

LES BÉTONS DE SABLE EN STRUCTURES DE CHAUSSÉES



Certaines régions de France sont couvertes de sable. Il est de l'intérêt de ces régions de favoriser son emploi en technique routière.

La construction routière nécessite des quantités énormes de granulats. Le caractère assez restrictif des spécifications routières fait que seules certaines catégories de matériaux sont couramment utilisées : ce sont essentiellement des alluvions et des matériaux provenant des roches massives. Les sables naturels, formations superficielles extrêmement répandues dans certaines régions, et les sables de concassage ont été trop longtemps considérés comme des matériaux de caractéristiques médiocres et d'importance secondaire en technique routière.

La raréfaction des ressources en granulats dans certaines régions, le renchérissement des transports et la prise en compte des problèmes d'environnement ont incité maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, organismes techniques de l'Administration et entreprises à rechercher des palliatifs, notamment en faisant appel aux techniques permettant de valoriser les matériaux disponibles localement. Dans ce contexte, il était alors aisé d'entrevoir l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter la valorisation des sables pour la réalisation des bétons dont ils seraient le constituant principal.

L'objet de cette documentation technique est de présenter une synthèse des connaissances et des règles de l'art relatives aux "bétons de sable" en vue de leur utilisation en structures de chaussées.

LES BÉTONS DE SABLE

Historique

La mise au point des bétons de sable remonte, en fait, au siècle dernier. Dès 1853, dans la perspective de réaliser des constructions économiques et résistantes, F. Coignet mit au point "le béton aggloméré" – qui n'est autre que l'ancêtre du béton de sable –, destiné à être moulé et pilonné en place. Il s'agissait en effet d'un mélange de sable, de cendres, de scories de charbon brûlé, de terre argileuse cuite et pilée, de chaux hydraulique naturelle et d'eau. Il construisit ainsi, en béton aggloméré banché, bon nombre de constructions et de réseaux d'assainissement.

À l'étranger, le phare de Port-Saïd, en Égypte, fut construit en 1869 en béton de sable de plage et chaux, ainsi qu'un pont à Brooklyn édifié en 1871-1872.

Mais le progrès le plus important fut apporté par Nicolas de Rochefort, en ex-Union soviétique, qui, dès 1918, a mis au point un procédé très original pour la confection de béton de sable. Il consistait à broyer ensemble sable et clinker à parts égales, puis à mélanger une part du produit obtenu à trois parts de sable.

Depuis, l'ex-Union soviétique n'a cessé de développer le béton de sable (à base de ciment et/ou de chaux). Les très nombreuses réalisations dans tous les domaines du BTP sont là pour en témoigner.

En France, ce n'est qu'à partir des années soixante-dix qu'un réel regain d'intérêt s'est manifesté en faveur du béton de sable, notamment dans le Sud-Ouest. Les premières applications ont été réalisées avec succès, à partir des années quatre-vingt, à l'initiative du Laboratoire régional des ponts et chaussées de Bordeaux.

Devant le succès de ces expériences, le projet national Sablocrete a vu le jour en 1988 à l'initiative de M. Billhouet, ingénieur général des Ponts et Chaussées, auquel se sont associés la FNB, la FNTP, le CEBTP, le LCPC, la Coprec et le Cete du Sud-Ouest.

Ce projet national a abouti, après six ans de recherche et d'expérimentation, à la publication d'un ouvrage de référence intitulé *Bétons de sable*, édité aux Presses de l'École nationale des ponts et chaussées.

Définition

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable(s), l'absence ou le faible dosage de gravillons et l'incorporation d'additions.

Le béton de sable se distingue néanmoins d'un mortier par la composition (le mortier est en général fortement dosé en ciment et ne comporte pas systématiquement d'addition) et surtout par la destination : les bétons de sable sont essentiellement destinés aux usages traditionnels du béton.

Le béton de sable est donc un béton fin, constitué d'un mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques (adjuvants, fibres, colorants, etc.) peuvent être utilisés.

L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation "béton de sable" tant que le rapport pondéral gravillon/sable reste inférieur à 0,7. On parle alors de "béton de sable chargé".

Le béton de sable a fait l'objet d'une norme expérimentale P 18-500 publiée par l'Afnor.

Domaines d'application

En construction routière, les bétons de sable peuvent être utilisées dans deux domaines :

En structures de chaussées

Soit en couche de fondation, soit en couche de roulement. Dans ce dernier cas, il est recommandé de le protéger contre l'usure par une couche de surface (enduit, béton bitumineux très mince - BBTM -, etc.) ;

En équipements annexes à la route

Il est parfaitement adapté pour la confection des ouvrages linéaires coulés en place, tels que les caniveaux, les bordures, les murets, les séparateurs, etc.

LES COMPOSANTS DU BÉTON DE SABLE

Les constituants entrant dans la composition d'un béton de sable sont ceux du béton traditionnel, matériau normalisé. Il s'agit donc, à ce titre, de composants eux-mêmes normalisés ou répondant à des avis techniques pour une utilisation dans le béton.

Les sables

Par sables, on entend tous les granulats 0/D conformes aux définitions des normes P 18-541 et P 18-103 (future norme P 18-540). Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique.

Du point de vue de la granularité, aucun critère granulométrique n'est *a priori* exigible pour confectionner un béton de sable : on peut aussi bien utiliser un sable fin - même homogénéométrique, type sable de dune - qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou enfin un sable 0/D de concassage.

Du point de vue de la propreté, les sables doivent satisfaire aux exigences de la norme P 18-541, qui sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Exigences relatives à la propreté du sable conformément à la norme P 18-541.

Propreté du sable Essais *	Valeurs spécifiées	
	Sable roulé	Sable broyé
Équivalent de sable vrai ESV	≥ 75	≥ 65
Valeur de bleu des fines du sable - mesure à la tache VBta	≤ 1	≤ 1

* En pratique, l'essai de propreté par la valeur de bleu n'est réalisé que si l'ESV n'est pas respecté. La valeur de l'ESV ne peut toutefois être inférieure de 10 points à la valeur spécifiée.

Les ciments

Les ciments utilisés doivent être conformes à la norme NF P 15-301 et disposer de la marque NF.

Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation (teneur en C₃A, temps de prise, etc.) et de l'agressivité du milieu. L'annexe B de la norme NF P 98-170 précise les caractéristiques souhaitables pour le ciment en fonction de la nature pétrographique des granulats (sables + gravillons) et de la température ambiante au moment du chantier.



La fabrication en centrale et le transport des bétons de sable.

Compte tenu des résistances mécaniques généralement demandées, un ciment de classe 32,5 suffit. On peut éventuellement retenir la classe 42,5. Dans le cas où une remise en service rapide est prévue, on choisira un ciment ayant une vitesse de durcissement élevée, de classe R.

Les éléments fins d'ajout ou additions

Ils sont incorporés au béton de sable en vue soit de corriger la courbe granulairie et d'augmenter ainsi la compacité du béton, soit de réduire la quantité de ciment.

Correcteur granulaire

Pour corriger la courbe granulairie des sables, ces produits doivent présenter une granularité conforme aux spécifications de la norme P 18-541 ;

Substitution partielle du ciment

Pour limiter la quantité de ciment à un niveau correspondant aux dosages habituellement utilisés pour les bétons traditionnels, les produits de substitution utilisés doivent être conformes aux normes suivantes :

- NF P 18-502 pour la fumée de silice,
- NF EN 450 pour les cendres volantes de houille,
- NF P 18-506 pour les laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau,
- NF P 18-508 pour les fillers calcaires.

Le calcul de la quantité de ciment substituable et la prise en compte de ces additions doivent être réalisés conformément à la norme P 18-305.

L'eau

Elle doit être conforme au type 2 de la norme NF P 98-100.

Les adjuvants

Dans les bétons de sable, on utilise les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, en particulier :

a) **Les entraîneurs d'air** : leur emploi est **obligatoire**. L'objectif est de créer un réseau de microbulles d'air qui assurent la protection du béton de sable vis-à-vis du gel et des fondants utilisés en période hivernale ;



L'air incorporé dans le béton de sable accroît sa maniabilité. Une mesure permet de s'assurer que la teneur en air occlus est comprise entre les 7 à 8 % requis.

b) **Les plastifiants ou superplastifiants** : leur emploi est recommandé. L'objectif est d'améliorer la maniabilité du béton de sable. La diminution de la quantité d'eau qui en résulte engendre une amélioration des caractéristiques du béton.

La nature et le dosage des adjuvants doivent impérativement faire l'objet d'une vérification en laboratoire. Tous les adjuvants employés devront, par ailleurs, être conformes aux normes de la série NF P 18-300.

Autres ajouts

Les fibres

Elles sont utilisées dans le but d'améliorer le comportement du béton aux jeunes âges ainsi que ses caractéristiques mécaniques.

On utilise, le cas échéant, des fibres organiques (polyester, polypropylène, etc.) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte.

Si l'objectif est d'améliorer la ductilité du béton, il est préférable, dans ce cas, d'utiliser des fibres d'acier ou de fonte amorphe.

Les gravillons

L'ajout de gravillons en faible dosage a pour objectif d'améliorer certaines caractéristiques du béton de sable (maniabilité, retrait, fluage, résistance mécanique).

Le rapport pondéral gravillon/sable doit être inférieur à 0,7. Les gravillons utilisés doivent être conformes aux spécifications de la norme P 18-541.

Les colorants

Les colorants utilisés pour certains usages de bétons de sable sont ceux habituellement utilisés dans les bétons traditionnels.

CONCEPTION DES CHAUSSÉES

EN BÉTON DE SABLE

D'une manière générale, la réalisation d'un revêtement en béton de sable dans de bonnes conditions et son bon fonctionnement dans le temps nécessitent de respecter, dans sa conception, certaines règles fondamentales touchant à l'infrastructure et aux matériaux constituant la chaussée.

Les caractéristiques mécaniques du béton de sable (grande rigidité, forte résistance vis-à-vis de diverses sollicitations, etc.) permettent d'apporter des simplifications substantielles au niveau de la conception de la structure, du profil en travers et du profil en long et, par conséquent, des économies notables sur l'investissement.

Pour contrôler certains phénomènes inévitables et propres au matériau béton, tels que le retrait hydraulique, le retrait thermique, il est nécessaire de prévoir des dispositions constructives spécifiques : les joints.

L'infrastructure

La construction d'un revêtement neuf en béton de sable consiste à décaper la terre végétale, à effectuer les travaux de terrassement et enfin à mettre en œuvre, selon les règles de l'art, la structure en béton.

Trois cas peuvent se présenter :

• cas d'un sol de faible portance

Des solutions d'amélioration (couche de forme ou traitement des sols en place à la chaux et/ou au ciment) sont à prévoir chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est P0 ($CBR \leq 3$) ou P1 ($3 < CBR \leq 6$). Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau 2 ;

Tableau 2 : Choix des améliorations du sol support.

Portance	Améliorations nécessaires		
Portance prévisible de la plate-forme à court terme	Épaisseur de la couche traitée en place	Épaisseur de la couche de forme non traitée	Gain en portance
$P = P_0^*$; $CBR \leq 3$	35 cm	50 cm	+ 2
$P = P_1$; $3 < CBR \leq 6$	20 cm	30 cm	+ 1

* De plus, si ce niveau de portance nulle ($P = P_0$) caractérise aussi la portance à long terme de la plate-forme, la solution d'amélioration sera associée à des travaux de drainage.



Plate-forme de bonne qualité pour recevoir la chaussée en béton de sable. Cette plate-forme a été réalisée par traitement du sable en place au ciment.

• cas d'un sol hétérogène et portant

Une couche de réglage, d'une épaisseur de 10 cm, doit être interposée entre le sol support et la chaussée ;

• cas d'un sol homogène et portant

La structure béton de sable est réalisée directement sur le sol convenablement préparé (nivelé et compacté).

Les joints

On distingue trois grandes familles de joints :

Les joints transversaux

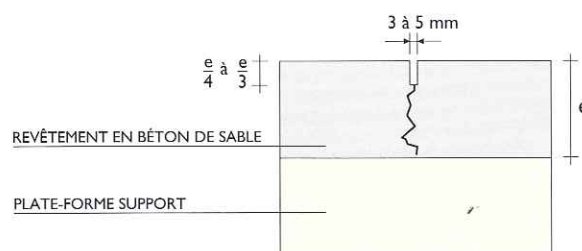
Ils sont perpendiculaires à l'axe de la route et sont classés en trois catégories.

• joints de retrait/flexion

Leur rôle est de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient de température. Ils sont les plus fréquents dans un revêtement en béton de sable.

Ils sont réalisés en créant dans le revêtement une saignée ou une entaille qui matérialise un plan de faiblesse selon lequel le béton est amené à se fissurer sous l'action des

contraintes de traction ou de flexion. Ces joints doivent avoir une profondeur comprise entre un quart et un tiers de l'épaisseur du revêtement et une largeur comprise entre 3 et 5 mm.



L'espacement des joints transversaux est inférieur à celui des revêtements en béton traditionnel. Le tableau 3 présente les espacements recommandés en fonction de l'épaisseur du revêtement.

Tableau 3 : Espacement des joints en fonction de l'épaisseur de la dalle.

Épaisseur de la dalle	Espacement des joints
14 cm	2,50 m
15 cm	2,75 m
16 cm	3,00 m
17 cm	3,25 m
18 cm	3,50 m
19 cm	3,75 m
20 cm	4,00 m

• joints de retrait/flexion goujonnés

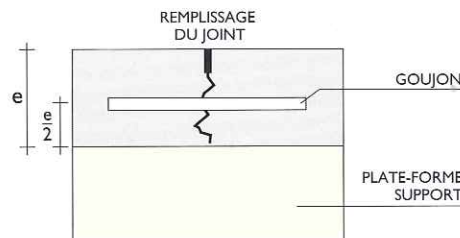
Les goujons ont pour rôle d'améliorer le transfert des charges au droit des joints de retrait/flexion.

Les goujons, de diamètre compris entre 20 et 30 mm, sont installés à mi-hauteur de la dalle dans le sens longitudinal et espacés de 0,75 m (voir schéma joints de construction).

• joints de construction

Ils sont réalisés après chaque arrêt de bétonnage supérieur à une demi-heure.

La dalle est retaillée à 90°, pour obtenir un bord franc, et solidarisée avec la coulée de béton suivante, à l'aide de goujons d'un diamètre de 30 mm, placés dans le sens longitudinal et espacés de 0,75 m.



Les joints longitudinaux

Ces joints sont parallèles à l'axe de la route, ils servent principalement à compenser les contraintes provoquées par le gradient thermique. Ce sont des joints de retrait/flexion réalisés en créant dans le revêtement, longitudinalement, une saignée ou une entaille dont les caractéristiques sont similaires à celles des joints de retrait transversaux.

Les joints longitudinaux de retrait/flexion ne sont nécessaires que si la largeur de la chaussée est supérieure à 4 m.

Les joints de dilatation

Leur rôle est de compenser les variations dimensionnelles des dalles, dues essentiellement à l'élévation de température. Ils ne sont requis que dans certains cas particuliers pour séparer complètement la dalle de certains équipements fixes comme les regards, les socles de lampadaire, les bâtiments, les approches d'ouvrages d'art, les virages à faible rayon de courbure, etc.

Ils constituent une interruption totale du revêtement. La saignée est remplie d'une fourrure en matière compressible dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 mm. Un soin particulier doit être accordé à la réalisation de ces joints.



La mise en œuvre du béton à la machine à coffrage glissant.

Comme l'objectif de la chaussée est d'assurer le passage des véhicules pendant un certain nombre d'années, le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé, converti en "essieux standards", qui circule sur la chaussée tout au long de cette période.

Détermination du trafic cumulé

Le trafic cumulé N , exprimé en nombre cumulé d'essieux standards, est déterminé par l'expression :

$$N = 365 t \cdot C \cdot A$$

où :

365 t caractérise le trafic annuel à la mise en service, exprimé en poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes par sens de circulation ;

t caractérise le trafic journalier de l'année de mise en service, exprimé en poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes et par sens de circulation ;

C représente le facteur de cumul qui tient compte de la période de service choisie et du taux annuel de croissance du trafic ;

A est le facteur d'agressivité du trafic qui permet de convertir un poids lourd de charge utile supérieure à 5 tonnes en essieu standard.

Détermination de t

Il est évalué à l'aide de l'expression :

$$t = (MJA) \cdot K \cdot R$$

où :

(MJA) est le trafic Moyen Journalier Annuel évalué soit par comptage, soit par estimation du trafic fondée sur une étude dans la zone concernée par le projet, soit par évaluation à partir de méthodes indirectes (tonnage transporté transformé en trafic, estimation du trafic "drainé" par la nouvelle route à partir des itinéraires qu'elle déleste). Le trafic (MJA) est exprimé par sens de circulation, par ordre de préférence, en :

- essieux supérieurs à 9 tonnes,
- poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes,
- poids lourds de poids total autorisé supérieur à 3,5 tonnes,
- tous véhicules.

DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES

EN BÉTON DE SABLE

Le dimensionnement des chaussées en béton de sable est conduit selon la démarche SETRA/LCPC. Il se fait en quatre étapes :

- choix du trafic,
- évaluation de la portance de la plate-forme,
- définition de la classe de résistance du béton de sable,
- dimensionnement proprement dit.

Le trafic

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. En effet, chaque passage de véhicule sur la chaussée entraîne une légère usure de celle-ci, tant en ce qui concerne la structure que les caractéristiques de surface. L'accumulation de ces dommages élémentaires conduit à la dégradation progressive de l'ensemble. Le calcul de dimensionnement fait donc intervenir le trafic cumulé qui circule sur la chaussée durant la période de service prévue.

D'autre part, l'expérience a montré l'influence fondamentale du poids des essieux sur le dommage observé. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules. En France, le trafic estimé est alors converti en nombre d'essieux standards au moyen d'un coefficient multiplicateur qui tient compte de l'agressivité du type de véhicule. Le terme essieu standard désigne l'essieu isolé à roues jumelées supportant une charge de 13 tonnes, qui est la charge maximale légale en France.

K est un coefficient qui permet de convertir le trafic (MJA) en nombre équivalent de poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes. Le tableau 4 donne le coefficient K en fonction de la nature de la mesure.

Tableau 4 : Détermination du coefficient de conversion K en fonction de la nature de la mesure.

Résultat de la mesure	K	
Nombre d'essieux supérieurs à 9 t	1	
Nombre PL de charge utile > 5 t	1	
Nombre PL de poids total autorisé > 3,5 t	0,8	
Nombre total de véhicules	> 1 000 véhic.	0,10
	500 à 1 000 véhic.	0,07
	< 500 véhic.	0,05

R est un coefficient de pondération lié à la largeur utile de la route. Il prend en compte le recouvrement des bandes de roulement dans le cas des chaussées bidirectionnelles à largeur réduite. Le tableau 5 donne le coefficient R en fonction de la configuration de la route.

Tableau 5 : Détermination du coefficient R en fonction de la configuration de la route.

Configuration de la route	R
Route unidirectionnelle	1
Route bidirectionnelle de largeur < 6 m	1
Route bidirectionnelle de largeur 5 à 6 m	1,5
Route bidirectionnelle de largeur < 5 m	2

Détermination de C

Le facteur de cumul C est déterminé à partir des hypothèses fixées par le projeteur et concernant, d'une part, la période de service et, d'autre part, le taux annuel de croissance du trafic.

En désignant par *n* la période de service et par *r* le taux annuel de croissance du trafic, l'expression du facteur de cumul est donnée par :

$$C = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Tableau 6 : Valeur du facteur de cumul C.

FACTEUR DE CUMUL C		PÉRIODE DE SERVICE (en années)				
		20	25	30	35	40
Taux de croissance annuel du trafic % <i>r</i>	0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0
	1	22,0	28,2	34,8	41,7	48,9
	2	24,3	32,0	40,6	50,0	60,4
	3	26,9	36,5	47,6	60,5	75,4
	4	29,8	41,6	56,1	73,6	95,0
	5	33,1	47,7	66,4	90,3	120,8
	6	36,8	54,9	79,1	111,4	154,8
	7	41,0	63,2	94,5	138,2	199,6
	8	45,8	73,1	113,3	172,3	259,0
	9	51,2	84,7	136,3	215,7	337,9
10	57,3	98,3	164,5	271,0	442,6	



L'état du revêtement en béton de sable à la sortie de la machine à coffrage glissant.

Les choix de *n* et de *r* appellent les commentaires suivants :

• période de service

Elle est définie comme la période probable pendant laquelle la chaussée supportera le trafic prévu sans devoir recourir à l'entretien structurel.

Dans le cas des voiries en béton de sable, on retient en général l'hypothèse d'une période de service longue, au moins égale à vingt ans.

Comme nous allons le constater par la suite, le dimensionnement d'un revêtement en béton – donc son coût d'investissement – varie en fait assez peu en fonction de la période de service choisie. Il y a donc intérêt à retenir une durée longue, entre vingt et quarante ans ;

• taux annuel de croissance du trafic

En règle générale, il n'est pas facile d'évaluer ce taux d'une façon précise. Il dépend de plusieurs facteurs : les conditions économiques locales, la position stratégique de la route dans le réseau urbain ou local, etc.

Les valeurs du taux généralement retenues dans les projets routiers se situent dans la fourchette 0-10 %.

Dans le cas où l'on ne dispose pas de prévisions sur l'évolution probable du trafic, on retient de préférence les valeurs suivantes :

- 4 % dans le cas des voiries à faible trafic, c'est-à-dire dont le trafic à la mise en service est inférieur à 150 poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes par jour et par sens de circulation ;

- 7 % dans le cas des routes à moyen et fort trafic, c'est-à-dire dont le trafic à la mise en service est supérieur à 150 poids lourds par jour et par sens de circulation.

Le tableau 6 donne les valeurs du facteur de cumul C pour différentes périodes de service (20 - 25 - 30 - 40 ans) et pour différents taux annuels de croissance du trafic (de 0 à 10 %)

Détermination de A

Le facteur d'agressivité A permet de convertir les poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes en nombre équivalent d'essieux standards de 13 tonnes. Ce facteur dépend de la composition du trafic poids lourds, lequel varie en fonction de la catégorie de la route (nature, intensité du trafic, etc.)

Le tableau 7 donne les valeurs de A en fonction de la classe du trafic à la mise en service de la route.

Tableau 7 : Valeurs du facteur d'agressivité A en fonction de la classe de trafic à la mise en service.

Classes de trafic (en poids lourds de charge utile supérieure à 5 tonnes par jour et par sens de circulation)	Facteur d'agressivité A
$t > 150$	1
$100 < t_3^+ \leq 150$	0,8
$50 < t_3^- \leq 100$	0,7
$25 < t_4 \leq 50$	0,5
$10 < t_5 \leq 25$	0,4
$0 < t_6 \leq 10$	0,3

La plate-forme support de chaussée

Pour dimensionner correctement une structure de chaussée, il faut évaluer la portance à long terme de la plate-forme support. Celle-ci est égale à la portance à long terme du sol mis à nu par les terrassements augmentée, le cas

échéant, du gain de portance obtenu soit par une éventuelle couche de forme, soit par un éventuel traitement en place du sol (voir tableau 2).

La portance du sol peut être appréciée soit par un essai (CBR, EV2, k), soit par un examen visuel.

Le tableau 8 donne l'échelle de portance et les critères de classification des sols en fonction de leur portance, comme ils ont été définis dans le *Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic*, SETRA-LCPC, 1981. Les sols sont classés en six niveaux de portance désignés, dans l'ordre croissant, par P₀, P₁, P₂, P₃, P₄ et P_{EX}.



La dalle de béton de sable, fraîchement coulée, est protégée pendant une semaine par un film polyéthylène.

Tableau 8 : Classification des sols en fonction de leur portance.

PORTANCE DES SOLS : CLASSIFICATION ET ESSAIS						
P	Examen visuel (essieu de 13 t)	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV2 MPa	Module de réaction du sol daN/cm ² K	Type de sol	
P ₀	Circulation impossible ; sol inapte, très déformable	CBR ≤ 3	EV2 ≤ 15	K ≤ 3	Argiles fines saturées, sols tourbeux, faible densité sèche, sol contenant des matières organiques, etc.	
P ₁	Ornières derrière l'essieu de 13 t, déformable	3 < CBR ≤ 6	15 < EV2 ≤ 30	3 < K ≤ 5	Limons plastiques, argileux et argiloplastiques, argiles à silex, alluvions grossières, etc., très sensibles à l'eau	
P ₂ ou PF ₁	Pas d'ornières derrière l'essieu de 13 t	Déformable	6 < CBR ≤ 10	30 < EV2 ≤ 50	5 < K ≤ 6	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, graves argileuses ou limoneuses, sols marneux contenant moins de 35 % de fines
P ₃ ou PF ₂		Peu déformable	10 < CBR ≤ 20	50 < EV2 ≤ 120	6 < K ≤ 7	Sables alluvionnaires propres avec fines < 5 %, graves argileuses ou limoneuses avec fines < 12 %
P ₄ ou PF ₃		Très peu déformable	20 < CBR ≤ 50	120 < EV2 ≤ 250	7 < K ≤ 15	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux sains, etc., chaussées anciennes
P _{EX} ou PF ₄		Très peu déformable	CBR > 50	EV2 > 250	K > 15	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux sains, etc., chaussées anciennes

Définition de la classe de résistance du béton de sable

Les bétons de sable pour la couche de roulement et pour la couche de fondation doivent répondre aux sollicitations du trafic et des effets climatiques. Leurs résistances à la traction par flexion entrent directement en ligne de compte pour le dimensionnement. Ces bétons doivent donc être aussi

homogènes et compacts que possible et présenter des caractéristiques mécaniques adéquates.

Le tableau 9 donne les caractéristiques mécaniques requises de ces matériaux, conformément aux exigences de la norme NF P 98-170.

La composition des bétons doit donc être établie compte tenu des caractéristiques des matériaux disponibles et des résistances à atteindre.

Tableau 9 : Caractéristiques mécaniques des bétons de sable routiers.

Caractéristiques mécaniques	Béton de sable pour couche de roulement	Béton de sable maigre pour couche de fondation
Résistance à la traction par flexion à 28 jours	4,5 MPa ou 45 bar	2,8 MPa ou 20 MPa à la compression
Résistance à la traction par fendage (essai brésilien)	2,7 MPa ou 27 bar	1,7 MPa

Le dimensionnement proprement dit

Le dimensionnement du revêtement en béton de sable est effectué en lisant sur l'abaque (figure 1) l'épaisseur de la couche de roulement en béton en fonction du trafic cumulé N , exprimé en essieux standards de 13 tonnes, de la portance de la plate-forme ($P_2 = PF_1$, $P_3 = PF_2$, $P_4 = PF_3$) et en fonction de la structure envisagée pour la chaussée (structure sans fondation, structure avec fondation en béton de sable maigre).

Dans le cas où le trafic cumulé estimé dépasse $2,5 \cdot 10^6$ essieux standards, il est conseillé de goujonner les dalles béton du revêtement dans le but d'améliorer le comportement à long terme de la structure. L'utilisation des goujons au droit des joints de retrait/flexion apporte au niveau de la couche de roulement les réductions d'épaisseur suivantes :

- structure goujonnée sans fondation, posée sur couche

drainante ou géotextile : - 3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 1, toutes conditions égales par ailleurs ;

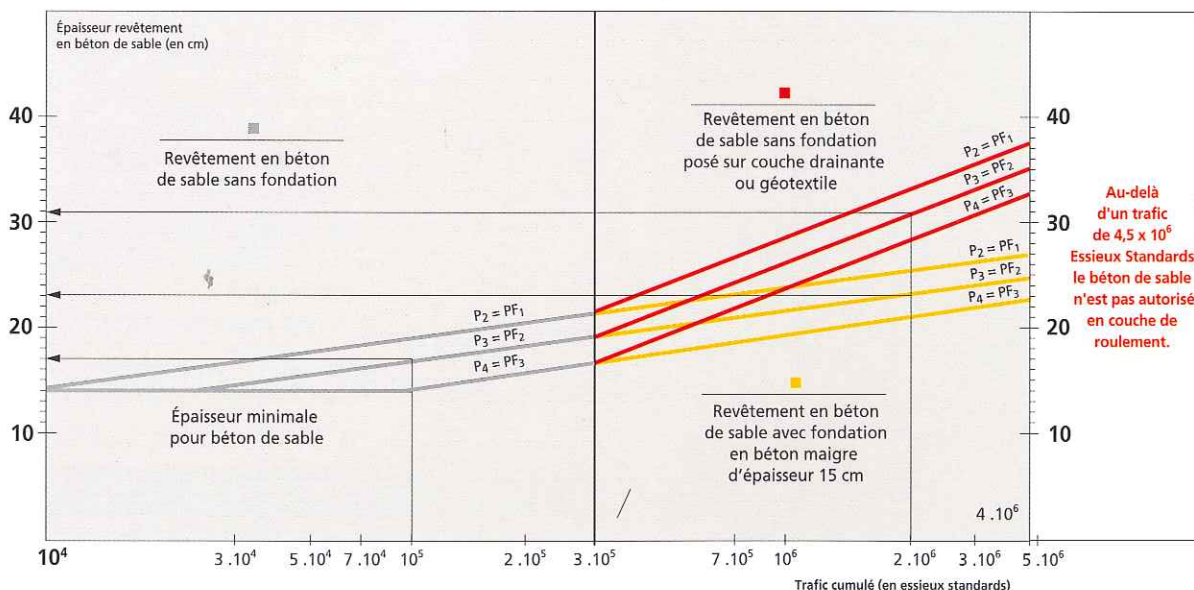
- structure goujonnée avec fondation en béton de sable maigre d'épaisseur 15 cm : - 3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 1, toutes conditions égales par ailleurs ;

- structure goujonnée avec fondation en béton de sable maigre d'épaisseur 19 cm : - 5 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 1, toutes conditions égales par ailleurs.

Au-delà d'un trafic cumulé de $4,5 \cdot 10^6$ essieux standards, l'utilisation du béton de sable en couche de roulement n'est pas permise en l'état actuel de la technique. Il peut toutefois être utilisé en couche de fondation.

Dans tous les cas, l'utilisation du béton de sable en couche de roulement nécessite de le protéger par une couche de surface type enduit, BBTM, etc.

Figure 1 : Détermination de l'épaisseur de la couche de roulement en béton de sable pour les structures de chaussées.



Extrait de Routes n° 53 - octobre 1995

CIM *Béton* CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

41, avenue de Friedland - 75008 Paris - Tél. (1) 43.59.08.93 - Fax (1) 42.25.87.80