

LES BÉTONS COMPACTÉS

Après les chocs pétroliers de 1973 et 1979, de nombreux pays se sont attachés à améliorer la compétitivité du béton routier. L'une des principales directions explorées a été celle des bétons compactés (circulaire de la Direction des Routes - France/février 1980) en raison de :

- l'existence d'un parc important de matériel routier traditionnel adapté au compactage des couches de chaussée,
- la possibilité de travailler sous circulation que permet ce mode de mise en œuvre,
- la possibilité d'obtenir une qualité de béton comparable à celle des bétons de ciment traditionnels pervibrés et en particulier des résistances mécaniques très élevées.

Aujourd'hui, le béton compacté – en tant que matériau – est bien défini. La France a publié une recommandation pour sa réalisation (SETRA/LCPC, novembre 1985) et une note technique sur la conception et le dimensionnement (Note d'Information n° 18, SETRA/décembre 1985).

Le présent document fait le point des connaissances actuelles sur la technique des bétons compactés. Il remplace la Documentation Technique éditée par le Centre d'Information de l'Industrie Cimentière, parue dans la revue « ROUTES » n° 8 - 1983.

LA COMPOSITION DES BÉTONS COMPACTÉS

Les bétons compactés sont des mélanges de grave, de ciments ou d'autres liants hydrauliques, d'eau et éventuellement de matériaux pouzzolaniques et de chaux ayant des caractéristiques bien définies et dans des proportions données.

La grave

On utilise une grave O/D dont la granularité est limitée à 20 mm maximum ($D = 20$ mm maximum).

Pour éviter la ségrégation et obtenir une meilleure qualité de surface, on choisit une grave O/14 mm et même parfois O/10 mm.

La grave O/D est généralement reconstituée à partir de plusieurs fractions granulométriques. Pour favoriser l'obtention d'une courbe granulométrique correcte, on adopte souvent une coupure à 6 mm (0/6 et 6/20) ou une coupure en trois fractions à 4 mm et 10 mm (0/4, 4/10 10/20). Les ouvertures des fuseaux de régularité sont conformes à la norme NF P 18-321 « Granulats - Caractéristiques des granulats destinés aux travaux routiers »/mai 1982.

Toutes les natures de granulats sont utilisées, car il n'existe pas de contre-indication liée à la nature minéralogique des granulats. Toutefois, ce paramètre est pris en compte au niveau de la formulation, en particulier pour déterminer le dosage des liants.

Les caractéristiques des granulats en ce qui concerne la dureté et la résistance sont identiques à celles demandées pour les graves traitées aux liants hydrauliques pour les couches de base et pour les mêmes trafics. Une angularité minimale est imposée ; elle dépend, elle aussi, du trafic : pour les trafics faibles, toutes les fractions granulométriques doivent avoir un indice de concassage I_c supérieur à 30 % ($I_c \geq 30$ %) ; cet indice I_c doit être de l'ordre de 100 % pour les trafics élevés.

En outre, la grave doit avoir un indice de plasticité I_p non mesurable et une teneur en matières organiques – y compris celles de l'eau – inférieure à 0,2 %.

Les liants

A l'origine de la technique, on a le plus souvent utilisé des ciments Portland. La tendance, pour des raisons économiques et techniques (vitesse de prise plus faible donnant une plus grande souplesse au niveau de l'exécution du chantier), est maintenant d'utiliser des ciments à forte teneur en ajouts (cendres volantes, laitiers, pouzzolanes).

Parmi les liants hydrauliques fins et pulvérulents, on distingue :

- les ciments normalisés,
- les liants spéciaux à usage routier,
- les cendres volantes hydrauliques.

Suivant les conditions atmosphériques et le délai de maniabilité prescrit, ces liants nécessitent souvent l'incorporation d'un retardateur de prise.

Les ciments normalisés

Tous les ciments normalisés peuvent être envisagés. On utilise le plus souvent les ciments de classe 45 (CPA 45, CPJ 45, CHF 45, CLK 45) et éventuellement ceux de la classe 55, notamment en arrière-saison.

Le dosage peut varier de 8 à 15 % du poids sec des granulats en fonction des performances recherchées.

Les liants spéciaux à usage routier

Ces liants présentent un début de prise plus lent et un durcissement plus progressif que les ciments normalisés. A dosage légèrement supérieur à celui des ciments, ils conduisent généralement à des performances mécaniques suffisantes. Ce sont principalement des liants à forte teneur en laitier ou des liants à forte teneur en cendres volantes.

La composition pondérale du liant à forte teneur en laitier est :

- laitier : ≥ 75 %,
- gypse : ≤ 10 %,
- clinker, chaux : complément à 100 %.

La composition pondérale du liant à forte teneur en cendres volantes est :

- cendres volantes silico-alumineuses : 81-86 %,
- chaux grasse vive : 15 %-10 %,
- sulfate de calcium anhydre : 4 %-4 %.

Les centres volantes hydrauliques

Les cendres volantes sulfocalciques ou cendres hydrauliques ont, comme leur nom l'indique, un pouvoir hydraulique : elles font prise en présence d'eau et possèdent donc un comportement qui les apparente aux ciments.

Les retardateurs de prise

L'utilisation d'un adjuvant de ce type permet :

- de pallier les aléas de chantier (panne d'engin, rupture dans l'approvisionnement),
- d'éviter une prise prématurée par temps chaud,
- en cas de pluie, à la couche de béton de s'essorer naturellement avant le compactage,
- le compactage bord à bord en cas de coulage en double bande.

L'incorporation d'un retardateur de prise à l'eau de malaxage est nécessaire :

- 1) le plus souvent avec les ciments normalisés CPA et CPJ, sauf si la température est basse,
- 2) dans certains cas avec les ciments CLK, CLX et avec les liants spéciaux ainsi qu'avec les cendres hydrauliques, notamment par forte chaleur.

Le dosage du retardateur doit tenir compte de la nature des granulats, de la température ambiante et du délai de maniabilité désiré.

Les autres composants actifs

L'emploi des pouzzolanes ou basaltes broyés peut être envisagé après études de laboratoire. Ces matériaux, broyés, ont un caractère pouzzolanique semblable à celui des cendres volantes.

L'eau

L'eau potable distribuée par les Services Publics est la mieux adaptée. Dans tous les cas, l'eau de gâchage doit correspondre, comme pour tous les bétons routiers, aux prescriptions du CCTG - Fascicule 2 B du Ministère des Transports.

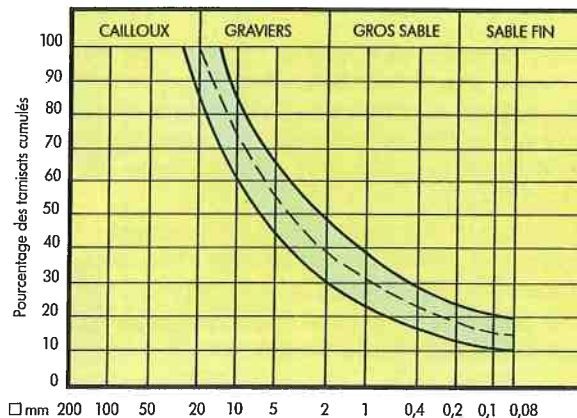
La teneur en eau est fixée par le laboratoire lors de l'essai Proctor modifié. La teneur en eau optimale des bétons compactés est en général comprise entre 4 et 7 %. La teneur en eau de fabrication est fixée de façon à obtenir sur chantier la teneur en eau désirée. Il faut, pour cela, tenir compte des conditions atmosphériques et des conditions de transport. Les bétons compactés sont très sensibles aux variations de teneur en eau : un excès ou un manque d'eau diminue notablement les performances mécaniques. De plus, un excès d'eau conduit à une instabilité rendant l'uni défectueux (matelassage) ; un manque d'eau peut faire craindre des défauts de prise localisés.

Les fuseaux de spécification du béton compacté

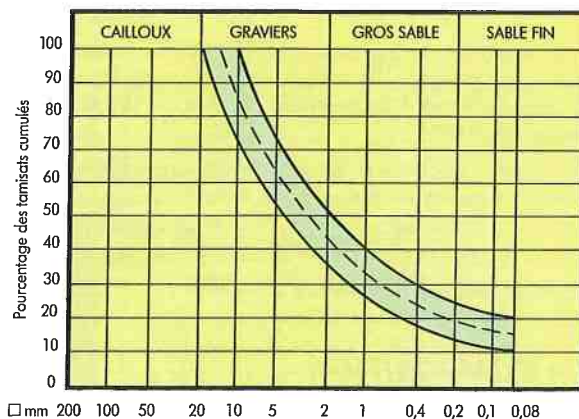
On trouvera ci-dessous deux exemples de fuseaux de spécification pour les mélanges reconstitués : graves 0/20 ou 0/14 traitées par 10 à 14 % de liant pulvérulent (par exemple ciment ou ciment-cendres volantes ou ciment-cendres volantes-chaux).

Ces fuseaux indiquent la zone dans laquelle doit se trouver la courbe granulométrique du matériau. Ils sont donnés à titre indicatif.

FUSEAU DE SPÉCIFICATION : 0/20 (liant compris)



FUSEAU DE SPÉCIFICATION : 0/14 (liant compris)



L'ÉTUDE DE LABORATOIRE

L'étude de laboratoire permet de définir des formules de composition du béton compacté et notamment les dosages en liant, en eau et en adjuvant.

Les essais les plus couramment effectués sont :

- l'essai *Proctor modifié* : destiné à fournir pour une énergie de compactage la masse volumique sèche en fonction de la teneur en eau ; on définit également une masse volumique sèche optimale d_{OPM} correspondant à une certaine teneur en eau optimale W_{OPM} .
- l'essai de traction directe *LCPC* : qui permet de déterminer sur éprouvettes :
 - la résistance en traction R_t ,
 - le module sécant E_t à 30 % de la charge de rupture.

On peut également appliquer l'essai de traction par fendage dit Brésilien, donnant la résistance en traction Brésilien R_{tB} . Une équation linéaire empirique relie les deux types de résistance : $T_{tB} = 1,25 R_t$.

- la *granulométrie* : cet essai est destiné à établir la courbe granulométrique de la grave + liant.

Des essais complémentaires sont souvent nécessaires :

- *la détermination du délai de maniabilité* : qui permet de fixer le dosage du retardateur de prise.
- *les essais de compression simple* : qui donnent l'évolution de la résistance en fonction du temps (0j, 7j, 28j, 90j).
- *l'essai de gel-dégel* : cet essai est recommandé lorsque les travaux sont prévus en arrière-saison et, dans tous les cas, dans les régions caractérisées par un indice de gel des hivers rigoureux non exceptionnels supérieur à 100.
- *la résistance à l'immersion* : lorsque les natures de la grave, du liant ou de l'activant peuvent rendre les mélanges sensibles à cet effet.

Les caractéristiques mécaniques imposées à l'issue de l'étude de laboratoire sont le plus souvent inspirées de celles demandées pour les bétons hydrauliques pervibrés. C'est ainsi que la recommandation LCPC-SETRA/1985 impose une résistance à la traction par fendage dit Brésilien supérieure à 3,3 MPa ($R_{tB} \geq 3,3$ MPa).

Les formulations les plus classiques, permettant d'atteindre de telles performances, comportent, selon la nature du granulat, 7 à 14 % de ciment et un dosage en eau de l'ordre de 4 à 7 %.

LA FABRICATION

Selon les possibilités locales, la fabrication s'effectue soit en centrale à béton type BPE, soit en centrale à grave traitée continue. Les granulats doivent être stockés en quantités suffisantes pour éviter des variations de teneur en eau.

Certaines précautions doivent être prises.

Centrales à béton discontinue type BPE

- Éviter un stockage trop prolongé d'un matériau humide dans les silos verticaux. En cas d'impossibilité, éliminer les deux ou trois mètres cubes très humides à la base des silos avant le début de la fabrication.
- Prévoir un temps de malaxage plus long que pour un béton plastique (60" au lieu de 40").
- Mélanger le retardateur de prise à l'eau de gâchage à l'aide d'un système de dosage adéquat ; il ne doit jamais être versé directement dans le malaxeur.

Centrale à grave traitée continue

Elle doit être du type 2 amélioré et posséder au minimum trois trémies doseuses – dont l'une au moins équipée d'un système de dosage pondéral continu pouvant assurer un taux de 14 % de ciment.

Des équipements complémentaires sont nécessaires :

- des dispositifs précis de dosage en eau et en retardateur de prise avec branchement sur le circuit d'eau,
- un malaxeur dont les bras seront mis en position « bras de freinage » afin d'augmenter le malaxage.

Le fort dosage en ciment du béton compacté entraîne une baisse de production de 20 à 40 %.

LE TRANSPORT

Quelles que soient les conditions météorologiques, le béton compacté doit toujours être transporté en camions-bennes **bâchés**.

LA MISE EN ŒUVRE

Les opérations de mise en œuvre du béton compacté doivent être terminées avant la fin du délai de maniabilité.

Les bétons compactés ne recevant pas en principe de couche de roulement si ce n'est éventuellement un enduit, leur mise en œuvre est particulièrement soignée, notamment du point de vue des qualités de surface (homogénéité, résistance et uni).

Les bétons compactés sont sensibles à des variations de teneur en eau : il faut éviter de les mettre en œuvre par temps de pluie ; par temps sec et chaud, il faut assurer un arrosage continu du matériau en place par pulvérisation d'eau.

Le support, qu'il s'agisse du terrain naturel traité ou non, d'une couche de forme ou d'une chaussée existante, doit être de qualité, tant par ses caractéristiques géométriques que par son pouvoir portant. En particulier, il doit présenter :

- un CBR supérieur à 10 (module d'élasticité supérieur à 50 MPa),
- une déflexion inférieure à 200/100 mm,
- un coefficient dynaplaque supérieur à 0,50.

Ces conditions sont indispensables pour assurer un maximum d'efficacité du compactage et par conséquent la résistance de la couche de roulement.

D'autre part, pour éviter un assèchement de la couche de béton compacté, la couche support est, si nécessaire, arrosée avant le répandage, notamment si elle est constituée de matériaux drainants ou si la température ambiante est élevée.

Le répandage et le réglage

La mise en œuvre des bétons compactés se fait par couches dont l'épaisseur compactée peut varier de 15 à 28 cm ; dans la mesure du possible et pour éviter les joints longitudinaux, l'exécution se fait en pleine largeur.

Les engins de répandage pouvant être utilisés sont :

- les machines à coffrage glissant,
- les niveleuses seules ou associées à un profileur de cordon,
- la niveleuse associée à un boteur léger,
- le finisseur.

L'expérience acquise sur les chantiers conduit à conseiller la mise en œuvre suivante, qui a permis à ce jour d'obtenir les meilleures qualités de surface :

- le matériau est d'abord répandu et réglé en épaisseur surabondante de quelques centimètres à l'aide d'une niveleuse, d'un boteur, d'un finisseur,
- un compactage partiel au compacteur vibrant est ensuite effectué : il limite le foisonnement du matériau,
- un rabotage final à l'aide d'une niveleuse spécialement réservée à cet usage ramène la couche répandue à l'épaisseur finale ; le matériau en excédent est évacué,
- le compactage est ensuite poursuivi avec le vibrant, puis le pneu.

Le compactage

L'atelier de compactage est composé d'un ou de plusieurs rouleaux vibrants, intervenant en premier, et d'un rouleur à pneus d'un minimum de trois tonnes par roue.

Le choix du type et du nombre des compacteurs vibrants est fonction de l'épaisseur de la couche et du débit horaire recherché (consulter, à ce sujet, le Guide Pratique du Compactage des Assises de Chaussées traitées aux liants hydrauliques ou non traités - SETRA-LCPC/1982).

Le nombre de passes des compacteurs varie de quinze à vingt pour les compacteurs vibrants et de dix à douze pour les compacteurs à pneus.

La protection de surface

Compte tenu de leur faible teneur en eau de mise en œuvre, les bétons compactés doivent être soigneusement protégés de la dessiccation pendant la prise et le début du durcissement. Deux méthodes peuvent être utilisées.

Pour les chantiers réalisés hors circulation, la cure est souvent réalisée par arrosage de la surface pendant environ sept jours.

Pour les chantiers où la circulation est rétablie immédiatement, on utilise une protection par une émulsion bitumineuse sablée ou gravillonnée.

LE COMPORTEMENT EN SERVICE

Les précautions de formulation, fabrication et mise en œuvre des chaussées utilisant du béton compacté sont maintenant connues et ont fait l'objet d'une Recommandation SETRA-LCPC/novembre 1985.

Le choix de la conception des chaussées en béton compacté doit être fondé sur l'expérience et sur la compréhension des mécanismes de fonctionnement. Pour cela, un groupe de travail associant SETRA, LCPC, CETE et Maîtres d'œuvre a été créé dans le but de préciser, selon le comportement en service observé de ces chaussées, les tendances relatives aux dimensionnements et dispositions constructives, et de donner une première approximation du domaine d'emploi de cette technique.

La fissuration et l'uni ont été plus particulièrement étudiés.

Le travail de ce groupe a donné lieu à la Note d'Information n° 18 - SETRA/décembre 1985.

La fissuration

Lorsque des joints transversaux ont été prévus à la construction, il est rare que des fissures transversales apparaissent en dehors de ces joints. Dans le cas contraire, des fissures transversales régulièrement espacées apparaissent assez vite après la mise en œuvre. Le comportement aux fissures semble, même à court terme, très variable. Mais, des mesures de battement ont montré selon le cas :

- un comportement type « béton » caractérisé par un battement de dalle relativement élevé sur toutes les fissures,
- un comportement type « grave traitée » caractérisé par un battement relativement élevé sur quelques fissures seulement.

Les observations effectuées sur des chantiers en béton compacté ont montré, dans certains cas, une évolution des fissures transversales de retrait sous l'action du trafic, susceptibles d'affecter le comportement structurel. Dans d'autres cas, aucune dégradation au niveau des fissures n'a été signalée.

L'uni

Les observations effectuées sur des chantiers de béton compacté soulignent la difficulté d'obtenir un uni et une homogénéité de surface satisfaisants. Si avec les moyens traditionnels (niveleuse, finisseur) on peut obtenir un bon uni pour des voies de trafic moyen et faible, ils ne permettent pas l'obtention d'un uni satisfaisant pour une voie à fort trafic.

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

LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT

Le choix de la couche de surface

La tenue de surface de ces matériaux est excellente si les règles de l'art sont respectées. 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 non acceptable sur des chaussées à fort trafic. Les problèmes de conception seront donc envisagés seulement pour les chaussées à trafic inférieur à T 2.

Les dispositions constructives

L'utilisation d'un matériau rigide présentant des fissures larges qui battent et peuvent donc être soumises au phénomène de pompage, conduit aux dispositions constructives classiques adoptées sur les chaussées en dalles de béton :

- fondations non érodables,
- surlargeurs de couches (les mêmes que pour les chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques),
- drainage latéral.

Le dimensionnement

Les hypothèses relatives aux performances du matériau sont les suivantes :

- $R_t = 1,85 \text{ MPa}$ (résistance réelle sur échantillon de chantier).

($R_t = 0,8 R_{tB}$ associé par ailleurs à une chute de 30 % des performances entre la route et le laboratoire). Soit $R_{tB} \geq 3,3 \text{ MPa}$.

- $E = 28\,000 \text{ MPa}$.
- 40 % d'accroissement de contraintes dû aux effets de bord analogues à ceux retenus pour les chaussées en dalles de béton.

(suite en dernière page)

TRANSPORT

Camion-benne ayant déversé le béton devant la niveleuse.



Camion-benne déversant le béton dans le finisseur.



MISE EN ŒUVRE

Répandage et réglage à la niveleuse.



Répandage et réglage au finisseur.



Compactage au rouleau vibrant.



Compactage au rouleau à pneus.



PROTECTION DE SURFACE

Arrosage à l'eau.



UN AVANTAGE

Possibilité de mise en circulation immédiate.



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 I en fonction de la plate-forme et de la classe du trafic :

	PF 1	PF 2	PF 3
T 2	24 BC	24 BC	22 BC
	18 BC	15 BC	15 BC
T 3	22 BC	22 BC	25 BC
	18 BC	15 BC	

TABLEAU I

Extrait de la note d'information SETRA/décembre 1985

2) Chaussées neuves à faible trafic

Les dimensionnements des structures de chaussées neuves à faible trafic utilisant du béton compacté sont donnés dans le tableau II ci-contre en fonction de la portance du sol et de la classe du trafic. Les hypothèses de calcul sont :

- durée de service : 20 ans,
- taux de progression du trafic lourd : 4 %,
- agressivité du trafic :

A = 0,7 en t3-

A = 0,5 en t4

A = 0,4 en t5

	P 1	P 2	P 3	P 4
t3-	18 BC	28 BC	25 BC	22 BC
	15 BC			
t4	28 BC	25 BC	22 BC	20 BC
t5	25 BC	22 BC	20 BC	18 BC

TABLEAU II

Extrait de la note d'information SETRA/décembre 1985

CONCLUSION

D'un coût légèrement inférieur à celui de la technique béton de ciment, la technique du béton compacté doit permettre d'élargir la gamme d'utilisation du béton de ciment en chaussée neuve et en renforcement de chaussées anciennes.

L'avantage du béton compacté sur les autres techniques rigides réside dans la mise en œuvre, qui peut se faire sans poser aucune contrainte pratique.

L'amélioration de la qualité de l'uni et la mise en œuvre de moyens propres à assurer un bon fonctionnement des joints (réalisés ou naturels) permettront à cette technique de nouveaux développements vers les chaussées à moyen et éventuellement à fort trafic.

CIMBETON

Base de données sur le ciment, la chaux, le béton et leurs applications

Informations, dossiers, actualités, messagerie.

Accès par Minitel 1 B : 36 14 CIMBETON

Accès par micro-ordinateur relié à Transpac : Tél. 36 00 - Clavier : 1750820342 puis CIMBETON

Centre d'Information de l'Industrie Cimentière
41, avenue de Friedland, 75008 Paris - Tél. 43 59 08 93

TOUTE L'INFORMATION CIMENTIERE