

# Routes

Ciments • Liants hydrauliques routiers • Bétons  
Travaux et équipements routiers - Terrassements - Aménagements urbains - Aéroports



## DOCUMENTATION TECHNIQUE

Voirie à faible trafic  
en béton. Conception et  
dimensionnement

## LE POINT SUR

Strasbourg : revêtements  
urbains, une logique  
patrimoniale

## CHANTIER

Gron : un giratoire  
à toute épreuve

## Sommaire

### 2 EDITORIAL

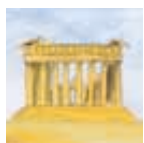
### 3-5 LE POINT SUR



#### Strasbourg

Revêtements urbains :  
une logique patrimoniale

### 6 SCIENCES ET TECHNIQUES



Le nombre d'or (2<sup>e</sup> partie)

### 7-14 DOCUMENTATION TECHNIQUE



Voirie à faible trafic en béton  
Conception et dimensionnement

### 15 RÉFÉRENCE

#### Strasbourg

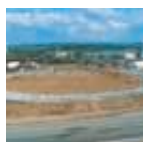
Pavés en béton sur la route  
des Romains (Bas-Rhin)

### 16-17 CHANTIER



A40 : Extrusion à grande  
vitesse sur l'autoroute A40

### 18-19 CHANTIER



Gron (Yonne) : un giratoire à  
toute épreuve

### 20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : aménagement de la  
rue des Hallebardes (Strasbourg)  
avec des dalles en béton, posées  
sur une structure drainante de  
béton poreux.

## Editorial

### Bilan 2002 et perspectives de la revue *Routes*

Il y a tout juste un an, CIMBÉTON procédait à une cure de rajeunissement de la revue *Routes* qui s'est traduite par une nouvelle maquette, effective dès le n° 79 de mars 2002.

Le but recherché était de vous permettre de mieux identifier la revue et ses champs d'application, mais aussi d'enrichir votre information par l'ajout de nouvelles rubriques : *Sciences et techniques*, *Remue-méninges*, *Référence*...

*Pari gagné ! Comme en témoignent les nombreux messages qui nous ont été adressés par nos amis lecteurs.*

Il est temps, aujourd'hui, de faire l'inventaire des sujets traités dans les quatre numéros édités en 2002 et de dresser les perspectives pour 2003.

En 2002, la rubrique *Le point sur* s'est rapprochée encore plus du terrain, passant de la monographie "départementale" aux aménagements urbains d'une commune, d'une ville ou d'une communauté urbaine. Cela s'est traduit, dans les faits, par des reportages sur la Gironde, La Rochelle, Bénodet et Strasbourg.

La rubrique *Chantier*, pour rester en phase avec notre stratégie de promotion, a privilégié les projets faisant appel aux techniques les plus innovantes. Comme :

- La déviation de Bebing et d'Imling sur la RN 4 (Moselle) où une structure composite BAC/GB a été mise en place sur 8 km.
- L'aménagement urbain à Mortagne-sur-Sèvre où les produits en béton utilisés ont contribué à l'élégance et à la sobriété de cet espace urbain.

- L'aménagement de deux arrêts de bus à Nice et d'une voirie industrielle à Lumbres où la technique innovante du BCMC a permis de résoudre durablement les problèmes d'orniérage des enrobés.
- L'aménagement d'un giratoire à fort trafic à Gron où une structure, constituée d'un revêtement en béton à joints goujonnés sur fondation en béton maigre, a été réalisée pour supporter un trafic lourd et intense.
- La réalisation d'équipements annexes (glissières, cunettes) sur l'autoroute A40, faisant appel à des solutions béton.

La rubrique *Référence* a présenté sept chantiers, qui vont du BCMC imprimé sablé (Le Mans) aux produits de voirie en béton (Le Grau-du-Roi, Cravanche, Beinhem, Huingue, la voie des Romains à Strasbourg), en passant par le béton désactivé (Bayonne).

Enfin, la rubrique *Sciences et Techniques* a abordé deux sujets essentiels : l'eau et le nombre d'or.

En 2003, portés par vos encouragements, nous allons continuer sur la même voie. Nous élargirons les sujets abordés dans la monographie pour y inclure des thèmes porteurs, tels que les pistes cyclables, les voiries viticoles, les aménagements autour des bâtiments classés et les aménagements autour des gîtes ruraux. Nous espérons que ces améliorations vous conviendront.

À tous nos lecteurs, nous souhaitons une bonne et heureuse année 2003.

Joseph ABDO

**CIM** *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense  
92974 Paris-la-Défense cedex

Tél. : 01 55 23 01 00

Fax : 01 55 23 01 10

Email : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)

Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

Pour tous renseignements concernant les articles de la revue, contacter Cimbéton.

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély  
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur des rubriques *Documentation technique* et *Sciences et techniques* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Romualda Holak, Jacques Mandorla, Gilles Nilsen - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : [mandorla@club-internet.fr](mailto:mandorla@club-internet.fr) - Conception maquette : Dorothée Picard - Dépôt légal : 4<sup>e</sup> trimestre 2002 - ISSN 1161 - 2053 1994



Des pavés en béton à dominante grise de 17 x 17 cm et 17 x 20 cm confèrent à la rue des Grandes Arcades un caractère très urbain.

# Revêtements urbains : une logique patrimoniale

Si Strasbourg est renommée pour la réussite de sa politique de développement des transports collectifs et des espaces piétonniers, contribuant à la valorisation du patrimoine architectural, le caractère exemplaire de l'expertise développée en matière d'aménagement urbain demeure peu médiatisé.

Quel meilleur point de vue sur le centre historique que le tramway de Strasbourg et ses généreuses baies vitrées ? Pour le prix d'un simple ticket, le touriste, comme le strasbourgeois, se voit offrir une vue panoramique dont rêveraient bon nombre de cinéastes. Une ville où la tradition, incarnée par la volonté de sauvegarder le patrimoine, et l'innovation, illustrée par le choix courageux, et aujourd'hui incontesté, d'interdire le cœur de la cité aux voitures, coexistent en parfaite harmonie. À ce spectacle s'ajoute la vision d'une multitude de piétons affairés ou détendus, évoluant sur des aménagements marqués par une constante : l'omniprésence de produits modulaires. Une

“marque” qui confère aux lieux, unité esthétique et cohérence historique, mais qui s'exprime aussi sur l'ensemble de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), qui regroupe 27 communes où résident 451 000 habitants, dont 57 % à Strasbourg même.

## ■ Confort et pérennité des aménagements

Fondé sur une identité propre, ce choix de revêtements permet de faciliter les 5 000 interventions annuelles sur les réseaux ! Une attention particulière est apportée à la pérennité des aménagements, conçus pour une durée de service de 20 à 25 ans, avec



Rue des Hallebardes : des dalles de béton rose pour une voie pleine de charme.

le souci d'en minimiser l'entretien ultérieur, toujours plus onéreux, et source de nuisances pour les usagers.

Dès que les interventions se situent hors du secteur sauvegardé, la solution des dalles et pavés en béton s'impose face à la pierre naturelle pour des raisons de compétitivité. Avec, à la clé, une variété de coloris, de textures et de formats aptes à répondre à tous les cas de figure. Une solution plus économique, mais offrant des finitions suffisamment apparentées pour qu'il soit difficile de distinguer un produit en béton d'un granit ou d'un porphyre. Ce qui explique que le béton se soit parfois imposé dans le centre historique. Exemple : des dalles de finition poncée et grenillée dont le traitement empêche l'accrochage des salissures. La surface, bien que rugueuse, reste fermée, et offre une adhérence par tout temps, prévenant les risques de chute. Bilan : environ 9% des revêtements de voirie de la CUS ont été réalisés en béton préfabriqué, soit un million de m<sup>2</sup> de pavés et 115 000 m<sup>2</sup> de dalles !

## ■ Une véritable expertise

Dans certains quartiers, l'harmonisation avec les soubassements des bâtiments, réalisés en grès, se fait avec des dalles ou des pavés dont la matrice, colorée en ocre, contraste avec des agrégats noirs, blanc, gris... Le confort de marche est également une donnée importante. Pour les aménagements réservés aux piétons, il est fait usage de dalles grand format : 40 x 40



Place de Zurich aménagée à l'aide de pavés en béton.



La plateforme du tramway a demandé la création de dalles et pavés béton à la géométrie spécifique pour disposer d'une épaisseur de revêtement de 10 cm.

cm, 40 x 60, 60 x 60, voire même 60 x 90. Et quand le trafic sur les voies piétonnes est trop important, du fait de la fréquence des livraisons – certaines voies piétonnes enregistrent 100 rotations de poids lourds par jour –, la dalle est remplacée par le pavé.

Et l'accroissement des sollicitations, constaté au fil du temps, a conduit à une optimisation systématique du dimensionnement des produits. Outre l'augmentation progressive de l'épaisseur (qui est passée de 6 à 10 cm en l'espace de 25 ans), les plateformes ont été étudiées dans le détail. Objectif : éviter la dégradation du lit de pose, qui se traduit par des cassures de dalles lors du passage d'essieux. Un phénomène dû à l'accumulation d'eau sous le revêtement, entraînant le sable à chaque battement de dalle.

## ■ Structure drainante inédite

La solution consiste alors à drainer le lit de pose. Ainsi, la dalle de fondation n'est plus réalisée en béton classique, mais en béton poreux de 30 cm. De plus, le lit de pose, mis en œuvre après application préalable d'un géotextile, fait appel à une formulation spécifique (2/4 concassé et 0/4 roulé) qui lui permet de conserver, dans le temps, sa souplesse et son pouvoir drainant. Ce dispositif est complété par l'utilisation d'un mastic de jointoiement des dalles et pavés, mis au point à partir d'un bitume de synthèse.



Rue Gutenberg : aménagement de dalles en béton, posées sur une structure drainante de béton poreux.

Cette expertise va parfois jusqu'au partenariat avec les fabricants afin de développer des produits adaptés à des contraintes particulières. Exemple : la création de dalles béton en forme de pentagone (qu'on retrouve aussi à Milan) posées sur la plateforme du tramway, et munies de réservations au niveau des attaches des rails. Grâce à cette adaptation, on a pu maintenir l'épaisseur du revêtement à 10 cm, alors que partout en France, la hauteur des rails la limite à 8 cm.

## ■ Béton armé continu (BAC) pour les vélos

Le choix du béton pour la réalisation des trois premières sections de la Piste des Forts (6 km au total) est également à mettre au crédit d'une volonté d'écartier tout risque de pathologie. Cet itinéraire cyclable totalisant 50 km reliera les forti-



Piste des Forts : 6 km de béton armé continu pour le confort des cyclistes et la découverte du patrimoine naturel et historique.



Rue du Fossé des Tanneurs : dalles en béton gris, à dominante rose et de grand format (40 x 40 cm) pour le confort de marche.

fications, édifiées par les Allemands avant 1870 pour protéger Strasbourg, allemande à l'époque, d'une éventuelle invasion française. Un grand projet, dédié, entre autres, à la découverte du patrimoine naturel et architectural des environs de Strasbourg.

Si l'emploi du béton permet aux usagers de bien identifier cet espace, facilite son intégration paysagère et offre de nombreux avantages techniques (structure résistante au passage d'engins agricoles et non gélive, entretien limité à un balayage...), l'option du BAC, dévolue aux chantiers routiers et autoroutiers, est assez originale pour une simple piste cyclable, mais pleinement justifiée : bien que l'assise soit traitée aux liants routiers, un gonflement du sol n'est pas totalement impossible, risquant d'engendrer des mouvements différentiels de la dalle et une dégradation de l'uni. Le choix d'une armature continue évite ce risque.

Autre bénéfice de l'absence de joints : un confort de roulement très apprécié des cyclistes.

### ■ Du BCMC pour les couloirs de bus ?

Comme bon nombre de municipalités, Strasbourg est confrontée aux problèmes d'orniérage constatés au niveau des couloirs de bus les plus fréquentés, un phénomène qui met en évidence les limites des matériaux hydrocarbonés, y compris des enrobés dits à haut module. Des dégradations aggravées par l'apparition de l'essieu "tridem" et par l'accroissement progressif de l'efficacité des systèmes de freinage des véhicules, générant des efforts considérables.

Solution : le béton de ciment mince collé (BCMC) sur enrobé, une technique tout à fait envisageable, compte tenu de l'épaisseur suffisante des chaussées existantes, même après rabotage. Cette solution d'avenir, limitant les nuisances de chantier à court terme (intervention en 24 ou 48 heures) mais surtout à long terme (suppression des rechargements en enrobé), répond pleinement aux objectifs de bonne gestion des ressources d'une collectivité. Il ne fait donc aucun doute que la technique du BCMC permettra d'accompagner la poursuite de la politique de service en matière de transports en commun, menée par la Communauté Urbaine de Strasbourg depuis de nombreuses années. ●

## ■ UN LABORATOIRE ATYPIQUE

Expert de la voirie urbaine, le laboratoire de la CUS, créé au début des années 80, offre, avec 11 000 essais réalisés chaque année, une excellente qualité de service due, entre autres, à un équipement très performant : pénétromètre dynamique, enceinte climatique, appareil de contrôle non destructif par mesure de la fréquence de résonance, camion aménagé... Il propose aussi une souplesse qu'aucun laboratoire privé ne peut offrir : délais d'intervention de 24 à 48 heures, prestations ponctuelles (un ou deux essais de plaque)...

En outre, le laboratoire assiste les fabricants quand il s'agit d'adapter les produits (modification de système d'épaulement ou de blocage des pavés) ou de créer des produits originaux, comme une dalle pour la plateforme du tramway.

Autre exemple, le développement d'un mastic de jointoiement des espaces pavés, le Mexphalte C joint P3J, breveté par la CUS et commercialisé par Shell Bitumes, à la fois souple pour suivre les mouvements des rails et très visqueux pour garantir l'étanchéité.



Les produits préfabriqués en béton offrent une grande variété d'aspects, de textures et de formats (ici dalles podotactiles).

## Le nombre d'or (2<sup>e</sup> partie)

Dans le précédent numéro, nous avons défini le nombre d'or et nous avons retracé son historique, depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours. Dans cette deuxième partie, nous allons développer le nombre d'or, tant du point de vue mathématique que culturel.

### ■ Le nombre d'or dans les mathématiques

Le nombre d'or est un nombre irrationnel dont la valeur exacte est égale à  $(1 + \sqrt{5})/2$ , soit en valeur approchée : 1,618. Euclide l'a défini comme le rapport particulier entre deux segments de droite. Nous allons définir la relation qui gouverne ce nombre d'or et relater ses principales propriétés algébriques et géométriques.

#### La division d'un segment de droite en moyenne et extrême raison

Que disait le grand Euclide ? Pour partager un segment de droite AB en moyenne et extrême raison, il faut déterminer un point M, situé entre A et B, et tel que :

$$AB/AM = AM/MB$$

Comme l'a écrit Matila Ghyka : "C'est la façon la plus logique de partager asymétriquement une grandeur mesurable en deux grandeurs inégales, telles que le rapport entre la plus grande et la plus petite soit égal au rapport entre la somme des deux (le tout) et la plus grande". Le nombre d'or  $\phi$  est donc égal au rapport AB / AM ou AM / MB. Il se calcule facilement à partir de l'équation régissant la division en moyenne et extrême raison :

$$AB / AM = AM / MB \text{ et en posant : } AB = a ; AM = a/\phi \text{ et } MB = a - a/\phi$$

$$D'où : a / (a/\phi) = (a/\phi) / (a - a/\phi)$$

$$\phi = a/(a\phi - a) \text{ ou } \phi = 1/(\phi - 1)$$

$$D'où \phi^2 - \phi - 1 = 0$$

Cette équation du second degré possède deux racines. La racine positive a pour valeur :  $\phi = (\sqrt{5}+1)/2$

C'est le célèbre nombre d'or et sa valeur est 1,6180339887... Il est donc l'expression algébrique du partage euclidien. La racine négative a pour valeur :  $(-\sqrt{5}+1)/2$  et sa valeur approchée est -0,6180339887... Il est facile de démontrer qu'elle est égale à  $(-1/\phi)$

#### Propriétés algébriques

Les nombreuses propriétés mathématiques du nombre d'or lui confèrent une place primordiale dans l'ensemble des nombres.



L'équation du second degré :  $\phi^2 - \phi - 1 = 0$ , dont le nombre d'or est la racine positive, se transforme facilement en :  $\phi^2 = \phi + 1$ , puis en :  $\phi = 1 + 1/\phi$ . Ce qui permet de tirer les propriétés suivantes :

a) l'équation  $\phi^2 = \phi + 1$  signifie que le carré du nombre d'or s'obtient en ajoutant 1 à la valeur du nombre d'or. En d'autres termes :  $(1,6180)^2 = 2,6180$ .

b) l'équation  $\phi = 1 + 1/\phi$  ou  $1/\phi = \phi - 1$  signifie que l'inverse du nombre d'or s'obtient en retranchant 1 à la valeur du nombre d'or. En d'autres termes :  $1/1,6180 = 0,6180$ . Il en résulte que, dans les expressions décimales de  $\phi^2$ ,  $\phi$  et de  $1/\phi$ , les chiffres placés à droite de la virgule sont exactement les mêmes et placés de la même manière.

c) l'équation  $\phi^2 = \phi + 1$  donne, en multipliant indéfiniment ses deux membres par  $\phi$ , la suite indéfinie :

$$\phi^2 = \phi + 1$$

$$\phi^3 = \phi^2 + \phi = 2\phi + 1$$

$$\phi^4 = \phi^3 + \phi^2 = 3\phi + 2$$

$$\phi^5 = \phi^4 + \phi^3 = 5\phi + 3 \dots$$

$\phi^n = \phi^{(n-1)} + \phi^{(n-2)} = u(n)\phi + u(n-1)$ , où  $u(n)$  est le terme général de la suite traditionnelle de Fibonacci. La suite des termes ( $\phi^2$ ,  $\phi^3$ ,  $\phi^4$ ,  $\phi^5$ , ...,  $\phi^n$ ) est une progression géométrique de raison  $\phi$ . En outre, elle jouit d'une propriété particulière : un terme quelconque de la suite est égal à la somme de deux termes qui le précèdent. C'est donc une suite de type Fibonacci\*. De plus, les coefficients figurant aux seconds membres (coefficients de  $\phi$  et les parties entières) appartiennent aussi à la suite traditionnelle de Fibonacci.

#### Propriétés géométriques

Euclide avait établi que les structures géométriques de certains polygones sont commandées par le nombre d'or. La division en moyenne et extrême raison devient donc un outil très intéressant pour la construction des décagones et des pentagones réguliers. Le lecteur pourra consulter utilement les excellents ouvrages suivants : *Géométrie du nombre d'or* de Robert Vincent (Chalagam Editions - chalagam@wanadoo.fr) et *Le nombre d'or* de Marius Cleyet-Michaud (Que sais-je ? n° 1530 - Éditions PUF).

### ■ Le nombre d'or dans l'architecture

Des architectes et des archéologues ont soutenu que le nombre d'or est présent dans les plans de construction de monuments anciens, comme le Parthénon d'Athènes. L'américain Jay Hambidge, le norvégien Frédéric Lund et l'allemand Ernst Moessel soutiennent que l'art grec et l'art égyptien sont fondés sur l'emploi de rectangle à module  $\sqrt{5}$  ou le rectangle à module  $\phi$ , intimement apparentés l'un à l'autre.

En 1943, l'architecte français d'origine suisse Le Corbusier a conçu son *Modulor* sur la base du nombre d'or. Il a indiqué les dimensions de l'homme debout, accoudé, assis, assis/accoudé et noté le rapport des dimensions, qui était toujours :  $1/\phi$ ,  $\sqrt{\phi}$ ,  $\phi$  ou  $\phi^2$ . Cette grille de proportions (dans laquelle s'inscrit un homme de 1,83 m, au bras levé à 2,26 m) devait fournir les mesures normalisées pouvant s'appliquer à toutes les constructions. Le Corbusier affirmait que le Modulor avait deux avantages sur le système métrique en mettant l'homme au centre de l'architecture et en prenant possession de l'espace, sur la base de lois qui régissent la nature. Le Corbusier a réalisé de nombreuses constructions en adoptant un module humain servant de base pour déterminer les dimensions des habitations comme celles de la Cité Radieuse à Marseille en 1947. ●

\* Voir dans le prochain numéro.

## Voirie à faible trafic en béton. Conception et dimensionnement

La voirie en béton est constituée d'un revêtement en béton de ciment, qui sert de couche de roulement. Toutes ses caractéristiques (largeur, épaisseur, profil en travers, profil en long, etc.) peuvent être modulées selon sa nature et sa destination.



### CONCEPTION

Grâce à sa souplesse d'adaptation, il est possible d'envisager de construire une voirie en Béton dans, pratiquement, tous les cas - quelle que soit la particularité du projet - et ceci à un coût très compétitif.

Les caractéristiques mécaniques du béton (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 suite des économies notables sur l'investissement et sur l'entretien. Pour contrôler certains phénomènes inévitables et propres au matériau béton, tels que le retrait hydraulique et le retrait thermique, il est nécessaire de prévoir des dispositions constructives spécifiques (joints).

D'une manière générale, la réalisation d'une route dans de bonnes conditions et son bon fonctionnement dans le temps nécessitent de respecter, dans sa conception, certaines règles fondamentales touchant à l'infrastructure, à l'assainissement, au drainage et aux matériaux constituant la chaussée.

### ■ Infrastructure

Les qualités principales d'un revêtement en béton sont sa tenue à la fatigue, qui garantit sa durabilité, et sa grande rigidité, qui permet d'assurer une bonne répartition des charges sur le sol support. Celui-ci n'est, de ce fait, que peu sollicité. Les structures rigides se passent donc de fondations complexes et l'économie ainsi engendrée les rend très compétitives, en particulier dans le cas des voiries à faible trafic. Cependant, cette répartition des charges résulte d'une flexion de la chaussée béton, dans laquelle se développent notamment des contraintes de traction à la partie inférieure. L'existence de points durs et de tassements différentiels pouvant perturber leur bonne répartition, il est donc indispensable que le revêtement repose sur un sol homogène et portant.

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) sont à prévoir chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est  $p_0$  ( $CBR \leq 3$ ) ou  $p_1$  ( $3 < CBR \leq 6$ ) (Fig. 1).

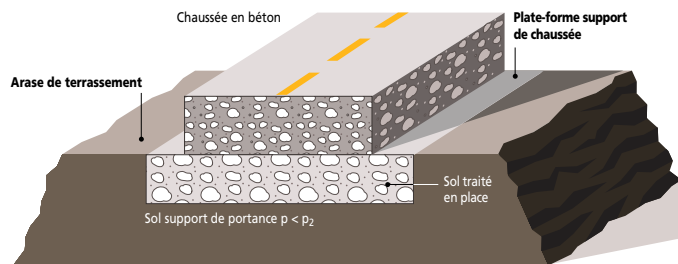


Fig. 1 : Cas d'un sol de faible portance

Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau 1.

**Tableau 1 : 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	Nouvelle portance
$p = p_0^*$ ; $CBR \leq 3$	35 cm	50 cm	$p_2$
$p = p_1$ ; $3 < CBR \leq 6$	20 cm	30 cm	$p_2$

\* 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.

### ● 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 le revêtement béton (Fig. 2).

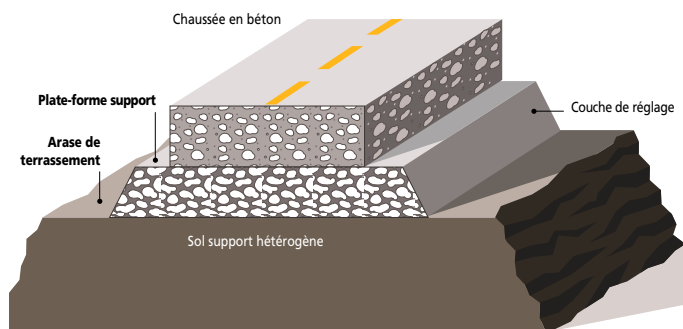


Fig. 2 : Cas d'un sol hétérogène et portant

### ● Cas d'un sol homogène et portant

La structure béton est réalisée directement sur le sol convenablement préparé (nivelé et compacté) (Fig. 3).

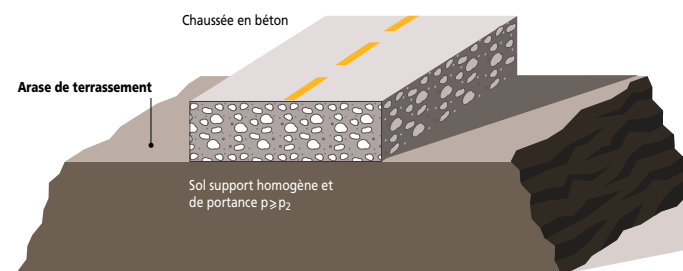


Fig. 3 : Cas d'un sol homogène et portant

## ■ Drainage

Quelle que soit la structure et quels que soient les matériaux qui la constituent, l'eau a toujours été considérée comme le pire ennemi de la route. Elle est un élément décisif d'accélération des dégradations des structures de chaussées. Ceci est aussi vrai pour les revêtements en béton, mais à moindre échelle.

Pour éviter les accumulations d'eau sous le revêtement en béton et les accotements, ainsi que ses effets néfastes, des dispositions constructives – maintenant classiques – sont adoptées.

### ● La collecte et l'évacuation des eaux superficielles



Afin d'assurer la sécurité et le confort des usagers (aquaplanage, projections d'eau) il faut évacuer rapidement l'eau de la surface de la chaussée. Un profil en travers adapté, avec dévers d'au moins 2%, canalisera l'eau soit au milieu de la chaussée, soit latéralement. L'eau sera ensuite évacuée de façon classique par des caniveaux et des avaloirs judicieusement placés.

### ● Le remplissage des joints

Cette disposition doit être modulée en fonction du type de la voirie, du trafic et des conditions climatiques. Elle consiste à introduire dans les joints sciés transversaux et longitudinaux, un produit imperméable, déformable, résistant et adhérent aux deux bords de la réserve. Les produits de remplissage les plus utilisés sont les produits coulés à chaud, constitués essentiellement de bitume adapté ou des produits à base de liège.

### ● Les dispositifs de drainage

Il existe deux types de dispositifs de drainage :

#### • Dispositifs de drainage de la plate-forme (déblais, nappes affleurantes, points singuliers etc.)

Ces dispositifs sont à prévoir quelle que soit la classe de trafic de la voirie et sont utilisés à des endroits singuliers tels :

- point bas du profil en long : un drain transversal, en épi, peut être nécessaire.

- purge localisée de la plate-forme : il est souhaitable dans ce cas de prévoir un matériau drainant (béton poreux par exemple) en fond de forme, relié à un drain et à un exutoire.
- pente accentuée du profil en long sur une grande longueur : des écoulements d'eau longitudinaux importants, au niveau du support, peuvent se produire et qui nécessitent l'utilisation de drains transversaux disposés en épis à des intervalles réguliers (par exemple, tous les 100 mètres).

#### • Dispositifs de drainage de l'eau due aux infiltrations superficielles

L'eau qui a pu s'infiltrer dans la chaussée est acheminée vers les côtés et évacuée par des drains et des exutoires. A l'interface dalle-support, la circulation de l'eau est assurée, soit par gravité (écoulement le long des pentes transversales), soit à l'aide d'un complexe associant des géotextiles filtrants et drainants, placé sur toute la surface de la chaussée et qui permet aussi de protéger le support contre l'érosion.

## ■ Les joints

Les joints ont pour but de localiser la fissuration du béton (phénomène inévitable, du fait de sa nature et des variations climatiques journalières ou saisonnières), de manière précise et déterminée à l'avance. La réalisation correcte des joints est donc une condition essentielle à la pérennité de la voirie.

### ● Les différents types de joints

On distingue trois grandes familles de joints : les joints transversaux, les joints longitudinaux et les joints de dilatation.

#### • Joints transversaux

Ils sont perpendiculaires à l'axe de la route et sont classés en trois catégories : les joints de retrait / flexion, les joints de retrait / flexion goujonnés, les joints de construction.

##### Joints de retrait/flexion

Leur rôle est de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient de température. Ils sont réalisés en créant à la partie supérieure du 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 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 (Fig. 4).

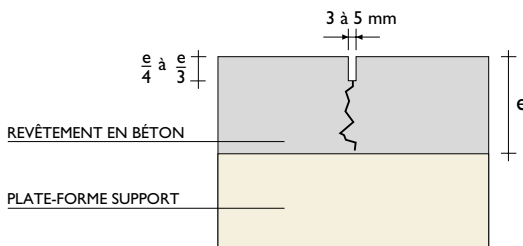


Fig. 4 : Schéma d'un joint de retrait / flexion

L'espacement optimal des joints dépend du retrait du béton, des caractéristiques de friction de l'infrastructure et de l'épaisseur du revêtement. Le transfert de charges aux

droits des joints est d'autant mieux assuré que leur espacement est réduit. Toutefois, l'expérience et la pratique ont permis d'établir une corrélation directe entre l'espacement des joints et l'épaisseur du revêtement. Le tableau 2 présente les espacements recommandés en fonction des épaisseurs de la dalle.

**Tableau 2 : Espacement des joints de retrait/flexion en fonction de l'épaisseur de la dalle**

Épaisseur de la dalle (cm)	Espacements des joints (m)
12	3,00
13	3,25
14	3,50
15	3,75
16	4,00
17	4,25
18	4,50
19	4,75
20	5,00

#### Joints de retrait/flexion goujonnés

Les goujons ont pour rôle d'améliorer le transfert des charges aux droits 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. Ils sont utilisés pour les routes à trafic élevé.

#### Joints de construction

Ils sont réalisés après chaque arrêt de bétonnage supérieur à une 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 20 à 30 mm, placés à mi-hauteur dans le sens longitudinal et espacés de 0,75 m (Fig. 5). Dans le cas où un revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes, un joint de construction doit correspondre obligatoirement à un joint de retrait / flexion dans la bande adjacente.

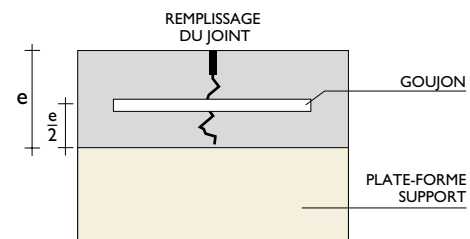


Fig. 5 : Schéma d'un joint de construction (transversal ou longitudinal)

#### • Les joints longitudinaux

Ces joints sont parallèles à l'axe de la voirie. Ils ne sont nécessaires que si la largeur du revêtement est supérieure à 4 m 50. Ils sont classés en deux catégories :

##### Les joints longitudinaux de retrait / flexion

Ils servent principalement à compenser les contraintes provoquées par le gradient thermique. Ils sont réalisés en créant dans le revêtement coulé en pleine largeur, une saignée ou une

entaille longitudinale dont les caractéristiques sont similaires à celles des joints de retrait / flexion transversaux (Fig. 6).

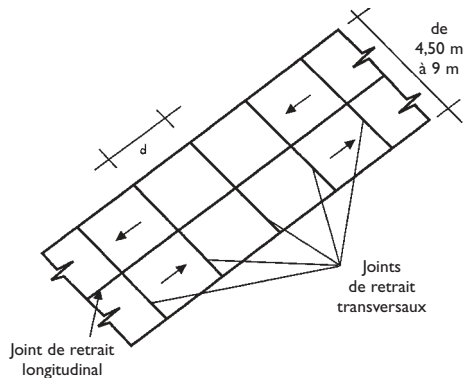


Fig. 6 : Disposition des joints de retrait / flexion transversaux et longitudinaux

### Les joints longitudinaux de construction

Ils sont réalisés quand le revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes. Il est recommandé, alors, de solidariser les deux bandes adjacentes du revêtement soit en façonnant une clé constituée de formes conjuguées, soit en utilisant des fers de liaison transversaux pour maintenir l'alignement vertical des bandes adjacentes et maîtriser l'ouverture du joint (Fig. 7).

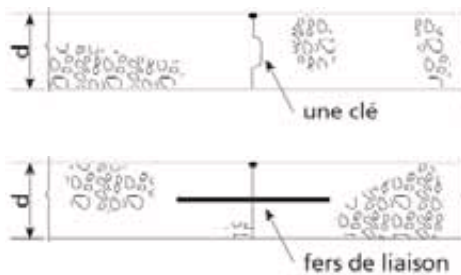


Fig. 7 : Schémas de joints longitudinaux de construction

### • Les joints de dilatation

Leur rôle est de compenser les variations dimensionnelles des dalles, dues essentiellement à l'élévation de la température. Ils ne sont requis que dans certains cas particuliers pour séparer complètement la dalle des 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 sur toute son épaisseur. La saignée est remplie d'une fourrure en matière compressible dont l'épaisseur est comprise entre 10 et 20 mm (Fig. 8). Un soin particulier doit être accordé à la réalisation de ces joints.

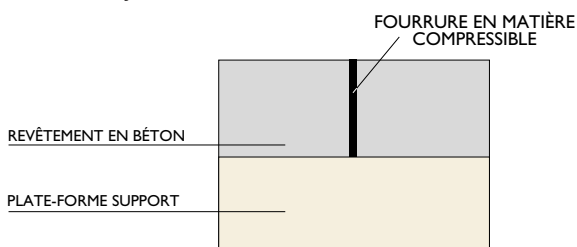


Fig. 8 : Schéma d'un joint de dilatation

### • Disposition des joints

Pour concevoir un schéma de jointoiment, on tiendra compte de certaines règles de bonne pratique, qui sont détaillées ci-après : **les joints de retrait/flexion** découpent un revêtement en dalles. Il est préférable de donner à ces dalles une forme carrée ou rectangulaire avec un rapport dimensionnel maximal de 1,5 à 1 (Fig. 9).

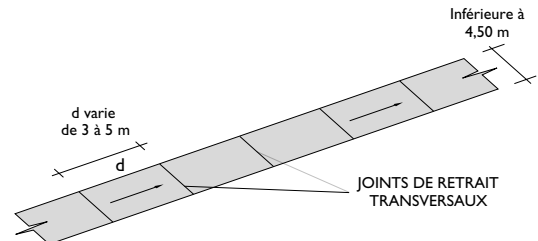


Fig. 9 : Schéma de jointoiment pour une voirie à une voie de circulation

Des formes autres que carrées ou rectangulaires sont cependant permises pour adapter le revêtement aux besoins du tracé, de la géométrie de la voirie. Ces formes sont telles qu'elles ne comportent pas d'angles aigus (Fig. 10).

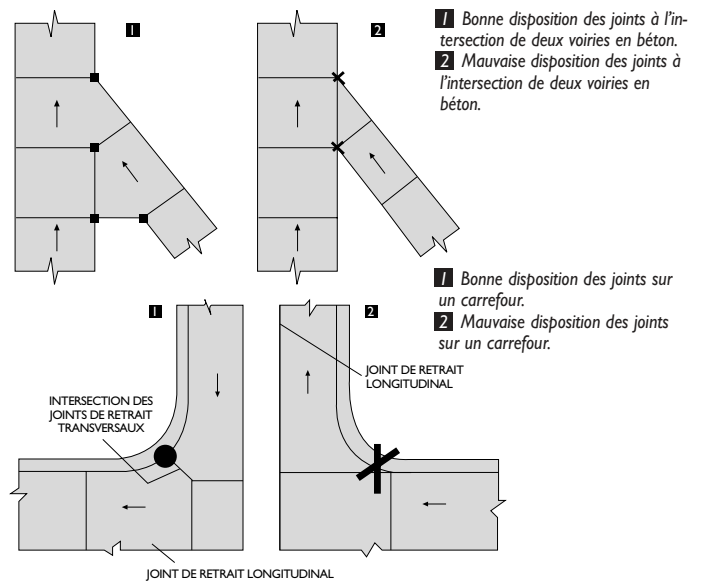


Fig. 10 : Disposition des joints à l'intersection de deux voiries

Des joints de dilatation doivent être exécutés pour isoler le revêtement de certains équipements fixes comme les regards, les socles de lampadaire, etc. (Fig. 11).

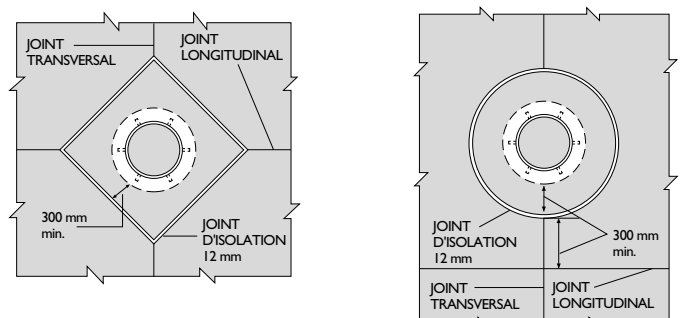


Fig. 11 : Disposition d'un joint de dilatation autour d'un couvercle de regard d'égout

## DIMENSIONNEMENT

### Méthode de dimensionnement

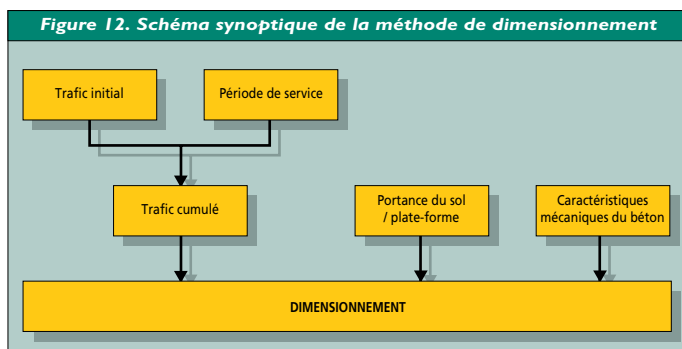
Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement de chaussées en béton, basées sur des modèles mathématiques et/ou des considérations pratiques tirées de l'expérience et qui se présentent sous la forme soit d'abaques de dimensionnement, soit d'un catalogue de structures-types, soit de méthodes de calcul pratiques.

Il s'agit de fixer une période de service à assurer par la structure, définie comme la période probable pendant laquelle la chaussée supportera le trafic prévu sans devoir recourir aux travaux d'entretien. Le choix de la période de service intervient dans le calcul du trafic cumulé. Elle peut être prise entre cinq et quarante ans. Mais, comme nous allons le constater par la suite, le dimensionnement d'une chaussée en béton - donc son coût initial - 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).

Les paramètres d'entrée indispensables au dimensionnement d'une chaussée en béton (Fig. 12) sont relatifs :

- à l'action du trafic ;
- à la portance du sol ou de la plate-forme support de chaussée ;
- aux caractéristiques des matériaux qui constituent la chaussée.

Le choix de ces différents paramètres, et notamment l'évaluation du trafic, conditionnera en grande partie le comportement futur de la chaussée.



### Le trafic

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées.

En effet, chaque passage de véhicule sur la chaussée entraîne une légère fatigue de celle-ci, tant pour ce qui concerne la structure que les qualités 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 : un essieu de poids lourds est infiniment plus agressif qu'un essieu de voiture légère. Il est donc nécessaire de quantifier le trafic sur le plan de l'agressivité des véhicules.

En France, le trafic estimé à la mise en service est 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.

Le trafic cumulé à prendre en compte dépend alors du trafic existant ou prévu lors de la mise en service de la route, de l'agressivité du trafic, de la période de service souhaitée de la chaussée, du taux moyen de croissance annuelle du trafic pendant cette période.

#### ● Détermination du trafic à la mise en service

Il est évalué à l'aide de la formule :  $t = [M.J.A.] \times K \times R$

où "t" est le trafic à la mise en service exprimé en poids lourds de poids total autorisé en charge supérieur à 3,5 tonnes, par jour et par sens de roulement.

[M.J.A.] est le trafic Moyen Journalier Annuel.

"K" est un coefficient de conversion en poids lourds de poids total autorisé en charge supérieur à 3,5 tonnes.

"R" est un coefficient prenant en compte le recouvrement des bandes de roulement.

#### ● Trafic moyen journalier annuel "M.J.A."

Il peut être évalué, selon le cas à étudier, de différentes façons :

- soit par comptage lorsqu'il s'agit de l'aménagement d'un itinéraire existant ;
- soit par estimation du trafic basée sur une étude de trafic dans la zone intéressée par le projet ;
- soit, enfin, par évaluation à partir de méthodes indirectes : tonnage transporté transformé en trafic ou estimation du trafic "drainé" par la nouvelle route à partir des itinéraires qu'elle déleste.

Or, le temps disponible pour les études des projets de voiries étant le plus souvent limité, il n'est pas toujours possible de réaliser des comptages sur des périodes longues et représentatives. Les résultats obtenus sont, de ce fait, partiels et incomplets. Il convient donc, dans de tels cas, d'effectuer des corrections sur le trafic obtenu pour tenir compte des variations saisonnières connues (transport de betteraves, vendanges, vacances, etc.) et des augmentations temporaires de trafic (déviation).

Cette façon de faire est très intéressante car elle permet, en tenant compte des variations saisonnières du trafic et de la pondération de ces variations sur une année entière, d'estimer avec plus de précision le trafic moyen journalier annuel que la route aura à supporter.

Le trafic MJA est exprimé par sens de circulation, soit en essieux supérieurs à 9 t, soit en poids lourds de charge utile > 5 t, soit en poids lourds de poids total autorisé en charge > 3,5 t, soit tous véhicules.

### • Coefficient K

Ce coefficient permet de convertir le trafic MJA, mesuré lors de l'étude de trafic, en poids lourd de poids total autorisé en charge > 3,5 t. Le tableau 3 donne le coefficient K en fonction de la nature du trafic MJA.

**Tableau 3 : Détermination du coefficient de conversion K en fonction de la nature du trafic MJA**

Nature du trafic MJA		K
Essieux supérieurs à 9 t		1,25
P. L. de charge utile > 5 t		1,25
P. L. de poids total autorisé en charge > 3,5 t		1
Tous véhicules	> 1 000	0,125
	500 - 1 000	0,0875
	< 500	0,0625

### • Coefficient R

C'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 4 donne le coefficient R en fonction de la configuration de la route.

**Tableau 4 : 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
Route bidirectionnelle de largeur < 5 m circulée par des camions en charge dans un sens et à vide dans l'autre sens	1,5

### • Classes de trafic

A partir du trafic à la mise en service "t", exprimé en poids lourds de poids total autorisé en charge supérieur à 3,5 tonnes, on peut désigner la classe du trafic pour le sens de circulation étudié conformément aux indications figurant dans le tableau 5.

**Tableau 5 : Classes de trafic pour les routes à faible trafic**

Classes de trafic	Trafic à la mise en service (exprimé en poids lourds de poids total autorisé en charge > 3,5 t)
t <sub>3+</sub>	125 à 190
t <sub>3-</sub>	63 à 125
t <sub>4</sub>	32 à 63
t <sub>5</sub>	12 à 32
t <sub>6</sub>	0 à 12

### • Détermination du trafic cumulé "N"

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

$$N = 365 \text{ t. C. A.}$$

où "365 t" représente le trafic de l'année de mise en service, "t" étant le trafic journalier moyen de l'année de mise en service ou classe de trafic.

"C" est 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 le trafic à la mise en service "t" en nombre d'essieux standards de 13 t.

### • 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 donné par :

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

La détermination de "C" nécessite de choisir une période de service "n", et un taux annuel de croissance du trafic "r". Ce choix appelle 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 un entretien structurel. Dans le cas des voiries, on retient en général l'hypothèse d'une période de service longue, au moins égale à vingt 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 régional, etc.

Les valeurs du taux généralement retenues dans les projets se situent dans la fourchette 0-5%. Dans le cas où l'on ne dispose pas de prévisions sur l'évolution probable du trafic, on retient de préférence un taux de 4%. Le tableau 6 donne les valeurs du facteur de cumul C.

**Tableau 6 : Détermination du facteur de Cumul C**

Facteur de cumul C	Période de service "n" (en années)	Période de service "n" (en années)		
		20	30	40
Taux de croissance annuel du trafic r %	0	20,0	30,0	40,0
	1	22,0	34,8	48,9
	2	24,3	40,6	60,4
	3	26,9	47,6	75,4
	4	29,8	56,1	95,0
5	33,1	66,4	120,8	

### • Détermination de "A"

Il tient compte de la composition du trafic lourd. Il permet de convertir les poids lourds de poids total autorisé en charge > 3,5 t en équivalent d'essieux standards de 13 t. Il a les valeurs suivantes (tableau 7) :

Tableau 7 : Valeurs du facteur d'agressivité A en fonction de la classe de trafic	
Classes de trafic	Facteur d'agressivité A
t <sub>3+</sub>	0,8
t <sub>3-</sub>	0,7
t <sub>4</sub>	0,5
t <sub>5</sub>	0,4
t <sub>6</sub>	0,3



### ■ Évaluation de la portance de la plate-forme

Pour dimensionner correctement une voirie, il est indispensable d'évaluer la portance à long terme du sol (notée p) ou de la plate-forme support de chaussée (notée PF). Cette portance 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. Le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic (SETRA-LCPC/1981) défi-

nit six niveaux de portance du sol support désignés, dans l'ordre croissant par p<sub>0</sub> - p<sub>1</sub> - p<sub>2</sub> ou PF<sub>1</sub> - p<sub>3</sub> ou PF<sub>2</sub> - p<sub>4</sub> ou PF<sub>3</sub> et p<sub>5</sub> ou PF<sub>4</sub>.

Le tableau 8 donne les critères de classification des sols, soit par l'essai CBR, soit par un examen visuel, soit par l'essai à la plaque.

### ■ Définition de la classe de résistance du béton

Les bétons routiers doivent répondre aux sollicitations répétées du trafic et des effets climatiques; leur résistance à la traction par flexion entre 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 à 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.

Les classes 1, 2 et 3 correspondent à des bétons destinés en général aux couches de fondation et aux couches de base.

Les classes 4 et 5 correspondent à des bétons destinés en général aux couches de roulement routières et autoroutières.

Tableau 9 : Classification des bétons routiers		
Classe de résistance NF P 98 170	Résistances caractéristiques à 28 jours en MPa	
	Compression NF P 18 406	Fendage NF P 18 408
6	-	3,3
5	-	2,7
4	-	2,4
3	25	2,0
2	20	1,7
1	15	1,3

La classe 6 correspond à un béton destiné aux couches de roulement aéroportuaires.

Dans cette documentation, la détermination des épaisseurs du revêtement en béton a été effectuée avec un béton de classe 5. Pour un béton de classe 4, il faut ajouter 2 cm.

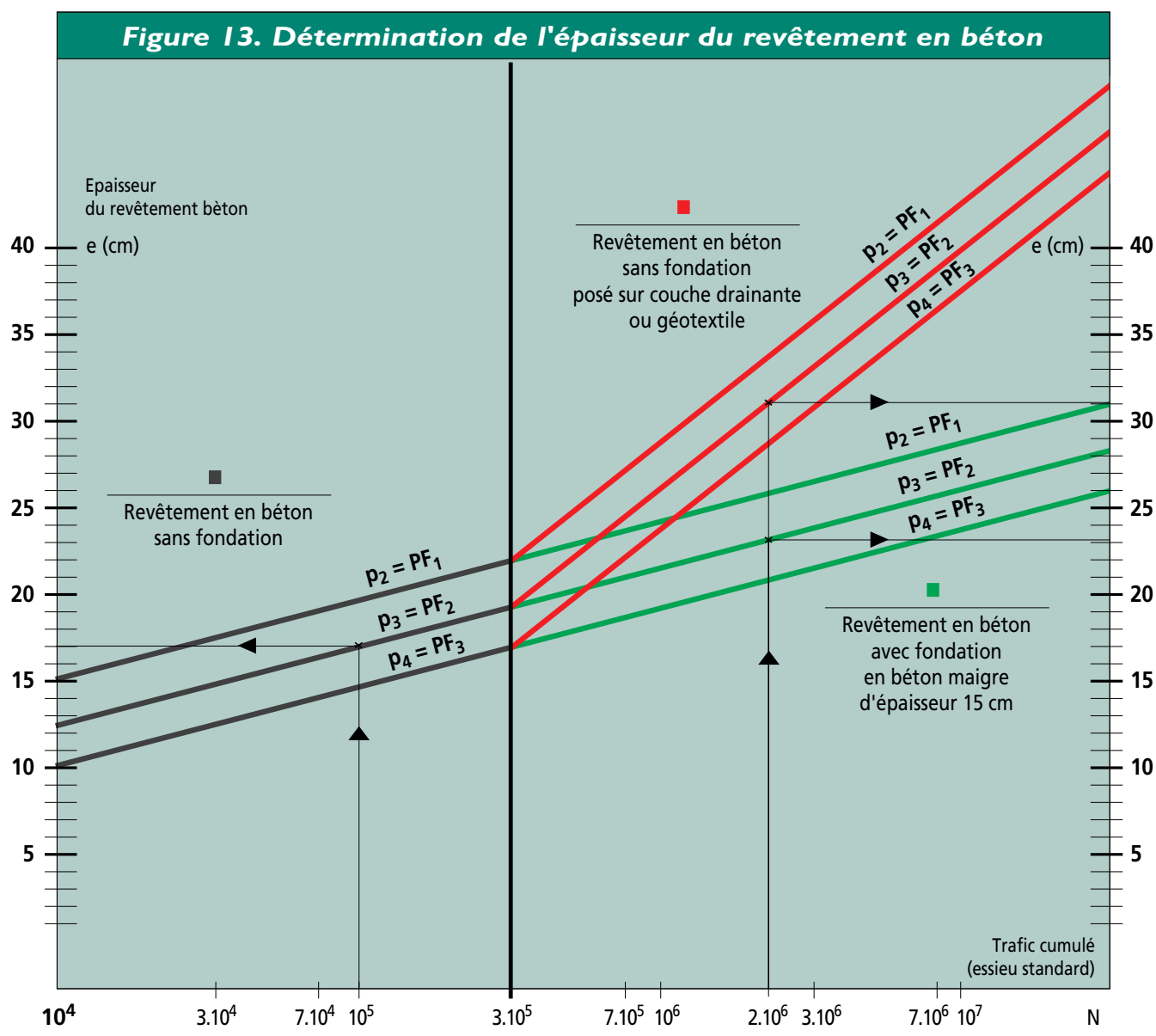
**Tableau 8 : Classification des sols en fonction de leur portance**

p	Examen visuel (essieu de 13 t)	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV <sub>2</sub> (MPa)
p <sub>0</sub>	circulation impossible, sol inapte, très déformable	CBR ≤ 3	EV <sub>2</sub> ≤ 15
p <sub>1</sub>	ornières derrière l'essieu de 13 t déformable	3 < CBR ≤ 6	15 < EV <sub>2</sub> ≤ 20
p <sub>2</sub> ou PF <sub>1</sub>	pas d'ornières derrière l'essieu de 13 t	déformable	20 < EV <sub>2</sub> ≤ 50
p <sub>3</sub> ou PF <sub>2</sub>		peu déformable	50 < EV <sub>2</sub> ≤ 120
p <sub>4</sub> ou PF <sub>3</sub>		très peu déformable	120 < EV <sub>2</sub> ≤ 200
p <sub>5</sub> ou PF <sub>4</sub>		très peu déformable	CBR > 50

## Détermination des épaisseurs des revêtements en béton

Le dimensionnement du revêtement en béton est effectué en lisant sur l'abaque (Fig. 13) l'épaisseur de la couche de roulement en béton (classe 5) en fonction du trafic cumulé  $N$ , exprimé en essieux standards de 13 tonnes et 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 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, aux droits des joints transversaux de retrait flexion, permet au niveau de la couche de roulement une réduction d'épaisseur de l'ordre de 3 cm par rapport à l'épaisseur obtenue sur la figure 13, toutes conditions égales par ailleurs. ●



**CIM** béton

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense 92974 Paris-la-Défense cedex Tél. : 01 55 23 01 00 Fax : 01 55 23 01 10

Email : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

# Pavés en béton sur la route des Romains (Bas-Rhin)

**A**ncienne voie romaine orientée Ouest/Est, la route des Romains est restée une pénétrante importante de Strasbourg. C'est pourquoi, la municipalité a souhaité souligner cet axe principal et donner un signal fort pour marquer le centre du quartier avec, en proximité, la mairie et les commerces, puisqu'il s'agissait de revitaliser cette zone et de donner plus de place aux activités commerciales locales.

Ce que confirme le cabinet d'architecture paysagiste Terraplano, qui a travaillé en étroite collaboration avec le Service Architecture de la Communauté Urbaine : *"Nous avons traduit cette volonté par un aménagement destiné à donner au site une image plus urbaine et moins routière, en le traitant comme un véritable centre commercial à ciel ouvert"*.

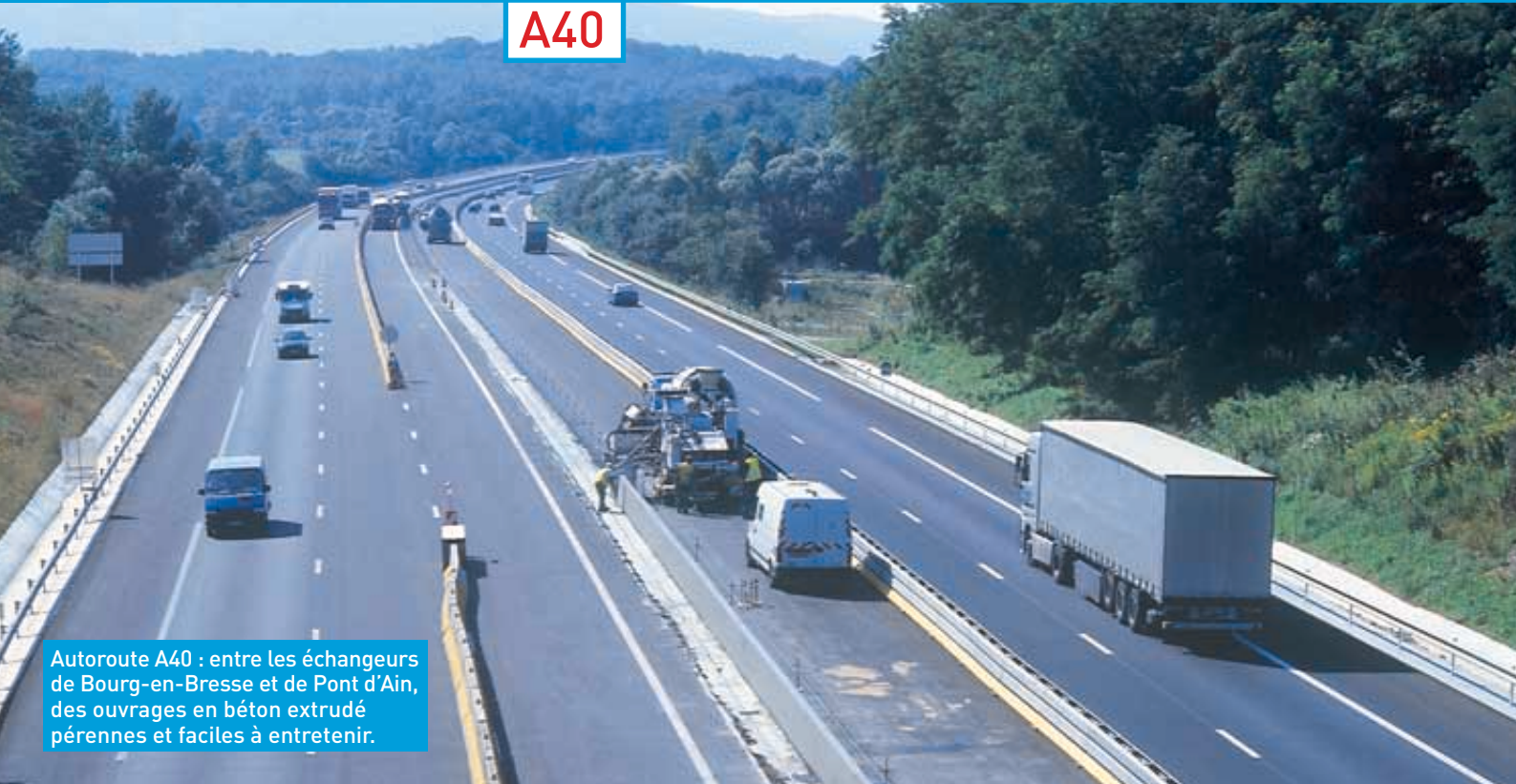
Cela s'est concrétisé par la réduction de la largeur de la chaussée, par l'élargissement des trottoirs et de l'espace piéton, par la liaison visuelle et esthétique entre les deux bords de la voie et, enfin, par une meilleure sécurité grâce à la séparation du trafic et au marquage d'une voie cyclable et de places de stationnement.



Pour supporter les 20 000 véhicules/jour et les 400 poids lourds/jour, le Service de la Voirie a préconisé une structure de chaussée tenant compte de ces chiffres et a retenu un pavé autobloquant de 10 cm d'épaisseur, et des pavés lavés blancs à base de quartz pour marquer les passages piétons et en éviter l'entretien ultérieur.

Pour le Service de la Voirie de la Communauté Urbaine de Strasbourg : *"Les pavés ont été choisis pour leurs qualités esthétiques, pour leur facilité d'adaptation aux différentes compositions des espaces et pour leur capacité à mettre en valeur des points particuliers comme un immeuble public ou un square. Enfin, utilisés dans les trottoirs, ils résistent mieux que les enrobés aux sollicitations occasionnelles, telles que les camions de livraison"*.

- **Lieu :** Strasbourg
- **Maître d'ouvrage :** Communauté urbaine de Strasbourg
- **Maître d'œuvre et bureau d'études :** Service Voirie Strasbourg - Cabinet d'architecture paysagiste : Terraplano
- **Entreprise :** Trabet Haguenu
- **Fournisseur des produits :** Sprauer et Schiff
- **Objectifs des travaux :** Réaliser un aménagement destiné à donner au site une image plus urbaine et moins routière.
- **Surface et linéaire réalisés en produits béton :** 300 m linéaire de caniveaux en pavés béton 16 x 24 x 14 cm. 3 900 m<sup>2</sup> de surface de circulation en pavés lavés autobloquants, d'épaisseur 10 cm, en porphyre rouge et quartz blanc. ●



Autoroute A40 : entre les échangeurs de Bourg-en-Bresse et de Pont d'Ain, des ouvrages en béton extrudé pérennes et faciles à entretenir.

# Extrusion à grande vitesse sur l'autoroute A40

Sécurité et protection de l'environnement obligent, l'élargissement de la A40 a nécessité la réalisation de glissières en béton armé (GBA) et de caniveaux en béton extrudé. En respectant parfaitement les délais.

En juin 1998, l'autoroute A 40 qui permet de rallier la Suisse depuis la A6 à Mâcon, par le tunnel du Mont Blanc, est raccordée à l'autoroute A 39 à Viriat, près de Bourg-en-Bresse. Pour faire face à l'augmentation prévisible du trafic entre cet échangeur et celui de Pont d'Ain, qui dessert l'A42, la SAPRR décide de porter la chaussée de deux fois deux voies, à deux fois trois voies. Une mise à niveau qualifiée de "nécessaire pour des infrastructures datant de plus de 15 ans". "Nous avons scindé les travaux en deux phases, explique Loïc Perdriel, directeur de projet à Scetauroute, maître d'œuvre. En 2001, nous avons élargi la chaussée dans le sens Genève-Mâcon. En 2002, nous avons traité l'autre sens". Si la première phase se limitait à la réalisation d'une voie supplémentaire et des ouvrages attenants, la deuxième phase, menée entre mars et décembre 2002, a été

plus importante, du fait de la mise en conformité du terre-plein central.

### ■ Conformité à la loi sur l'eau

La modification des rejets d'eaux pluviales de la chaussée autoroutière, engendrée par l'augmentation de la surface revêtue, a nécessité de redimensionner les dispositifs d'assainissement et d'adjoindre des équipements de rétention (bassins et fossés) ainsi que de traitement des eaux de ruissellement (écrêteurs, décanteurs, déshuileurs...). Objectif : protéger les nappes phréatiques sous-jacentes et rejeter, dans le milieu naturel, une eau exempte d'huiles, de métaux lourds et autres polluants. Conséquences : les caniveaux situés sur le terre-plein central et en bordure des bandes d'arrêt d'urgence ont bénéficié des technologies les plus performantes. Ainsi, le terre-

plein central accueille un caniveau à fente en béton extrudé de grand diamètre (40 et 60 cm). "Ce dispositif s'entretient plus facilement que les caniveaux à grille et présente l'avantage de pouvoir être intégré à la bande d'arrêt d'urgence" souligne Loïc

### ■ LE CHANTIER EN BREF

- **Lieu** : A 40, entre Viriat et Pont d'Ain (Ain)
- **Solution** : glissières en béton armé et caniveaux en béton extrudé
- **Longueur traitée** : 17 km (un sens de circulation plus le terre plein central)
- **Durée des travaux** : 10 mois
- **Coût des travaux** : 13 millions d'euros HT, dont 3 pour les ouvrages en béton extrudé



Les caniveaux à fente sont coulés dans une tranchée grâce à un moule spécifique.

Perdriel, évoquant la présence de caniveaux à fente sur les bas-côtés pour limiter les emprises autoroutières. En dehors de ces zones, les eaux de ruissellement sont reprises par des cunettes en béton extrudé.

## ■ Le béton : pour une sécurité accrue

Le choix du béton répond aussi à des contraintes de sécurité des usagers. *“La décision d’équiper le terre-plein central d’une double glissière en béton armé, à la place des glissières métalliques, répond au besoin accru de sécurité, notamment face au risque de franchissement de poids lourds”* indique Loïc Perdriel. Sécurité aussi pour le personnel de la Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône : le trafic ne pouvant pas être interrompu, moins d’entretien entraîne moins d’interventions sous circulation des équipes d’exploitation. Sans compter des délais très serrés (10 mois de travaux) qui ont amené la direction de la construction de la SAPRR et Scetauroute à choisir l’option du béton coulé in situ. Solution qu’Arbex, leader français du béton extrudé, membre du Groupement d’entreprises retenu lors de l’appel d’offre, a mis en œuvre.

## ■ Extrusion sous haute protection

*“Pour respecter la date butoir du 19 décembre 2002, et éviter d’effectuer la couche de roulement en béton bitumineux très mince à cette période, les bétons ont été réalisés après l’application du tapis d’enrobés”,* souligne Samir Saada,



La machine à coffrage glissant permet, grâce à un moule déporté, de réaliser les GBA.



Les cunettes ont été extrudées avant la réalisation du terre-plein central.

conducteur de travaux chez Arbex. Conséquence : l’entreprise a dû protéger le fragile revêtement en équipant de patins en caoutchouc les chenilles de la machine à coffrage glissant et, pendant les fortes chaleurs de l’été, à mettre des bandes de tapis transporteur sous les chenilles !

Guidées par un fil de référence en planimétrie et en altimétrie, les deux machines à coffrage glissant, mobilisées sur le chantier, ont permis d’atteindre des rendements de 400 m<sup>3</sup> de béton par jour, correspondant à la capacité cumulée des deux centrales à béton dédiées à l’opération, implantées à Bourg-en-Bresse (Béton Rhône-Alpes) et à Péronnas (Béton de France). Si la mise en œuvre des GBA a été menée sans difficulté majeure, la réalisation des caniveaux à fente selon la technique du moule ouvert, avec un boudin gonflable comme élément coffrant intérieur, a été plus délicate, en raison de la différence de niveau de part et d’autre de l’ouvrage, pouvant aller jusqu’à 25 cm. *“Réaliser ce type d’ouvrage en chaussée décalée est une première, assure Samir Saada. De plus, nous avons dû lester la machine pour que, sous l’effet de la vibration du béton, le moule ne se soulève pas”*. L’enjeu : garantir le respect des tolérances de planimétrie à plus ou moins 1 cm.

## ■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d’ouvrage** : Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône, Direction de la Construction
- **Maître d’œuvre** : Scetauroute, Direction Opérationnelle de Lyon
- **Entreprise** : Groupement Guintoli (mandataire), EHTP, Routière Morin, Arbex
- **Fournisseur BPE** : Béton Rhône-Alpes et Béton de France

## ■ Un béton résistant au gel et aux sels

La réalisation d’ouvrages extrudés, et en particulier les GBA, exige un béton très ferme, afin d’assurer la stabilité en sortie de moule, qui est mis en œuvre par vibration extrême. *“L’affaissement au cône était compris entre 1 et 3 cm, explique Eric Guillot directeur de région pour l’Ain de Béton Rhône-Alpes. Ce béton doit également présenter une bonne résistance au gel et aux sels de déverglaçage”*. Formulé à base d’un ciment CEM I 52,5 PM de Montalieu Vicat, à base de clinker pur, sans ajout, le béton de type B30 a subi des tests d’écailage pour valider sa résistance au gel et aux sels. *“Cet essai consiste à alterner 56 cycles de gel et de dégel dans une étuve”* précise Eric Guillot. S’y ajoutent les nombreux essais menés en cours de chantier, dans le cadre du contrôle continu, et du plan d’assurance-qualité mis en place par l’entreprise (Système qualité de type 3).

Bilan : le planning des travaux a été respecté *“au jour près, malgré les aléas généralement constatés sur les chantiers d’élargissement, et avec une bonne qualité de réalisation”,* selon les termes de Loïc Perdriel. Un résultat que Samir Saada impute à l’exceptionnelle cohésion entre les intervenants du groupement : *“Tout en respectant leurs intérêts propres, les entreprises se sont mises en priorité au service du chantier”*. ●



La centrale de Béton Prêt à l’Emploi a livré entre 16 et 36 m<sup>3</sup> de béton par heure.



Gron : le premier giratoire en béton réalisé dans l'Yonne.

# Gron (Yonne) : un giratoire à toute épreuve

Entre campagnes régulières d'entretien et structure pérenne, la DDE de l'Yonne n'a pas hésité longtemps en optant pour la solution béton. Une double structure similaire à une chaussée aéroportuaire.

La première phase de la déviation Sud de Sens, en plus de désengorger le centre-ville, va surtout faciliter le trafic en direction de l'A5 vers l'Est et de l'A6 vers le Sud. Amorcé à l'automne 1999, cet itinéraire, qui emprunte le nouveau tracé de la RN 1060, totalisera près de 9 km. Il nécessite la modification ou la création de plusieurs carrefours. Après la réalisation du giratoire de Maillot puis

celui de Paron, l'événement a été constitué par la livraison, le 12 juillet 2002, du giratoire de Gron, six mois seulement après le début des travaux : un nœud de circulation entre la RN 60 et son nouveau franchissement de la ligne SNCF Paris-Lyon-Marseille (PLM), la RN6 et la RD 72. Le trafic poids lourds y est particulièrement dense, du fait de la présence de l'usine de câbles électriques Pirelli, dont l'activité engendre de fréquentes rotations.

ciens au service des routes de la DDE de l'Yonne, maître d'œuvre. Cette classe correspond à un trafic cumulé de 3,2 à 8,6 millions de poids lourds, un calcul qui tient compte d'une progression annuelle linéaire de 2,5 % du trafic sur 20 ans". Pour Guy Cassan, chargé de travaux à la DDE : "L'intensification du trafic poids lourds accentue les désordres sur les giratoires : nids de

### LE CHANTIER EN BREF

- **Lieu** : déviation sud de Sens à Gron (Yonne)
- **Solution** : une double structure béton de 38 cm d'épaisseur
- **Surface de voirie traitée** : 1 900 m<sup>2</sup>
- **Coût des travaux** : 1,7 millions € HT (dont 600 000 pour la chaussée béton)

### 15 à 20 millions de poids lourds sur 20 ans

La conception du nouveau carrefour giratoire se devait d'être à la hauteur des sollicitations : "Nous avons opté pour un ouvrage répondant à la classe de trafic TC6, la plus élevée, et à une durée de vie de 20 ans, explique Laurent Espinasse, techni-



Les deux couches de béton sont réalisées avec une machine à coffrage glissant.



Les joints de retrait sont matérialisés par un marquage à l'aide d'un fer.

*poule, fluage, orniéragé et autres déformations. Ces ouvrages sont soumis à des efforts de freinage et de redémarrage, aggravés par la force centrifuge”.*

Conséquence : la DDE a été sensible à la variante béton, proposée par l'entreprise Routes et Chantiers Modernes (RCM). “*Nous n'avons pas de position dogmatique en faveur d'une solution technique, explique le directeur de travaux Gérard Prélat. Nous remettons au maître d'ouvrage une réalisation satisfaisante dans la durée. Compte tenu des problèmes rencontrés sur la majorité des giratoires en enrobés, très sollicités, nous avons proposé le béton*”. Autre avantage par rapport à une grave bitume : offrir une structure hors-gel, dispensant de la pose de barrières de dégel. Ce choix a été conforté par l'excellent comportement de la section de la RN6 entre Auxerre et Cravant : 15 km de chaussée béton qui, depuis 18 ans, n'ont demandé aucun entretien. “*Même les joints, étanchés avec un élastomère, sont dans leur état d'origine souligne Guy Cassan. On s'oriente donc vers une durée de vie minimale d'une vingtaine d'années*”.

## ■ Double structure béton

L'entreprise RCM et son sous-traitant SABA, en concertation avec la DDE, ont donc opté pour une configuration analogue : une couche supérieure de 23 cm en béton (BC5) reposant sur une assise de moindre épaisseur (BC3 de 15 cm) et plus faiblement dosée (300 kg de ciment par m<sup>3</sup> contre 350 kg pour le BC5). “*Nous aurions sans doute pu abaisser le dosage du BC3 à 250 kg, mais il aurait fallu refaire les essais de convenance*” précise Guy Cassan. Des bétons non armés, compte tenu de la qualité de la plateforme (limons traités à la chaux), mais goujonnés. Cette précaution a été demandée par la DDE pour une répartition optimale des efforts, l'absence



La mesure de température du béton permet de contrôler la montée en résistance.

de désaffleurs étant garantie par la présence de la dalle inférieure, allié à une non-coïncidence des joints de retrait.

Les deux voies du giratoire, totalisant une largeur de 9 m, ont été réalisées en deux bandes de 4,50 m avec une machine à coffrage glissant Miller 8100, guidée en altimétrie et en direction par fil. Hormis les caniveaux et les bordures, en béton extrudé, la mise en œuvre du béton a demandé 4 jours : 2 jours pour le BC3, 2 jours pour le BC5, avec, entre les deux, une pause de 6 jours.

## ■ Conception et exécution soignées

“*Pour garantir l'absence de remontées de fissures, les deux couches sont désolidarisées par une fine couche de bitume, et par une application de sable*” explique Jean-Marie Milandre, chef de secteur chez SABA. Autre précaution : “*L'utilisation d'un ciment de type CEM II, moins nerveux qu'un CEM I, qui limite la fissuration due au retrait*” selon les propres termes de Francis Petit, responsable qualité du laboratoire du Groupe Masoni, auquel appartient Béton 89, fournisseur du BPE, qui a livré un total de 850 m<sup>3</sup> de béton. Si les joints de retrait du BC3 sont faits par simple enfoncement d'un fer à joint à la surface du béton frais, les joints supérieurs sont sciés, élargis et comblés avec un élastomère à chaud. L'ouvrage, de 60 m de diamètre, comprend quatre raccordements aux voies d'accès,



La finition balayée du béton est destinée à augmenter l'adhérence des pneumatiques.

## ■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d'ouvrage** : Etat - Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer
- **Maître d'œuvre** : Direction Départementale de l'Équipement de l'Yonne
- **Entreprise** : RCM (titulaire), SABA (sous-traitant)
- **Fournisseur BPE** : Béton 89
- **Financement** : Etat 27,5 %, Région 25 %, Département 25 %, District de l'agglomération sénonaise 22,5 %

un trottoir central en béton désactivé, d'une largeur de 2,50 m et de 20 cm d'épaisseur, ainsi qu'une bordure extérieure. “*Ces ouvrages sont franchissables par les convois exceptionnels, reprend Laurent Espinasse, évoquant l'avantage d'une homogénéité de matériaux, tous les ouvrages étant solidaires. Et les bordures ne risquent pas de s'arracher*”.

## ■ Une solution vite rentabilisée

Le technicien de la DDE révèle un atout supplémentaire : “*Si nous avons réalisé le giratoire en grave-bitume, nous aurions dû mobiliser une épaisseur de matériaux de 50 cm, soit 12 cm de plus que le béton*”. Un argument à décliner également sur le plan économique. “*Le surcoût de la solution béton correspond au coût de réfection d'une couche de roulement, ajoute Guy Cassan. Il sera donc amorti en 4 ou 5 ans, date à laquelle nous aurions dû refaire l'enrobé*”. Pour la DDE, qui signe son premier giratoire en béton, cet exemple montre que le matériau béton aura de plus en plus sa place dans le cadre de travaux neufs. Mais aussi de travaux d'entretien, avec la montée en puissance du BCMC, solution considérée comme séduisante par la DDE. ●



Le béton est protégé pendant sa prise par l'application d'un produit de cure.

# LE SAVIEZ-VOUS ?

## Remue-méninges

Voici, pour vous détendre... ou pour vous irriter, une énigme à résoudre. Réponse dans le prochain numéro de *Routes*.

### ■ L'art de tracer la bonne route

Il s'agit d'expédier des marchandises de la ville A, située sur la rive d'un fleuve, vers la ville B, distante de "a" km en aval, mais éloignée de la rive de "d" km.

**Question :** À quel endroit de la côte faut-il construire la route qui mènera vers B pour que le coût du transport de A vers B soit minimum, sachant que le coût de la tonne kilométrique transportée par le fleuve est deux fois moins élevé que par la route ?

### Réponse du Remue-méninges de *Routes* n°81 : La clôture infernale

Soit x la longueur du terrain (côté parallèle à la palissade) et y sa largeur. On aura donc besoin de (x + 2 y) mètres de clôture de sorte que : x + 2 y = M.

La surface du terrain est dans ce cas :

$$S = xy = y(M - 2y) \text{ ou encore}$$

$$2S = 2xy = 2y(M - 2y).$$

S est maximal si 2S est maximal. Or, 2S est le produit de 2 facteurs (2y) et (M - 2y) dont la somme est égale à M = constante. Donc 2S est maximal lorsque : 2y = M - 2y.

$$\text{Ce qui donne } y = M/4$$

$$\text{et } x = M - 2y = M - M/2 = M/2$$

**Le terrain est donc rectangulaire et sa longueur "x" doit être égale à 2 fois sa largeur "y".**

## GROS PLAN

### ● Prix de l'Innovation 2003 pour les chercheurs

Ce concours, créé par la Fédération Nationale des Travaux Publics, s'adresse aux chercheurs confirmés et vise à contribuer au rapprochement de la communauté scientifique et du monde des Travaux Publics. Les travaux de recherche doivent concerner les procédés de construction ainsi que les matériaux et matériels. Ils doivent présenter un caractère innovant directement applicable et de nature à augmenter, à terme, l'efficacité des entreprises. Trois Prix seront décernés :  
Premier Prix : 7 500 €  
Deuxième Prix : 5 000 €  
Troisième Prix : 2 500 €  
Clôture des inscriptions : 10 janvier 2003  
Remise des Prix : 11 - 12 - 13 mars 2003 au Salon TP TECH (Paris)

#### Renseignements et inscriptions :

Henri Thonier, Directeur Scientifique à la F.N.T.P., 3 rue de Berri, 75008 Paris. Tél. : 01 44 13 31 80  
Email : thonierh@fntp.fr

## VIENT DE PARAÎTRE



### Toupie, édition spéciale Environnement

Le Béton Prêt à l'Emploi est le matériau idéal de décoration et d'embellissement pour les aménagements extérieurs de toute habitation (gîtes ruraux, maisons individuelles...) : entrées, allées, escaliers, descentes de garages, terrasses, abords de piscine...

Cette brochure illustre, à l'aide de nombreuses références, tous les traitements de surface proposés par le béton coulé en place : bétons désactivés, imprimés, bouchardés, grenailés, colorés, balayés...

Édition 2002. Référence : A21



### Les carrefours giratoires en béton

#### Tome 2 - CCTP type - BPU - DE

Ce document constitue un cadre pour la rédaction des consultations et des marchés relatifs à la construction des carrefours giratoires en béton.

Édition 2002. Référence : T64

Ces deux documents sont disponibles gratuitement auprès de Cimbéton, soit par fax au 01 55 23 01 10, soit par Email : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)

## AGENDA

27-30 avril 2003

### 9<sup>e</sup> Symposium international de la route en béton (Istanbul)

Ce Symposium, organisé par Cembureau, l'AIPCR et la Turkish Cement Manufacturers' Association, comportera quatre thèmes principaux :

- Projets et spécifications.
- Matériaux pour revêtements en béton.
- Techniques de construction, entretien.
- Sécurité. Protection de l'environnement. Revêtement en béton peu bruyant.

Plus deux ateliers :

- Le premier chantier en béton.
- Le retraitement des chaussées souples à froid au ciment.

#### Renseignements et inscriptions :

CEMBUREAU, rue d'Arlon, 55 - B-1040 Bruxelles (Belgique)  
Tél. : +32 2 234 10 11  
Fax : +32 2 230 47 20  
Email : [secretariat@cembureau.be](mailto:secretariat@cembureau.be)