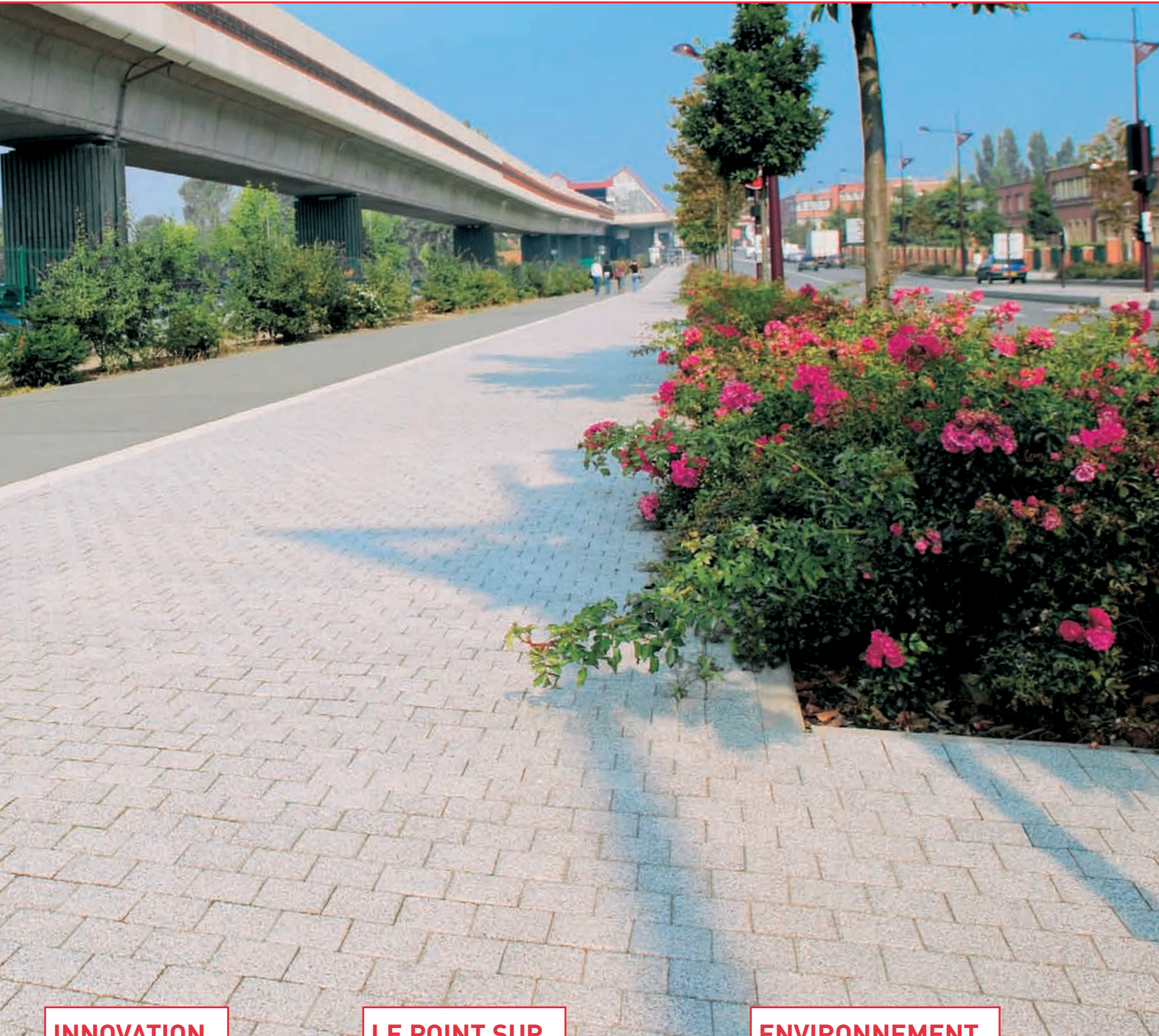


ROUTES

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



INNOVATION

Saint-Aubin-lès-Elbeuf (Seine-Maritime) : la Chaussée Urbaine Démontable en béton, une première mondiale !

LE POINT SUR

Douai (Nord) : une plate-forme en béton de 12 km pour un tram sur roues, guidé par plots magnétiques

ENVIRONNEMENT

Le pavé béton à infiltration : la solution pour évacuer les eaux pluviales

2 ÉDITORIAL

3-6 LE POINT SUR



Le tram de Douai
Une plate-forme en béton pour une technologie innovante

7-11 INNOVATION



Seine-Maritime
La Chaussée Urbaine Démontable en béton : une première mondiale à Saint-Aubin-lès-Elbeuf !

12 RÉFÉRENCE



Loire
Saint-Etienne : le béton désactivé choisi pour valoriser la gare TGV

13-15 ENVIRONNEMENT



Le pavé béton à infiltration : la solution pour évacuer les eaux pluviales

16-17 CHANTIER



Ille-et-Vilaine
Dinard : retraitement en place au liant hydraulique routier sur 30 cm

18-19 CHANTIER



Marne
Parkings avions de l'aéroport Paris-Vatry : dallage béton et traitement des sols au liant hydraulique routier

20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : pour lutter contre la perte d'énormes quantités d'eaux pluviales, due à l'utilisation croissante des revêtements totalement imperméabilisés, les pavés béton à infiltration apportent une véritable réponse, à la fois économique et écologique.

Les Grenelles de l'environnement, c'est bien ! Passer aux actes, c'est mieux !

Des mois durant, relayés méthodiquement par l'ensemble des médias, les travaux des Grenelles de l'environnement ont conclu à la nécessité et à l'urgence d'agir pour réduire les impacts de l'homme sur l'environnement et pour mettre au point une gestion raisonnée et optimisée des ressources naturelles. La médiatisation à outrance a fait que les Grenelles de l'environnement ont été ressentis par le commun des mortels comme étant le point de rupture entre un passé, où l'homme gaspillait et polluait sans se soucier, et un futur où on le forcera à devenir gestionnaire, économe et responsable.

À vrai dire, la **communauté technique française** (concepteurs, fournisseurs de matériaux et liants, fabricants de matériels, entreprises, réseau scientifique et technique des ministères) n'a pas attendu les Grenelles pour se préoccuper de l'avenir de notre planète.

Depuis des décennies, et dans les différents domaines du BTP, les acteurs ont travaillé efficacement à améliorer les techniques et les procédés, à mettre au point de nouveaux produits, à effectuer des planches d'essais, des mesures et des contrôles, à codifier et à communiquer toujours avec un souci clairvoyant d'optimiser, de rationaliser, de préserver la biodiversité et les ressources.

Le constat : beaucoup d'efforts humains et financiers consentis pour des résultats pas toujours à la hauteur de ce que l'on attendait.

Les raisons se trouvent à deux niveaux : l'inertie administrative et la procédure d'appels d'offres. Pour ma part, j'aurais préféré que les Grenelles s'emploient à faire sauter les verrous administratifs, au lieu de nous rappeler ce que nous savions déjà. Les exemples ne manquent pas ! Je me contenterai d'en donner deux illustrations relevant du domaine routier.

Depuis des décennies, les acteurs concernés par les travaux routiers ont mis au point deux techniques de construction et d'entretien des routes. Il s'agit respectivement du **"Traitement des sols en assises de chaussées"** et du **"Retraitement des chaussées en place à froid"** qui présentent les avantages suivants :

- **Environnementaux** : préservation des ressources naturelles en granulats nobles et, par conséquent, de la biodiversité dans les ballastières, réduction des émissions de gaz et de polluants et réduction de la consommation d'énergie pendant la mise en œuvre,
- **Economiques** : de 10 à 30 % moins chères que les techniques traditionnelles,
- **Techniques** : performantes, durables, sûres et codifiées (guides, normes).

Malgré tous ces atouts, ces techniques n'ont pas connu le succès souhaité, à cause de l'inertie administrative (le poids des habitudes) et des pratiques en matière d'appels d'offres qui relèguent au rang de "variante" toute technique non "traditionnelle".

Le statut de variante et la nécessité pour ces deux techniques de procéder à des **études préalables** avant le démarrage des travaux (délai de l'ordre de 2 à 3 mois) compromettent sérieusement leur chance d'être choisies (question de planning).

En revanche, avec un statut de "solution de base", le Maître d'ouvrage serait amené à faire réaliser ces études préalables avant le lancement de l'appel d'offres et, dès lors, ces deux techniques auront toutes leurs chances de s'imposer.

Pour **traduire les intentions en actes**, il faut donc prendre des **mesures immédiates** pour donner une impulsion à ces techniques. Il suffirait d'**inciter les donneurs d'ordres** pour que les techniques de **"Traitement de sols en assises"** et de **"Retraitement des chaussées en place"** deviennent dorénavant les **solutions de base (et non des variantes) dans les appels d'offres routiers.**

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@cim beton.net

Site Internet : 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-ménages* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction

et photos : Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Levron, Jacques Mandorla - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr

Direction artistique : Arnaud Gautelier - Maquette : Dorothee Picard - Dépôt légal : 2^e trimestre 2008 -

ISSN 1161 - 2053 1994



Douai (Nord) : la première ligne du nouveau tram de Douai sera mise en service au cours du dernier trimestre de 2008. Roulant sur une plate-forme en béton et desservant quelque 70 000 habitants, cette ligne de 12 km relie la ville de Guesnain (Bougival) à Douai (Cité technique).

Tram de Douai : une plate-forme en béton pour une technologie innovante

Un transport en commun sur pneus, identique à un bus mais qui est en réalité un tram sans caténaire, roulant sur une plate-forme en béton qui lui est propre. Le tout piloté par un guidage par plots magnétiques. C'est ce dont profitent les habitants du Douaisis. Une première en France. Découverte d'une réalisation hors du commun.

La première ligne du nouveau tram de Douai sera mise en service au cours du dernier trimestre de 2008. Desservant près de 70 000 habitants, cette ligne de 12 km reliera

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : Syndicat Mixte des Transports du Douaisis (SMTD), mandataire ; Communauté d'Agglomération du Douaisis

Maîtrise d'œuvre : Ingérop, mandataire du groupement Reichen & Robert (architectes), DVA (paysagiste)

Voirie : Entreprise Jean Lefebvre (EJL), mandataire du groupement Boucher, Eurovia Béton (plate-forme du tramway) et Forclum (signalisation, éclairage...)

Fournisseurs du béton : Holcim Bétons, mandataire d'un groupement avec Cemex et Unibéton

la ville de Guesnain (Bougival) à Douai (Cité technique) en passant par la RD 645 et les villes de Dechy et Sin-le-Noble. Pour réaliser ce tram, le Syndicat Mixte des Transports du Douaisis (SMTD) a opté pour une technologie encore inconnue en France : un véhicule sur pneus à guidage magnétique par le sol. Produit par la société néerlandaise APTS (Advanced Public Transport Systems), ce matériel est particulièrement novateur. En circulation depuis juillet 2004 à Eindhoven (Pays-Bas), le véhicule se déplace automatiquement grâce à un système global.

Moins de 10 millions d'euros au kilomètre

Alain Cherbus, responsable marketing du SMTD, le dit très simplement : "Si nous avons choisi cette nouvelle

technologie, c'est pour deux raisons : un coût très raisonnable puisqu'il s'agit d'un investissement de 117 millions d'euros, soit moins de 10 millions le kilomètre pour une rénovation de la voirie de façade à façade, ainsi qu'une mise en œuvre plutôt aisée par rapport aux systèmes classiques de tramway avec rails et caténaires. Evéole – c'est le nom exact de ce véhicule – bénéficie d'une large voie spécifique réalisée en béton et dans laquelle sont implantés, tous les deux mètres, des plots magnétiques protégés par de la résine. Ces aimants émettent des signaux lus par le véhicule, au moyen d'un système automatique embarqué. Le guidage est magnétique et tous les essieux sont indépendants, ce qui en fait un véhicule monorail comme pour le rail. Le SMTD a commandé 12 rames : 10 rames de 18 m et 2 rames de 24 m. Elles ont été relookées et modifiées pour respecter la



La Gomaco C450 a permis de couler le béton en continu, sur des largeurs pouvant varier de 2,80 à 8,50 mètres.

FORMULATIONS DES BÉTONS (POUR 1 M³)

Chaussée de fondation BC2

Ciment Holcim CEM I 52,5 N CE :
200 kg

Sable Gaurain 0/4 C : 450 kg

Sable Kesteleyn 0/4 R : 450 kg

Gravillons Gaurain 6,3/20 C :
1 065 kg

Eau : 155 litres

Plastifiant : 0,3 %

Entraîneur d'air adjuvant : 4 %

Chaussée de roulement BC5

Ciment Holcim Lumbres CEM III/A 42,5 N CE CP1 : 330 kg

Sable Gaurain 0/4 C : 390 kg

Sable Kesteleyn 0/4 R : 390 kg

Gravillons Holcim Gaurain 6,3/20 C : 1 080 kg

Eau : 160 litres

Plastifiant : 0,3 %

Entraîneur d'air adjuvant : 4 %

Béton carrefour 72h

Ciment Holcim CEM I 52,5 N : 330 kg

Sable Gaurain 0/4 C : 390 kg

Sable Kesteleyn 0/4 R : 390 kg

Gravillons Gaurain : 6,3/20 C : 1 080 kg

Eau : 155 litres

Plastifiant : 0,3 %

Entraîneur d'air adjuvant : 4 %

Résistance à la compression :
supérieure à 25 MPa à 48 heures

réglementation française sur le tram". Cette technologie propose trois modes différents de pilotage : manuel, semi-automatique, automatique. À Douai, pour des raisons d'homologation, le mode semi-automatique a été retenu : le conducteur gère la vitesse et le freinage, tandis que la conduite et l'accostage aux stations sont automatiques, grâce à un système à base d'ultrasons qui permet l'arrêt au ras du quai.

Totalement réalisé en milieu urbain (une moitié sur la RD 645, l'autre dans Douai), le tram dessert tout à la fois des équipements publics (mairies, écoles...), des commerces et des lieux de loisirs (cinémas...).

Au total, 21 stations sont implantées à une distance moyenne de 400 mètres l'une de l'autre. Avec trois types d'implantation : à quai latéral (deux quais de 3 m de large en vis-à-vis), à quai latéral décalé (variante du type précédent) et à quai central (un seul quai de 3,5 à 4 m de large).

Une organisation du chantier en "méthode douce"

"Dès l'appel d'offres, le SMTD a eu la volonté de limiter les nuisances supportées par la population et de ne pas entraver l'accès aux commerces, explique Annick Mac Farlane, directeur de projet chez Ingérop, le maître d'œuvre. D'où une organisation très particulière du chantier qui est une première en France. D'une part, les travaux ont été découpés en 34 tronçons



Tous les 2 mètres sont implantés dans le béton des plots magnétiques émettant des signaux lus par le tram.

d'environ 400 m de long chacun : ces tronçons étant non jointifs, il fallait donc un planning très précis. D'autre part, chaque tronçon était divisé en trois zones transversales distinctes : le chantier concernant une voie de circulation, puis l'autre voie, et enfin la plate-forme en béton. Ainsi, les deux sens de circulation étaient en permanence maintenus".

Cette organisation dite "en méthode douce" a porté, pour chacun des tronçons, sur deux séries de travaux avec de fortes contraintes : d'abord le dévoisement et l'enfouissement des réseaux (eau, gaz, électricité, télécoms...) situés notamment sous l'emprise de la plate-forme en béton du tram ; ensuite la réhabilitation de la voirie de façade (sur une largeur variant de 11 à 20 m), la réalisation de la plate-forme en béton, l'aménagement des places, la mise en place de l'éclairage public et de la signalisation lumineuse tricolore.

À noter que la réalisation des stations du tram, de l'aménagement paysager et du mobilier urbain, ainsi que l'exécution des ouvrages d'art ne disposaient pas de ces contraintes.

"À l'issue de ces travaux, chaque tronçon était alors "bon pour le service" et, sur la plate-forme dédiée au tram, les bus pouvaient même circuler, précise Laurent Selosse, directeur de travaux chez Entreprise Jean Lefebvre, l'entreprise mandataire du groupement du marché Voirie. Cette organisation a été une bonne chose pour les riverains et les commerces. Cependant, pour les entreprises, elle a imposé de fortes contraintes, notamment en matière de phasage, d'accès au chantier, de risques dus au maintien de la circulation. Cela a demandé une parfaite coordination entre maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre et entreprises. D'ailleurs, la population a été impressionnée par la rapidité de la mise en œuvre et le professionnalisme de nos équipes".

Une machine à emprise réduite pour couler le béton

Cette organisation spécifique du chantier a eu aussi des conséquences sur la réalisation de la plate-forme.



Boulevard de la République : la plate-forme du tram associe couche de roulement en béton armé et parties engazonnées.

Avec une couche de fondation en béton maigre de 24 cm d'épaisseur et une couche de roulement en béton goudonné de 25 cm, la mise en œuvre proprement dite du béton ne présentait absolument aucune difficulté particulière, surtout en l'absence de rail. Et pour limiter la gêne due à la neutralisation des carrefours, il a été utilisé un béton à prise accélérée qui permettait de circuler après seulement 24 heures de séchage.

"La contrainte majeure était de pouvoir couler en continu sur des largeurs pouvant varier de 2,80 à 8,50 mètres, explique Thierry Colin, responsable "Travaux" chez Eurovia Béton. Il était donc exclu d'utiliser une machine classique à coffrage glissant avec guidage par fil. C'est pourquoi, nous avons utilisé une machine spécifique, dite machine à rouleaux. Après l'avoir vue fonctionner en Angleterre, nous avons acheté aux Etats-Unis une Gomaco C450 répondant à ces besoins. C'est la seule en France. Cette machine à emprise réduite a également permis de résoudre deux autres contraintes : le maintien de la circulation dans les deux sens (la machine roulait de chaque côté

sur les séparateurs de 25 cm) et la facilité des transferts (sans démontage de table ou de moule) en fonction du phasage des travaux. Quand la largeur était vraiment trop étroite et qu'il était impossible d'utiliser la machine, les compagnons réalisaient la plate-forme à la main".

Après sa mise en œuvre, le béton de la plate-forme a été micro-raboté, afin de faire apparaître les granulats.

Un coulage du béton à des cadences très soutenues

Au total, ce sont plus de 23 000 m³ de béton qui ont été coulés. Ce béton a été fabriqué par un groupement de trois entreprises : Holcim comme mandataire (centrales de Roost Warendin et Cambrai), Unibéton (Fouquières-les-Lens) et Cemex (Corbeheim).

"Entre mars et septembre 2007, il a fallu réaliser plus des trois-quarts de la plate-forme : autant dire que les cadences ont été très soutenues, indique Jean-Pierre Couvelaere, technico-commercial chez Holcim Bétons (France) - Région Nord. Il fallait livrer en moyenne 500 m³ de béton par jour, coulé entre 8h et 16h. Grâce à un planning par tronçon réalisé

ÉVÉOLE : INFORMATIONS CLÉS

Longueur des rames : 18 ou 24 m
Nombre de rames : 10 rames de 18 m et 2 rames de 24 m
Largeur des rames : 2,55 m
Hauteur des rames : 3,20 m
Capacité : 103 places dont 29 assises (rame de 18 m) ; 129 places dont 46 assises (rame de 24 m)
Vitesse maximale : 96 km/h
Fréquence : une rame toutes les 10 minutes en heure de pointe

très en amont, nous sommes parvenus à organiser la production dans des conditions optimales".

Et Alain Cherbuix de conclure : "Avec ce tram qui rénove fortement l'espace urbain, les habitants redécouvrent le Douaisis. De plus, nous sommes devenus une vitrine internationale et recevons de nombreuses délégations étrangères en provenance d'Honolulu, d'Istanbul, de Séoul... : elles viennent étudier ce mode de transport et la façon dont nous le réalisons. En France, je suis convaincu que la technologie du tram sur pneus par guidage magnétique est parfaitement adaptée aux collectivités locales de moins de 200 000 habitants qui ont souvent des budgets limités. À condition de ne pas hésiter à sortir des sentiers battus".

UN COÛT DE 120,3 MILLIONS D'EUROS

Travaux des concessionnaires (déviations des réseaux, enfouissement des réseaux aériens...): 2,7 millions

Voirie (trottoirs, éclairage, mobilier urbain, aménagements paysagers, stationnement,...): 39,9 millions

Voie du tramway (plate-forme, stations, signalisation...): 29,9 millions

Ouvrages d'art : 15,2 millions

Aménagement des places : 6,8 millions

Pôles d'échange : 3,9 millions

Matériel roulant : 17 millions

Mobilier urbain des stations : 4,9 millions

INTERVIEW



« Même si la plate-forme en béton coûte un peu plus cher, nous sommes largement gagnants sur le long terme »

Jean-Jacques Delille

Ex-Président du Syndicat Mixte des Transports du Douaisis (SMTD)

Quelle est l'ambition du Douaisis avec ce nouveau mode de transport ?

Une particularité de l'agglomération douaisienne est l'éclatement de son territoire urbanisé, héritage du passé minier qui a instauré une "petite ville" près de chaque fosse. Cette situation favorise le déplacement en voiture. Résultat : chaque jour, plus de 150 000 véhicules entrent et sortent de Douai qui compte... un peu plus de 40 000 habitants. Le risque d'asphyxie était donc réel, comme l'a montré le Plan de déplacement urbain de 2002.

C'est pourquoi, le SMTD a décidé de réaliser, avec le tram, un autre mode de transport. Outre la clientèle captive (jeunes, personnes âgées et sans voitures), son objectif est d'attirer celles et ceux qui utilisent leur véhicule seulement pour aller à leur travail et en revenir. Soit environ 30 % du trafic. De plus, située totalement en site urbain, cette première ligne de 12 km dessert environ 70 000 personnes qui habitent à moins de 400 mètres, de part et d'autre du tracé.

La technologie du tram sur pneu à guidage magnétique est une première en France. Pourquoi ce choix ?

Après avoir étudié plusieurs solutions, le SMTD a opté pour un tram sur pneu à guidage immatériel. Déjà en circulation à Eindhoven, ce mode de transport rappelle l'autobus avec ses pneus, mais c'est bel et bien un tram avec son système de guidage et son site propre de circulation. Cette technique a un coût d'investissement très inférieur à celui d'un tram classique : à peine 10 millions d'euros du kilomètre, ce qui en fait le transport en commun en site propre le moins cher de France. Par ailleurs, le tram empruntant des axes majeurs,

il fallait conserver les voies pour les voitures, tout en encourageant les déplacements en vélo et à pied. Autres avantages : des travaux limités donc moins longs par rapport à un tramway classique, l'absence de caténaires, un plancher bas intégral, un très bon confort intérieur et, bien sûr, une fréquence élevée, une rapidité et une fiabilité assurées. Enfin, ce tram sur pneus est très respectueux de l'environnement puisque son mode de propulsion est électrique, avec un moteur thermique du type Euro 5 qui tourne très doucement à 1 500 tr/min. Ce qui en fait, sans doute, le transport en commun le moins polluant d'Europe.

La construction d'un tram est cause de gênes. Comment les limiter ?

Dès l'origine du projet, je me suis fixé comme objectif de ne pas "fermer" la ville pendant les deux ans de travaux et d'éviter des dépôts de bilan de commerces. Pour cela, nous avons agi sur deux fronts : une organisation du chantier par tronçons de 300 à 400 mètres et le maintien de la circulation dans les deux sens. Puis nous avons communiqué pour que

riverains et commerçants comprennent et s'approprient le projet. Ainsi, nos "Cafés-Tram", réunions d'information avant chaque démarrage des travaux d'un tronçon, ont été très suivis et ont permis des améliorations. Enfin, sur le terrain, des "Ambassadeurs-Tram" avaient pour mission d'informer et d'aider la population.

Pourquoi avoir choisi le béton pour réaliser la plate-forme ?

Puisqu'il s'agit d'un transport monorail, il fallait un matériau qui soit très résistant. Et même si la plate-forme en béton a un coût légèrement supérieur, nous sommes largement gagnants sur le long terme. De plus, le béton blanc que nous avons choisi est très esthétique. Je suis convaincu que ce matériau convient parfaitement pour une plate-forme dont l'épaisseur est de près de 50 cm.

Les entreprises se sont-elles bien adaptées aux contraintes du chantier ?

L'organisation du chantier et notre forte implication auprès de la population ont largement contribué à créer un bon climat. De plus, le professionnalisme et la gentillesse du personnel des entreprises - des compagnons à l'encadrement - ont fait l'admiration de tous. J'ai rarement vu une équipe projet - maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, entreprises, sous-traitants... - travailler en pareille harmonie et avec autant d'efficacité et de compétence.



Pour limiter la gêne des usagers, il a été utilisé un béton à prise accélérée ayant permis de faire des essais du tram, après seulement 24 heures de séchage.



Saint-Aubin-lès-Elbeuf (Seine-Maritime) : l'aspect fini du revêtement de la Chaussée Urbaine Démontable en béton (C.U.D.) sera le même, avant et après intervention sur les réseaux.

La Chaussée Urbaine Démontable en béton : une première mondiale à Saint-Aubin-lès-Elbeuf !

Ouverte en une demi-heure puis refermée en 4 heures seulement, la chaussée urbaine démontable (C.U.D.) facilite l'accès aux différents réseaux, tout en diminuant la gêne occasionnée aux riverains et aux usagers lors des travaux. Son principe : associer un revêtement en dalles béton hexagonales réutilisables avec une assise en grave-ciment réexcavable.

Chacun sait que les chaussées urbaines doivent remplir de nombreuses fonctions et recouvrir différents réseaux : eau, gaz, électricité, égouts, télécommunications... Des réseaux dont le positionnement, bien que réglementé, est souvent mal connu en raison de l'inexactitude, voire de l'inexistence, de plans de recollement antérieurs.

De plus, du fait de la difficulté à coordonner les travaux des différents opérateurs, ces chaussées font l'objet d'interventions fréquentes et souvent d'ouvertures de tranchées aléatoires, parfois juste après leur construction ou leur entretien. Ce qui crée une certaine incompréhension chez les riverains et les usagers.

Résultat : des coûts importants pour

les maîtres d'ouvrage, un uni irrégulier et un aspect type "patchwork" du revêtement de surface et, pour terminer, un gaspillage de matériaux nobles, difficilement compatible avec la démarche de développement durable, affichée par un nombre croissant de collectivités publiques.



La mise en place des réseaux intervient en premier lieu.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage :

Ville de Saint-Aubin-lès-Elbeuf

Maître d'œuvre :

Bureau d'études Viatch

Conception et soutien technique :
LCPC, CETE de l'Ouest et de Normandie-Centre, LRPC d'Autun, LROP, Cimbéton

Entreprise adjudicataire : Screg

Fabrication des dalles en béton :
CMEG (14740 Bretteville)

Fournisseur des granulats noirs :
Groupe Girard & Fosse

Fournisseur du ciment des dalles :
Ciments Calcia (site de Ranville)

Fournisseurs de la grave-ciment réexcavable : Cemex (centrale de Tourville-la-Rivière) et Jouen (centrale de Gaillon)

Refléchir à de nouvelles solutions techniques

"En 2003, le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées a pris la décision de lancer un programme de recherche et développement pour mettre au point une nouvelle technique : la chaussée urbaine démontable (C.U.D.). L'idée était de concevoir une chaussée qui puisse être ouverte et refermée en quelques heures seulement, avec un équipement de chantier léger. Tout en restaurant l'aspect initial et l'ensemble des fonctions de la chaussée" explique François de Larrard, coordinateur de ce projet au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes. Précisons que cette opération a aussi mobilisé les compétences des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées d'Autun, de Rouen et de Trappes, du C.E.R. de Rouen, du CETE de Nantes et du CERTU de Lyon.

Trouver un maître d'ouvrage partenaire

La chaussée urbaine démontable facilite les différentes interventions sur les réseaux existants comme, par exemple, les modernisations, la maintenance, les modifications ou les réparations. En même temps, on préserve la longévité de la voirie, ainsi que l'aspect visuel ou technique des surfaces de roulement (uni, dévers...). Grâce à sa souplesse d'intervention, la C.U.D. facilite la programmation des travaux, car la réfection d'une voirie

DES DALLES EMBOÎTÉES POUR LE PROJET NANTAIS

L'autre projet de chaussée urbaine démontable devrait être réalisé prochainement à Nantes, avec des dalles plus petites et emboîtées. Le processus de démontage sera donc plus complexe : la chaussée devra être ouverte en partant du bord et les dalles seront ripées horizontalement. En revanche, grâce à la continuité mécanique apportée par les emboîtements, la stabilité sous un trafic plus lourd sera encore meilleure.



Au premier plan, à droite, le lit de pose de 3 cm d'épaisseur en granulats roses 6/10.

n'est alors plus conditionnée par le planning simultané de travaux de revêtement réalisés par chaque concessionnaire.

Tout se déroule, en effet, sur une seule journée avec l'ouverture de la voirie en 30 minutes et sa fermeture en quatre heures seulement.

"L'enquête, réalisée auprès d'une quarantaine de maîtres d'ouvrage, nous a confirmé que la programmation des travaux était effectivement une problématique réelle" ajoute François de Larrard.

Pour passer de la théorie à la pratique, il ne restait plus qu'à trouver un partenariat avec un maître d'ouvrage. Deux villes, Saint-Aubin-lès-Elbeuf (Seine-Maritime) et Nantes (Loire-Atlantique), ont accepté de participer à cette opération, en formulant un cahier des charges s'appliquant à des rues démontables à construire dans des lotissements nouveaux.

Une assise en grave ciment réexcavable

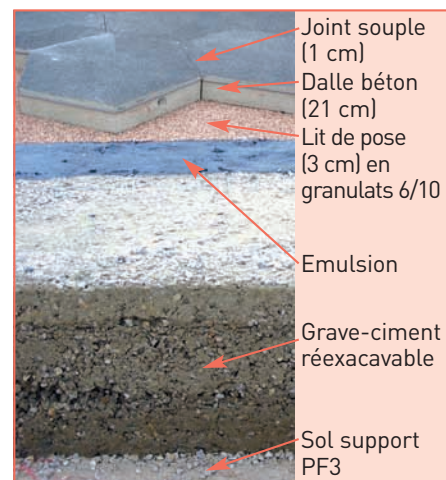
La nature du matériau d'assise constitue l'aspect le plus innovant de la C.U.D. "Ce matériau de structure doit pouvoir être facilement excavé avec un matériel de chantier léger. Un durcissement rapide est recherché afin de pouvoir rétablir rapidement le trafic après le chantier, tout en évitant un durcissement supplémentaire à long terme, phénomène qui compromettrait les excavations ultérieures. C'est pourquoi le choix s'est tout naturellement porté sur un mélange de ciment Portland et de filler calcaire, à l'exclusion de pouzzolanes, cendres

volantes et autres liants à durcissement lent" précise François de Larrard.

Différents mélanges ont ensuite été testés, en jouant sur la proportion de ciment dans le liant avec des essais d'excavation à 7, à 28 et à 230 jours. Le meilleur compromis entre résistance et excavabilité a été obtenu avec un dosage de ciment de 1,1 %.

Sur la base de ces résultats, voici les spécifications de la grave-ciment réexcavable qui ont été établies : une résistance maximale à la compression de 2,5 MPa et une résistance minimale en traction par fendage de 0,16 MPa à 28 jours. Les calculs ont conduit à adopter une épaisseur de 60 cm, appliquée en deux couches successives de 30 cm.

Une telle structure est conçue pour endurer le passage de 120 000 poids lourds durant les 30 années de service prévues, ce qui correspond à 11 poids lourds par jour.



La chaussée urbaine démontable se compose d'une grave-ciment réexcavable, d'un lit de pose en granulats et de dalles en béton.

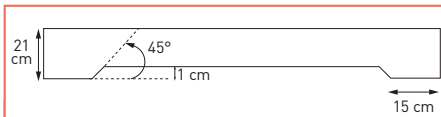
Des dalles hexagonales pour paver l'espace

À Saint-Aubin-lès-Elbeuf, le choix de la surface de roulement s'est porté sur des dalles hexagonales en béton armé à base de ciment CEM I 52,5 R, qui ont l'avantage de paver complètement l'espace, tout en ne présentant pas d'angles aigus qui risqueraient d'être trop fragiles.



Robustes, les dalles préfabriquées en usine sont fortement ferrillées.

Toutes les dalles préfabriquées sont désactivées en fond de moule et passées au jet d'eau haute pression au décoffrage, afin de mettre à nu les granulats noirs, provenant de la carrière de Vaubadon, et de fournir une texture suffisante pour assurer une bonne adhérence lors du roulement. La longueur de 77 cm, de chacun des 6 côtés des dalles, a été calculée pour être en parfaite cohérence avec la largeur de la chaussée et avec le poids maximal admissible de 800 kg par dalle.



Coupe verticale d'une dalle hexagonale.

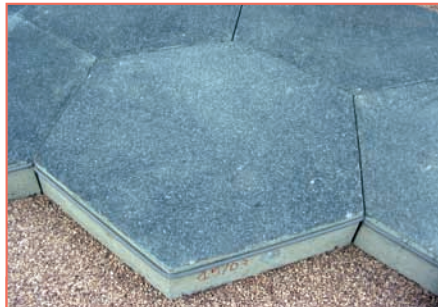
Les dalles sont épaisses de 20 cm, auxquels on a ajouté un rebord de 1 cm d'épaisseur sur 15 cm de large sur la face inférieure, afin de garantir un contact préférentiel avec le lit de pose, réalisé en granulats 6/10, et de limiter ainsi les battements sous trafic. Ce lit de pose facilite le calage des dalles et le drainage de l'eau.

Les dalles sont indépendantes entre elles, ce qui facilite les opérations de démontage-remontage. Lors de la



Sur la face inférieure des dalles, a été créé un rebord de 1 cm d'épaisseur sur 15 cm de large, permettant d'éviter tout battement sous trafic.

mise en place d'une dalle, un espace de 1 cm est laissé avec les dalles voisines, afin d'éviter tout coincement qui pourrait être dû à une mise en biais de la dalle enlevée ou à une dilatation des dalles sous l'effet de la chaleur. Enfin, pour limiter la pénétration d'eau et de matériaux divers, un joint souple en élastomère est coulé dans cet espace de 1 cm entre les dalles.



Un espace de 1 cm est réservé autour de chaque dalle, afin d'éviter tout

La rédaction d'un appel d'offres strict et ouvert

Sur la base de ces réflexions et du cahier des charges résultant des essais réalisés à Nantes (voir encadré ci-contre), le bureau d'études Viatech a rédigé un CCTP pour la consultation des entreprises candidates.

"Cet appel d'offres était, en même temps, très strict pour les caractéristiques techniques et très ouvert pour les modalités de mise en œuvre. Ainsi, les propositions très pragmatiques des entreprises pour le type de préfabrication des dalles, les solutions de mise en œuvre, le mode de préhension, la stratégie d'avancement du chantier..., ont toutes été les bienvenues" commente

TEST : 120 000 PASSAGES RÉALISÉS PAR LE LCPC DE NANTES !

Une section expérimentale comprenant 19 dalles et 4 semi-dalles a été testée sur le manège de fatigue du LCPC de Nantes pour :

- mettre au point une méthode de mise en place des dalles,
- sélectionner le matériau le plus approprié pour le lit de pose. Ayant tendance à engendrer des phénomènes de battements trop importants (frottements internes du matériau trop faible à l'état humide), le granulat concassé 2/4 utilisé pour les premiers essais a été remplacé par un granulat 6/10 qui assure, de plus, un drainage efficace,
- optimiser la conception des joints entre les dalles. Les premiers joints testés (joints préfabriqués en caoutchouc), qui avaient tendance à s'extraire spontanément de leur logement sous l'effet du passage des essieux du manège, ont été abandonnés au profit de joints coulés en élastomère.

Les 120 000 passages effectués sur le manège ont démontré quatre avantages : il n'y a pas de rupture des éléments, la structure reste stable, les émissions sonores sont faibles et, enfin, au démontage, il n'y a aucun dommage sur l'assise. Pour mémoire, ces 120 000 chargements d'un essieu de 13 tonnes correspondent au trafic poids lourds que la chaussée réelle supportera lors de ses 30 ans de durée de vie escomptée.



EDF-GDF : UNE EXPÉRIENCE ENRICHISSANTE

Pour Pierre Hartz, représentant de l'ingénierie Travaux d'EDF-Gaz de France Distribution : "Nous avons été sollicités dès le début pour participer à l'opération, notamment en fournissant les caractéristiques techniques de profondeur des réseaux de gaz et d'électricité et des branchements nécessaires.

C'est une expérience vraiment enrichissante car des gens de haut niveau ont quitté leurs laboratoires pour se rapprocher du terrain et proposer une solution concrète. C'est une vraie démarche de progrès, liée à la capacité d'écoute de ces chercheurs : l'atout principal étant de pouvoir accéder plus facilement aux réseaux pour les missions de distribution (branchement neuf) ou en exploitation (maintenance ou réparation).

Démonteur l'existant en liaison avec les services municipaux - notamment pour emprunter l'équipement à ventouse - n'engendre pas de réelles contraintes supplémentaires. Et le réemploi des revêtements de surface est vraiment un atout en matière de développement durable.

Il reste encore à mener une réflexion plus globale sur une meilleure coordination des différents concessionnaires, afin de limiter le nombre d'ouvertures".



Jean-Marie Masson démontre la grande facilité d'intervention sur un réseau de chaussée urbaine démontable.

Chryslain Le Roux, gérant de Viatech. Au final, l'entreprise Screg a été retenue, avec la Cmeg (Caen) comme partenaire pour la préfabrication des dalles, et le concours de centrales de BPE pour la fabrication de la grave-ciment réexcavable (G.C.R.). "Réaliser cette G.C.R., dosée à 1,1 % de ciment, a demandé de procéder à des ajustements en centrale, où il est peu habituel de travailler avec des pourcentages aussi faibles" signale Chryslain Le Roux.

Saint-Aubin-lès-Elbeuf, une ville pionnière

Jean-Marie Masson, premier adjoint au maire de Saint-Aubin-lès-Elbeuf, résume bien la motivation des élus de cette dynamique commune de plus de 8 000 habitants : "La population de notre ville ne supportait plus le bruit fait par les marteaux-piqueurs pendant les nombreux travaux de voirie ! Et surtout, depuis de multiples années, nous avions l'objectif de trouver une alternative aux chaussées traditionnelles et aux ouvertures de tranchées souvent malencontreuses. Ma rencontre avec François de Larrard au Congrès Mondial de la Route de Durban, en Afrique du Sud, a permis le montage rapide du partenariat".

Cette première chaussée urbaine démontable française prend place sur l'ancien site industriel de Manopa, une ancienne friche sur laquelle est prévue la construction d'un ensemble immobilier de 49 logements, dont la première tranche a été engagée courant 2008.

"Il s'agira d'une bonne zone de test, car

cette rue servira à la desserte du chantier de construction, avec le passage répété d'engins lourds. Elle sera donc soumise à rude épreuve pendant 3 à 4 ans" précise Jean-Marie Masson.

Deux démontages de la chaussée sont déjà programmés, en septembre 2008 et septembre 2009, pour réaliser les branchements des nouveaux bâtiments situés de part et d'autre de cette rue.

Un chantier sous très haute surveillance

"Une opération-pilote aussi importante nécessite une forte implication de chacun, tant au niveau de la mise au point préliminaire qu'aux différentes étapes suivantes" souligne Alain Bellenger, chef du secteur Haute-Normandie de la Screg.

Le cahier des charges initial a été ajusté avec la collaboration du CETE, du bureau d'études Viatech, du laboratoire de la Screg et du LCPC pour mettre au point la formule finale de la grave-ciment réexcavable.

"Différentes planches d'essais ont été effectuées avant la validation finale. Il en a été de même pour les dalles, avec plusieurs échantillons réalisés selon le cahier des charges. Tout était sous contrôle, avec une validation à la fin de chaque étape" précise Alain Bellenger. La mise en place des dalles a été assurée par un système de ventouse adaptable à n'importe quel engin de chantier courant.

"Tout s'est déroulé sans encombre, mais de façon peu habituelle, avec un défilé constant de visiteurs, de caméras..., ce qui nous a obligé à avoir une gestion très rigoureuse de la sécurité sur le chantier" ajoute Alain Bellenger.

Bilan technique et perspectives d'avenir

"Les entreprises ont bien joué le jeu et ont même doublé les exigences au niveau des tolérances, ce qui a apporté une sur-qualité au niveau de la plateforme. Ainsi, le choix d'une forme spécifique en sous-face des dalles, pour éviter leurs battements et un lit de pose adapté ont abouti, au final, à une portance de type PF3+ au lieu de PF2



Le levage des dalles s'effectue à l'aide d'un engin de chantier courant, muni d'un système de ventouse.

QUATRE MARCHÉS POTENTIELS POUR LA C.U.D.

Cette nouvelle technique devrait répondre parfaitement aux besoins de quatre types de marchés :

- **les rues de centre-ville** : car elles se caractérisent par un faible trafic poids lourds, une vitesse modérée des véhicules, une géométrie irrégulière, une forte densité de population riveraine et l'existence d'un tissu urbain bâti assez dense ;
- **les boulevards et autoroutes urbaines** : parce que le tracé de ces voies est plus rectiligne et le trafic plus agressif (poids lourds plus nombreux et vitesses plus élevées) ;
- **les lotissements neufs** : de nouvelles rues, au trafic faible et peu agressif, seront construites en laissant une plus grande liberté aux concepteurs, qui pourront ainsi choisir leur technologie préférée ;
- **les chaussées de tramway** : les interruptions de trafic devant être limitées le plus possible, ce type de chaussée présentera un très grand intérêt. De plus, les réseaux existants resteront en place alors qu'actuellement, pour la construction d'une ligne de tramway, on est obligé de déplacer tous les réseaux sous l'emprise.

demandé" précise Chryslain Leroux. Stéphanie Detourbe, ingénieur et coordinatrice de l'unité matériaux de chaussée du CETE / LRPC de Rouen, s'est chargée du suivi du chantier, des essais sur les dalles ainsi que des prélèvements lors de la mise en œuvre. Un suivi des processus de démontage-remontage de 2008 et 2009 est prévu, ainsi qu'un contrôle visuel de l'évolution de la structure, de l'apparition des fissures et des déformations. "Il s'agit d'un procédé intéressant et prometteur. Ses fortes potentialités devraient s'exprimer dans beaucoup de cas de figures, autres que celui d'une chaussée rectiligne : virages, pentes plus importantes, caniveaux centraux à double pente... Il nous reste aussi de nombreux axes de réflexion à développer en fonction de la nature des couches de



Pour intervenir sur un réseau de chaussée urbaine démontable, il suffit de soulever quelques dalles, puis de creuser.

forme et du format des dalles" confie Stéphanie Detourbe.

"Les retours d'expérience permettront de constater si les différents exploitants se sont bien appropriés cette technique et aussi, au niveau de l'opération de recherche du LCPC, d'améliorer cette technologie pour en assurer la diffusion à l'échelle nationale. La publication d'un guide de réalisation est d'ailleurs prévue au cours du second semestre 2008" ajoute François de Larrard.

Un bilan économique en coût global

Sur le plan économique, dresser dès à présent un bilan de cette opération reste encore délicat.

Le surcoût, estimé à 15 %, est inéluctable par rapport à une voirie traditionnelle. Cependant, il sera largement compensé en termes de sécurité (l'ouverture de tranchées comporte toujours un risque), de raccourcissement de tous les délais d'intervention, de réduction de la gêne aux usagers (moins de bruit, de pollution, de difficultés de stationnement et de circulation), d'esthétisme de la voirie (on évite ainsi les "rustines"), d'incidences sur l'activité commerciale et de coûts de fonctionnement (car la réfection

intégrale du revêtement de la chaussée est supprimée).

Un raisonnement en coût global s'impose donc, tout en gardant présent à l'esprit que le surcoût diminuera avec la multiplication future des chantiers de C.U.D. ■

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Plan masse : rue droite, tronçon de 90 x 7 m

Raideur de la plate-forme : PF2 (demandée), PF 3 (obtenue)

Durée de vie structurelle, avec probabilité de rupture en fatigue (5 %) : 30 ans

Trafic phase de chantier : 50 poids lourds/jour (total : 50 000 PL)

Trafic en phase de service : 10 poids lourds/jour (total : 100 000 PL)

Glissance, confort, bruit : comparables à une solution classique en enrobés 0/6

Temps d'ouverture de la C.U.D. : 30 minutes

Temps de fermeture de la C.U.D. : 4 heures (y compris matériau de remblayage)

Largeurs des fouilles : 0,4 m à 2 m

Profondeurs des fouilles : 0,60 m à 1,5 m

Saint-Etienne : le béton désactivé choisi pour valoriser la gare TGV

Le béton désactivé, employé conjointement pour la zone tramway, une partie du parvis et la zone centrale du mail, participe pleinement au renouveau des abords de la gare TGV Châteaureux à Saint-Etienne (Loire).

Avec l'arrivée d'un nouveau tramway venant du centre-ville, la gare TGV Châteaureux, à Saint-Etienne, et les espaces publics avoisinants ont été complètement réaménagés autour d'un vaste parvis. Celui-ci se prolonge par un ample mail planté - l'esplanade de France - qui comporte 14 quais pour bus et cars, et devient le nouvel espace structurant de la Cité des affaires de Saint-Etienne. À partir du parvis, un pôle urbain multimodal s'organise avec, pour limite, à l'Ouest le nouveau parking dessiné par l'Agence d'architecture et d'urbanisme Patrick Chavannes (AAUPC), qui prend place sur la boucle de retournement du tramway. Ainsi, à partir d'une contrainte d'aménagement, est née une solution élégante avec un parking associant niveaux privés (loueurs de voitures) et niveaux publics.

Un matériau facile à vivre

Cette ligne de tramway, la deuxième à Saint-Etienne, privilégie le béton désactivé dans toutes les zones

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Communauté d'agglomérations Saint-Etienne Métropole

Maîtres d'œuvre : Systra, Bureau d'études Arcadis, AABD et Bruno Dumétier

Architectes pour le parking : AAUPC (Agence d'architecture et d'urbanisme Patrick Chavannes)

Entreprises : Eurovia et Sols Confluence pour la partie en béton désactivé, Chagnaud pour le parking

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments



qui ne sont pas végétalisées. Ainsi, aux abords de la gare, le béton désactivé trouve facilement sa place, à côté du granit, sur une partie du parvis, dont la surface atteint 7 000 m².

La solution béton désactivé a également été choisie entre les arbres, sur la bande centrale du mail.

"C'est un matériau tendance qui répond bien aux goûts des architectes et des aménageurs, à mi-chemin entre le rustique et le noble. C'est aussi un matériau facile à vivre, facile à entretenir et qui vieillit très bien" explique Alain Chaussinand, chef du projet tramway à la communauté d'agglomérations de Saint-Etienne Métropole. ■





Les pavés béton à infiltration représentent une solution écologique qui permet d'infiltrer durablement la totalité des pluies moyennes et d'écarter sensiblement les pluies d'orage. Cette technique parvient aussi à préserver les avantages esthétiques, très souvent décisifs, proposés par les pavés en béton.

Le pavé béton à infiltration : la solution pour évacuer les eaux pluviales

Pour lutter contre la perte d'énormes quantités d'eaux pluviales, due à l'utilisation croissante des revêtements totalement imperméabilisés, les pavés béton à infiltration apportent une véritable réponse, à la fois économique et écologique.

L'extension du nombre des surfaces construites et des réseaux routiers a créé une imperméabilisation croissante des sols. Résultat : cela a multiplié mécaniquement le volume des eaux de ruissellement qui ont alors engorgé les réseaux d'assainissement et contribué à générer toutes sortes de pollutions. Paradoxe supplémentaire : certaines collectivités augmentent les capacités de leurs réseaux, non pas en fonction du rejet des eaux usées, mais pour faire face à ces problèmes d'eaux de ruissellement !

Une étude menée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse met en lumière les coûts des travaux pour lutter contre la pollution des eaux pluviales : "Pour les seuls réseaux unitaires, explique Jean-Philippe Deneuvy, chef du bureau de lutte contre la pollution au Ministère de l'Environnement, les sommes estimées vont de 3,8 à 4,5

milliards d'euros. Et il faut compter des sommes équivalentes pour les réseaux séparatifs. Quant au risque d'inondation, il exigerait de 9 à 13 milliards d'euros".

≡ L'engorgement des réseaux d'assainissement

Pour suivre l'extension géographique des communes, les réseaux actuels ont été constitués par adjonctions successives. Mais l'imperméabilisation croissante des anciennes et des nouvelles zones a été souvent mal estimée, ce qui crée d'importants risques. En effet, la grande vitesse d'écoulement des eaux pluviales sur ces surfaces imperméabilisées apporte, dans le réseau, des volumes d'eau très importants, en un temps très court.

Dans les réseaux unitaires, ces eaux sont mélangées aux effluents des égouts et rejetées ensuite dans les

réseaux d'assainissement. Dans les réseaux séparatifs, ces eaux sont dirigées directement dans les rivières par des conduites souterraines.



Résultat : tout cela engendre un surdimensionnement coûteux des réseaux, ainsi qu'une saturation et un mauvais fonctionnement des stations d'épuration. De plus, pendant les pluies d'orage, les polluants déposés dans les réseaux sont évacués rapidement et sans traitement préalable, provoquant une pollution des cours d'eau.

Une imperméabilisation croissante et non contrôlée

Dans les zones à forte densité de population, des surfaces de plus en plus importantes sont imperméabilisées sans qu'aucun contrôle réel ne soit effectué. L'eau de ruissellement à évacuer est de 40 % dans les zones pavillonnaires et de 100% dans les zones urbaines, alors qu'elle est très faible, voire nulle, dans la nature.

L'imperméabilisation croissante ne perturbe pas seulement le système d'assainissement, mais conduit aussi à des risques d'inondation. Des études ont montré que le débit des hautes eaux d'un bassin versant augmente, en moyenne, dans une proportion de 40 à 60 % par rapport à la surface imperméabilisée.

Dans les zones urbaines et les grandes villes, le bilan énergétique normal est alors perturbé. Les villes gardent de la chaleur, car les bâtiments et les rues absorbent une grande quantité



d'énergie solaire par l'effet rebond du soleil entre le sol et les façades des immeubles. Et les couleurs sombres, en particulier celle de l'enrobé des rues, accentuent ce phénomène. Cette énergie, captée le jour, est ensuite restituée la nuit.

Il est fréquent de mesurer des écarts de température nocturne allant jusqu'à 10 degrés entre le centre-ville et les zones résidentielles. Normalement l'évaporation des eaux consomme de la chaleur et abaisse la température. Mais l'eau évacuée en surface n'est plus là pour remplir ce rôle. Résultat : ce manque d'évaporation crée un air sec et fait souffrir la végétation.

Enfin, l'eau d'infiltration parvenant jusqu'à la nappe ne suffit souvent plus pour la renouveler, alors que les prélèvements pour les besoins industriels et ménagers augmentent.

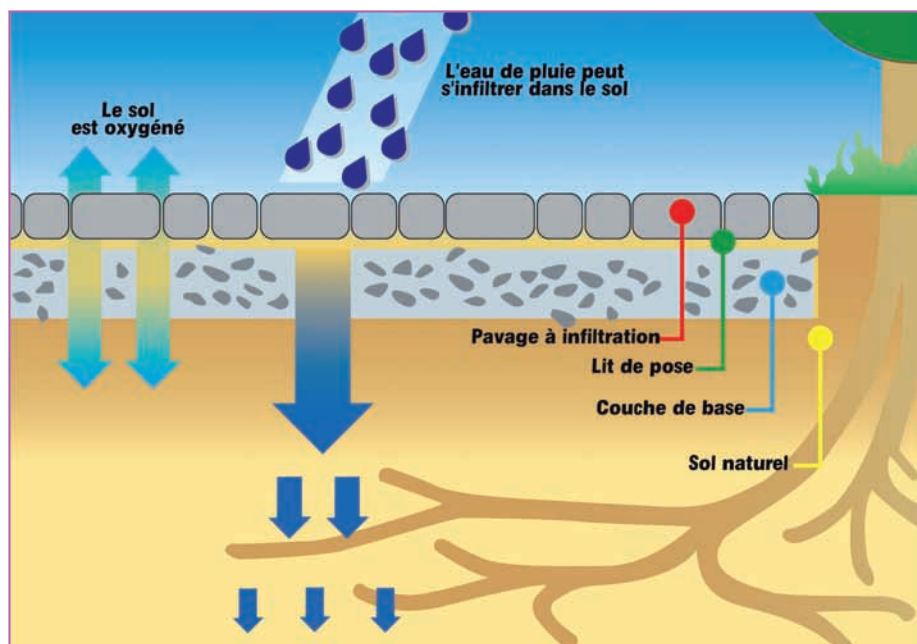
La solution écologique des pavés béton à infiltration

Le revêtement pavé classique a toujours été considéré, à juste titre, comme un revêtement légèrement poreux et les techniques de pose tiennent compte de ce phénomène. Depuis une dizaine d'années, les producteurs ont conçu et mis sur le marché des pavés en béton, capables d'évacuer d'importantes quantités d'eau.

Économiquement, le choix du système de pavage à infiltration est pertinent car cette solution permet d'infiltrer durablement la totalité des pluies moyennes et d'écrêter sensiblement les pluies d'orage. Cette technique d'infiltration n'est pas la seule, mais elle est probablement unique, car elle parvient à préserver les avantages esthétiques, très souvent décisifs, proposés par les pavés en béton. Ceux-ci assurent l'infiltration de l'eau par leur constitution ou par des dispositifs de joints élargis et filtrants.

Les quatre types de pavés à infiltration

La pose des quatre types de pavés existant sur le marché se fait avec des





jointes remplis par un gravillon filtrant concassé ou roulé de 2 à 5 mm :

- **Le pavé perforé.**
- **Le pavé évidé :** l'eau passe par des cavités d'infiltration se trouvant dans le pavé ou sur son pourtour. Les pavés sont de forme rectangulaire ou à emboîtement. Les vides peuvent former jusqu'à 30 % de la surface.

L'eau s'infiltré dans les joints larges (1 à 3 cm), formés par des saillies d'écartement disposées sur les côtés des pavés.

- **Le pavé à saillies d'écartement :** l'eau s'infiltré dans les joints larges (1 à 3 cm), formés par des saillies d'écartement disposées sur les côtés des pavés.
- **Le pavé poreux :** l'eau passe à travers le pavé, constitué d'un béton poreux, et à travers les joints.

Combattre la stagnation des flaques d'eau

L'un des avantages majeurs des pavés en béton provient de leur large palette de formes, de couleurs et d'aspects de surface, qui apportent des atouts esthétiques indéniables aux architectes et paysagistes.

Autre avantage de taille : les pavés béton permettent également d'éviter la formation gênante des flaques d'eau importantes et stagnantes, ce qui rend les eaux de pluie moins gênantes pour

les habitants sur les cours et terrasses, les aires de stationnement, les cours d'école, les voies d'accès pompiers, les parkings des zones commerciales, les rues à faible circulation, les voiries tertiaires de lotissement...

Ce système ne doit pas être utilisé pour les zones de captage d'eau potable, les routes dont le trafic est classé de T1 à T3+, les endroits où la nappe phréatique est à une profondeur inférieure à 2 m et les zones où la pollution est supérieure aux normes fixées par la Loi sur l'eau.



DIMENSIONNEMENT ET RÈGLES DE MISE EN ŒUVRE

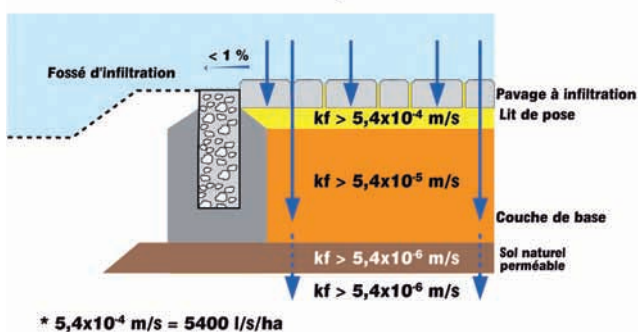
La mise en œuvre des pavages en béton répond à des règles précises. Voici les principales :

- Déterminer la quantité d'eau de ruissellement à absorber.
- Choisir un pavage à infiltration, permettant d'absorber durablement l'eau de ruissellement.
- Prévoir, par sécurité, un moyen d'évacuer les eaux excédentaires des orages exceptionnels, vers un point bas, des fossés, des noues, un réseau enterré,...
- Réaliser une pente la plus faible possible, c'est-à-dire inférieure à 1 % en général, à 3 % sur les voies circulées et, dans tous les cas, inférieure à 5 %.
- Remplir les joints avec un gravillon concassé de 2/5 mm pour les pavés à joints élargis et de 1/3 mm pour les

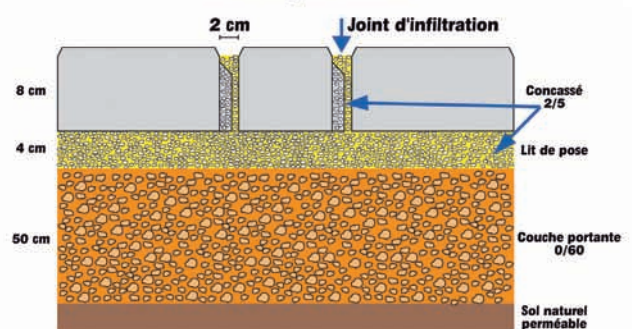
pavés poreux.

- Choisir un matériau de la couche de pose identique à celui des joints.
- S'assurer que les couches de base portantes puissent résister aux surcharges, être hors gel et suffisamment perméables, donc avec un coefficient de perméabilité $k_f > 5,4 \times 10^{-5}$ m/s. Les matériaux utilisés sont des tout-venant ou des concassés de granulométrie 0/50 ou 0/60. Il convient aussi de vérifier la capacité drainante des couches de base : capacité de filtration, critère d'érosion, critère de stabilité ≥ 10 .
- Contrôler que la perméabilité du sol naturel ait bien un coefficient $k_f \geq 5,4 \times 10^{-6}$ m/s. Cette dernière doit être connue ou vérifiée par des tests.

Fondation d'une aire circulée sur un sol perméable



Détail de pavage à infiltration sur sol perméable





Aéroport Paris-Vatry (Marne) : l'atelier complet de traitement des sols au liant hydraulique routier en action. Cette technique, utilisée pour la couche de forme, est particulièrement bien adaptée à la nature du sol de la Champagne crayeuse.

Aéroport Paris-Vatry : dallage béton et traitement des sols

Situé à 150 km à l'est de Paris, l'aéroport Paris-Vatry est spécialisé dans le fret et la logistique. En développement, il avait besoin de s'agrandir. Le Conseil général de la Marne, son propriétaire, a donc décidé une importante extension des parkings avions.

Ouvert début 2000 à l'initiative du Conseil général de la Marne, l'aéroport de Vatry est installé sur les emprises d'une ancienne base aérienne américaine évacuée en 1967. Le 16 septembre 2006, le code "PAR" a été obtenu, le classant ainsi parmi les aéroports de l'aire métropolitaine de Paris. Et pour mieux l'identifier à la zone qu'il dessert, il a d'ailleurs pris le nom d'Aéroport Paris-Vatry. En 2007, avec 18 810 mouvements d'avions, l'aéroport a traité 37 279

tonnes de fret, le plaçant à la troisième place pour le tonnage traité, derrière Marseille et Toulouse. Parallèlement, l'activité passagers est essentiellement dédiée aux vols d'aviation d'affaires et VIP, avec une nouvelle aérogare achevée fin 2004.

Des travaux d'un montant de 14 millions d'euros

"Pour répondre au développement de notre aéroport, il devenait indispensable d'agrandir les parkings avions, précise Alain Goret, directeur-adjoint du Programme "Aéroport Paris-Vatry" au Conseil général de la Marne, maître d'ouvrage du projet. Cette extension d'environ 100 000 m², y compris la bretelle de raccordement, les voies de circulation et les accotements, est située sur deux zones distinctes et porte donc sur deux tranches de travaux. Côté est de l'aéroport, l'exploitation, depuis mai 2007, d'une seconde aérogare de fret

capable de traiter 80 000 tonnes/an nécessitait une extension du parking. Ce fut l'objet de la première tranche qui s'est achevée au début mars 2008. Quant à la seconde tranche, elle concerne, côté

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Conseil général de la Marne

Maîtres d'œuvre : Aéroports de Paris Ingénierie (ADPI) - EGIS Route France

Entreprises titulaires du marché : Groupement Guintoli / Muller TP (Groupe NGE) (terrassement) / Eurovia Béton (mandataire du groupement) / Agilis (béton) / Eurovia Champagne-Ardenne (enrobés bitumineux) et DCP Airports (balisage et éclairage)

Fournisseur du béton : Masoni-Béton 51 (centrale de Sommesous)

Fournisseur du ciment et du liant hydraulique routier : VICAT (Direction régionale Est)



Les dallages en béton ont été réalisés avec une machine à coffrage glissant.

© Michael Brunn

ouest, un nouveau parking situé face à la nouvelle aérogare passagers”.

La première tranche porte sur 31 000 m² et permet le stationnement simultané de deux avions de code E type Airbus 330, 340, Boeing 747, 777 (en “nose in”, c’est-à-dire le nez face à l’aérogare) ou d’un avion de code F comme l’Airbus 380 (en autonome).

La seconde tranche, plus importante, qui concerne la construction de 63 500 m² (dont 27 000 m² de parking à revêtement béton), autorise le stationnement de trois avions de code D et d’un avion de code E ou de deux de code C et d’un de code E.

Les marchés de travaux (14 millions d’euros) ont été répartis en deux lots : un lot “Génie civil” (terrassement, réseaux d’assainissement, chaussées souples et rigides) et un lot “Électricité” (mâts d’éclairage, feux de balisage...).

Des Dallage béton et enrobés bitumineux

“Pour le parking fret, Agilis a réalisé 16 000 m² de dallage en béton et Eurovia Vitry-le-François 15 000 m² d’enrobés bitumineux”, explique Michel Brun, conducteur de travaux chez Agilis. Sur cette zone de fret, la couche de fondation en béton maigre a une épaisseur de 15 cm, soit 2400 m³ de béton, et la couche de roulement est épaisse de 36 cm, soit 5800 m³ de béton. Sur le total des 63500 m² du parking passagers, 27000 m² sont en dallage béton sur les zones de stationnement, le reste se répartissant en 26500 m² de béton bitumineux aérien (BBA) sur les zones circulées et 10000 m² de béton bitumineux semi-grenu (BBSG) sur les accotements. Ici, la couche de fondation est également de 15 cm d’épaisseur, soit 4 000 m³ de béton, tandis que la couche de roulement est de 40 cm, ce qui représente environ 11000 m³ de béton. Ainsi, à fin juillet 2008, nous aurons mis en œuvre plus de 23 000 m³ de béton”.

Un traitement des sols en deux phases

En dessous des couches de roulement et de fondation, et sur toute la surface des parkings, a été réalisé un complexe



Au total : 16 000 m² de dallage en béton pour le parking fret et 27 000 m² pour le parking passagers.

arase terrassement / couche de forme en matériaux du site, traités au liant hydraulique routier, d’une épaisseur totale de 75 cm.

“Par ses avantages économiques et environnementaux qui ne sont plus à démontrer, la technique de traitement des sols aux liants hydrauliques routiers se prête parfaitement à ce type de chantiers et s’impose d’elle-même, précise Ludovic Casabiel, responsable Marchés “Travaux Publics”, Ciments et Liants hydrauliques chez VICAT. Pour cela, nous avons fabriqué 10 000 tonnes de liant dont 3 700 pour l’aire de fret et 6 300 pour l’aire commerciale, le produit étant livré par des semi-remorques, à raison de près de 350 tonnes par jour. Encore une fois, il est à noter que l’anticipation et la bonne communication entre tous les maillons de cette opération – production, logistique, mise en œuvre sur le chantier – ont permis une coordination parfaite des livraisons en liants hydrauliques routiers et ainsi, une bonne réalisation de la mise en œuvre. Ce traitement des matériaux en place, essentiellement de la craie, a été fait selon la technique habituelle : préparation du sol, ajustement de l’état hydrique, épandage du liant, malaxage, premier compactage, réglage puis compactage final”.

Emmanuel Tori, chef de secteur chez Muller TP (Groupe NGE) en charge des travaux de terrassement, ajoute : “Au regard des capacités de nos ateliers de traitement – le malaxeur ne pouvant pas traiter à plus de 50 cm de profondeur – et afin d’obtenir les compacités requises, le traitement de sol a été réalisé en deux phases. Nous avons donc d’abord traité la partie supérieure de terrassement sur une épaisseur de 35 cm, puis rapporté et

traité la couche de forme sur une épaisseur de 40 cm”.

Pour Frédéric Desforges (Eurovia Béton), directeur des travaux : “Il convient de noter qu’entre les couches de forme et de fondation a été réalisée une couche d’accrochage avec une émulsion gravillonnée. Et entre les couches de fondation et de roulement, une couche d’émulsion non gravillonnée”.

Des travaux sans impact sur l’activité de l’aéroport

Fait important : tous ces travaux ont été réalisés sans jamais interrompre l’activité de l’aéroport. Le phasage des travaux, par exemple, a été établi afin de permettre un trafic aérien normal tout en garantissant des conditions de travail optimales. Et les contrôles d’accès en zone réservée pouvant pénaliser la bonne marche des travaux dans l’enceinte aéroportuaire, il a été prévu, dès l’appel d’offres, d’isoler totalement la partie travaux du reste de l’aéroport. ■

FORMULATION DES BÉTONS (POUR 1 M³)

Béton maigre (couche de fondation – formule hiver)

Ciment CEM I 52,5 N CE CP2 NF (usine Vicat à Xeuilley) : 200 kg

Granulats 6,3/20 (carrières Roussey de Saint-Christophe) : 1 080 kg

Sable 0/4 (carrières Roussey de Saint-Christophe) : 900 kg

Eau : 160 litres

Plastifiant 390 N BASF : 0,30 %

Micro air 200 BASF : 0,40 %

Béton de roulement (couche de roulement – formule hiver)

Ciment CEM I 52,5 N CE CP2 NF (usine Vicat à Xeuilley) : 330 kg

Granulats (carrières Bocahut à Avesnes-sur-Helpe) : 16/31,5 (580 kg) et 6,3/20 (550 kg)

Sable 0/4 (carrières Roussey de Saint-Christophe) : 780 kg

Eau : 150 litres

Plastifiant 390 N BASF : 0,60 %

Micro air 200 BASF : 0,50 %



Zone industrielle de Dinard (Ille-et-Vilaine) : vue de l'ensemble de l'Atelier de Retraitement de Chaussée (ARC 700) travaillant pour Appia Bretagne.

Dinard : retraitement en place au liant hydraulique routier sur 30 cm

Dans la zone industrielle de Dinard, le retraitement en place d'une chaussée au liant routier a été réalisé sur toute son épaisseur. Conséquences : une parfaite homogénéité, donc une grande résistance, gage certain de performances et de durabilité. Autre avantage en site urbain : une remise en circulation immédiate.

Réduire le trafic induit par le chantier de construction grâce à la circulation quotidienne de 10 camions de livraison en liant hydraulique routier, au lieu de 900 camions pour la technique classique des déblais/remblais : c'est l'un des avantages de la solution proposée par Appia Bretagne.

Au départ, une chaussée large de 8 m et longue d'un kilomètre dans la zone industrielle de Dinard. Une route soumise à un fort trafic de poids lourds et de transporteurs, car elle dessert une importante usine de production de fertilisants et de polymères du groupe Roullier. Peu entretenue, la chaussée existante est revêtue d'un tapis de 7 à 8 cm d'épaisseur fortement faïencé, avec de nombreuses zones à purger. Dernier détail : la route n'ayant qu'une entrée et qu'une sortie, il est impossible de la barrer en totalité.

Le retraitement en place comme variante

La solution de base, classiquement retenue, consiste à purger les zones qui l'exigent, avant de réaliser une nouvelle couche de roulement, le tout avec une durabilité incertaine. Mais dans le cas présent, cette route a pour elle un atout majeur : un support granulaire réutilisable.

"Nous avons eu l'idée de proposer



La machine d'épandage applique la quantité adéquate de liant au m².

comme variante un retraitement en place de la chaussée sur toute son épaisseur, soit 30 cm. Une opération salubre pour l'environnement car les matériaux utilisés sont ceux du site même. Résultat : pas de déblais, pas d'apports de matériaux nouveaux, autres que le liant, et une circulation de poids lourds réduite au strict minimum. D'où une sérieuse diminution de la pollution due au transport et une moindre usure de la voirie avoisinante" explique

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre : Mairie de Dinard, Service des travaux et de l'urbanisme

Entreprise : Appia Bretagne, établissement d'Eiffage Travaux publics Ouest

Fournisseur liant hydraulique routier : Lafarge Ciments

Jérôme Marsal, conducteur de travaux chez Appia Bretagne.

Par rapport à la solution de base, le surcoût apparent de cette variante est très vite compensé par les économies réalisées sur le poste "entretien", quasiment inexistant avec cette technique. En raisonnant en coût global, la variante ressort clairement gagnante.

Une grande régularité de dosage en liant et en eau

Pour ce chantier, Appia Bretagne a employé l'Atelier de Retraitement de Chaussée ARC 700. Il se compose de deux unités mobiles se déplaçant à la même vitesse, ce qui assure une bonne régularité du dosage en liant, pendant qu'une rampe de brumisation permet de le plaquer au sol.

"Pour vérifier le bon dosage en ciment, il suffit de disposer sur le parcours de la machine une toile d'un mètre carré" confie Jérôme Marsal. La seconde unité, sur chenilles, se charge de fraiser la chaussée sur une largeur de 2 mètres avec ses 224 dents au carbure de tungstène.



LARC 700 défonce l'ancienne chaussée sur 30 cm d'épaisseur.

Une lame flottante assure le nivellement du fond de forme de la chaussée, tandis que les matériaux récupérés sont dirigés vers le malaxeur indépendant. Sa conception assure une parfaite homogénéité transversale et verticale du traitement, grâce à ses 26 palettes. Ensuite, sa vis de répartition intégrée ainsi que sa lame arrière d'épandage/réglage se chargent de mettre en place le mélange et de le régler. L'opération se termine par un arrosage strictement contrôlé et un compactage au rouleau compresseur.

"L'intérêt du procédé réside dans la grande régularité de dosage en liant et en eau - tous deux asservis à la vitesse



Matériaux extraits et liant sont mélangés, pendant que l'arrosage régulier est asservi à l'avancement des machines.

régulière d'avancement du train de machines - ce qui garantit un résultat parfaitement homogène du début à la fin du chantier. Il s'agit, en quelque sorte, d'une centrale mobile de blanc" souligne Jérôme Marsal.

Sélectionner le dosage de liant le plus approprié

Ce projet de retraitement a fait l'objet, au préalable, d'une étude de faisabilité dans les laboratoires d'Eiffage Travaux publics. "Différents ciments ont été testés avec les matériaux du site. Certains d'entre eux donnaient de bons résultats en termes de performances mécaniques, mais ne permettaient pas une remise rapide en circulation. Au final, notre choix s'est porté sur le liant hydraulique routier Rolac 645 SP de Lafarge Ciments, fabriqué à Saint-Pierre-la-Cour" signale Jean-Marcel Rivière, chef du Service des procédés spéciaux, chez Appia Grands Travaux. Les tests préliminaires ont conclu que le dosage le plus approprié était de 4 % de liant hydraulique routier, ce qui représente environ 25 kg au m², soit un total de 250 tonnes.

Un certain nombre de précautions conditionnaient la bonne réussite de l'opération. "Une des plus importantes consistait en une intervention préalable sur tous les regards qui doivent être mis à la cote "moins 30 cm" avant le passage de la machine. Il y avait à cela deux raisons :



Le compactage final permet une remise en circulation immédiate.

éviter, d'une part, un point dur au niveau du dispositif de fraisage et, d'autre part, le ralentissement du train de machines. Sinon certaines zones auraient été un peu trop hydratées et donc trop molles, en raison de l'asservissement de la distribution en eau à la vitesse d'avancement" commente Jean-Marcel Rivière.

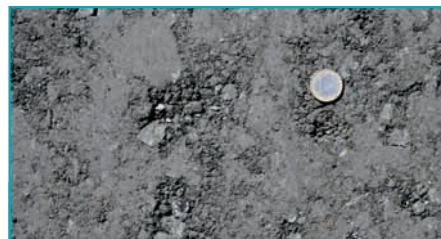
La nécessité d'une remise en circulation immédiate

Un tel chantier, réalisé sous circulation, impose évidemment une grande rigueur en matière de logistique et de sécurité. Ainsi, par exemple, le poste sécurité/balisateur mobilise, à lui seul, trois personnes en permanence. Réalisé sur 4 jours par demi-chaussée - un côté le matin, l'autre l'après-midi - le chantier se devait de gêner le moins possible la circulation.

Le seul moment délicat, nécessitant brièvement l'arrêt de la circulation, a été celui du changement de côté du train de machines. "Grâce à la bonne coordination entre l'équipe du chantier et les personnels de l'usine, ainsi que les transporteurs, tout s'est passé au mieux" conclut Jérôme Marsal.

Immédiatement après le passage du compacteur, on a pu remettre en circulation la nouvelle chaussée, grâce à sa parfaite homogénéité et à sa grande résistance. Au bout d'une semaine, l'application d'une couche de roulement en enrobé a été alors possible. Réalisé par demi-chaussée, ce chantier a progressé à une cadence de 2 500 m²/jour.

C'est la première fois que cette technique est employée en Bretagne, alors qu'elle l'est plus couramment dans l'Est de la France où les matériaux commencent à se faire rares. ■



Gros plan sur le mélange homogénéisé des matériaux extraits et du liant.



Remue-méninges

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

Un problème de pesée

Le contrôleur des poids et mesures est consterné. La machine qui fabrique les poids de 10 milligrammes s'est légèrement dérégulée et l'un des 25 lots qu'elle a fabriqués dans la matinée ne contient que des poids de 9 milligrammes. Il va falloir vérifier tous ces lots, un par un ! Ce qui représente 25 pesées à effectuer !



Question : serait-il possible au contrôleur d'identifier le lot défectueux avec une seule pesée ?

Solution du Remue-méninges de Routes N°103 : Quel est le nom du Général ?

Rappel du problème posé : pendant la guerre de 1914-18, un obus autrichien tombe sur les lignes adverses. L'explosion met au jour une pertuisane (sorte de hallebarde légère) ayant servi lors d'une bataille passée. Un officier la ramasse et la remet, le soir même, à l'intendance en allant toucher sa solde.

Sachant que :

- la pertuisane mesure "x" pieds de long,
 - que l'on est le "n^{ème}" jour du mois,
 - que la pertuisane a servi exactement "4A" années avant l'explosion,
 - que le Général, qui gagna la bataille où servit la pertuisane, avait "2y" années quand il mourut,
 - que le produit : $x.n.A.y = 225\,533$
- peuvez-vous trouver le nom du Général ?

Solution : réduisons le nombre 225 533 en nombres premiers. Nous obtenons : $225\,533 = 7 \times 11 \times 29 \times 101$
Ces quatre nombres premiers doivent représenter "x", "n", "A" et "y".

Regardons d'abord "x" : ce nombre ne peut avoir comme valeur que "7", sans quoi la pertuisane serait trop longue. "A" ne peut être égal qu'à "101" car $4 \times 101 = 404$ ans, et c'est l'époque où l'on se servait de pertuisane. Cherchons "n" : le fait que l'officier a touché sa solde le soir même implique que "n" ne peut être égal qu'à "29". Nous en déduisons donc que "y" = 11 et que le Général est mort à l'âge de 22 ans.

Il faut maintenant trouver l'année de la guerre 1914-1918 où cela s'est passé. C'est une année bissextile, car le 29 est le dernier jour du mois (paiement de la solde) de février, tous les quatre ans : donc le 29 février 1916. Si nous remontons de 404 ans, nous avons aussi une année bissextile : 1512. La bataille a donc eu lieu le 29 février 1512. C'était le temps des guerres d'Italie. Comme on nous parle d'un obus autrichien, il est certain que ce sont les Italiens qui sont sur la ligne adverse. Or le 29 février 1512, à Ravenne en Italie, le **Général Gaston de Foix** avait gagné la bataille, mais était mort en poursuivant les vaincus. Il avait 22 ans.

Vient de paraître

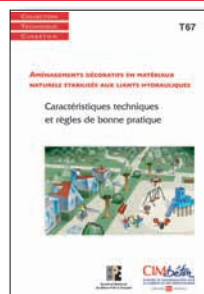
Aménagements décoratifs en matériaux naturels stabilisés aux liants hydrauliques

Caractéristiques techniques et règles de bonne pratique

Ce document de 32 pages présente les solutions envisageables pour satisfaire aux exigences esthétiques et parfois économiques des voiries, sans ou à très faible circulation automobile.

Référence : T 67

Ce document est disponible gratuitement auprès de Cimbéton par fax au 01 55 23 01 10, par email à centrinfo@cimbeton.net ou par téléchargement sur le site www.infociments.fr



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
Site Internet : www.infociments.fr



Agenda

Journées techniques Cimbéton

Nous vous informons que Cimbéton organise 4 journées techniques sur les thèmes du **Traitement des sols** et du **Retraitement des chaussées aux liants hydrauliques**. Elles se dérouleront à Nancy (22 octobre 2008), Bordeaux (novembre), Nantes (décembre) et Lyon (janvier 2009).
Invitations disponibles sur simple demande auprès de Cimbéton.

SYMPOSIUM TREMTI 2009 12, 13 et 14 novembre à Antigua (Guatemala)



Après Salamanque (2001) et Paris (2005), la 3^e édition du Symposium TREMTI sur le Traitement et le Retraitement des Matériaux pour Travaux d'Infrastructures aura lieu l'année prochaine au Guatemala, dans l'hôtel "Casa Santo Domingo" de la ville d'Antigua.

INTERROUTE&VILLE à Rennes 23 au 25 septembre 2008

Cimbéton, le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi et le Syndicat National du Pompage du Béton seront présents à la 3^e édition du congrès INTERROUTE, dénommé désormais INTERROUTE&VILLE. Ce congrès se fixe à Rennes, ouvre son offre à l'aménagement de la voirie urbaine, crée la Place de l'Innovation et s'enrichit de 40 sessions et de 200 conférenciers !

Pour en savoir plus : www.interroute-ville.com