exemple d'un état satisfaisant de fissure sur béton compacté et d'autre part un exemple de désordres graves liés à la fissuration. Les connaissances sont en fait très fragmentaires. Sur les assises traitées revêtues d'un enrobé bitumineux, celui-ci joue un rôle d'écran qui protège la surface de l'assise de l'agression directe du trafic et des agents atmosphériques. Sur les bétons compactés, qui ne sont pas, en général, protégés par cet écran, les défauts de réalisation tels que feuilletage, joint de reprise défectueux, insuffisance de compactage, teneur en eau trop faible ou trop forte, balayage inefficace ou inexistant, etc., apparaissent beaucoup plus



rapidement que sur les assises revêtues d'enrobé. La qualité d'exécution doit donc être tout particulièrement soignée sous peine de constater à court ou moyen terme (entre 6 mois et 3 ans après la réalisation) l'apparition de dégradations du type faïençage et départs de matériaux.

### UNI

On a reporté sur la figure 1 la distribution des notes d'uni obtenues sur 11 chantiers en béton compacté mis en oeuvre à la niveleuse ou au finisseur.

L'examen des courbes reportées sur cette figure fait apparaître les éléments suivants :

### 1. On observe schématiquement trois grands types de courbes :

- Les courbes 2, 4 et 6 correspondent à un très mauvais uni.
- Les 8, 9, 10 et 11 correspondent à un uni meilleur.
- Les courbes 1, 3, 5 et 7 correspondent à un uni intermédiaire.

2. La famille des courbes 2, 4, 6 nettement différenciée des autres, mélange un chantier réalisé au finisseur (chantier 6 qui est le plus mauvais), un chantier réalisé au finisseur et à la niveleuse et un chantier réalisé à la niveleuse.

3. Tous les résultats obtenus correspondent à des qualités d'uni inférieures à la qualité visée par la circulaire relative aux contrôles de mise en oeuvre par l'APL 25.

On note par ailleurs que les courbes 2 à 6 se situent toutes à un niveau tel que cette circulaire indique la nécessité de réaliser un reprofilage préalable à la mise en oeuvre de la couche de roulement.

4. Les considérations précédentes pourraient conduire à éviter la technique des bétons compactés parce que présentant un uni trop médiocre. Cette impression doit être nuancée:

- Certains chantiers sont meilleurs que d'autres.
- Cette technique s'est surtout développée pour des chaussées secondaires pour lesquelles la recherche d'économies dans la réalisation et l'entretien des chaussées peut parfois conduire à sacrifier la qualité de l'uni; l'alternative est souvent le recours à une grave traitée surmontée d'un enduit. De ce point de vue, 7 des chantiers de béton compacté sur les 11 de la figure 1 conduisent à des résultats aussi bons que la moyenne des chantiers réalisés en graves traitées aux liants hydrauliques (avant mise en oeuvre d'un enrobé).

### 5. Les choix effectués

La difficulté d'obtenir un uni de qualité en utilisant des bétons compactés revêtus d'un simple enduit superficiel conduit à limiter l'utilisation de cette technique.

5.1. Pour les chaussées à fort trafic  $T_0$  et  $T_1$ , pour lesquelles un uni de qualité est souhaitable, la technique ne peut pas être généralisée. Des

chantiers expérimentaux doivent être réalisés pour déterminer les conditions optimales de mise en oeuvre permettant de respecter les seuils de la Circulaire relative au contrôle de mise en oeuvre au moyen de l'APL 25.

Figure 1 : Répartition des notes d'uni obtenues sur les bétons compactés

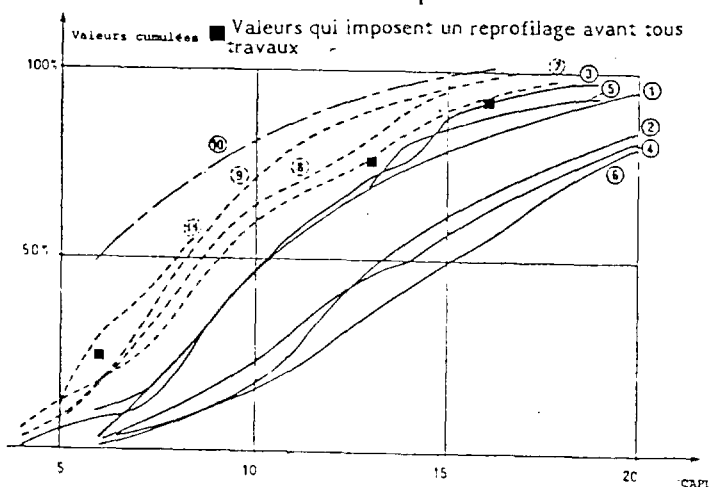


Tableau 2 : Seuils de CAPL adaptés aux possibilités actuelles de mise en oeuvre du béton compacté

SEUILS DES CAPL	< 6	< 13	< 16
% des mesures	25 %	70 %	85 %

Les valeurs mentionnées au tableau 1 peuvent être respectées lorsqu'un travail de qualité est effectué par un niveleur qualifié ; dans ce cas les niveaux d'uni obtenus sont tout à fait comparables à ceux obtenus avec les autres techniques de matériaux traités aux liants hydrauliques (sans enrobé).

5.3. Des recherches sur les modes de mise en oeuvre les mieux adaptés doivent être poursuivies pour atteindre à terme des niveaux d'uni comparables à ceux obtenus sur les chaussées recouvertes d'un béton bitumineux. C'est en effet une condition de la généralisation de cette technique.

Les éléments principaux qui vont orienter ces choix de conception sont développés ci-dessous.

## CONCEPTION - DIMENSIONNEMENT

### 1. Choix de conception

Ces choix intègrent des considérations aussi diverses que le choix de la couche de surface, le choix des dispositions constructives appropriées (surlargeurs des couches, drainage par exemple), la prise en compte des problèmes de mise en oeuvre (épaisseurs maximum des couches, dispersions d'épaisseurs), la facilité (ou la difficulté) d'entretien ultérieur.

Ces différents choix ont tous en commun d'échapper au calcul théorique de dimensionnement au sens strict et d'être davantage fondés sur l'expérience et sur la compréhension des mécanismes de fonctionnement.

1.1. L'utilisation d'un matériau rigide présentant des fissures larges qui battent et peuvent donc être soumises au phénomène de pompage conduit pour les forts trafics aux dispositions constructives classiques adoptées sur les chaussées en béton: fondations non érodables, surlargeurs de couches, drainage. Si ces dispositions ne sont pas retenues, on a la certitude que certains chantiers se dégraderont rapidement suivant un phénomène classique de pompage.

1.2. Les couches de béton compacté étant mises en oeuvre comme celles en graves traitées aux liants hydrauliques, les épaisseurs maximales de couches envisageables sont de l'ordre de 28 cm ; les dispersions d'épaisseurs autour de l'épaisseur moyenne sont fortes (3cm). Il y a là une différence importante avec le béton pervibré.

1.3. La tenue de surface de ces matériaux est excellente si les règles de l'art sont respectées (voir la Recommandation); la couche de roulement privilégiée est donc un enduit superficiel. On remarque néanmoins que les modes de réalisation traditionnels conduisent à un niveau d'uni qui n'est certainement pas acceptable sur des chaussées à fort trafic. Pour atteindre un niveau convenable d'uni, il conviendrait de recourir à une couche de surface utilisant un béton bitumineux en 8 cm d'épaisseur. Cette possibilité a été écartée pour deux raisons :

- L'intérêt d'utiliser ces matériaux performants repose justement sur la possibilité d'utiliser un enduit superficiel; le recours à un enrobé rendrait cette technique prohibitive.
- Au plan technique, il existe des incertitudes sur le comportement d'un enrobé en 8 cm sur des fissures qui peuvent être très largement ouvertes (ramifications et épaufrures possibles).

Les problèmes de conception sont donc envisagés ici pour les seuls trafics T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub> (ou inférieurs).

## 2. Dispositions constructives

### 2.1. Surlargeurs de couches

Des surlargeurs de couche par rapport aux 7 mètres entre bandes blanches des chaussées sont à prévoir pour éviter les phénomènes de pompage et aussi pour compacter convenablement sur toute la largeur soumise aux charges lourdes. De ce point de vue il est intéressant de comparer les dispositions constructives propres aux bétons pervibrés et celles usuellement retenues pour les graves traitées aux liants hydrauliques (tableau 2).

Compte tenu du mode de réalisation des chaussées en béton compacté, analogue à celui des graves traitées aux liants hydrauliques, les mêmes raisons de recherche de qualité de compactage jusqu'au bord de la largeur utile de la chaussée, conduisent à adopter comme dispositions constructives minimales, les mêmes surlargeurs de couche que pour les chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques.

**Tableau 2 : Largeurs moyennes des couches (chaussées bidirectionnelles)**

	Chaussées en béton		Chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques	
	Largeur des dalles (m)	Largeur de la fondation (m)	Largeur de la base (m)	Largeur de la fondation (m)
T <sub>2</sub>	8.0	8.3	8.25	9.3
T <sub>3</sub>	7.5	7.8	8.25 (7.85 si ES)	9.3 (8.9 si ES)

**Remarque:** Pour les voiries secondaires à faible trafic (<T<sub>3</sub>) on retiendra pour largeur de couche de base celle de la couche de roulement augmentée de 20 cm.

L'examen du tableau 2 montre alors que ces dispositions apportent des garanties suffisantes vis à vis des problèmes de pompage (la couche de fondation est aussi large que pour les chaussées en béton) pour les trafics inférieurs ou égaux à T<sub>2</sub>.

### 2.2. Drainage

Le drainage latéral constitue un élément essentiel nécessaire au bon comportement des chaussées utilisant des matériaux rigides.

Dans tous les cas, lorsque le trafic est supérieur ou égal à T<sub>3</sub> on évitera d'utiliser en accotement des matériaux comportant des fines libres ; on utilisera au contraire des matériaux permettant l'évacuation de l'eau infiltrée.

## 3. Dimensionnement

On aborde ici les problèmes de dimensionnement des chaussées neuves (moyens et faibles trafics) et des renforcements.

Pour les chaussées à trafic > T<sub>3</sub>, on a repris les mêmes hypothèses que celles retenues pour le Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves d'une part, et pour le Guide de Dimensionnement des Renforcements d'autre part.

Pour les chaussées à faible trafic, on s'est appuyé sur le Manuel de Conception des Chaussées Neuves à Faible Trafic.

Dans tous les cas les hypothèses relatives aux performances du matériau sont les suivantes :

- $R_T = 1.85 \text{ MPa}$  ( $R_T = 0.8 R_{TB}$  associé par ailleurs à une chute de 30% des performances entre la route et le laboratoire), soit  $R_{TB} > 3,3 \text{ MPa}$  en laboratoire.
- $E = 28000 \text{ MPa}$

Des effets de bord analogues à ceux retenus pour les chaussées en béton pervibré (40% d'accroissement des contraintes) sont par ailleurs pris en compte.

### 3.1. Chaussées neuves à trafic moyen

Les dimensionnements des structures de chaussées neuves à trafic moyen utilisant du béton compacté sont donnés dans le tableau ci-dessous en fonction de la classe de plate-forme et de la classe de trafic.

**Tableau 3 : Dimensionnement des chaussées neuves (Bc : Béton compacté)**

	PF <sub>1</sub>	PF <sub>2</sub>	PF <sub>3</sub>
T <sub>2</sub>	24 Bc 18 Bc	24 Bc 15 Bc	22 Bc 15 Bc
T <sub>3</sub>	22 Bc 18 Bc	22 Bc 15 Bc	25 Bc

### 3.2. Chaussées neuves à faible trafic

La planche de structures figurant au tableau 4 a été établie à partir du Manuel de Conception des chaussées Neuves à Faible Trafic, en se fondant sur les hypothèses suivantes :

- Durée de service 20 ans.
- Taux de progression du trafic lourd 4%.
- Agressivité du trafic :
  - A = 0.8 en  $t_3^+$
  - A = 0.7 en  $t_3^-$
  - A = 0.5 en  $t_4$
  - A = 0.4 en  $t_5$

**Tableau 4 : Dimensionnement des chaussées neuves à faible trafic**

	1	2	3	4
$t_3^-$	18 Bc			
	15 Bc	28 Bc	25 Bc	22 Bc
$t_4$	28 Bc	25 Bc	22 Bc	20 Bc
$t_5$	25 Bc	22 Bc	20 Bc	18 Bc

### 3.3. Renforcements de chaussées à fort trafic

Les dimensionnements qui figurent au tableau 5 ci-dessous, sont homogènes avec ceux proposés par le Guide de Dimensionnement des Renforcements de Chaussées Souples (épaisseurs moyennes).

**Tableau 5 : Dimensionnement des renforcements de chaussées souples**

$T_i$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$
$T_2$				22 Bc	24 Bc	24 Bc
$T_3$					20 Bc	22 Bc

### 3.4. Renforcements de chaussées à faible trafic (d : déflexion caractéristique)

**Tableau 6 : Dimensionnement des renforcements des chaussées souples à faible trafic**

d \ t	150 - 200	200 - 300	> 300
$t_3^-$		20	20
$t_4$		18	15
$t_5$			15

### ETUDE TECHNICO ECONOMIQUE

Le coût des structures en béton compacté (Bc) est comparé au coût des structures semi rigides (GH) avec enrobé ou enduit superficiel pour les faibles trafics, et à celui des structures utilisant du béton pervibré (BC).

La comparaison est effectuée sur la base des seuls coûts d'investissement, en supposant que la conception de toutes ces structures conduit à des coûts d'entretien proches les uns des autres pour une même classe de trafic; cette comparaison est d'abord effectuée dans des conditions économiques moyennes; la sensibilité aux hypothèses relatives aux distances de transport est ensuite étudiée.

Pour faire ces comparaisons, on a supposé qu'une différence de coût n'est significative qu'au delà de 10%. Dans une gamme de variation inférieure, les structures seront considérées comme compétitives, en ce sens que des circonstances particulières à un chantier donné peuvent donner l'avantage à une quelconque des techniques considérées.

### GRUPE DE TRAVAIL



SETRA : MM: Peyronne  
Verhée  
Durand  
Renault\*

\*CETE de Lyon DTC 109 av. Salvador Allende  
B.P.48 69672 Bron cedex.

LCPC NANTES

MM Nissoux  
Marchand  
B.P.19 44340 Bouguenais

D.D.E. M. Gandil

**(1) 42 31 31 31**



## 1. Comparaison des techniques dans des circonstances moyennes

Pour les chaussées à moyen trafic on observe un créneau privilégié pour l'emploi de la technique du béton compacté dans la gamme des trafics de 50 à 100 P1/j/sens (classe T<sub>3</sub>).

Dans ce cas en effet le recours à une couche de roulement en béton bitumineux est conseillé lorsque la couche de base est en grave traitée aux liants hydrauliques et la technique de béton compacté peut s'avérer très compétitive (coût 15 à 20% inférieur à celui des techniques concurrentes).

Pour les trafics les plus faibles (t<sub>4</sub> et t<sub>5</sub>) cet avantage disparaît progressivement dans la mesure où un enrobé n'est plus nécessaire sur grave traitée aux liants hydrauliques.

### 1.2. Renforcements

Pour les chaussées à trafic T<sub>2</sub> toutes les techniques étudiées (BC, Bc et GH) sont compétitives en ce sens que les écarts de coût sont inférieurs à 10% ; pour la classe de trafic T<sub>3</sub> la technique du béton compacté est la plus économique ; cet avantage disparaît complètement pour les trafics les plus faibles t<sub>4</sub>, t<sub>5</sub> (un enduit superficiel est alors utilisable sur grave traitée aux liants hydrauliques).

### 2 Sensibilité des résultats aux distances de transports des granulats

Les différents cas étudiés :

- région pauvre en granulats,
- région riche en granulats,
- région pauvre en granulats pour couche de roulement

conduisent à des résultats, qui ne remettent pas fondamentalement en cause les conclusions précédentes mais soulignent l'avantage des structures rigides (BC et Bc) au détriment des structures semi rigide pour les renforcements

## 3. Conclusion

D'un coût légèrement inférieur à celui de la technique béton de ciment, la technique du béton compacté doit permettre d'élargir très légèrement la gamme d'utilisation du béton de ciment en chaussée neuve et devrait surtout ouvrir largement la gamme d'utilisation en renforcement de chaussées ; dans ce domaine en effet les techniques rigides apparaissent comme potentiellement compétitives, mais le développement se heurte à des contraintes pratiques de réalisation auxquelles la technique du béton compacté n'est pas soumise.

Ce développement, économiquement souhaitable, ne pourra être envisagé qu'après une amélioration de la technique qui doit porter sur deux plans :

- Analyse des désordres constatés, diagnostic et moyens à mettre en oeuvre pour les éviter.
- Amélioration de la qualité de l'uni, surtout pour les forts trafics.

En l'attente de ces améliorations, la technique des bétons compactés restera, sur le réseau routier national à fort trafic une technique expérimentale.

### AVERTISSEMENTS

\*

CE DOCUMENT EST DESTINE A FOURNIR UNE INFORMATION RAPIDE SUR DES TECHNIQUES OU MATERIELS EN COURS D'EVALUATION ; LA CONTREPARTIE DE CETTE RAPIDITE EST LE RISQUE D'ERREUR ET LA NON EXHAUSTIVITE. CE DOCUMENT NE PEUT ENGAGER LA RESPONSABILITE NI DE SES AUTEURS NI DE L'ADMINISTRATION

\*\*

LES NOMS DE SOCIETES CITEES DANS CE DOCUMENT L'ONT ETE A TITRE D'EXEMPLE D'APPLICATION JUGE NECESSAIRE A LA BONNE COMPREHENSION DU TEXTE ET A SA MISE EN PRATIQUE.