

# Routes

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



## DOCUMENTATION TECHNIQUE

Réalisation des voiries  
agricoles : l'essor des  
structures en béton

## CHANTIER

Autoroute A28 : née sous  
le signe du développement  
durable

## LE POINT SUR

Le retour du Tramway  
à Paris

### 2 EDITORIAL

### 3-9 LE POINT SUR



**Tramway Paris**  
Le retour du Tramway à Paris

### 10-17 DOCUMENTATION TECHNIQUE



**Réalisation des voiries  
agricoles : l'essor des  
structures en béton**

### 18-19 CHANTIER



**Sarthe**  
Autoroute A28 : née sous  
le signe du développement  
durable

### 20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : sur le chantier du tramway des boulevards des Maréchaux à Paris, le revêtement des dalles porteuses est fait en béton désactivé comportant des granulats de basalte noir, roche choisie pour sa teinte et sa très grande résistance.

# 10<sup>e</sup> Symposium International des routes en béton (Bruxelles) : une grande réussite !

**L**e 10<sup>e</sup> Symposium international des routes en béton, organisé par FEBELCEM et CEMBUREAU (Association Européenne du Ciment), sous le parrainage de l'Association Mondiale de la Route (AIPCR), s'est tenu du 18 au 22 septembre 2006 à Bruxelles.

Ce Symposium avait pour objectif de promouvoir les techniques des revêtements en béton. En effet, l'utilisation de ce matériau s'est nettement développée dans plusieurs pays européens, notamment pour les voiries communales, départementales et rurales, les pistes d'aéroport, les plateformes industrielles et, ces dernières années, également dans les zones urbaines pour l'aménagement d'espaces publics et d'infrastructures de transport public.

Le programme du Symposium s'est articulé autour de trois grands thèmes :

- Routes en béton et Développement durable
- Revêtements urbains et routes rurales
- Thèmes spéciaux

En outre, les participants ont pu assister à deux conférences spécifiques donnant les conclusions de deux symposiums récents : TREMTI 2005, Symposium International sur le « Traitement et le Retraitement des Matériaux pour Travaux d'Infrastructures » qui s'est tenu à Paris du 24 au 26 octobre 2005 et le « 6<sup>e</sup> International Workshop on Fundamental Modelling of Design Road and Performance of Concrete Pavements » qui a eu lieu quelques jours seulement avant l'ouverture du 10<sup>e</sup> Symposium international des routes en béton.

Ce Symposium a été un succès comme on peut en juger par :

- la participation d'environ 600 congressistes, en provenance de 45 pays différents, dont une forte délégation française (72 participants). Tous les acteurs des routes en béton ont été représentés : maîtres d'ouvrage, maîtres d'oeuvre, producteurs de ciment, entrepreneurs de terrassements et de chaussées, fabricants de matériels et de produits pour béton, administrations en charge des routes, centres de recherche, bureaux d'ingénierie, universitaires,...

- l'appui d'une trentaine de partenaires : associations et syndicats professionnels, fabricants de matériels, entreprises de chaussées béton..., présents sur l'exposition qui s'est tenue parallèlement au Symposium.

- et enfin au remarquable contenu des communications présentées, dont l'objectif a été de mettre en évidence les progrès scientifiques, techniques et technologiques accomplis depuis la 9<sup>e</sup> édition de 2003 à Istanbul.

Je vous donne donc rendez-vous en 2010 pour assister au 11<sup>e</sup> Symposium international des routes en béton.

**Joseph ABDO**  
Cimbéton

# CIMbéton

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 de la rubrique *Remue-méninges* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Jacques Mandorla - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : [mandorla@club-internet.fr](mailto:mandorla@club-internet.fr) - Conception maquette : Dorothee Picard - Dépôt légal : 3<sup>e</sup> trimestre 2006 - ISSN 1161 - 2053 1994



Boulevard des Maréchaux Sud : le design des stations, conçu par l'architecte Jean-Michel Wilmotte, s'articule autour de trois lignes directrices : l'alternance courbe / contre-courbe, le choix de deux couleurs pour les matériaux et la mise en scène lumineuse.

## Le retour du Tramway à Paris

Après soixante ans d'absence, le tramway réapparaît à Paris sur les boulevards des Maréchaux pour améliorer leur desserte par les transports en commun (100 000 voyageurs / jour prévus) et réduire la place de l'automobile. Conçue et réalisée sous le signe du développement durable, cette opération offre également aux piétons et aux cyclistes un "boulevard jardiné" planté d'un millier d'arbres.

Le béton y est à l'honneur sous toutes ses formes : environ 100 000 m<sup>3</sup> réalisés en structure (traverses des rails, plate-forme tramway, en dalles préfabriquées pour les carrefours, support de trottoirs et de chaussées, massifs porte-LAC...), en équipements techniques (chambres de tirage...) et en revêtements (béton désactivé beige clair ou noir...).

**E**n Ile-de-France, le tramway a fait sa réapparition dès 1992 avec la ligne T1 (Saint-Denis – Bobigny) puis jusqu'à Noisy-le-Sec en 2003. La ligne T2 (La Défense - Issy - Val-de-Seine) l'a suivie en 1997. Troisième volet du retour du tramway : Paris avec la ligne T3 qui relie le pont de Garigliano à la Porte d'Ivry en traversant trois arrondissements.

Depuis la construction du périphérique au début des années 1970, c'est la première réalisation d'une aussi grande envergure pour la capitale.

Né dans le cadre d'un contrat de plan Etat/Région, ce projet associe l'Etat, la région Ile-de-France, le STIF (Syndicat des Transports d'Ile-de-France), la Ville de Paris et la RATP.

L'opération est conduite en co-maîtrise d'ouvrage entre la RATP et la Mairie de Paris : la RATP assure la maîtrise d'ouvrage du système de transport et la Mairie de Paris celle de l'aménagement urbain.

### ■ Un trafic prévu de 100 000 voyageurs par jour

Le tramway des Maréchaux permettra aux voyageurs de bénéficier à Paris d'un transport de surface moderne, rapide et confortable, alliant les qualités d'efficacité du métro et de proximité du bus. Il apporte également une réponse adaptée à l'augmentation croissante de la fréquentation des transports en commun, notamment sur les boulevards des Maréchaux.

*"Pour améliorer son trafic, l'ancienne ligne d'autobus de petite ceinture (PC) qui faisait tout le tour de Paris avait déjà été découpée en trois tronçons (PC1, PC2 et PC3) en 1998-1999. Avec la création de voies bus sur une partie du parcours, le recours à des bus articulés et la mise en place du système d'information en temps réel SIEL, une hausse de fré-*



L'approvisionnement en béton s'effectue surtout par camion-toupie.

## ■ UN TRAMWAY DE TRÈS GRANDE CAPACITÉ



Le T3 parisien est issu de la gamme Citadis d'Alstom qui équipe déjà la ligne T2 et plusieurs villes en France et à l'étranger. C'est l'un des plus longs et des plus larges de cette gamme : les rames font 43 m de long et 2,65 m de large.

Elles se composent de sept modules munis de larges baies vitrées. Elles offrent 304 places (dont 78 assises), contre 100 places (dont 41 assises) pour le bus articulé PC1.

Le T3 bénéficie de larges portes et d'un plancher bas intégral destiné à faciliter la montée et la descente des personnes en fauteuil roulant, accompagnées de poussettes ou de bagages... Les couloirs à l'intérieur des rames sont également élargis pour faciliter les déplacements des voyageurs. Les teintes des éléments de maintien (poignées et barres) ont été choisies pour être facilement repérables par les malvoyants.

Les stations desservies sont annoncées dans les rames par des annonces sonores et visuelles. Le temps de parcours jusqu'au terminus est également annoncé.

Comme les autres véhicules du réseau de surface, le T3 est aux couleurs de la RATP : blanc avec une "écharpe" vert jade entourant les surfaces vitrées.

La partie inférieure de la bande verte reprend, de manière aléatoire, les différentes couleurs de l'intérieur des rames, avec incrustation de photos symboliques de la vie urbaine.



Simple et efficace, le déversement du béton à la goulotte.

*quentation de 18 % avait été observée. Seul problème : la saturation fréquente du tronçon Sud et notamment du secteur Porte de Vanves/Porte d'Orléans. Des tests, réalisés en faisant partir un bus toutes les deux minutes de la Porte d'Ivry, ont montré que cela ne réglait pas le problème. La mise en place d'un trolleybus n'y aurait rien changé car sa capacité ne dépasse pas celle d'un bus. En revanche, un tramway de grand gabarit règle le problème en assurant le transport de 100 000 voyageurs par jour, soit le double de la capacité du bus PC1*" explique Frédéric Dupouy, chef du projet T3 à la RATP.

## ■ Une interconnexion très bien pensée

Accessible à tous, le tramway des Maréchaux est en interconnexion avec les lignes



Déversement du béton à la pompe pour les massifs porte-LAC.

B et C du RER, cinq lignes de métro, 18 lignes de bus parisiennes et 19 lignes de bus de banlieue. À cela s'ajoute la récente mise en place d'une nouvelle ligne de bus, la Traverse Bièvre - Montsouris.

À la Porte de Versailles, une correspondance avec la ligne T2, ce qui facilitera les déplacements jusqu'au quartier d'affaires de la Défense, est prévue pour 2009, année où la ligne 4 du métro, en correspondance avec le tramway à la Porte d'Orléans, sera prolongée jusqu'à Montrouge.

Une ligne de tramway Châtillon - Viroflay assurant des correspondances avec la ligne 13 du métro, les lignes SNCF de Montparnasse et Saint-Lazare, les réseaux de bus Opile et RATP-Lazare, les réseaux de bus

Opile et RATP, devrait aussi être mise en service en 2011, les travaux débutant fin 2006. "La ligne T3 sera elle-même prolongée vers l'Est, passant par la Porte de Charenton, la



La pompe a servi à alimenter en béton les zones d'accès difficile.



Blocage des traverses en béton par coulage.

Porte de Vincennes, la Porte de Pantin jusqu'à la Porte de la Chapelle. L'extension de la ligne T3 vers l'Ouest jusqu'à la Porte d'Auteuil, projetée initialement dans le cadre de la candidature de Paris aux Jeux Olympiques de 2012, est également en projet" précise Frédéric Dupouy.

## ■ Mieux répartir les espaces sur les Maréchaux

La création de cette ligne de tramway participe à la réduction de la place de la voiture en ville afin de diminuer la pollution et les nuisances sonores. C'est donc l'occasion de transformer le paysage urbain en redonnant de l'espace vital aux cyclistes et aux piétons, en redynamisant les quartiers et en offrant une meilleure qualité de vie à tous les habitants.

"Des projets de réaménagement des boulevards des Maréchaux existaient de longue date, mais le projet tramway a vraiment été un facteur déclenchant, une opportunité à saisir" commente Ghislaine Geffroy, chef de la mission tramway à la Mairie de Paris. La Ville de Paris a souhaité insérer le tramway sur ces boulevards, en menant une véritable opération de requalification urbaine des quartiers traversés. Les aménagements paysagers visent à les transformer en un lieu de vie favorable aux activités économiques, culturelles et sportives.

Mission confiée à l'équipe de maîtrise d'œuvre de requalification urbaine menée par Antoine Grumbach avec l'aide du paysagiste Michel Devigne et de l'éclairagiste Louis Clair. Sur le nouveau "boulevard jardiné", les différents modes de déplacement



Parallèlement à la plate-forme centrale a été installée une piste cyclable.

(à pied, en bicyclette, en transport public, en voiture) sont mieux pris en compte pour faciliter le quotidien de tous.

Elargis, plantés d'arbres et allégés du mobilier urbain superflu, les trottoirs deviennent de vrais espaces de promenade, émaillés de bancs à proximité de certaines stations. Le tramway circule sur un espace qui lui est réservé : en position centrale dans les 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> arrondissements et en position latérale sur une partie du 13<sup>e</sup> arrondissement. Lorsque la plate-forme est centrale, de part et d'autre se trouvent successivement une chaussée de 5,60 m de large, une bande de service (stationnement, livraisons...), une piste cyclable et un large trottoir planté pour les piétons.

## ■ PRÈS DE 38 000 M<sup>2</sup> DE PAVÉS RECYCLÉS

Les pavés, trouvés lors des travaux de déviation de réseaux, de construction de la plate-forme, et de réaménagement de la chaussée et des trottoirs, ont été conservés. Dans l'unité de recyclage de la Mairie de Paris située à Bonneuil-sur-Marne, ils sont nettoyés dans un engin équipé d'un tambour rotatif qui permet d'extraire le sable et de décoller les restes d'émulsion.



Après un tri par taille et par teinte, les pavés "échantillons" (14 x 20 x 14 cm) sont ensuite sciés en deux dans le sens de l'épaisseur à l'aide d'une machine automatisée à disque diamanté. Les pavés ainsi dédoublés sont posés sur une assise en béton, face sciée apparente sur les bandes de service, situées entre la chaussée et le trottoir, soit une surface totale de 28 300 m<sup>2</sup>. Et près de 9 400 m<sup>2</sup> de pavés "mosaïque" (8 à 10 cm de coté) servent également en revêtement de chaussée.

"L'objectif de ce projet était aussi de retisser des liens entre Paris et ses communes limitrophes. Les sept communes directement concernées – Ivry-sur-Seine, Le Kremlin-Bicêtre, Gentilly, Montrouge, Malakoff, Vanves et Issy-les-Moulineaux –, bien que de bords politiques différents, ont toutes participé aux réunions de concertation régulièrement organisées. Nous leur donnions également, le plus en amont possible, les informations sur les emprises de chantier, par exemple. De plus, une réunion mensuelle avec tous les partenaires extérieurs permettait de faire le point sur le mois écoulé et le mois à venir" ajoute encore Ghislaine Geffroy.



Des traverses préfabriquées en béton supportent les rails.

## ■ PLACÉ SOUS LE SIGNE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

L'ensemble du projet tramway a été conçu et réalisé sous le signe du développement durable. C'est un mode de transport performant, non polluant (alimentation électrique) et peu bruyant : les rails et les roues sont conçus pour ne pas crisser dans les courbes. Sa position centrale sur la chaussée évite toute propagation de vibrations jusqu'aux immeubles avoisinants.

Des dispositifs anti-vibratiles sont disposés sous les rails quand la plate-forme se trouve en position latérale. Et, de plus, les chambres d'éclissage (éléments servant à amortir les vibrations du rail) sont constituées à partir de pneumatiques recyclés.

À cela s'ajoutent la rénovation de l'ensemble de l'éclairage public et le choix de matériels qui engendrent d'importantes économies d'énergie.

Enfin, le système d'arrosage automatique du gazon de la plate-forme fonctionne à l'aide de capteurs électroniques reliés à une station météorologique, qui détermine la quantité précise d'eau nécessaire pour éviter tout gaspillage.

## ■ Première priorité : dévier tous les réseaux

*“De longue date, les boulevards des Maréchaux sont un axe de transit majeur pour tous les réseaux : Eau de Paris, GDF, EDF, PCPU, France Telecom, RATP réseaux... Une réflexion a été menée dès 2001 avec les différents concessionnaires pour que la déviation de leurs réseaux se passe dans les meilleures conditions. D'où l'établissement d'un schéma directeur des déviations détaillant tous les principes, définissant des zones pour chacun d'entre eux, précisant où et quand chacun doit passer. Force est de reconnaître que tous les concessionnaires ont bien joué le jeu. C'était aussi une occasion unique, pour certains d'entre eux, de rénover tout ou partie de leur réseau, qui est à certains endroits presque centenaire”* précise Ghislaine Geffroy.

Deux maîtres d'ouvrage principaux, plusieurs concessionnaires – chacun maître d'ouvrage et maître d'œuvre sur son réseau –, plusieurs entreprises présentes sur le terrain : il est évident qu'une des difficultés de cette opération était la synthèse et la coordination spatio-temporelle de l'ensemble des tâches. *“C'est la raison pour laquelle toute l'organisation est centralisée avec un seul prestataire OPC (ordonnancement, pilotage et coordination) - Semaly - et un seul planning”* souligne Frédéric Dupouy.

## ■ Deux marchés de travaux par arrondissement

Pour les travaux d'infrastructure, l'opération a été divisée en six marchés : un marché “RATP” et un marché “Mairie de Paris”

pour chacun des trois arrondissements concernés : 13<sup>e</sup>, 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup>.

Pour limiter les nuisances, le chantier a ensuite été découpé en tronçons de 200 à 300 m de long, sur lesquels les travaux sont organisés en trois phases principales de réalisation : les trottoirs et la chaussée coté Nord, la plate-forme du tramway au centre, les trottoirs et la chaussée coté Sud. Les premiers travaux ont commencé en 2003 pour une mise en service fin 2006.

Le groupement piloté par l'entreprise Razel s'est chargé des travaux d'infrastructure de la partie “Ville de Paris” dans le 14<sup>e</sup> arrondissement. *“Nous avons réalisé l'ensemble des trottoirs - structure et revêtement - et des chaussées de chaque côté de la plate-forme ainsi que le génie civil des réseaux d'éclairage public et de la signalisation lumineuse tricolore, l'assainissement de surface et la signalisation définitive, verticale et horizontale”* précise Vincent Dupré, directeur de chantiers chez Razel.

Le groupement Screg Ile-de-France/Colas/Sacer est intervenu sur les deux parties du chantier du 13<sup>e</sup> arrondissement. *“Pour la partie RATP, nous y avons réalisé*



Le revêtement des dalles porteuses est fait en béton désactivé comportant des granulats en basalte noir, roche choisie pour sa teinte et sa très grande résistance.



Mise en place, sur un carrefour, d'une dalle préfabriquée en béton.

le décaissement de la zone à traiter, le passage des fourreaux, les fondations pour les poteaux porte-LAC (LAC : ligne aérienne d'alimentation en courant), le bétonnage de la plate-forme (30 cm d'épaisseur en moyenne de béton courant BC3 réglé à une cote - 40 cm), les revêtements de surface, la construction des stations" détaille Luc Gaillard, Chef de Centre Travaux et responsable de ce marché. Trottoirs et chaussées ont été réalisés par d'autres équipes du groupement, pilotées par Alexandre Laidet.

De son côté, Eiffage TP a mis en œuvre 17 000 m<sup>3</sup> de béton pour les secteurs "RATP" des 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> arrondissements et 15 000 m<sup>3</sup> pour le secteur "Ville de Paris" du 15<sup>e</sup> arrondissement. "Ce béton C25/30, fabriqué avec un ciment CEM II 32,5 R, provenait de différentes centrales de BPE, choisies selon leur proximité géographique. Le chantier était le plus souvent approvisionné par la goulotte des camions-toupies. En revanche, la réalisation des massifs porte-LAC a nécessité l'emploi de pompes à béton pour les travaux en profondeur et lorsque qu'il y avait des risques de ségrégation dus à la hauteur de chute du béton" signale Jean Bourzeix, directeur d'agence d'Eiffage TP.

L'implantation des fondations des 357 poteaux porte-LAC des 14<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> arrondissements sur les trottoirs existants (pieux, massifs tête de pieu, massifs poids en présence d'ouvrage souterrain) a nécessité pas moins de 80 notes de calcul pour s'adapter aux différents contextes.

Pour la création des chambres de tirage des réseaux d'éclairage public et de signalisation lumineuse tricolore, le projet d'employer des pièces préfabriquées a rapidement été abandonné en raison de l'encombrement du sous-sol et de la densité des réseaux existants. D'où la réalisation de

chambres maçonnées aux dimensions adaptées à chaque cas de figure.

Sur une structure généralement constituée d'une couche de béton, les revêtements de sol varient selon les zones : granit et asphalte pour les trottoirs, béton bitumineux pour les chaussées, asphalte gris clair pour les pistes cyclables, béton beige clair désactivé Porte de Sèvres (600 m<sup>2</sup>), béton désactivé noir...

### ■ Des dalles en béton préfabriqué pour les carrefours

Sur les 35 carrefours à traverser, 24 d'entre eux sont réalisés en éléments préfabriqués pour réduire les nuisances de mise en œuvre. Cela représente un total de plus de 1 000 m de voie en béton préfabriqué.

Les autres carrefours peuvent être fermés sans trop créer de désagréments ou ont des configurations trop particulières (raccordements, courbes serrées...) qui imposent une réalisation classique.

Un relevé détaillé de chaque carrefour sert à définir le nombre de dalles en béton préfabriqué nécessaires (de quatre à six) et leurs dimensions précises. Ensuite, dans l'usine de Préfaraïl (Belgique), des rails de 18 m de long sont placés sur la table de montage avec le ferrailage d'armature de la dalle avant le coulage du béton autoplaçant. Le pré-montage en usine de chaque carrefour en entier (de quatre à six dalles) permet de corriger en amont d'éventuelles erreurs ou imperfections. Généralement larges de 3 m, les dalles mesurent de 7 à 15 m de long pour un poids pouvant atteindre 30 tonnes.

Les quatre à six dalles du carrefour sont acheminées depuis la Belgique par convoi exceptionnel. Leur assemblage s'effectue à la grue en une journée, le support ayant été préparé en conséquence.

## ■ TOUT LE TRAMWAY EN CHIFFRES

- Un tracé de 7,9 km sur les Maréchaux
- Près de 40 km de rails
- Plus de 200 km de câbles
- Plus de 32 km de bordures de trottoirs posées
- 35 carrefours aménagés
- Près de 90 000 m<sup>2</sup> de chaussée refaite
- 28 300 m<sup>2</sup> de pavés sciés en granit
- 9 400 m<sup>2</sup> de pavés "mosaïque"
- 12 800 m<sup>2</sup> de dalles granit
- 100 000 tonnes de gravats
- 36 000 m<sup>2</sup> d'engazonnement sur la plate-forme du tramway
- 1 000 arbres plantés le long du parcours
- 460 mâts porte-LAC (ligne aérienne d'alimentation en courant) dont 80 % supportent l'éclairage public
- Près de 4 000 points lumineux
- 17 stations de tramway
- Près de 2 000 hommes et 300 entreprises mobilisés
- Circulation des rames : de 5h à 0h30
- Intervalle entre deux rames successives aux heures de pointe : 4 mn
- Temps nécessaire pour aller du Pont de Garigliano à la Porte d'Ivry : 24 mn
- Nombre de places assises par rame : 78
- Nombre total de places par rame : 304
- Capacité : 100 000 voyageurs transportés par jour
- Vitesse commerciale : 20 km/h
- Baisse attendue du trafic automobile : 25 %
- Béton utilisé : environ 100 000 m<sup>3</sup>





Immobilisation des éléments de carrefour par injection de béton liquide.

## ■ UN TRAMWAY TOUJOURS PRIORITAIRE AUX CARREFOURS

La signalisation lumineuse tricolore des différents carrefours des boulevards des Maréchaux a été adaptée pour que les feux passent automatiquement au vert à l'approche du tramway.



Des capteurs localisent le tramway à chaque point de son parcours, tandis qu'aux carrefours des contrôleurs de trafic règlent les feux en fonction de son passage.

Malgré la priorité accordée au tramway par le pilotage automatique des feux, les points délicats resteront évidemment la traversée de la Porte d'Orléans et de la Porte d'Italie, les deux points d'entrée les plus embouteillés du Sud parisien.

Pas moins de 90 machinistes sont spécifiquement formés au pilotage des tramways de la ligne T3.



Raccordement des rails et des multitubulaires en plate-forme.

*"L'injection d'un béton liquide sous ces dalles permet de les souder à leur support et comble les vides éventuels afin d'éviter tout phénomène ultérieur de battement"* précise Luc Gaillard. Le raccordement des rails est assuré par le Groupe Amec-Spie-Rail, titulaire de l'ensemble du marché "Voie ferrée".

La réalisation d'un carrefour complet prend ainsi de deux à trois semaines, au lieu de deux à trois mois avec une technique classique.

*"Couramment utilisée en Belgique et notamment à Bruxelles, cette technique avait déjà été employée avec succès en Ile-de-France pour le prolongement de la ligne T1 avec sept carrefours. L'expérience acquise sur le T1, qui a permis d'améliorer le procédé, nous a conduit à inscrire cette technique en solution de base dans le marché du T3"* explique Frédéric Dupouy.

Dans le cas présent, chaque dalle porteuse comporte les rails bloqués, les bordures granit posées et le béton désactivé à granulats basalte noir en revêtement. Ce granulats a été choisi à la fois pour sa teinte et sa très grande résistance. *"La désactivation a lieu en fond de moule. Une certaine rigueur est nécessaire pour obtenir une bonne régularité d'aspect d'une dalle à l'autre"* précise encore Frédéric Dupouy.



Des bandes podo-tactiles signalent le bord du quai aux malvoyants.

## ■ Des rampes d'accès avec pente maximale de 5 %

Le design des stations s'articule autour de trois principales lignes directrices : l'alternance courbe / contre-courbe, le choix de deux couleurs pour les matériaux et la mise en scène lumineuse.

Les stations sont équipées du mobilier conçu par l'architecte Jean-Michel Wilmotte, en harmonie avec le projet d'Antoine Grumbach, sur les thématiques de l'arbre, de la transparence du lieu et de la lumière.

Selon les aménagements urbains effectués autour des différentes stations, les quais ont été réalisés soit face-à-face sur le boulevard, soit décalés de part et d'autre d'un carrefour.

Les rampes d'accès aux stations adoptent une pente maximale de 5 %. Les revêtements de sol choisis permettent de repérer facilement les différents espaces de la station : bandes podo-tactiles en bordure de quai, teintes de granit différentes selon les zones...

## ■ La création d'un site de maintenance spécifique

Le tramway des Maréchaux bénéficie d'un tout nouveau site d'exploitation et de maintenance, implanté dans une rue fermée à la circulation, la rue du général Lucotte (15<sup>e</sup> arrondissement), qui relie l'avenue de la Porte de Sèvres à la rue Lucien Boussotrot.

Une centaine de pieux en béton ancrés de 10 à 15 m dans le sol supportent ce bâtiment et les mâts portant la ligne aérienne d'alimentation en courant (LAC) des rames du tramway. Une des voies est munie de vérins capables de soulever une rame de tramway (50 tonnes environ).

Ce site de 1,8 ha est relié à la ligne T3 proprement dite par une voie de raccordement empruntant l'avenue de la Porte de Sèvres. Il servira de lieu d'entretien, de maintenance et de remisage des 21 rames de tramway



Le nouvel atelier d'exploitation et de maintenance des tramways.





La plate-forme en béton de la voie qui mène à l'atelier de maintenance.

nécessaires à l'exploitation de la ligne T3. Il est dimensionné pour recevoir quatre rames supplémentaires en prévision de l'extension de la ligne à l'Est.

Le poste de commande permet de gérer et de contrôler la ligne et les stations, en temps réel, et d'avoir une vision d'ensemble des systèmes de vidéosurveillance du tramway et de priorité aux feux tricolores.

### ■ Optimisation conjointe de l'éclairage et de l'énergie

En matière d'éclairage, Antoine Grumbach, assisté du concepteur lumière Louis Clair, et les services de la Ville de Paris et de la RATP, se sont fixés deux objectifs majeurs : accroître la sécurité des riverains et des voyageurs et améliorer le cadre de vie grâce à un éclairage public approprié, redonnant aux couleurs leur éclat naturel. D'où le choix de lampes à iodeure métallique offrant une lumière blanche et un très bon rendu des couleurs.

Au niveau des stations, la voûte des abris voyageurs accueillera également un éclairage en lumière blanche. Des spots encastrés au pied des arbres compléteront le dispositif. Les auvents des abris voyageurs s'éclaireront de différentes couleurs en fonction du mouvement des tramways ou encore lors d'événements festifs.

Plus de 2 000 lampadaires éclairent les trottoirs et la voûte des arbres. Dans les deux tiers des cas, les mâts supportant la ligne aérienne d'alimentation, implantés dans l'alignement des arbres pour réduire les nuisances visuelles, accueillent également l'éclairage des voies piétonnes et de la circu-

lation automobile pour limiter le mobilier urbain. Au total, près de 4 000 points lumineux mettront en valeur les boulevards des Maréchaux la nuit.

Tout en apportant une lumière plus dense et de meilleure qualité, les équipements choisis permettent d'économiser près de 95 000 KWh par an, soit l'équivalent de l'éclairage annuel d'une ville d'environ 10 000 habitants !

Pour la partie "Transport", le courant alternatif de 20 000 volts fourni par EDF est transformé en courant continu 750 V, grâce à six postes de redressement répartis sur le parcours.

La gestion de l'énergie, entièrement automatisée, assure l'alimentation du courant de traction de manière fiable et sécurisée.

### ■ Arbres, gazon et diversité écologique

L'engazonnement de la plate-forme du tramway sur les deux tiers de son tracé, soit 36 000 m<sup>2</sup>, renforce la présence végétale sur les boulevards des maréchaux en y dessinant un ruban vert. La pelouse bordant les rails n'a pas qu'un rôle esthétique : elle sert aussi à empêcher les automobilistes d'y circuler...

Entre la Poterne des peupliers et la Porte de Choisy, la plantation d'une "prairie fleurie" accompagne ponctuellement le tracé du tramway et contribue à la diversité écologique des boulevards.

Gazon et prairies fleuries bénéficient d'un arrosage automatique piloté par une station météo, ce qui limite de manière importante la consommation d'eau.

Près de 600 arbres sont plantés sur les 7,9 km du tracé entre les deux terminus et



400 autres dans les rues adjacentes. Grâce à l'élargissement de leurs trottoirs, certains boulevards accueillent même deux rangées d'arbres de grande taille. Ceux-ci sont choisis pour résister aux contraintes climatiques et urbaines, en accord avec les jardins et parcs existant à proximité. Les arbres d'alignement ont une hauteur de 6 à 8 m dès leur plantation grâce à une mise en culture en pépinière et atteindront à l'âge adulte de 15 à 30 m.

Plus de 120 arbres à fleurs de 4 à 5 m de haut (le double à l'âge adulte) agrémentent la plupart des quais du tramway, ainsi que les places et carrefours proches. ●

### ■ UN PLANNING TRÈS RIGOUREUX



Fin 2001 : approbation du schéma de principe par le STIF ;

Mi - 2003 : début des déviations des réseaux souterrains ;

Début 2004 : démarrage des travaux de voirie et de construction du site de maintenance et de remisage des rames ;

Mi - 2004 : début des travaux de plate-forme : terrassement et mise en place de la structure béton pour supporter le tramway ;

Fin 2004 : pose des premiers rails et début de la pose des revêtements de la plate-forme ;

Début 2005 : premières plantations d'arbres ;

Mi - 2005 : livraison de la première rame de tramway ;

Fin 2005 : mise en place des équipements pour le fonctionnement du tramway ;

Début 2006 : site de maintenance et de remisage achevé ;

Fin 2006 : essais et mise en service de la ligne de tramway.

## Réalisation des voiries agricoles : l'essor des structures en béton

Au-delà du trafic automobile tel qu'on peut le concevoir dans les zones urbaines ou sur les grands axes, l'infrastructure routière concerne aussi l'agriculture de nos campagnes. Densité, facilité d'accès, solidité : le réseau des routes agricoles est un facteur déterminant de l'évolution de l'espace rural.



Vue générale : réseau de routes en béton réalisé dans le cadre d'un remembrement agricole.

La route agricole est destinée à permettre l'accès aux exploitations agricoles et aux différentes parcelles cultivables. Ces routes appartiennent soit au domaine privé des communes, soit à des groupements de particuliers (les associations foncières de remembrement, etc.).

La croissance continue de la dimension des exploitations agricoles a induit une évolution du trafic caractérisée par des charges de plus en plus élevées, concentrées dans l'arrière-saison, au moment même où les conditions climatiques sont les plus défavorables : sols gorgés d'eau, perte localisée de la portance du support, etc. Il en découle généralement une dégradation de ces chemins, dont la remise en état représente un effort financier considérable pour les collectivités locales. Autre spécificité des routes agricoles : elles ne sont pas destinées à l'usage public. Le croisement de plusieurs engins y est donc occasionnel. Leur largeur utile est faible, et limitée à 3 m. Mais l'emprise réelle est plus grande. En effet, des fossés

situés de part et d'autre de la voirie sont prévus qui assurent le ruissellement de l'eau. Ainsi les routes agricoles couvrent-elles une surface importante de terrain cultivable, ce qui peut constituer, dans certains cas, un réel handicap économique.

Il résulte de cette analyse que la conception d'une voirie agricole doit répondre en priorité à des impératifs d'ordre économique et d'ordre fonctionnel. En effet :

- le revêtement de la voirie doit être rigide, capable de répartir les charges uniformément sur le sol support quelle que soit la variation de sa portance ;
- le revêtement de la voirie doit être apte à prendre une forme ou un profil susceptible de canaliser les eaux de ruissellement. Les fossés deviennent alors inutiles, et avec eux les passages "busés" destinés à permettre l'accès aux parcelles. La limite des champs est ainsi ramenée au ras de la chaussée, augmentant d'une façon appréciable la surface cultivable.

Le béton de ciment est un matériau qui répond parfaitement à ces deux critères. L'objet de cette documentation technique est de présenter une synthèse des connaissances et des règles de l'art relatives à la technique des routes agricoles en béton.

## CONCEPTION

D'une manière générale, la réalisation d'une route doit s'effectuer dans les meilleures conditions, et son bon fonctionnement doit être assuré aussi longtemps que possible. Voilà qui nécessite de respecter, dans la conception de cette route, certaines règles fondamentales touchant à l'infrastructure et à l'assainissement de la chaussée, ainsi qu'aux matériaux qui la constituent.

Les caractéristiques mécaniques du béton (grande rigidité, forte résistance face aux 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, avec à la clé des économies notables sur l'investissement.

D'un autre côté, pour contrôler certains phénomènes inévitables et propres au matériau béton, tels que le retrait hydraulique ou le retrait thermique, il est nécessaire de prévoir des dispositions constructives spécifiques : les joints.

### ■ Infrastructure

La qualité principale d'une route en béton est sa grande rigidité, qui permet d'assurer une bonne répartition des charges sur le sol support. En effet, avec une chaussée rigide, la portance de celui-ci ne revêt plus qu'une importance secondaire. Néanmoins, des solutions d'amélioration (couche de forme ou traitement du sol en place) sont à prévoir chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est inférieure à  $P = P_2$  (ou  $6 < \text{CBR} < 10$ ).

Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau 1 : D'autre part, l'existence de points durs et de tassements

**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
$P = P_0^*$ $\text{CBR} < 3$	35 cm	50 cm	+ 2 classes
$P = P_1$ $3 < \text{CBR} < 6$	20 cm	30 cm	+ 1 classe

\* 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.

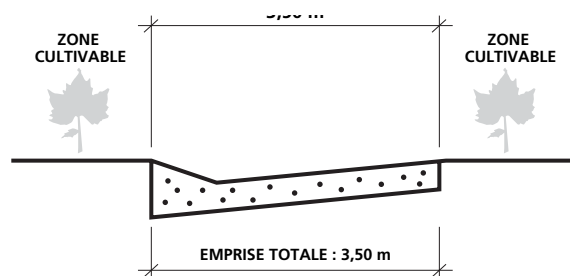
différentiels peut perturber la bonne répartition des charges. Dans ce cas, il est indispensable d'interposer une couche de réglage entre le sol support et la chaussée béton, constituée d'un tout-venant d'environ 15 cm d'épaisseur.

Les structures types sont les suivantes :

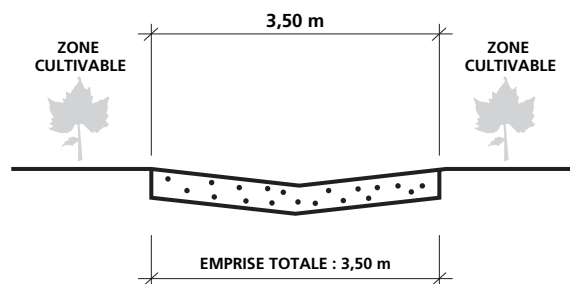
- **sur un sol homogène et de portance  $P \geq P_2$** , la chaussée béton est réalisée directement sur le sol convenablement préparé (nivelé et compacté) ; c'est le cas le plus fréquent ;
- **sur un sol hétérogène**, une couche de réglage doit être interposée entre la chaussée béton et le sol support ;
- **sur un sol de faible portance ( $P < P_2$ )**, une couche de forme ou un traitement du sol à la chaux et/ou au ciment est réalisé préalablement à la mise en œuvre de la chaussée.

### ■ Assainissement

La conception d'une route agricole doit viser à tirer parti de la spécificité du matériau béton. En effet, de par sa forte résistance aux diverses sollicitations extérieures, en particulier à l'érosion, le matériau béton permet une grande variété de profils (en travers et en long), car c'est la chaussée elle-même qui peut être utilisée pour assurer le ruissellement des eaux (profil à écoulement central ou latéral). L'eau sera ensuite évacuée de façon classique à travers des avaloirs judicieusement placés.



Chaussée en béton de ciment avec profil à écoulement latéral.



Chaussée en béton de ciment avec profil à écoulement central.

### ■ Joints

La fissuration du béton est un phénomène inévitable, du fait de sa nature même ainsi que des variations climatiques journalières et saisonnières. Les joints ont pour but de localiser cette fissuration de manière précise et déterminée à l'avance. La réalisation correcte des joints est une condition essentielle de la pérennité de la chaussée.

On distingue deux grandes familles de joints : les joints transversaux et les joints longitudinaux. Ces derniers ne sont nécessaires que si la largeur de la route est supérieure à 4,50 m. La largeur des routes agricoles ne dépassant pas cette valeur, seuls les joints transversaux seront étudiés ici.

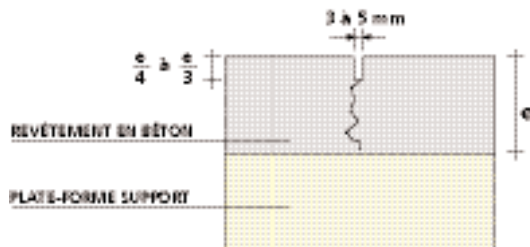
## ● Joints transversaux

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

Les joints de retrait/flexion 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, pour une largeur comprise entre 3 et 5 mm.



L'espacement des joints dépend des propriétés de retrait du béton, de l'épaisseur du revêtement et des caractéristiques de friction de l'infrastructure. 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 de l'épaisseur de la dalle.

**Tableau 2 : espacement des joints en fonction de l'épaisseur de la dalle**

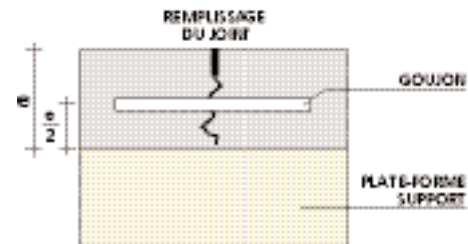
Épaisseur de la dalle	Espacement des joints
12 cm	3,00 m
13 cm	3,25 m
14 cm	3,50 m
15 cm	3,75 m
16 cm	4,00 m
17 cm	4,25 m
18 cm	4,50 m
19 cm	4,75 m
20 cm	5,00 m

### • 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

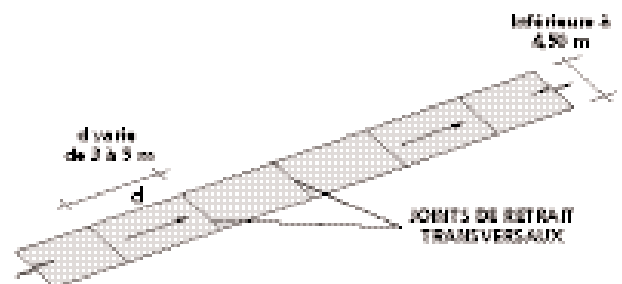
d'un diamètre de 30 mm placés à mi-hauteur dans le sens longitudinal et espacés de 0,75 m.



## ● Disposition des joints

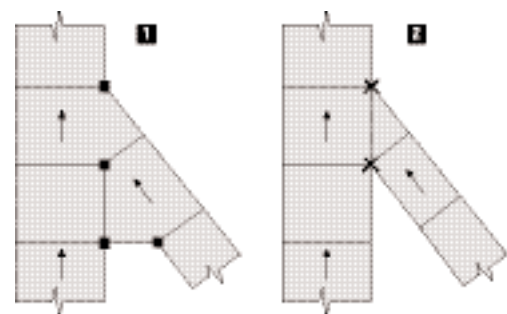
Pour concevoir un schéma de jointoiement, on tiendra compte de certaines règles de bonne pratique qui sont détaillées ci-après.

- Les joints 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 à 1,5.
- L'espacement des joints transversaux doit se situer entre 3 m et 5 m.



Le schéma montre la disposition des joints dans le cas d'une voirie à une seule voie de circulation.

- Des formes autres que carrées ou rectangulaires sont cependant permises pour adapter le revêtement aux besoins du tracé ou de la géométrie de la route. Ces formes sont telles qu'elles ne comportent pas d'angles aigus, dont la fragilité n'est pas à prouver.



1. Bonne disposition des joints à l'intersection de deux voiries en béton.
2. Mauvaise disposition des joints à l'intersection de deux voiries en béton.

## DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement d'une route agricole est conduit selon la démarche définie dans le *Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic* (Setra-LCPC/1981).

Il se fait en quatre étapes :

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

### ■ Choix de la classe de trafic

La classe de trafic est désignée à partir du trafic moyen journalier annuel (MJA) estimé à la mise en service et exprimé en poids lourds de charge utile supérieure ou égale à 5 tonnes. La méthode de calcul du MJA est donnée dans le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic. Cette méthode n'étant pas développée ici, le lecteur pourra utilement se référer à ce manuel ou aux documents édités par Cimbéton.

Le tableau 3 donne les différentes classes de trafic pour les voiries agricoles.

**Tableau 3 : classes de trafic**

Classe de trafic	Trafic à la mise en service (exprimé en poids lourds par jour)
t <sub>6</sub>	0 à 10
t <sub>5</sub>	10 à 25
t <sub>4</sub>	25 à 50

#### NOTA

En matière de trafic, le nouveau Catalogue des Structures de Chaussées neuves (SETRA-LCPC-1998) apporte deux modifications importantes :

- la première concerne la définition du "poids lourd" qui devient "un poids lourd est un véhicule de plus de 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge (PTAC)". Toutefois, une relation – valable uniquement en rase campagne – permet de transformer les données exprimées en véhicules de plus de 5 t de charge utile (C.U.) en nombre de plus de 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge :  $N(\text{PTAC}) = 1,25 \times N(\text{C.U.})$
- la seconde modification concerne la classification du trafic. Désormais, les classes de trafic sont exprimées en nombre de poids lourds *cumulé* pendant la durée initiale de dimensionnement (20 ou 30 ans).

### ■ 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 4 donne

**Tableau 4 : caractéristiques mécaniques exigées d'un béton pour route à faible trafic**

Caractéristiques mécaniques	Béton de ciment (dosé à environ 300 kg ciment/m <sup>3</sup> )
Résistance à la traction par flexion à 28 jours	4,5 MPa ou 45 bars
Résistance à la traction par fendage à 28 jours (essai brésilien)	2,7 MPa ou 27 bars

les caractéristiques mécaniques requises pour ces matériaux, conformément aux directives et à la norme NF P 98-170. La composition du béton doit donc être établie compte tenu des caractéristiques des matériaux disponibles et des résistances à atteindre.

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

Le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic (Setra-LCPC/1981) définit cinq niveaux de portance désignés, dans un ordre croissant, par P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> et P<sub>4</sub>.

Pour dimensionner correctement une chaussée, il faut, outre la connaissance du trafic lourd :

- vérifier que la portance du sol obtenue au moment de la construction de la chaussée permet d'assurer le bon déroulement des travaux ; cette portance est appelée "portance à court terme" ;
- apprécier la portance du sol pendant la période de service de la chaussée ; cette portance est appelée "portance à long terme".

#### ● Portance à court terme

Chaque fois que le niveau de portance prévisible du sol au moment de la mise en œuvre de la chaussée est équivalent à P<sub>0</sub> ou P<sub>1</sub>, il est nécessaire d'envisager une couche de forme, c'est-à-dire d'interposer des matériaux de portance propre P<sub>2</sub> ou P<sub>3</sub> entre le sol et la chaussée, ou encore de traiter à la chaux et/ou au ciment la partie supérieure du sol en place (voir paragraphe "Infrastructure").

#### ● Portance à long terme

C'est la portance à long terme qui est considérée pour déterminer le dimensionnement. L'épaisseur d'une chaussée en béton dépend beaucoup plus de la charge et du trafic que de la portance du sol, au contraire des chaussées souples. Cela est dû au fait que les revêtements en béton assurent une bonne répartition des charges sur le sol et qu'à ce titre ils admettent, dans une certaine mesure, des pertes de portance temporaires, par exemple au moment du dégel ou en cas d'inondation.

La portance d'un sol dépend de sa nature et de son état (teneur en eau, densité, etc.). Pour évaluer la portance d'un sol, il existe plusieurs méthodes. Le tableau 5 donne les critères de classification des sols soit par un essai normalisé (CBR), soit par un examen visuel.

**Tableau 5 : classification des sols en fonction de leur portance**

P	Examen visuel (essieu de 13 t)	Indice portant CBR <sup>(1)</sup>	Types de sols	
P <sub>0</sub>	Circulation impossible, sol inapte, très déformable	CBR ≤ 3	Argiles fines saturées, sols tourbeux, faible densité sèche, sols contenant des matières organiques, etc.	
P <sub>1</sub>	Ornières derrière l'essieu de 13 t, déformable	3 < CBR ≤ 6	Limons plastiques, argileux et argiloplastiques, argiles à silex, alluvions grossières, etc., très sensibles à l'eau	
P <sub>2</sub>	Pas d'ornières derrière l'essieu de 13 t	Déformable	6 < CBR ≤ 10	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, graves argileuses ou limoneuses, sols marneux contenant moins de 35 % de fines
P <sub>3</sub>		Peu déformable	10 < CBR ≤ 20	Sables alluvionnaires propres avec fines < 5 %, graves argileuses ou limoneuses avec fines < 12 %
P <sub>4</sub>		Très peu déformable	20 < CBR ≤ 50	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux sains, etc., chaussées anciennes

<sup>(1)</sup> Californian Bearing Ratio = CBR = indice portant californien en % (in situ ou en laboratoire, pour sols sensibles à l'eau). Note : 1MPa = 10 bars = 10,19 kg/cm<sup>2</sup>.

## ■ Dimensionnement proprement dit

Le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic permet de calculer les différentes structures en béton en fonction de la portance du sol et de la classe de trafic, avec les hypothèses suivantes :

- période de service : 20 ans ;
- taux de croissance du trafic : 4 % par an.

Le tableau 6 constitue une fiche de structures types pour les routes agricoles en béton.

**Tableau 6 : dimensionnement des routes agricoles en béton**

Classe de trafic "t"	t <sub>6</sub>		t <sub>5</sub>		t <sub>4</sub>	
	0 < t < 10 PL/j		10 < t < 25 PL/j		25 < t < 50 PL/j	
P <sub>0</sub>	16 cm	BC	19 cm	BC	22 cm	BC
	35 cm	MTCC	35 cm	MTCC	35 cm	MTCC
P <sub>1</sub>	16 cm	BC	19 cm	BC	22 cm	BC
	20 cm	MTCC	20 cm	MTCC	20 cm	MTCC
P <sub>2</sub>	16 cm	BC	19 cm	BC	22 cm	BC
P <sub>3</sub>	14 cm	BC	17 cm	BC	20 cm	BC
P <sub>4</sub>	12 cm	BC	15 cm	BC	18 cm	BC

BC : béton de ciment – MTCC : matériau traité à la chaux et/ou au ciment.

## EXÉCUTION DES TRAVAUX

L'exécution des travaux suit, en règle générale, le processus suivant.

### Les travaux préparatoires :

- tracé (travaux de piquetage) ;
- décapage de la terre végétale ;
- installation des réseaux d'assainissement enterrés.

### Les terrassements :

- exécution des déblais ;
- exécution des remblais ;
- réalisation de la plate-forme support de la chaussée (couche de forme en grave non traitée ou grave traitée aux liants hydrauliques, traitement des sols en place au ciment et/ou à la chaux, etc.) ;
- compactage du fond de forme.

### La mise en œuvre du revêtement en béton :

- pose des coffrages, le cas échéant ;
- humidification de la plate-forme ;
- mise en œuvre du béton par vibration ou par pervibration ;
- confection des joints ;
- traitement de la surface ;
- cure du béton frais.

Suivant la nature du terrain et la nature des travaux à réaliser (pistes existantes ou non), l'enchaînement des opérations durant les travaux préparatoires et les travaux de terrassement peut être simplifié et adapté à chaque cas particulier.

## ■ Matériels d'exécution

L'exécution d'une route en béton fait appel à plusieurs types de matériels. En effet, à chaque opération définie dans l'exécution type correspondent un ou plusieurs types de matériels.



Mise en œuvre à la règle vibrante.

Exception faite du revêtement en béton, dont la mise en œuvre nécessite l'utilisation d'un matériel spécifique, la plupart des matériels utilisés en terrassement et en travaux préparatoires font partie du matériel traditionnel des travaux publics.

### ■ Conditions de mise en œuvre du béton

Il existe différents procédés de mise en œuvre du béton. Le choix de l'un ou l'autre de ces procédés se fait en tenant compte du type de chantier à réaliser, du niveau de service souhaité, de l'emprise disponible de part et d'autre de la route à construire, etc. Les procédés de mise en œuvre les plus couramment utilisés sont les suivants :

- mise en œuvre à l'aiguille vibrante ;
- mise en œuvre à la règle vibrante ;
- mise en œuvre au Stricker ;
- mise en œuvre au vibrofinisseur ;
- mise en œuvre à la machine à coffrage glissant.

Par ailleurs, quel que soit le procédé d'exécution adopté, des précautions doivent être prises quand la mise en œuvre du béton se fait dans des conditions météorologiques particulières. Les paramètres à considérer seront :

- la température ambiante ;
- l'humidité relative de l'air ;
- la variation de température entre le jour de bétonnage et la première nuit.



Mise en œuvre au Stricker.



Mise en œuvre au vibrofinisseur.



Mise en œuvre à la machine à coffrage glissant.

**Tableau 7 : précautions à prendre en fonction des conditions atmosphériques**

Température ambiante / Hygrométrie	de 5 à 20 °C	de 20 à 25 °C	de 25 à 30 °C	> 30 °C
de 60 à 100 %	Conditions normales de bétonnage			Cure renforcée
de 50 à 60 %		Cure renforcée	Cure renforcée et arrosage de la plate-forme	Bétonnage à partir 12 heures
de 40 à 50 %	Cure renforcée		Bétonnage après 12 heures	Cure renforcée
< 40 %	Arrosage de la plate-forme		Cure renforcée	Pas de bétonnage sans mesures spéciales

Les précautions à prendre en fonction des paramètres de température et d'humidité de l'air sont indiquées dans le tableau 7.

En dehors des conditions particulières de bétonnage prévues dans le tableau 7, la mise en œuvre du béton peut être envisagée dans certaines circonstances, moyennant des précautions supplémentaires :

- en cas de bétonnage par temps froid avec risque de gel, les mesures à prendre peuvent consister en l'ajout au béton d'un accélérateur de prise et/ou une protection renforcée de la surface pendant les premiers jours, par la pose de matériaux isolants ;
- en cas de vent fort, susceptible de provoquer la dessiccation du béton, il y a lieu de prendre des précautions particulières durant et après la pulvérisation du produit de cure, et de faire attention au délai de sciage.



Plate-forme et coffrages exécutés.

### ● Préparation de la plate-forme

Il importe de soigner la préparation de la plate-forme destinée à recevoir le béton. Pour cela, il faut :

- débarrasser la plate-forme de toutes les traces de boues, de matières organiques, etc. ;
- évacuer les eaux superficielles ;
- soigner le compactage de la plate-forme. La présence d'un petit rouleau vibrant sur le chantier est indispensable. Le compactage est effectué avant la pose des coffrages sur une largeur égale à celle du revêtement augmentée de 50 cm de chaque côté ;
- vérifier le profil de la plate-forme. Une tolérance de 2,5 cm, mesurée à la règle de 3 m posée dans n'importe quelle direction, est admise.

### ● Coffrages : types, pose et vérification

Les coffrages sont constitués par des éléments en bois ou en tôle d'acier, ou encore des rails en acier (cas d'une mise en œuvre au vibrofinisseur), d'une hauteur égale à celle de la dalle à exécuter. Ils ne sont pas nécessaires pour une mise en œuvre à la machine à coffrage glissant.

Chaque élément de coffrage doit être fixé au sol par des fiches dont l'espacement n'est pas supérieur à 1 mètre. Les éléments sont assemblés bout à bout par un système d'éclissage rigide. On ne doit observer aucun écart en hauteur ou écart en plan supérieur à 1 cm par rapport à l'alignement théorique.

### ● Humidification de la plate-forme

Dans le cas où le matériau de la plate-forme est susceptible d'absorber une partie de l'eau du béton, il est recommandé d'arroser la plate-forme immédiatement avant le bétonnage.

### ● Fabrication et approvisionnement du béton

Le béton peut être fabriqué dans des centrales de chantier dont le fonctionnement est continu (cas des grands chantiers routiers) ou discontinu (cas des petits chantiers).

Pour les voies agricoles, la taille des chantiers ne justifie pas, en général, le déplacement d'une centrale. Dans ce cas, il est conseillé de faire appel à une centrale de béton prêt à l'emploi (BPE).

L'approvisionnement du béton se fait soit par des camions malaxeurs (livraison assurée par une centrale BPE), soit par des camions-bennes (béton fabriqué par une centrale de chantier).

### ● Vibration du béton

La vibration du béton est une opération très importante. Réalisée avec soin, elle confère au béton une grande compacité, des caractéristiques mécaniques élevées, et par conséquent une grande durabilité.

Il existe deux modes de vibration :

- la vibration externe, où le béton est vibré en surface (règle vibrante, vibrofinisseur) ;
  - la vibration interne, ou pervibration, où le béton est vibré à l'aide d'aiguilles vibrantes immergées dans le matériau (cas des aiguilles vibrantes et des machines à coffrage glissant).
- Durant cette opération, il est important de considérer les éléments suivants :
- en cas de mise en œuvre par vibration externe, le béton est d'abord étalé puis vibré à l'aiguille, notamment le long des coffrages avant le passage de la règle ;
  - en cas de mise en œuvre à la machine à coffrage glissant, la fréquence de vibration doit être réglée en fonction de la consistance du béton. Celle-ci, mesurée au cône d'Abrams, doit se situer dans une fourchette de 2 à 5 cm.

On veillera tout particulièrement à ce que l'approvisionnement en béton assure un niveau constant du matériau dans la chambre de pervibration.

### ● Finition

Après la vibration du béton, la surface du revêtement peut présenter quelques irrégularités (cavités apparentes, vaguelettes, etc.). Un lissage à l'aide d'une taloche ou d'une lisseuse - manuelle ou mécanisée - est donc fortement recommandé.

### ● Confection des joints

La réalisation correcte des joints est un facteur essentiel à la pérennité de la chaussée.

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

L'exécution des joints transversaux de retrait/flexion s'effectue soit dans le béton frais par incorporation d'une languette ou d'un profilé en plastique ou en contre-plaqué, soit par sciage du béton durci avec une machine spéciale à disque diamanté. On distingue ainsi les deux procédures suivantes : le moulage dans le béton frais et le sciage du béton durci.



Moulage d'un joint transversal dans le béton frais.





Brossage de la surface du béton frais à l'aide d'un balai.

### Le moulage dans le béton frais

Les joints moulés doivent être exécutés aussitôt après la mise en œuvre du béton et avant l'opération de traitement de la surface. Ils doivent avoir une profondeur minimale égale au quart de l'épaisseur de la dalle en béton. Ils sont réalisés par enfoncement dans le béton frais d'une languette ou d'un profilé en plastique ou en contreplaqué d'une épaisseur comprise entre 3 et 5 mm, qui demeurera dans le béton après son durcissement. Après achèvement du joint, la surface du béton doit être rectifiée par talochage de part et d'autre du joint sur environ 50 cm.

### Le sciage du béton durci

Le sciage des joints doit être exécuté lorsque le béton de la dalle a suffisamment durci pour éviter que la machine de sciage ne laisse des traces à la surface du béton, donc obligatoirement après l'opération de cure du béton frais.

Il est capital de bien choisir le moment du sciage. Ce délai varie entre 6 et 48 heures après le bétonnage, en fonction des caractéristiques du béton et des conditions climatiques.

Ces joints sont réalisés à l'aide d'une machine à disque diamanté réglée sur une profondeur de l'ordre du quart ou du tiers de l'épaisseur de la dalle. La largeur de sciage est de 3 à 4 mm. Pour la voirie agricole, il est recommandé de garnir les joints sciés.

### ● Traitement de surface

Il peut être question :

- soit d'un brossage transversal du béton frais au moyen de brosses en PVC ;
- soit d'un striage transversal au moyen de râteliers métalliques ou de balais à poils durs.

### ● Cure du béton

Pour éviter la dessiccation de la surface du revêtement sous l'effet des agents atmosphériques (vent, pluie, chaleur,



Cure du béton frais : pulvérisateur manuel de type agricole.

variation de l'hygrométrie, etc.), on procède, immédiatement après le traitement de la surface, à la pulvérisation d'un produit de cure. Cette pulvérisation peut être faite mécaniquement (cas des grands chantiers), soit plus simplement avec des pulvérisateurs manuels de type agricole.

## CONCLUSION

Un intérêt croissant pour les structures en béton se fait jour, en France, pour la construction des routes agricoles. Cet essor est dû à plusieurs raisons.

### ● Des raisons techniques

La route agricole en béton présente les avantages techniques suivants :

- polyvalence : fonction circulation conjuguée à une fonction hydraulique ;
- solidité et résistance à l'érosion ;
- sécurité.

### ● Des raisons économiques

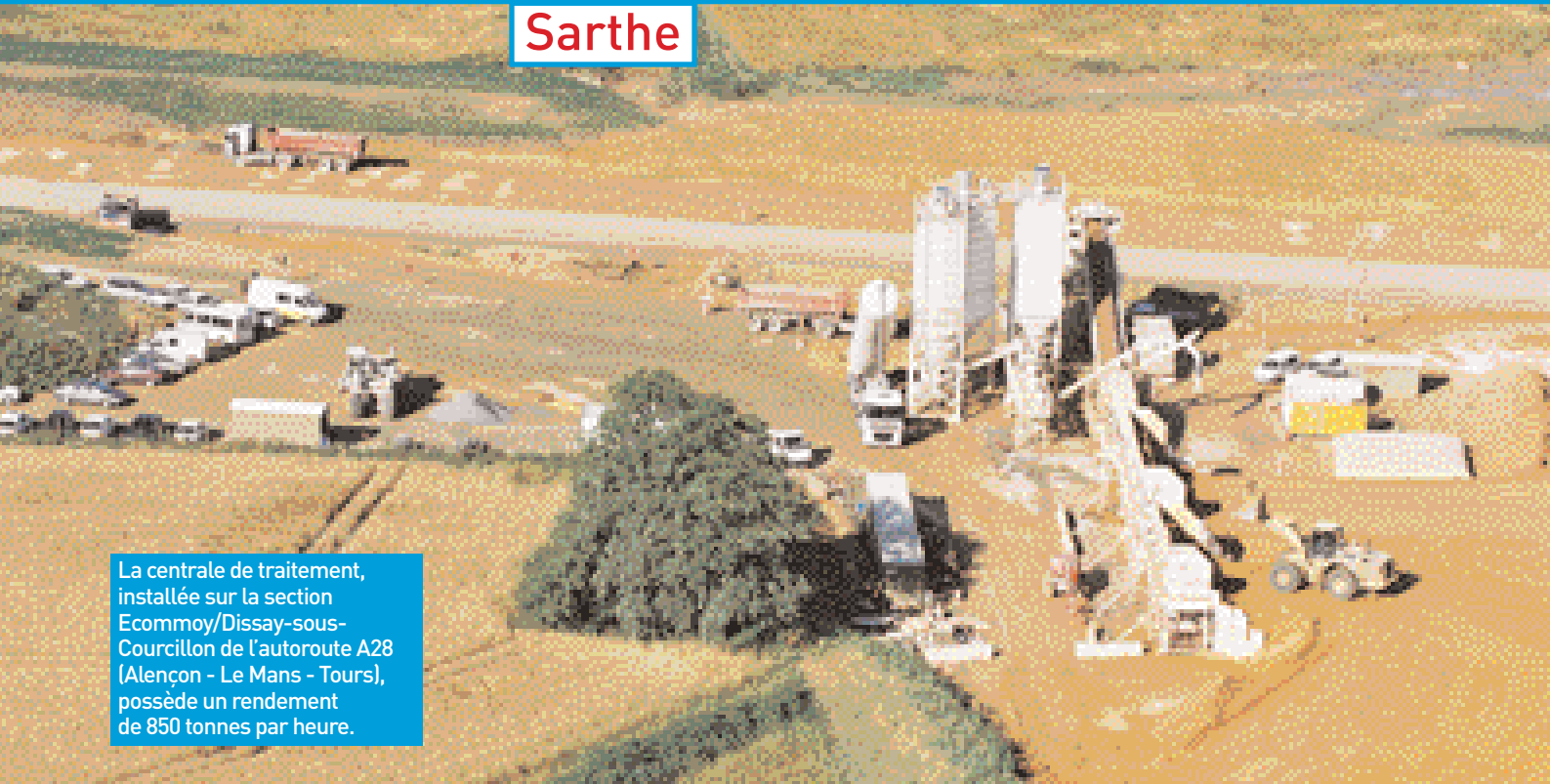
Les avantages économiques sont :

- la durabilité ;
- le coût d'entretien réduit ;
- l'absence de fossés, de buses et d'accotements – et donc un gain sur le foncier.

Perceptible depuis plusieurs années, le développement de la technique des voiries agricoles en béton est la traduction concrète d'une tendance nouvelle, tournée vers une politique d'aménagement à long terme des zones agricoles.



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)



La centrale de traitement, installée sur la section Ecommoy/Dissay-sous-Courcillon de l'autoroute A28 (Alençon - Le Mans - Tours), possède un rendement de 850 tonnes par heure.

Photos : © Deschiron

# Autoroute A28 : née sous le signe du développement durable

Sur la section Ecommoy / Dissay-sous-Courcillon, le recours à des liants hydrauliques routiers, pour le traitement en place (partie supérieure des terrassements) ou en centrale (couche de forme), permet de conjuguer performances technico-économiques et rapidité d'exécution, tout en satisfaisant les objectifs du développement durable.

**T**rès attendue sur le plan économique et logistique, l'autoroute A28 (Alençon - Le Mans - Tours) permettra de relier le Nord de la France à l'Espagne, tout en évitant d'avoir à traverser la région parisienne.

Récemment achevé, le tronçon 2 fois 2 voies de 25 km entre Ecommoy et Dissay-sous-Courcillon se distingue par son approche intéressante en matière de développement durable. L'idée de base était de réaliser des parties supérieures de terrassement et des couches de forme répondant à des exigences de haute performance, en utilisant la technique du traitement des sols, soit en place, soit en centrale, afin d'optimiser les structures de chaussées autoroutières.

Cette technique spécifique implique évidemment une étude préliminaire de diagnostic à partir des matériaux en place, principalement des sables B5 / B6 et A2, et

des objectifs en matière de portance : PF3, sols de classe 3 avec vérification au gel sur 25 cm. Cette démarche répond efficacement à la problématique de la rarefaction des ressources en matériaux naturels, tout en réduisant à moindre coût l'impact environnemental de cette opération.

### ■ Transfert de matériaux du Nord au Sud

Cette partie du chantier se décompose en deux tronçons, un de 15 km au Nord du Loir et l'autre de 10 km côté Sud. Une partie de ce dernier tronçon étant en zone inondable, un important déficit de matériau devait être compensé par un apport en provenance du tronçon Nord. La contrainte majeure était donc clairement identifiée : la traversée du Loir.

Ouvrage stratégique par excellence, le viaduc de franchissement du Loir et d'une

voie SNCF a donc dû être réalisé pour faciliter, en priorité, la circulation des engins transportant les déblais, depuis le Nord du tracé, pour les déposer ensuite en remblai sur la partie Sud, sans avoir à traverser l'agglomération de Château-du-Loir. Ce double ouvrage mixte de quatre travées est long de 340 m et large de 10 m.

*“Le volume total d'argiles limoneuses et siliceuses remanié est de l'ordre de 3,6 millions de tonnes dont 500 000 tonnes seulement ont été mises en dépôt, tout le reste étant utilisé sur le chantier. Il n'y a pas eu*

### ■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maîtrise d'ouvrage :** Cofiroute
- **Maîtrise d'œuvre :** Socaso
- **Lot Terrassements :** Entreprise Deschiron (Groupe Vinci)
- **Fournisseur du liant hydraulique routier :** Lafarge Ciments

d'apport de matériaux extérieurs" explique Frédéric Privé, Directeur d'exploitation de l'entreprise Deschiron (Groupe Vinci), titulaire du marché Terrassements. Ces opérations se sont déroulées classiquement à l'aide de scrapeurs, de grosses pelles de production et de dumpers.

## ■ Tassement progressif des zones compressibles

L'existence de zones compressibles au Nord du chantier a présenté une difficulté supplémentaire. En effet, cette partie du terrain, composée de matériaux alluvionnaires (vases, argiles, tourbe...), ne pouvait supporter le poids de plusieurs mètres de remblais sans tassements importants. La solution retenue a donc été un chargement progressif de ce terrain. L'insertion de drains verticaux a aussi permis d'accélérer, de façon notable, la consolidation de ce sol en facilitant la remontée de l'eau. "Au final, ce chargement en phases successives conduit à un tassement uniforme et de bonne qualité" souligne Frédéric Privé.

## ■ Traitement en place sur 30 à 35 cm

Sur toute la longueur des deux tronçons, la réalisation de la partie supérieure du terrassement s'effectue par un traitement en place du sol sur une épaisseur moyenne de 30 à 35 cm, avec 2,5 % de Rolac PI. Mis au point par Lafarge Ciments, ce liant hydraulique routier s'emploie selon les spécifications du Guide Technique "Réalisations des remblais et des couches de forme" du LCPC / SETRA.

"Après épandage du liant, un très faible arrosage – adapté à la teneur en eau des matériaux en place – et un malaxage soigné, on passe immédiatement une niveleuse et un compacteur car la prise est rapide" précise Frédéric Privé.



Egalisation au compacteur monobille.



Un réglage, effectué à l'aide d'une niveleuse guidée par laser, permet d'obtenir une épaisseur moyenne de 30 à 35 cm pour les parties supérieures du terrassement.

## ■ Une centrale pour les couches de forme

Les couches de forme sont ensuite obtenues par le traitement en centrale des sols stockés avec du Rolac 645 de Ciments Lafarge. Ce liant hydraulique routier, au sens des normes NF P 98-115 et NF P 98-128, s'emploie classiquement pour le traitement en place des sols, pour la stabilisation de remblais et pour la création de couches de forme de chaussées, de pistes, de plateformes industrielles, d'aires de stockage ou de stationnement, de routes forestières ou d'exploitations agricoles. Signalons que ce liant hydraulique routier peut aussi être utilisé pour le retraitement en place de chaussées anciennes : routes nationales ou départementales, voiries communales, chemins forestiers...

Après une étude initiale de formulation, le mélange entre les matériaux, le Rolac 645 et l'eau est effectué en centrale, au fur et à mesure des besoins. Installée sur l'emprise du chantier, la centrale de l'entreprise Deschiron assure un rendement moyen de 850 tonnes / heure.

Acheminé sur le site par camions semi-remorques, le mélange est mis en œuvre classiquement : répartition, réglage à la niveleuse guidée par laser, compactage... "À raison d'une épaisseur moyenne de 25 cm, la réalisation de la couche de forme avance à une cadence moyenne de 1 000 à 1 200 mètres-linéaire par jour" conclut Frédéric Privé.

Qualité oblige, de nombreux contrôles internes et externes sont réalisés aux différentes étapes du chantier. Puis, dernière étape, on applique 13 cm de grave-bitume et une couche de roulement de 4 cm en béton bitumineux mince. ●



La réalisation de la couche de forme avance à raison de 1 000 à 1 200 mètres-linéaire par jour.

## ■ VALORISER LES MATÉRIAUX

Pour Frédéric Privé, Directeur d'exploitation de l'entreprise Deschiron (groupe Vinci), titulaire du marché Terrassements : "La valorisation des matériaux locaux devient une pratique courante, notamment chez Cofiroute. Les avantages sont nombreux aussi bien sur les plans technique et économique qu'environnemental. Et comme presque tout se passe en circuit fermé, il n'y a quasiment plus de perturbations sur la circulation routière aux abords du chantier. Un gros atout en matière de sécurité, mais aussi de gestion des opérations".

# LE SAVIEZ-VOUS ?



## Remue-méninges

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

### ■ Maximum d'un produit

**Question :** diviser un nombre en **trois parties**, telles que le produit de celles-ci soit maximum.

**Solution du Remue-méninges de Routes n°96 : Maximum d'un produit**

**Rappel du problème posé :** diviser un nombre en **deux parties**, telles que le produit de celles-ci soit maximum.

**Solution :** soit "a" le nombre donné. Divisons-le en deux parties que nous désignerons par :

**$(a/2 + x)$  et  $(a/2 - x)$  ;**

le nombre "x" étant la valeur par laquelle ces deux parties diffèrent de la moitié de "a".

Le produit des deux parties est égal à :

$$(a/2 + x).(a/2 - x) = a^2/4 - x^2$$

Il est évident que ce produit augmente quand "x" diminue, c'est-à-dire quand la différence entre les deux parties diminue.

**Le produit sera donc maximal pour  $x = 0$ , autrement dit quand les deux parties sont égales chacune à  $a/2$ .**

D'où la conclusion générale : **le produit de deux nombres, dont la somme reste constante, est maximal lorsque ces deux nombres sont égaux.**

### Additif

Dans notre dernier *Routes* (N° 96 - juin 2006), nous avons omis de préciser que tous les chantiers présentés dans la rubrique "Le Point sur le Var" ont été réalisés par l'entreprise Provence Impression, dirigée par Armand Joly et dont le siège est à La Tour d'Aigues (Vaucluse).

## VIENT DE PARAÎTRE

### Entretien des routes secondaires - Le retraitement en place au ciment



Cette plaquette de 12 pages démontre comment, en limitant au strict minimum l'apport de matériaux extérieurs au site, le retraitement en place au ciment des chaussées dégradées apporte de nombreux avantages : une économie de 15 à 30% par rapport à une solution de renforcement classique, une quasi absence d'entretien durant la période de service, une réduction maximale de l'apport de matériaux extérieurs, une préservation du réseau routier avoisinant, une insensibilité à la chaleur, une résistance aux cycles gel-dégel et une contribution à la préservation du site, tout en limitant l'exploitation des carrières et des ballastières.

Édition 2006. Référence : T 90



### Sécurité routière - Les dispositifs de retenue en béton

Cette plaquette de 12 pages présente les avantages des séparateurs en béton, ces dispositifs de retenue souvent appelés "glissières" ou "barrières" de sécurité : une grande efficacité due à la très forte inertie liée à leur poids et à la continuité du dispositif, un effet "glissière" et une remise du véhicule sur sa trajectoire et une réduction des risques de blessures graves occasionnées aux motocyclistes lors de collisions, de sorties de route ou de simples chutes, grâce à une surface continue sur toute leur hauteur.

Édition 2006. Référence : T 91

Ces 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)



## BON À SAVOIR

### Dallage industriel

La norme NF P 11- 213, également appelée DTU 13.3 (Document Technique Unifié), qui a été publiée en mars 2005, se substitue aux "Règles professionnelles sur les travaux de dallage" publiées en 1990 dans les Annales de l'ITBTP.

En outre, un logiciel de dimensionnement des dallages industriels, conformément à la nouvelle norme (ou DTU 13.3), vient de paraître. C'est un outil convivial, fiable et rapide.

**Pour commander la Norme NF P 11-213 :** [www.afnor.fr](http://www.afnor.fr) ou [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**Pour commander le logiciel de dimensionnement des dallages :** [www.sebtp.com](http://www.sebtp.com)

**Pour tout renseignement complémentaire :** contacter l'Union Nationale des Entrepreneurs de Sols Industriels "UNESI", 7 rue de la Pérouse, 75784 Paris cedex 16



## AGENDA

### Cimbéton présent à Interoute 2006

Cimbéton sera présent (hall 5, stand E 11) lors de la 2<sup>e</sup> édition du Salon/Congrès national Interoute, qui se tiendra à Rennes du 24 au 26 octobre 2006.

Cette édition sera l'occasion de faire le point sur les nouvelles grandes orientations routières en France et à



l'international : la construction routière, les innovations, la sécurité, les matériels et la réglementation, les techniques routières urbaines, le développement durable, les systèmes de transports intelligents, la nouvelle organisation routière, l'ouverture sur l'Europe.

Pour en savoir plus : [www.interouteonline.com](http://www.interouteonline.com)



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)