

Routes

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



RÉFÉRENCE

Grand Lyon :
du BCMC pour résister
aux nombreux arrêts
des trolleybus

LE POINT SUR

Ligne à Grande Vitesse Est :
une voie expérimentale
en béton

CHANTIER

Tunnel de Sinard : les atouts
de la chaussée béton

2 EDITORIAL

3-6 LE POINT SUR



La LGV Est
Voie expérimentale
en béton sur la
Ligne à Grande
Vitesse Est

7-9 CHANTIER



Isère
Tunnel de Sinard :
les atouts majeurs
de la chaussée
en béton

10-11 CHANTIER



Lorraine
Une promenade
cyclable en béton
pour faire renaître
toute une région

12-13 CHANTIER



Ille-et-Vilaine
Un traitement
en place au liant
hydraulique
routier

14-15 CHANTIER



Pyrénées-Atlantiques
Un aménagement
de 30 000 m²
de béton désactivé

16-17 RÉFÉRENCE



Grand Lyon
Du BCMC pour
résister aux
nombreux arrêts
des trolleybus

18-19 RÉFÉRENCE



Bouches-du-Rhône
L'unité esthétique
du centre-ville est
assurée par le béton
désactivé

20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : la promenade cyclable réalisée le long de l'Orne, entre Moselle et Meurthe-et-Moselle, est longue de 23 km et fait appel au béton pour assurer la pérennité de l'ouvrage.

INTERROUTE 2006 : une édition record !

Pour sa 2^e édition, INTERROUTE vient de créer l'événement à Rennes, du 24 au 26 octobre 2006.

Organisé par EXPOSIUM avec l'appui d'un Comité de pilotage constitué de représentants d'entreprises privées, de collectivités territoriales et de partenaires institutionnels – dont **CIMBÉTON en tant que représentant de l'Industrie Cimentière** –, INTERROUTE 2006 a été le reflet du dynamisme du marché de la construction, de l'entretien, de l'exploitation et de la sécurité de la route.

Sur le plan quantitatif, ce fut une édition record. Le Salon/Exposition a accueilli 6566 visiteurs, soit 15% de plus qu'à Montpellier en 2004, et a réuni, sur 15 000 m², 260 exposants – entreprises de construction et fabricants de matériels, d'équipements, de matériaux, de produits ou de services – qui ont pu ainsi présenter les dernières tendances et innovations du marché.

En parallèle de l'Exposition, le Congrès a rassemblé 760 congressistes qui ont assisté aux 25 conférences-débats, animées par 170 conférenciers différents dont l'expertise a été fort appréciée.

Sur le plan qualitatif, ce Salon/Congrès s'est installé comme un événement de référence, au cours duquel tous les acteurs du secteur routier se sont exprimés sur les grands enjeux et les innovations de la profession : décentralisation, sécurité routière, équipements de la route et signalisation, matériels, aménagements urbains et voirie, financements des infrastructures, systèmes de transports intelligents, recyclage des déchets de la route...

Pendant 3 jours, INTERROUTE 2006 a été incontestablement une véritable plateforme de rencontres entre maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage, collectivités territoriales et entreprises privées qui ont pu ainsi échanger sur l'actualité et le devenir de la route et des infrastructures.

INTERROUTE confirme donc sa place de premier rendez-vous de la communauté routière française et européenne.

Le prochain INTERROUTE aura lieu en 2008.

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

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-méninges* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Norvel, Jacques Mandorla - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr - Conception maquette : Dorothee Picard - Dépôt légal : 4^e trimestre 2006 - ISSN 1161 - 2053 1994

Chauconin-Neuf-Montier (Seine-et-Marne) : deux voies expérimentales parallèles, de 1 800 m chacune, ont été coulées en béton, afin de remplacer le ballast.

Une voie expérimentale en béton sur la Ligne à Grande Vitesse Est

Le chantier de la Ligne à Grande Vitesse, qui reliera en 2007 Paris à Strasbourg, puis à l'Est de l'Europe, - ligne appelée "LGV Est européenne" - avance à grand pas. En 2010, Strasbourg sera à 2h20 de Paris, Francfort à 3h45, Munich à 6h... À titre expérimental, une portion de cette ligne a été réalisée, en Seine-et-Marne, entièrement en béton.

Le ballast est utilisé depuis longtemps sur les voies de chemin de fer : cette roche, particulièrement dure – du granit, de granulométrie 25 à 50 mm doté d'une forte angularité – employée à raison de 4,2 tonnes en moyenne par mètre de voie, va-t-elle finir par être condamnée à

disparaître ? Comme on le constate déjà en Allemagne, aux Pays-Bas et au Japon, où de nouvelles solutions viennent d'être mises en place.

Dans notre pays, Réseau Ferré de France (RFF), assisté de la SNCF, a profité de la construction de la ligne à grande vitesse, entre Paris et Strasbourg, pour mener à bien une expérience de voie ferrée assise sur un support en béton.

grande vitesse, endommageant alors la surface des rails et provoquant une usure accélérée de la voie".

Pour s'affranchir de ce désagrément, deux voies expérimentales parallèles, de 1 800 m chacune, ainsi que les aiguillages de jonction, ont été coulées en béton sur la commune de Chauconin-Neuf-Montier, près de Meaux, en Seine-et-Marne. Si des voies ferrées posées sur des dalles bétons existent déjà en France sous terre – c'est le cas pour le RER Éole ou quelques tunnels comme sur l'interconnexion et la LGV Méditerranée ou encore le Transmanche – aucune expérience de ce type n'avait encore été menée en surface et notamment pour des circulations à 320 km/h.

"Cette voie va nous permettre d'effectuer de nombreuses mesures pendant la phase de test avant la mise en service de la ligne pendant l'exploitation commerciale, puis

■ Première expérience de béton ferroviaire en surface

Pour Dominique Valéry, chef de département "Voies" à la direction de l'exploitation de RFF : "La circulation des trains à grande vitesse nous a posé des problèmes sur les voies traditionnelles : en effet, le ballast étant un matériau non stabilisé en surface, il arrive parfois que celui-ci soit aspiré lors du passage des rames à

■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Maître d'ouvrage : RFF
- Maître d'œuvre : SNCF
- Entreprises :
 - Grave-ciment, palplanches et assainissement : Guintoli
 - Armatures : Soralentz
 - Dalle béton : Agilis
 - Pose des voies : ETF-Mecolli-Vecchietti
 - Fournitures matériel des voies : Sateba, Vossloh-Cogifer, Railtech
- Ciment et béton : Holcim

de faire un suivi avec des contrôles et des mesures cycliques” poursuit Dominique Valéry.

Seront notamment mesurés : la température, le déplacement vertical, l'enfoncement de la dalle, l'effort latéral dans les courbes, la charge des roues, ainsi que de nombreuses autres contraintes. Tout comme sera suivi, avec beaucoup d'attention, le fonctionnement des aiguillages inclus dans cette voie bétonnée, à l'aide de trois “appareils de voie”, selon la terminologie ferroviaire : là encore, une première en France.

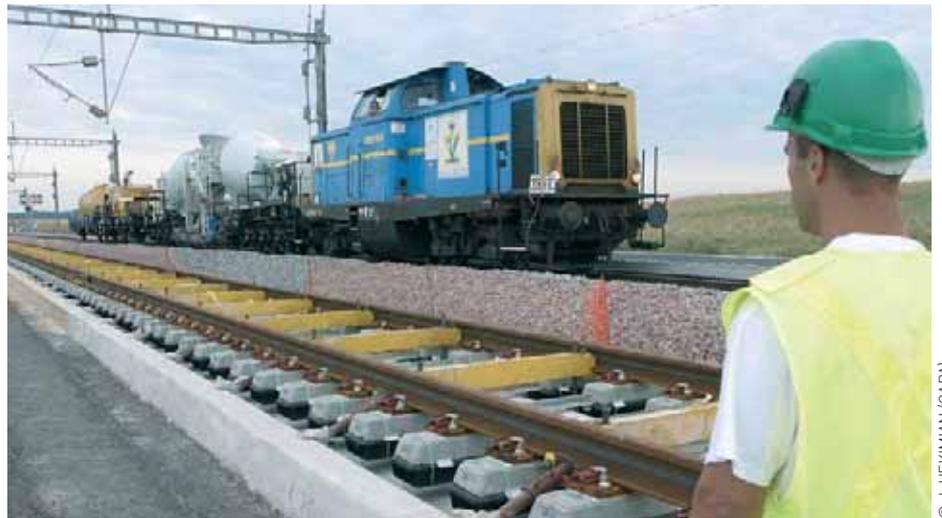
■ Un chantier complexe

Le chantier, réalisé en 2006, a nécessité de l'ingéniosité, de la précision et une organisation sans faille de la part des nombreuses entreprises intervenant sur les différentes étapes, car le chantier longe une voie ferrée provisoire qui sert à la construction du reste de la ligne. Ouverte au trafic des trains du chantier, cette troisième voie a servi à acheminer le béton.

Pour Christophe Chevalier, chargé de mission Chantiers bétons expérimentaux de l'entreprise Agilis, qui a eu la mission de couler les dalles inférieures des deux voies : *“Techniquement, cette dalle est une chaussée avec un profil endenté. Dans certains endroits, inaccessibles aux camions, nous avons acheminé le béton par train, grâce à deux trémies chargées au moyen d'une sauterelle. Pour le reste, nous avons été contraints de créer des pistes spéciales, afin de permettre aux toupiers d'accéder facilement au chantier. À noter que les extrémités des dalles ont été ancrées par un réseau de palplanches”.*



En moyenne, 100 m³ de béton ont été mis en place chaque jour.



© J. HEKIMIAN (CAPA)

La voie provisoire de chantier sert à acheminer le béton jusqu'à la machine à coffrage glissant.

Par ailleurs, faire rouler des trains à plus de 300 km/h implique que la voie soit proche de la perfection : en effet, l'ensemble des travaux a réclamé une très grande précision, les tolérances ne dépassant pas 5 mm !

“Nous avons utilisé une machine à coffrage glissant, une Wirtgen SP500 dotée d'un système de guidage automatique, identique à celui de l'entreprise Guintoli, utilisé pour le guidage de la niveleuse lors de la mise en œuvre de la grave ciment. Il fallait que nous soyons extrêmement précis et que nous respections, par exemple, des devers de 10 % maximum” poursuit Christophe Chevalier. Ces devers qui peuvent atteindre 153 mm dans les courbes, pour un maximum de 180 mm admissible pour les TGV lancés à plus de 300 km/h.

Et Christophe Chevalier de conclure : *“Lorsqu'on ne peut travailler vite, en raison des contraintes du chantier, parvenir à tenir le nivellement est un exercice assez difficile. Sans parler de la forte chaleur qui avait tendance à dérégler les instruments de positionnement : on coulait en moyenne 100 m³ de béton en six heures chaque jour. Par ailleurs, cette voie possède un gros profil puisque nous avons réussi à réaliser 660 litres de béton au mètre linéaire”.*

■ Un ferrailage vraiment impressionnant

Un point important est à noter : si la conception de la voie est classique – une dalle en béton posée sur un socle en grave ciment – son dimensionnement, et notam-

ment celui du ferrailage, est impressionnant : plus de 150 kilos au m³ de béton.

“Il y a plus de 500 tonnes d'acier mises en œuvre pour l'ensemble du projet. Et, conformément aux recommandations techniques, la dalle n'est épaisse que de 15 centimètres. Ce ferrailage a donc été nécessaire pour reprendre tous les efforts dus notamment aux sollicitations dynamiques” confirme Lionel Cayrouse, chef de chantier à la SNCF.

Le béton de la dalle a été dosé à 370 kilos/m³ avec un granulat 0/20, alors que celui réalisé pour sceller les blochets, ces éléments qui supportent les rails et la voie, a été dosé à 320 kg puis il a été fibré pour éviter les micro-fissurations.

Afin d'assurer une bonne adhérence de ces deux bétons, qui ont été coulés successivement, la surface de la dalle a été légèrement désactivée. Par ailleurs, des joints de fissuration de 5 à 10 mm d'épaisseur ont été sciés, tous les 5 mètres, dans la largeur de la dalle.

De plus, pour préserver l'ensemble de la voie des actions des intempéries, une étanchéité est mise en œuvre, soit sur la



© C. SASSO (CAPA)

Pour assurer les transferts de charge, le dimensionnement du ferrailage est de plus de 150 kilos au m³ de béton.



Les joints de fissuration, de 5 à 10 mm d'épaisseur, ont été sciés tous les 5 mètres après le coulage de la dalle. Le profil endenté de la dalle permet de positionner les traverses.

dalle béton inférieure, soit après le scellement des voies. Afin de tester son efficacité une dernière zone sera même réalisée sans étanchéité.

Des barbacanes scellées tous les cinq mètres doivent maintenir l'ensemble de la voie à l'abri de dégâts de l'eau. Pour faciliter la maintenance et un éventuel remplacement des rails, les blochets ont été mis en place sous la protection d'une coque en plastique noir, coulée dans le béton, qui permettra d'intervenir sur la voie pour changer les traverses, sans avoir à casser le béton de scellement.

Toutefois, Dominique Valéry estime le coût du kilomètre, tel qu'il a été conçu et mis en œuvre, à deux à trois fois le coût d'un kilomètre de voie à grande vitesse classique avec ballast.

■ Le béton, un matériau d'avenir

RFF a souhaité réaliser une expérimentation grandeur nature, tant pour connaître les coûts de construction, que les enjeux en termes de maintenance de cette technique. La voie sur dalle présente l'intérêt



© J. HEKIMIAN (CAPA)

Le béton de la dalle une fois durci, les rails sont positionnés avec précision, puis des blochets sont enserrés dans une coque en plastique noir et coulés dans un béton avec fibres métalliques.

d'éviter les micro-projections de ballast lors du passage des trains, qui endommagent les rails, et cette solution assure a priori une meilleure tenue dans le temps de la géométrie de la voie.

Les coûts de construction de la voie sans ballast sont supérieurs à ceux de la voie ballastée classique, ce qui explique la longueur limitée de la zone test. Ces surinvestissements doivent être compensés par une diminution des coûts de maintenance. À travers cet essai, RFF et la SNCF vont acquérir une expérience de voie sans ballast circulée à 320 km/h, dans la perspective des LGV du futur.

Si ces essais, réalisés sur plusieurs années, se révèlent probants, l'emploi généralisé du béton – matériau qui tient mieux dans le temps – pourrait être envisagé sur de futures Lignes à Grande Vitesse.

Et ce d'autant que cette solution technique pourrait être encore optimisée en intégrant des effets d'échelle et les gains attendus sur les volumes terrassés du fait de la réduction des épaisseurs des superstructures.

Le réseau ferré français prendrait ainsi la suite de pays comme l'Allemagne, les

■ LA VOIE BÉTON INAUGURÉE PAR LE PREMIER MINISTRE

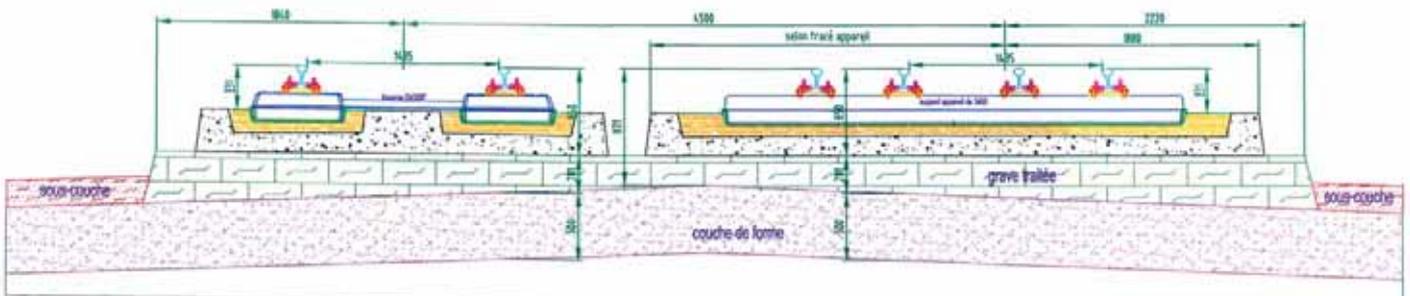
Le 20 septembre 2006, Dominique de Villepin, Premier Ministre, Dominique Perben, Ministre des Transports et Michel Boyon, Président de RFF ont officiellement assisté à la soudure du dernier rail. Pour RFF : "Ce site d'essai d'un tronçon de voie sans ballast, posée sur une dalle béton, va permettre de mesurer, sur la durée, les économies de maintenance à attendre de cette technique sur les lignes à grande vitesse.

L'objectif poursuivi est l'optimisation du coût complet de l'infrastructure sur son cycle de vie, y compris sa maintenance : le retour d'expérience technique et économique servira pour les LGV du futur".



© L. CHARRIER (CAPA)

Pays-Bas ou le Japon, qui ont déjà renoncé à la pierre naturelle pour la construction des voies de chemin de fer et voire même pour la Chine qui a, semble-t-il, confirmé ce choix pour développer son réseau. ●



Coupe en travers de la dalle en grave traitée V1/V2 dans la partie intermédiaire des appareils (localisation : kilomètre 19).

LA LIGNE À GRANDE VITESSE EST, EN BREF



Le 26 juin 2006, le nouveau TGV, habillé par le couturier Christian Lacroix, a fait son premier voyage officiel : certes, ce fut à petite allure (100 km/h seulement) mais, dès juin 2007, il pourra rouler à 320 km/h. Cette ligne, dans sa première phase, traverse six départements : Seine-et-Marne, Aisne, Marne, Meuse, Meurthe-et-Moselle et Moselle. Elle est à double voie et sera longue de 300 km (hors raccordements) entre Vaires-sur-Marne et Baudrecourt (Moselle).

● Le plus grand chantier d'infrastructure de transport

La LGV Est européenne est un projet de terrassement qui a nécessité 64 millions de m³ de déblais (soit 9 fois le volume des déblais extraits pour le tunnel sous la Manche), 40 millions de m³ de remblais et 25 millions de m³ de dépôts.

De plus, comme les matériaux de déblais n'avaient pas toujours les caractéristiques recherchées, notamment pour les assises des remblais dans les zones humides ou inondables, ou pour les couches supérieures de la plateforme qui devaient être résistantes, il a fallu acheminer 12 millions de tonnes de matériaux nobles de carrière.

● Les équipements ferroviaires

La pose des voies a été un vrai défi, avec une précision millimétrique. Ainsi, ont été réalisés au fur et à mesure : la voie provisoire (destinée à la circulation des wagons acheminant les rails de la voie définitive), les traverses béton biblocs (d'une durée de vie moyenne de 50 ans, elles sont conçues pour supporter la voie : il faut savoir qu'un TGV circulant à 320 km/h est aussi lourd qu'un Boeing 747 au décollage !), les rails (en tout, 1 300 km ont été installés : chaque rail fait jusqu'à 400 m de long et est fixé à la traverse par des attaches mécaniques et élastiques, les "fast-clips" qui équipent, pour la première fois, une LGV) et le ballast (3 000 000 tonnes).

● Respect de l'environnement

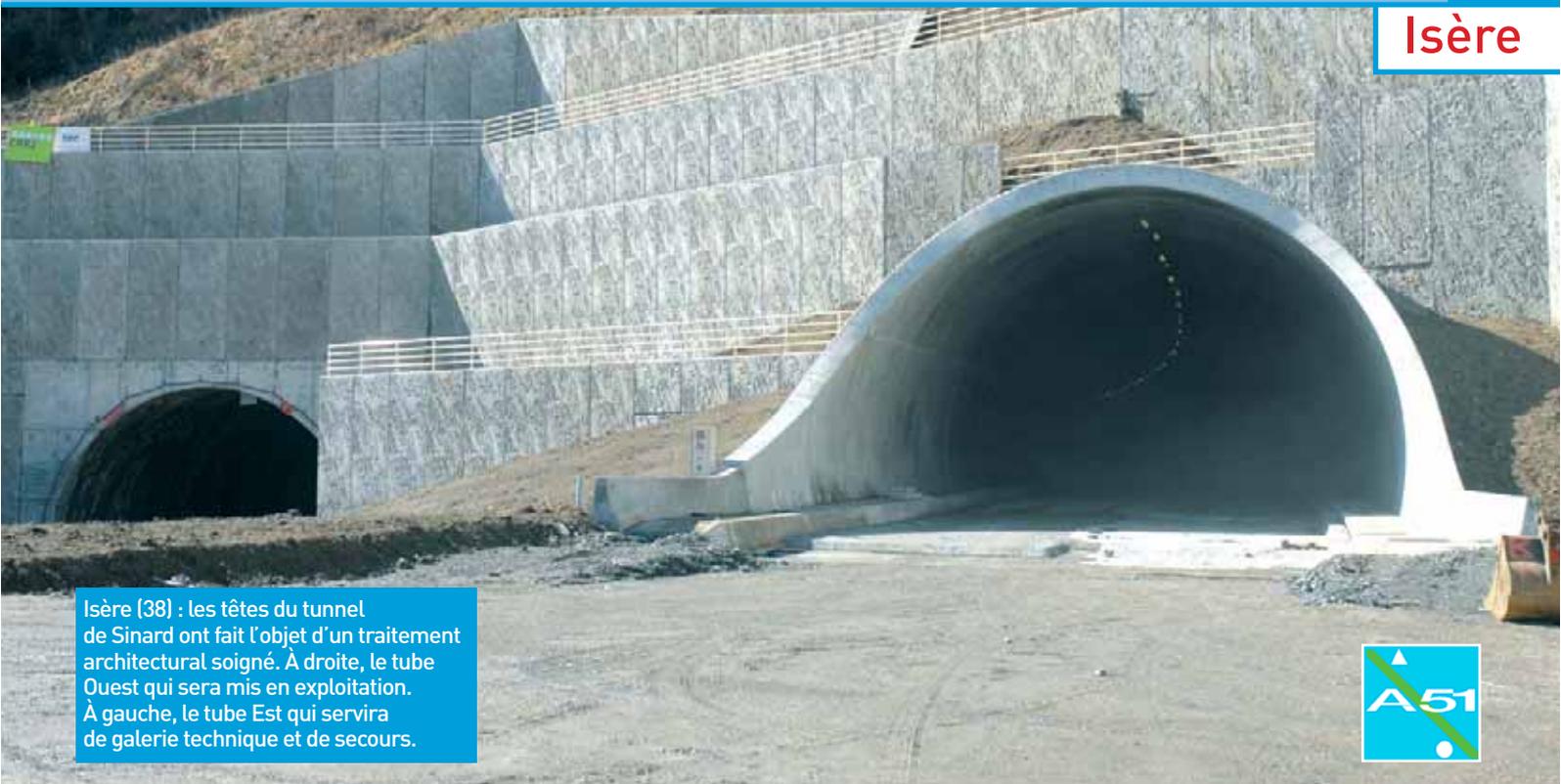
Durant les travaux de génie civil, phase particulièrement sensible pour les milieux naturels et humains, RFF a pris en compte l'environnement des territoires traversés et a mobilisé tous les acteurs du chantier. Un cahier des charges précis a été fixé aux entreprises, avec notamment cinq règles à respecter : l'eau, patrimoine commun à protéger; le bruit, ennemi public n°1; les paysages, à bien insérer; les milieux naturels et leur biodiversité à conserver, enfin, les déchets, à identifier, trier et valoriser.

● Les ouvrages d'art

La LGV Est européenne comporte 338 ouvrages d'art (viaducs, tranchées couvertes, ponts-rails et ponts-routes), ce qui représente plus d'un ouvrage au kilomètre ! Le plus long ouvrage d'art de la ligne est le viaduc de 1 510 m qui enjambe la Moselle et la route nationale 57 : son tablier s'appuie sur 27 piles de béton, espacées d'une cinquantaine de mètres et évasées à leur sommet, ce qui les fait ressembler à des tulipes.



© RÉSEAU FERRÉ DE FRANCE/CAPA/C.SASSO



Isère [38] : les têtes du tunnel de Sinard ont fait l'objet d'un traitement architectural soigné. À droite, le tube Ouest qui sera mis en exploitation. À gauche, le tube Est qui servira de galerie technique et de secours.



Tunnel de Sinard : les atouts majeurs de la chaussée béton

La société d'autoroutes AREA (Groupe Autoroutes Paris Rhin Rhône) a opté pour une chaussée béton dans le tunnel de Sinard sur l'A51, en raison des avantages qu'elle présente en matière de durabilité, luminosité et sécurité. Un choix qui se révèle particulièrement judicieux au moment du renchérissement du prix du pétrole et qui offre d'autres atouts, notamment pour le confort des conducteurs et les coûts d'exploitation de l'ouvrage.

Situé dans le département de l'Isère, sur un tronçon long de 10,5 km de l'autoroute A51 (Grenoble-Marseille via Sisteron), le tunnel de Sinard est à une trentaine de kilomètres au sud de Grenoble.

Ce tronçon empruntera un tunnel sur les communes de Sinard et de Monestier-de-Clermont (chaussée réalisée début 2006) et un viaduc de 860 m de long (livraison prévue au printemps 2007).

Ce tunnel est composé de deux tubes (l'un à l'Ouest de 950 m, l'autre à l'Est de 995 m). Lors de sa mise en service et compte tenu du faible trafic dans un premier temps, seul le tube Ouest sera exploité. Connecté au tube Ouest par quatre galeries de liaison (dont une VL), le tube Est servira, pour sa part, de galerie technique et de secours.

■ Du bitume au béton

“L'ouvrage avait été conçu avec une chaussée « souple » en grave bitume et béton bitumineux”, précise Jacques Martin, directeur de projets chez Scetauroute, le maître d'œuvre de l'opération A51. “Mais avec la hausse des cours du pétrole et le niveau de réponse des entreprises sur une structure en « noir », sur proposition du maître d'ouvrage, la solution béton nous a paru intéressante à étudier”.

C'est pourquoi, après consultation et une mise au point associant **Cimbéton – le Centre d'information sur le ciment et ses applications** –, le cimentier Vicat et Agilis, l'entreprise qui a réalisé le chantier, Scetauroute a formalisé un marché avec une chaussée béton qui a été validée par le maître d'ouvrage AREA.

Et Jacques Martin de poursuivre : *“Nous avons proposé à AREA de nous appuyer sur des conseils extérieurs indépendants en faisant appel à des anciens du LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées –, spécialistes en chaussées béton, qui ont travaillé étroitement avec nos départements « Géomécanique » et*

■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d'ouvrage :** AREA (Groupe APRR)
- **Maître d'œuvre :** Scetauroute (Groupe Egis)
- **Mise en œuvre :** Entreprise Agilis (Groupe NGE)
- **Fournisseur du ciment :** Vicat
- **Fournisseur du béton :** SATM Grands Travaux (Groupe Vicat)

■ UNE CHAUSSÉE RÉALISÉE EN DEUX COUCHES

La chaussée béton du tunnel est composée de deux couches.

La première couche

Elle est constituée de 15 cm de béton poreux maigre, dosé à 200 kg de ciment. Elle a été mise en œuvre par demi-chaussée pour permettre aux camions d'emprunter le tunnel en permanence et gagner en rendement. L'intérêt de ce béton poreux est de compenser les surpressions d'eau éventuelles et d'évacuer cette eau pour éviter qu'elle n'exerce une poussée sous la couche de roulement.

La dalle de roulement

Elle a une épaisseur de 20 cm de béton, dosé à 350 kg de ciment, avec plastifiant, entraîneur d'air et finition balayée pour permettre une bonne rugosité du béton en surface. Elle a été réalisée en demi-chaussée, après avoir appliqué une émulsion de bitume sablée sur le béton poreux, pour éviter une remontée des fissures sauvages dans la couche de roulement. La limitation de surface permet de réduire la fissuration des dalles. Cette couche contient également des granulats concassés 10-20 qui auront une meilleure capacité d'adhérence aux pneumatiques, après l'usure relative du balayage en surface.

"Pour approvisionner le chantier, informe Francis Malo, ingénieur chez SATM Grands Travaux (Groupe Vicat), nous avons utilisé la centrale à béton construite à proximité de l'entrée Nord. Equipée d'un malaxeur de 2 m³, elle nous a permis de tenir une cadence de 50 m³/h pour la chaussée béton. Sur le tunnel du Sinard, nous avons fourni 50 000 m³ de béton dont 2 900 pour la chaussée".



© Ch. HURET et SCETAUROUTE



La première couche de 15 cm de béton poreux maigre a été mise en œuvre par demi-chaussée pour réduire la fissuration du béton.

«Chaussées». Après mise au point technique et à coût équivalent, le maître d'ouvrage a finalement décidé de passer de la chaussée bitume à la chaussée béton".

"Pourtant, regrette Jean-Marc Potier, chargé de mission au SNBPE – Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi –, la solution bitume ayant été décidée dès la conception, il était difficile d'optimiser une chaussée béton. Conséquence : nous avons la contrainte imposée par un comblement de 35 cm à faire, alors que le dimensionnement béton n'aurait nécessité qu'une épaisseur de 28 cm maximum. Il a donc fallu faire avec ce dimensionnement, ce qui a pénalisé l'intérêt économique global de la solution béton qui, si elle avait été intégrée dès le début du projet, aurait sûrement permis une économie importante dans le contexte de cet appel d'offres. Les entreprises et les fournisseurs ont cependant fait le nécessaire pour que cette solution béton ne soit pas plus onéreuse que celle de l'enrobé".

■ Le double avantage de la clarté du béton

Dans un tunnel, la chaussée béton présente un avantage décisif : sa clarté. Qualité intrinsèque du matériau, obtenue sans ajout de colorant et donc sans surcoût, cette clarté offre un double intérêt :

- Pour l'utilisateur, elle permet d'améliorer sa sécurité. Avec une meilleure visibilité, l'automobiliste repère plus facilement les obstacles éventuels. De plus, il visualise mieux la largeur de la voie de circulation. Avec une chaussée béton, la composante "sécurité passive" est donc certaine.

- Pour l'exploitant de l'ouvrage, la luminosité du béton permet d'abaisser significativement la puissance d'éclairage installé et donc de réduire les coûts d'exploitation.

■ Un atout sécuritaire

On le sait, la sécurité en cas d'incendie est devenue une priorité pour les maîtres d'ouvrage. C'est pourquoi, les qualités de bonne tenue au feu que montre le béton dans des conditions extrêmes – matériau inerte, stable et ininflammable – ont certainement pesé dans le choix d'AREA. Bien sûr, les dispositifs actifs utilisés habituellement – ventilation, désenfumage, alarme – restent déterminants.

"On voulait promouvoir cette technique en France, sachant qu'elle présente des avantages, dont celui – capital – de la sécurité. Une chose est certaine : en cas d'incendie, la chaussée béton ne contribuera pas à aggraver la situation", se félicite Christophe Chevalier, chargé de mission chez Agilis.



© Ch. HURET et SCETAUROUTE

Mise en œuvre, sur le béton poreux, de la couche de roulement épaisse de 20 cm.

■ FORMULATIONS DES BÉTONS (POUR 1 M³)

● Pour le béton poreux

Ciment CEM II/A-LL 42,5 R CE NF :	200 kg
Gravillon 12,5/20 R :	1 450 kg
Sable 0/4 R :	550 kg
Eau :	78 litres
Plastifiant :	0,50 %

● Pour le béton de roulement

Ciment CEM II/A-LL 42,5 R CE NF :	350 kg
Gravillon 12,5/20 concassé :	650 kg
Gravillon 4/12,5 R :	367 kg
Sable 0/4 R :	848 kg
Eau :	139 litres
Plastifiant :	0,70 %
Entraîneur d'air :	1,00 %

■ Des coûts d'entretien quasi nuls

Une autre raison a poussé AREA à choisir la chaussée béton : cette solution ne lui coûtait pas plus cher que celle prévue en enrobé avec, en plus, une garantie au niveau de la durabilité.

En effet, il n'y aura pratiquement aucun entretien à faire pendant deux décennies, d'où un faible coût d'exploitation et une quasi absence de gêne pour l'utilisateur. Et Jean-Marc Potier de rappeler : *“On sait que toute opération d'entretien en tunnel est plus pénalisante que sur une voirie extérieure courante. Donc l'intérêt du maître d'ouvrage est de pouvoir avoir une très longue durée d'utilisation, sans entretien lourd, ni fermeture du tunnel”*.

Largement utilisée – et même parfois obligatoire – dans des pays européens comme l'Espagne, la Belgique ou la Suisse, la technique de la chaussée béton offre des atouts incontestables en matière de sécurité incendie, de confort pour l'utilisateur, de coût d'entretien et d'exploitation.

Le tunnel de Sinard en apporte la preuve. ●

■ LES TROIS TECHNIQUES POSSIBLES

Dans un tunnel, le peu d'amplitude des températures et l'absence d'exposition aux intempéries et au gel permettent une réduction de 20 à 25 % de l'épaisseur de la chaussée béton (à noter que pour le tunnel de Sinard, cet avantage n'a pas été possible, cette solution n'ayant pas été choisie lors de la conception du projet).

En fonction de certains critères – linéaire à réaliser, trafic attendu, exigences en terme de confort ou d'esthétique – trois techniques sont à la disposition du maître d'ouvrage :

- **Le béton armé continu (BAC) :** chaussée sans joints grâce à des armatures longitudinales continues. D'où un confort de roulement très apprécié. Le BAC est utilisé pour les travaux neufs et la réhabilitation.
- **La dalle goujonnée :** implantation au droit des joints de retrait des goujons assurant le transfert de charge entre les dalles.
- **La dalle épaisse :** dalle en béton, sans armatures.



La clarté : un avantage décisif de la chaussée béton dans un tunnel.

© HOTCAMELEON/AGILIS

■ INTERVIEW



“ Avec la chaussée béton dans un tunnel, on gagne en durabilité, luminosité et sécurité ”

Marc Guilloud, directeur de la construction chez AREA, maître d'ouvrage du tunnel de Sinard

Initialement, la chaussée du tunnel de Sinard était prévue en grave bitume et béton bitumineux. Pourquoi avoir opté pour la chaussée béton ?

“Ce sont nos partenaires cimentiers et bétonniers, avec lesquels nous avons travaillé sur d'autres ouvrages, notamment pour le tunnel de l'Epine sur l'autoroute A43, qui nous ont proposé une chaussée béton pour ce tunnel. Leur argument était le suivant : montrer avec ce chantier que la solution chaussée béton pour les tunnels présente de nombreux avantages en terme d'entretien, de luminosité et de sécurité.

En effet, avec le matériau béton, on dispose d'une garantie de durabilité et, donc, d'une absence d'entretien, d'une durée deux fois supérieure à celle d'une chaussée classique. Résultat : une véritable économie. Ajoutez à cela une meilleure homogénéité entre parois et chaussée et une luminosité accrue, ce qui apporte un meilleur confort de conduite pour l'utilisateur et une économie substantielle sur le poste “Eclairage”. Enfin, dernier aspect auquel AREA a été très sensible : la sécurité. On a la certitude, en cas d'incendie, que nous sommes en conformité par rapport aux règles élaborées après le dramatique accident du Mont-Blanc en mars 1999. Sur ce chantier, on a effectivement reçu un avis très favorable de la part des services de secours qui ont la garantie, avec le béton, de pouvoir approcher de très près un sinistre éventuel, et avec moins de risques, alors qu'on sait très bien, par expérience, qu'avec les matériaux bitumineux ces secours sont tenus éloignés, à partir d'une certaine température. Bien sûr, nous espérons ne jamais avoir à le prouver, mais il est certain que cela a compté dans notre décision finale”.

Quelle a été la position de Scetauroute, votre maître d'œuvre du projet ?

“Bien évidemment, pour prendre cette décision, je me suis appuyé sur l'expertise et le conseil de Scetauroute qui était à l'origine de la conception de l'ouvrage et de la définition des conditions techniques de sa réalisation. Il fallait être certain que nous ne prenions pas de risques. Et je dois dire que notre maître d'œuvre a été particulièrement réactif et qu'il nous a parfaitement suivi et accompagné dans notre démarche. À titre personnel, ayant contribué à convaincre ceux qui, à l'origine, avaient des doutes sur la chaussée béton, je suis heureux d'avoir pu réaliser une telle chaussée dans un tunnel autoroutier récent”.



Le 17 octobre 2006, une importante visite du chantier, organisée par Cimbéton, le SNBPE et le SNPB, a été suivie par 270 personnes.

© Gilbert BRUN

Dans la vallée de l'Orne, à cheval sur Moselle et Meurthe-et-Moselle, la promenade cyclable en béton, ouverte aux usagers non motorisés, s'étire sur 23 km de long et 2 m 50 de large. Elle constitue un véritable lien entre les communes de Rombas et Moineville.

Une promenade cyclable en béton pour faire renaître toute une région de Lorraine

Une promenade cyclable (conçue pour les piétons, mais où les cyclistes sont tolérés), longue de 23 km et ayant nécessité 7 000 m³ de béton, vient d'être réalisée le long de l'Orne, entre Moselle et Meurthe-et-Moselle. Destiné à redonner du lustre à cette vallée marquée par la récession industrielle, cet aménagement fait appel au béton pour assurer la pérennité de l'ouvrage.

L'Histoire avance et les pays autrefois prospères sont parfois confrontés à de douloureuses remises en cause : ils doivent se réinventer pour passer des caps difficiles. C'est le cas de la Lorraine, qui a perdu tour à tour ses mines, son industrie sidérurgique, son industrie textile...



La piste en béton a été coulée sur 14 centimètres d'épaisseur en moyenne, sur un fond de forme de calcaires du site.

L'une des missions confiée à l'Établissement public foncier de Lorraine (EPF Lorraine) s'inscrit précisément dans cette perspective de renouveau des espaces dégradés. Cela passe par le portage foncier pour le compte des collectivités locales, puis par des opérations plus ambitieuses de réhabilitation de friches industrielles ou d'espaces urbains à revaloriser.

■ Un territoire à conversion et à fort enjeu

Longtemps la vallée de l'Orne (rivière lorraine à ne pas confondre avec le fleuve côtier du nord-ouest de la France) a connu la prospérité, le plein emploi, puis le retournement de conjoncture a, hélas, fait plonger le pays tout entier dans la récession et son cor-

■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maîtres d'ouvrage :** Établissement public foncier de Lorraine, CCPO et CCPOM (communautés de communes 54 et 57)
- **Maîtres d'œuvre :** Peter, paysagiste mandataire, Sefiba BET pour la piste, Serue BET pour les ouvrages d'art, Sinbio BET pour les aménagements rivière
- **Terrassement :** Muller Assainissement Lorraine
- **Réalisation de la chaussée béton :** Groupement Guintoli / Agilis
- **Béton prêt à l'emploi :** Holcim Bétons et Béton granulats Ile-de-France Est
- **Ciment :** Holcim et Vicat

tège de drames, individuels ou collectifs.

Le projet de piste dans la vallée est né dans ce contexte, au milieu des années 90 lorsqu'elle a été classée comme "territoire à conversion et à fort enjeu", selon la terminologie de l'EPF Lorraine.

Laure Lapointe, chargée de service Moselle et Jean Tincelin, chargé de service Meurthe-et-Moselle au sein de l'Établissement public foncier de Lorraine ont travaillé de conserve sur ce projet. "C'était un espace qui présentait de fortes contraintes d'aménagement, des zones régulièrement inondées notamment, une rivière dégradée par des décennies d'exploitation industrielle. C'est pour cela que le béton a été retenu pour la réalisation de la promenade. Au départ, on avait retenu un revêtement stabilisé, mais le béton s'est vite imposé pour sa résistance, notamment dans les zones soumises à inondation. De plus, nous sommes allés voir en Alsace des pistes cyclables réalisées en béton" précise Laure Lapointe.

Le travail de maîtrise d'œuvre, effectué par un groupement mandaté par Alfred Peter, paysagiste à Strasbourg rompu à ces techniques, et la perspective de coûts d'entretien moindres ont fini par séduire les élus des collectivités locales concernées, comme Norbert Barthélémy, adjoint au maire de Rombas chargé de l'action sociale : "Nous avons tout de suite été séduits par la solution béton. Aujourd'hui, on peut dire que la promenade cyclable, inaugurée officiellement le 28 septembre et... à vélo par les élus des deux communautés de communes, est une réussite totale ! La preuve : piétons et cyclistes se sont appropriés en nombre la piste en béton dès son ouverture".

■ Du béton coulé à la machine à coffrage glissant

Sur la majeure partie du tracé de la piste de 23 kilomètres de long et 2 mètres 50 de large entre les communes de Rombas et Moineville, on a utilisé une machine à coffrage glissant (les endroits les moins accessibles, 5% du linéaire, ont été traités de façon traditionnelle et coffrés à la main). Sans ferrailage ni fibres, sauf sur quelques segments restreints pouvant être empruntés par des voitures ou des camions, la piste a été coulée sur 14 centimètres d'épaisseur en moyenne. Le tout sur un fond de forme de calcaires ou de matériaux du site.

"La particularité de ce chantier réside dans l'installation du moule à l'arrière de la



Tractée par la machine à coffrage glissant, la toile de jute imprime son motif au béton, au fur et à mesure de l'avancement.

machine à coffrage glissant, avec alimentation par un tapis transporteur installé sous la machine elle-même. L'espace était calculé au plus juste, car on disposait de 3 mètres de largeur pour couler 2,5 mètres de béton" explique Alain Quievreux, conducteur de travaux de l'entreprise Agilis.

Le chantier a parfois nécessité l'emploi d'une pompe ou même d'un girabenne pour parvenir à alimenter la machine correctement. L'ensemble du revêtement béton a aussi fait l'objet d'une finition particulière, afin d'obtenir une meilleure adhérence de cette piste destinée à tous les usagers "non motorisés". Ce que confirme Alain Quievreux : "Le maître d'œuvre souhaitait un aspect rugueux, mais pas trop prononcé tout de même. Nous l'avons obtenu en accrochant de la toile de jute derrière la machine et en imprimant ainsi une trame en continu sur la piste cyclable en béton".

■ Plus de 300 m³ de béton coulés chaque jour

Il n'aura fallu qu'une année pour mener à bien ce chantier d'un budget global de 7 millions d'euros, comprenant le terrassement, la construction et la réhabilitation des onze ouvrages d'art et de la piste cyclable, ainsi que la restauration des berges de la rivière.

Pour les cimentiers (Holcim, Vicat) et pour les fournisseurs de béton prêt à l'emploi (Holcim Bétons et Béton granulats Ile-de-France Est) intervenant sur le site, la partie n'a pas été une mince affaire.

Ce que confirme Alain Marcus, chef de secteur chez Holcim Bétons : "Il nous a fallu tenir des cadences très importantes, les deux entreprises associées mobilisant au total trois centrales à béton ! La machine avançait vite, vidant un camion-toupie en six-sept minutes. Nous avons donc eu entre 10 et 15

camions en permanence pour ne pas provoquer de rupture d'approvisionnement de la machine à coffrage glissant et parvenir à couler jusqu'à 300 ou 350 m³ par jour".

La coordination entre l'entreprise Agilis et les fournisseurs de béton a été ajustée au plus fin pour produire, au final et sans rupture, 7 000 m³ de béton C25-30 XF2 dosé à 330 kg d'un ciment CEM II B/32,5 R.

Outre ces cadences, et les problèmes d'accès parfois posés aux toupies dans certaines zones, le suivi de la qualité du béton prêt à l'emploi a été aussi mené avec soin : "On nous demandait une résistance à la flexion, mais aussi au fendage, 2,4 MPa minimum, et nous avons dû nous caler correctement pour obtenir la bonne plasticité afin que le béton se mette en place facilement. C'est un chantier imposant : il est rare, en effet, de réaliser des voies en béton de cette ampleur" poursuit Alain Marcus.

■ Faire profiter l'ensemble du tissu urbain

Désormais, les communes riveraines traversées par la piste vont devoir faire vivre et entretenir cet espace de promenade, en plus de l'aménagement des abords, de la signalétique et de l'éclairage dont elles ont la charge. Sans oublier les travaux qu'elles se sont engagé à mener dans le tissu urbain pour qu'il profite, lui aussi, de cette rénovation du paysage.

Entre les bassins d'habitation et d'emplois très denses des agglomérations de Metz, Thionville et Luxembourg, au cœur d'un bassin de population de 50 000 habitants, la vallée de l'Orne et sa piste cyclable en béton sera, à n'en pas douter, un lieu de promenade incontournable.

Ce qui serait certainement la plus douce manière de tourner la page. ●



Des franchissements ont été construits pour desservir les deux rives de l'Orne.



Gaël (Ille-et-Vilaine) : le site de 18 hectares, choisi pour la future plate-forme logistique de Casino, est situé entre la voie ferrée et la route, deux voies indispensables à son bon fonctionnement.

Gaël : un traitement en place au liant hydraulique routier

En Ille-et-Vilaine, les 18 hectares de la future plate-forme logistique de Gaël, retraités avec 3 000 tonnes de chaux et 6 000 tonnes de liant hydraulique routier, concrétisent à grande échelle le concept de développement durable. Bilan : une économie de 1,5 million d'euros !

A Gaël, en bordure d'une voie ferrée et de l'axe Saint-Méen-le-Grand/Mauron, le terrain de 18 hectares destiné à la future plate-forme logistique de Easydis bénéficie avantageusement des réseaux routier et ferroviaire indispensables à son bon fonctionnement.

"Trouver un tel emplacement n'est pas si simple car il fallait s'assurer qu'il ne se trouve pas dans une zone très densifiée et qu'il n'y ait pas de concurrence en matière d'emploi" explique Jean-Yves Carré, directeur du développement local et de l'aménagement du territoire de la communauté de communes de Saint-Méen-le-Grand. Pour ces neuf communes qui totalisent près de 10 000 habitants, cette plate-forme représente une réelle opportunité en matière d'emploi car y travailleront à terme près de 400 personnes. Sur cette emprise, Easydis (filiale logistique du groupe de distribution Casino) prévoit la construction de 65 000 m² d'entrepôts et de 10 000 m² de plate-forme à l'air libre. L'ensemble servira à gérer la distribution de produits alimentaires, d'équipe-

ments et de services, activité devant générer chaque semaine un trafic composé de 25 camions et d'un train de marchandises.

"En tant que collectivité, nous avons décidé d'accompagner ce projet en vendant à Easydis le terrain terrassé avec sa plate-forme à niveau, prête pour la phase de construction proprement dite. Avec l'assistance du cabinet d'ingénierie Girec de Cesson-Sévigné nous avons rédigé un cahier des charges fondé sur une technique classique : déblaiement, remblaiement puis empierrement" commente Jean-Yves Carré.



On a compté jusqu'à 40 engins présents simultanément sur le terrain.

Au départ, selon les premières estimations, avec les 100 000 m³ de déblais et les 45 000 tonnes de pierres prévus, ces travaux n'entraient pas dans l'enveloppe budgétaire définie... À cela s'ajoutait la nécessité de renforcer les routes avoisinantes pour permettre le passage de camions traversant les villages pour évacuer les déblais. Sans oublier la difficulté qu'aurait représenté l'approvisionnement du chantier avec une grande quantité de pierres dans un délai aussi court.

"C'est pourquoi, nous avons eu l'idée d'un appel d'offres ouvert aux variantes, ce qui

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d'ouvrage** : Communauté de communes de Saint-Méen-le-Grand
- **Maître d'œuvre** : Cabinet d'ingénierie Girec (Cesson-Sévigné)
- **Laboratoire** : Technilab (Ancenis)
- **Entreprise de terrassement** : Charrier TP (agence de Rennes)
- **Liant hydraulique routier** : Lafarge Ciments



Le malaxeur utilisé pour le traitement en place à la chaux et au liant hydraulique routier.

nous a permis de voir la capacité des entreprises candidates à s'investir dans le projet et de montrer leur réflexion d'ensemble visant à rendre possible l'opération dans des conditions technico-économiques acceptables" précise Jean-Yves Carré.

■ Une économie d'un million et demi d'euros

Pour Jean-Yves Carré : "La réponse de l'entreprise Charier nous a séduit à la fois par son approche technique, un traitement en place à la chaux et au liant hydraulique routier, et par son prix de 1,5 million d'euros plus économique que la solution classique ! Autre avantage, nous avons la certitude que la livraison de la plate-forme serait possible dans les délais impartis, malgré un début de chantier en novembre 2005, une période défavorable sur le plan climatique. Le fait que notre bureau d'études ait vite adhéré au nouveau projet a aussi constitué un atout".

Pour Georges Voileau, directeur de l'agence Charier TP de Rennes : "Le traitement en place des sols est devenu, au fil des ans, notre spécialité. Nous mettons systématiquement en avant cette solution à chaque fois qu'elle est possible, techniquement et économiquement. Nous avons des opérateurs maîtrisant bien les machines de notre parc matériel adapté, ainsi que des chefs d'équipes et un encadrement qui ont une forte expérience du terrain et de cette technique. De plus, compte tenu de l'envergure du chantier, les autres entités de l'entreprise se sont mobilisées pour mettre à notre disposition les engins complémentaires".

Le traitement en place est, en effet, une technique aujourd'hui éprouvée, comme le montre l'autoroute A84, par exemple, traitée il y a dix ans par cette même entreprise. "Cette technique existe, en fait, depuis plus de 2 000 ans : les Romains connaissaient

déjà le principe du traitement à la chaux de leurs terres" rappelle Georges Voileau.

Les matériaux prélevés sur le site sont essentiellement des schistes, matériaux normalement non traitables tels quels. "En revanche, leur broyage au malaxeur entraîne aussi la formation de fines qui rendent l'ensemble parfaitement traitable au liant hydraulique routier, comme nous avons pu le vérifier avec le laboratoire Technilab d'Ancenis" souligne Georges Voileau.

■ Un chantier entièrement réalisé en vase clos

"Nous avons tout d'abord procédé au débroussaillage du terrain avant le décapage de la terre végétale. Pelles et dumpers ont ensuite permis de réemployer les déblais en remblais pour combler les creux et aplanir le sol. La forte teneur en eau nous a conduit à traiter ces déblais à la chaux à raison de 1 à 2 % pour rendre l'ensemble praticable. Les zones destinées à recevoir les bâtiments et la voirie ont ensuite été traitées sur 35 cm d'épaisseur au liant hydraulique routier Rolac 645, fabriqué par Lafarge Ciments et dosé à 5-6 %. Ce traitement donne à la plate-forme ses bonnes caractéristiques de portance : PF3, c'est-à-dire plus de 120 MPa" explique Vincent Meheust, responsable d'exploitation de Charier TP.

Jusqu'à trois machines Racco (450 et 550) ont été utilisées en parallèle pour le traitement à la chaux des déblais puis, dans un second temps, pour le traitement au Rolac des zones concernées (135 000 m²). Au total, jusqu'à quarante machines ont été présentes simultanément sur le terrain (pelles, dumpers Volvo, scrapeurs 623 Caterpillar, compacteurs monobille type V5...). Les chiffres parlent d'eux-mêmes : 220 000 m³ déplacés, 3 000 tonnes de chaux et 6 000 tonnes de liant hydraulique routier Rolac pour le traitement.

"Quasiment pas d'entrée et de sorties d'engins, un traitement entièrement réalisé sur place, ce chantier en vase clos n'a pas occasionné de gêne pour les communes avoisinantes. Ici le concept de développement durable a vraiment un sens" commente Georges Voileau.

■ Savoir gérer la coactivité

Une des difficultés de cette opération était la gestion de la co-activité. En effet, la présence de nombreux réseaux (pompes incendie, sprinklage, eaux pluviales, eaux usées, etc.) autour des futurs bâtiments et des quais pouvait poser problème.

D'autant plus que tout devait être prêt à la livraison de la plate-forme avant intervention des entreprises chargées de la voirie et de celles construisant les bâtiments, pour respecter les délais. "Une bonne concertation avec les différents intervenants, un positionnement précis des réseaux, et un repérage soigneux des regards pour les retrouver facilement après le traitement de la plate-forme ont assuré la réussite du projet" explique Georges Voileau.

■ Une expérience réellement instructive

Toutes les zones destinées aux bâtiments sont réceptionnées en altimétrie (avec une tolérance de 0/+1 cm) et en portance (PF3). "Tout le reste du terrain est aussi traité et propre : il est possible de le parcourir à pied ou en voiture par tout temps et en toute saison, alors qu'avant les tracteurs des agriculteurs s'y embourbaient l'hiver ! Avec le recul, le traitement en place est non seulement la meilleure solution mais, en fait, la seule envisageable. Autre avantage : la qualité du résultat permet de réduire de quelques centimètres l'épaisseur du dallage des bâtiments ce qui procure des économies non négligeables" conclut Jean-Yves Carré. Au final, il est certain que cette expérience instructive servira à d'autres chantiers de grande envergure. ●



L'indispensable compactage final.

Anglet (Pyrénées-Atlantiques) : le Deck est le point d'orgue des aménagements de la berge de l'Adour, réalisés avec du béton désactivé de deux couleurs différentes, sur 380 mètres de long et 20 mètres de large.

Anglet : plus de 30 000 m² de béton désactivé pour un aménagement en bord de mer

La Barre, entre plage et estuaire, était un espace déstructuré. La communauté d'agglomération de Bayonne-Anglet-Biarritz a décidé d'aménager le front de fleuve en mettant en œuvre 30 000 m² de béton désactivé pour le Deck, les voiries et les aires mixtes.

La Barre à Anglet. Voilà un nom qui parle fortement aux amateurs de glisse et aux surfeurs, en particulier, qui souvent s'essayent sur ce "spot" mondialement reconnu. Mais c'est également un lieu à nul autre pareil, un estuaire situé au bout de la ville qui voit les eaux limoneuses de l'Adour, après avoir longé les Pyrénées, se mêler à l'océan Atlantique en constituant, ce n'est pas anodin, l'entrée du port de Bayonne.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d'ouvrage :** Communauté d'agglomération de Bayonne-Anglet-Biarritz
- **Maître d'œuvre :** Arpage
- **Entreprise :** Eurovia
- **Sous-traitant bétons désactivés :** CMR Exedra
- **Béton Prêt à l'Emploi :** Unibéton

Nous sommes là aux confins du Pays Basque et des Landes, dans un pays de frontières où se côtoient deux langues et où la culture est enracinée comme les digues qui protègent l'entrée du port.

C'est donc un chantier exceptionnel par sa taille qui a été réalisé depuis le début de l'année 2006 pour amener la ville jusque-là, entre port et denses tissus urbains d'une des régions de France qui attire le plus de nouveaux habitants. *"Le principal problème que nous avons à résoudre était lié à la*

nécessité de construire un grand ensemble minéral, afin de conserver un caractère portuaire à cet espace" détaille Paul Brichet, du cabinet Arpage, maître d'œuvre.

Prévu à l'origine pour être construit entièrement en bois, le Deck ("pont" en anglais) a finalement été construit majoritairement en béton désactivé, pour que le projet reste dans l'enveloppe qui lui avait été attribuée par le maître d'ouvrage, en l'occurrence, la communauté d'agglomérations de Bayonne-Anglet-Biarritz.



Le béton désactivé en train d'être taloché.

Le Deck : un aménagement à part

Pour Paul Brichet : *"Les contraintes venaient aussi des utilisateurs du port, et principalement des pilotes qui font entrer les navires dans l'estuaire et qui ne souhaitent pas que le projet comporte des éclai-*



L'ensemble du calepinage a été mis en place, juste avant de couler le béton.

rages propres pouvant perturber leur travail la nuit. Concernant les couleurs, nous ne voulions pas utiliser des granulats venant de loin, dont le coût aurait été trop élevé. Mais nous ne voulions pas, non plus, tomber dans la gamme de teintes de la plage, puisque nous ne sommes pas en présence d'une plage mais d'un port".

Les granulats retenus sont donc majoritairement gris, dans les teintes mêmes des pierres caractéristiques qui percent les enduits des façades blanches du Pays Basque. Ils proviennent de deux carrières de la région : Sare, au cœur du Pays Basque pour les granulats gris 6/10, et Saint-Martin d'Oney, dans les Landes, pour le concassé calcaire 6/14.

"Dans toutes les régions où nous travaillons, nous essayons de respecter les teintes locales, les couleurs de la terre du pays" précise le paysagiste. Long de 380 mètres, large de 20 mètres, le Deck et ses 7 600 m² de béton désactivé est l'élément majeur du nouveau paysage, qui sera livré aux habitants et promeneurs en fin d'année. Si le béton désactivé a été retenu pour réaliser cette vaste surface plane, c'est principalement pour des raisons économiques, ce matériau offrant un parfait compromis entre la recherche esthétique et les impératifs budgétaires.

■ Réussir le calepinage

"Le béton désactivé est un matériau relativement facile à mettre en œuvre, même s'il réclame des précautions, comme le respect du temps de séchage avant l'ouverture à la circulation. En tant que concepteurs, nous sommes rompus à l'utilisation du béton désactivé depuis plus de 20 ans, c'est-à-dire depuis que ce produit est apparu. Avant, nous utilisions du béton balayé qui compte, à son actif, de nombreuses réali-



Une partie du calepinage en bois a été déposée pour permettre aux toupies de béton prêt à l'emploi d'accéder jusqu'aux dalles à couler en place.

sations en bord de mer sur la côte landaise et basque.

Cela dit, mettre en place une telle surface en béton désactivé n'est pas une chose anodine : il nous a fallu beaucoup travailler sur le calepinage. Le bois, prévu à l'origine, a été réintroduit dans l'aménagement pour réaliser l'ensemble des joints de dilatation avec des pièces qui mesurent 10 cm d'épaisseur sur 13 cm de large" conclut Paul Brichet.

Cette contrainte n'a pas été sans effets pour l'entreprise CMR Exedra qui a réalisé les bétons désactivés en sous-traitance d'Eurovia, adjudicataire du marché. *"Le maillage a été réalisé en chevrons de bois traités « classe 4 » et nous avons été obligés d'assembler les éléments sur toute la surface avant de couler les bétons désactivés et fibrés, que nous avons choisis de deux couleurs différentes"* détaille Marcel Valerdi, patron du chantier.

En fin de printemps et début d'été 2006, alors que la chaleur se faisait intense sur la côte basque, l'entreprise a même dû avoir recours à des astuces pour mener à bien cette tâche.

"Lorsqu'il faisait très chaud, nous avons utilisé un film polyane que nous avons installé au fond de chaque réserve à couler, afin de limiter les pertes d'eau par le sol, puis nous avons augmenté le dosage de superplastifiant, et nous avons été contraints de travailler vite : nous coulions le matin et nous lavions le soir au jet à haute pression, avant de passer un produit de cure !" poursuit Marcel Valerdi.

Pour mener à bien ce chantier, il a fallu les efforts concertés de trois centrales BCBA Unibéton : celles de Bayonne, Biarritz et Lahonce. Enfin, pour conserver une apparence très homogène sur l'ensemble de la surface, le béton a été vibré à la poutre vibrante, puis taloché pour bien resserrer les zones un peu trop ouvertes.

■ Du béton pour les voiries

Aussi impressionnant soit-il avec ses 15 cm d'épaisseur de béton, le Deck n'est pas le seul élément en béton de ce vaste aménagement puisqu'au final, plus de 30 000 m² de béton auront été coulés à la Barre : 3 000 m² de voiries principales réalisées sur 25 cm d'épaisseur avec un 0/10, des aires mixtes de 9 600 m², qui accueilleront à la fois le trafic piéton et les véhicules, coulées sur 15 cm d'épaisseur avec un granulat 0/10, et 13 500 m² de cheminements piétonniers réalisés avec un 0/10 calcaire et coulés sur 10 centimètres d'épaisseur.

Enfin, détail important, les bordures ont aussi été exécutées en béton coulé en place. Il est intéressant de préciser que Paul Brichet aurait aimé, notamment pour les parkings, pouvoir réaliser des bétons alvéolés ou engazonnés : *"En tant que paysagiste, je me suis attaché à amener du végétal dans tout ce paysage : nous avons été très attentifs à l'implantation des arbres, surtout dans ce cadre portuaire, a priori assez inhumain"*.

Parions que ce chantier de la Barre sera, dans les années à venir, une référence béton incontournable du sud de la France. ●



La modestie de la granulométrie, les deux couleurs de granulats et le calepinage en bois confèrent au Deck des lignes très modernes.



Lyon (Rhône) : la technique du BCMC (béton de ciment mince collé) donne d'excellents résultats sur une première zone-test, aux arrêts de la ligne 1 qui relie la place Grand Clément à Saint-Paul.

Lyon : du BCMC pour résister aux nombreux arrêts des trolleybus

À Lyon, deux des arrêts de la ligne de trolleybus servent de zones-tests en situation réelle pour l'emploi du BCMC. Un premier bilan, très positif, peut déjà être dressé après un an d'utilisation sur la première zone-test.

Dans toutes les grandes villes où des couloirs de bus existent pour améliorer leur vitesse commerciale, le problème est souvent le même : il faut faire face à l'orniérage dû à un trafic intense de poids lourds et au passage répété de leurs roues sur le revêtement. Cette situation est encore aggravée au niveau des arrêts, car ce sont des zones très sollicitées mécaniquement par les freinages et les redémarrages à répétition. Or, les trolleybus, dont le parcours est très canalisé en raison de leur mode d'alimentation, s'avèrent être encore plus agressifs que les bus vis-à-vis de ces zones d'arrêts. À Lyon, pour résoudre ce problème aux arrêts de la ligne 1, qui relie la place Grand Clément (Villeurbanne) à Saint-Paul (Lyon 5^e), on a utilisé les pavés autobloquants qui sont régulièrement remis à niveau, en rajoutant à leur assise une épaisseur de sable de Saône. Ce qui entraîne des répercussions dommageables

en termes de circulation, d'organisation, de coûts...

■ Un cahier des charges extrêmement précis

“Pour remédier à cette problématique, Claude Pillonel, vice-président de la communauté urbaine du Grand Lyon, a suggéré de tester la technique du BCMC (béton de ciment mince collé). Le Service



Orniérage et déformation des arrêts de trolleybus en pavés autobloquants.

technique de la voirie s'est alors chargée de définir, avec Lafarge Ciments, la formulation la plus appropriée. Il fallait que ce béton résiste durablement à l'orniérage, qu'il conserve une bonne adhérence dans le temps, et qu'il offre une totale insensibilité aux égouttures de gazole ou aux pertes de graisses et d'huiles, car cette partie de la voirie est également empruntée par les ambulances, les taxis, les véhicules de police et de pompiers”

■ PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maîtrise d'ouvrage :** Service de la voirie de la communauté urbaine Grand Lyon
- **Maîtrise d'œuvre :** Subdivision territoriale de proximité Centre-est
- **Entreprise adjudicataire :** Appia/Eiffage TP
- **Fournisseur du Béton Prêt à l'Emploi :** Lafarge Bétons



Le balayage de surface du béton améliore l'adhérence des véhicules sur le sol.

explique Jack Rampignon, responsable du Laboratoire de la voirie de la Communauté urbaine du Grand Lyon.

Les qualités du béton sont connues de longue date : stabilité et durabilité, excellente adaptation aux techniques routières, même si le matériau n'intervient dans le cas présent qu'en couche superficielle de mince épaisseur. "La technique du BCMC a déjà fait ses preuves dans d'autres villes, comme Paris, Nice ou Grenoble. Et, par notre propre expérience, nous savions que le collage du béton sur l'enrobé est très efficace" précise Jack Rampignon.

Autre avantage du béton, c'est un produit dont on peut travailler l'esthétique en surface : désactivé, balayé, imprimé..., toutes possibilités intéressantes pour matérialiser visuellement une zone particulière comme les arrêts de bus. Or, ceux de cette ligne se trouvant pour la plupart en centre-ville et donc au-dessus de nombreux réseaux enterrés, il a également fallu mettre au point une méthodologie standardisée de réparation, à transmettre aux différents exploitants. "L'objectif est de réduire le temps d'intervention et donc la gêne pour les différents usagers de la voirie. On commence par le découpage du béton et de la grave-bitume sous-jacente pour créer une tranchée. Ensuite, le gestionnaire du réseau remet en place une épaisseur de sable puis un matériau autocompactant, caractérisé par sa faible résistance à la compression (2 MPa à 28 jours) pour être facilement excavable à nouveau, avant de couler 22 cm de béton" détaille Jack Rampignon.

Pour avoir une meilleure visibilité sur cette technique, deux zones-tests ont été choisies.

■ Une réalisation rapide et très rigoureuse

"La première zone-test choisie se situe à proximité de la gare de La Part Dieu. Cet arrêt Lafayette - Garibaldi se trouve sur le cours Lafayette (Lyon 3^e), entre la rue de la

Tête d'Or et la rue Juliette Récamier, face au square Jérôme Bererd. Pendant la durée des travaux, il a fallu assurer une déviation ponctuelle de la ligne, ce qui n'a pas posé de difficulté particulière" explique Dominique Benatouil, responsable de la Subdivision travaux du 3^e arrondissement.

"Après la dépose des pavés autobloquants et un décaissement sur une profondeur moyenne de 22 cm, l'entreprise chargée des travaux a réalisé une couche de base en grave-bitume sur 10 cm d'épaisseur, 42 m de long et 3,30 m de large. L'étape suivante consistait à réaliser la couche de roulement en BCMC proprement dite. Déversé depuis le camion-toupie, le béton prêt à l'emploi est réparti manuellement, vibré, réglé à une épaisseur de 12 cm, lissé et taloché. Sa surface est ensuite balayée pour améliorer l'accroche des pneumatiques des trolleybus, en cas de pluie" explique Jack Rampignon.

Pour canaliser les éventuelles fissurations du BCMC, l'entreprise Appia (Groupe Eiffage Travaux Publics) a ensuite découpé dans le béton, en fin de prise, des rectangles de 1,10 m par 1,50 m, de l'ordre du dixième de son épaisseur.

"La technique du BCMC est très fiable, mais encore trop peu connue des entreprises, d'où la nécessité d'un accompagnement par l'entreprise cimentière en termes de formation et de démarrage de chantier" souligne Jack Rampignon.

Ce que confirme Gérard Benvenuto, responsable Travaux publics région Sud-Est chez Lafarge Ciments : "Nous avons porté ce projet de A jusqu'à Z, en étant en permanence en contact avec les différents intervenants : aide à la formulation du béton, assistance technique, formation de l'équipe de mise en œuvre... Il faut d'ailleurs souligner que certains points sont vraiment cru-



ciaux comme, par exemple, une bonne reconnaissance de l'existant, ce qui détermine le choix de la technique à utiliser. Dans le cas présent, il s'agissait clairement d'une réfection totale de la structure et non pas d'un simple rabotage. La formulation du béton s'est calée sur une résistance à la compression de 20 MPa à 24 h et de 40 MPa à 4 jours car la remise en circulation était initialement prévue à J + 1, ce qui, au final, n'a pas été nécessaire".

■ Un bilan très positif sur la première zone-test

Le moins que l'on puisse dire, c'est que ce chantier a été surveillé de près : contrôle qualité à l'arrivée de chaque toupie, éprouvettes pour des essais de résistance à la compression à 4, 7 et 28 jours... "Les valeurs sont très bonnes : respectivement 41,7 MPa, 44,2 MPa et 57,4 MPa. Nous avons aussi réalisé un certain nombre de carottages pour vérifier les épaisseurs mises en œuvre et le bon collage du béton sur la grave-bitume. Certains carottages effectués au niveau du trait de scie permettent aussi d'observer si la naissance de la fissuration s'est bien produite, ce qui est très clair dans le fond du pré-sciage. Enfin, au bout d'un an, l'examen visuel sur le terrain montre qu'il n'y a aucun orniérage, ce qui était l'effet recherché. Pour nous, le résultat est donc très positif" commente Jack Rampignon.

Un second essai est prévu sur un autre arrêt de cette même ligne, soumis aux mêmes sollicitations. Le bilan final permettra de voir les évolutions du BCMC dans le temps et facilitera aussi l'évaluation des éventuels différentiels de comportement liés à des variantes de mise en œuvre.

L'enjeu est de taille car tous les arrêts de trolleybus puis d'autobus du Grand Lyon pourraient, un jour, être systématiquement réalisés avec la technique performante du BCMC. ●

Action de carottage (à gauche) effectuée par le laboratoire de la voirie, afin de vérifier les épaisseurs mises en œuvre et le bon collage du béton sur la grave-bitume.

À droite, carotte au niveau du trait de scie qui montre qu'une amorce de fissuration s'est bien produite et que l'interface entre le béton et la grave bitume est bien collée.

Salon-de-Provence (Bouches-du-Rhône) : deux bétons désactivés différents et des bandes structurantes de pierres naturelles viennent recréer un alignement parfait des façades désordonnées.

Salon-de-Provence : l'unité esthétique du centre-ville assurée par le béton désactivé

Partis du projet de réaménagement d'une vaste place, les travaux engagés à Salon-de-Provence se sont d'abord intéressés aux Cours qui encerclent le centre-ville. Avec le béton désactivé comme facteur d'unité esthétique.

La ville de Salon-de-Provence, proche d'Aix, Marseille et Arles, en bordure de la plaine à l'espace parfaitement fini de la Crau, s'interrogeait, depuis plusieurs années, sur le devenir de son centre, et notamment d'une grande place d'environ deux hectares dont la requalification devenait urgente.

"Un marché de définition fut donc lancé, qui montra très vite qu'il fallait

envisager le problème posé, de façon beaucoup plus large pour rester cohérent et englober dans cette réflexion les Cours du centre-ville, vitaux pour l'activité économique car ils accueillent de nombreux commerces" explique Guillaume Leclerc, Directeur général des Services techniques de la ville.

potable, car il existait encore d'anciennes canalisations en plomb".

Une fois tous ces éléments mis au jour, le maire de la ville a considéré qu'il était cohérent de débiter le travail de restructuration du centre-ville par les Cours qui en font le tour. Sans même parler de l'aspect de ces avenues qui, comme dans beaucoup d'autres villes, offraient au regard une mosaïque de revêtements différents et des problèmes de planimétrie, de stationnement, de déplacements...

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- **Maître d'ouvrage** : Ville de Salon-de-Provence
- **Maître d'œuvre** : Atelier du paysage, Alain Marguerit
- **Gros œuvre** : Spi Infra
- **BPE** : Cemex - Béton de France
- **Bétons désactivés** : Sols, Provence Impressions

■ Débuter par le centre-ville

Pour Guillaume Leclerc: *"Nous avions de sérieux soucis en matière d'hygiène publique sur ces voies qui font le tour de la ville, avec notamment l'absence de réseaux d'eaux pluviales. Jusqu'ici, tout se déversait dans le canal de Crapone, un ouvrage datant de la Renaissance et destiné à irriguer la plaine de la Crau, mais nous étions également en butte à des défaillances de l'assainissement et de l'eau*

■ Partager les espaces

Au total, le chantier aura concerné pas moins de 10 000 m² sur l'ensemble de la ville. Concepteur de ce grand bouleversement urbain, l'architecte-paysagiste montpellierain Alain Marguerit, a tenu à repenser complètement les schémas en

place et à procéder à une redéfinition complète de l'espace urbain constitué par ces Cours : *"Nous avons souhaité, le plus souvent contre l'avis de départ des différents utilisateurs, replacer dans cet espace la voiture à l'écart des piétons ou des autres moyens de circulation. Il nous a donc fallu lutter contre le discours naturel qui tendait à vouloir multiplier les places de stationnement et les voies de circulation qui ont finalement été réduites de deux à une. Mais nos interlocuteurs ont compris qu'un cœur de ville, même pour les commerçants, ne fonctionne pas mieux quand les voitures peuvent circuler partout. Nous avons donc travaillé sur la notion de partage : une voie est laissée aux voitures et le reste de l'espace, largement majoritaire, donne la priorité aux piétons"* explique Alain Marguerit.

Trois matériaux figurent aujourd'hui sur les Cours : de l'enrobé pour les parties roulantes et pour les places de stationnement, et un pavage de pierres calcaires et du béton désactivé pour les trottoirs.

Ce choix des matériaux a permis de répondre à plusieurs problématiques, comme le précise Alain Marguerit : *"Nous avons préconisé le béton désactivé lors de ce projet pour remplacer la pierre que le budget ne nous permettait pas d'avoir, mais aussi pour mettre en lumière l'éclairage du site. Parce qu'il est plus utile et efficace d'avoir un sol clair que sombre, pour profiter au mieux de l'éclairage nocturne, particulièrement travaillé à Salon-de-Provence, dans le cadre de ce projet"*.

■ Recherche de rendement

Guillaume Leclerc ajoute une autre dimension encore à ce choix : *"La commune n'avait pas les moyens d'un pavage intégral : nous avons donc cherché un matériau plus noble que l'enrobé et qui se mette en place rapidement. Nous avons, en effet, besoin d'un rendement relativement important pour rendre la voie, longue d'un kilomètre, aux habitants et aux commerçants : ces derniers sont, en effet, plus de 300 à posséder une vitrine sur cet espace"*.

Le béton désactivé est idéal puisqu'il permet d'ouvrir de nouveau les trottoirs et les accès, à peine 24 heures après avoir été coulé. Passés les travaux de reprise des différents réseaux, les bandes structurantes de pierres naturelles ont été mises en place,



Le béton désactivé a été choisi de couleur claire, ce qui permet de valoriser l'éclairage nocturne des principales rues de la ville.

puis le béton coulé et désactivé. *"Lorsque nous en arrivions à ce stade, les commerçants étaient le plus souvent ravis, car ils savaient qu'ils étaient au bout de leur peine"* témoigne encore Guillaume Leclerc. Les deux granulométries employées permettent aussi de distinguer les espaces au sol. Le maître d'œuvre a voulu une reprise de la linéarité des façades qui présentent, comme dans de nombreuses villes, des différences d'alignement.

L'ensemble est équilibré par une bande de béton désactivé, réalisée avec un granulats plus fin, séparée du reste du trottoir par une bande de pavés calcaires.

Les dalles ont été coulées sur 15 centimètres d'épaisseur pour les parties piétonnes et sur 20 centimètres pour les parties circulées, épaisseurs qui convenaient parfaitement à l'architecte-paysagiste Alain Marguerit : *"Dans ce genre d'aménagement, il ne faut pas se limiter à un effet pelliculaire. On se doit d'œuvrer avec de bonnes épaisseurs de béton"*.

■ Qualité environnementale

L'ensemble de l'opération, qui aura duré un an et demi, a coûté 7 millions d'euros, dont 4,5 millions pour les travaux.

Guillaume Leclerc poursuit : *"Nous serons bientôt dotés d'un aménagement d'une grande qualité et les premières réactions que nous avons des usagers sont très positives. Nous avons eu affaire à des entreprises qui connaissaient parfaitement leur métier, nous apportant un savoir-faire véritable. Enfin, pour l'entretien de ces bétons très clairs, nous prévoyons des*



solutions de nettoyage soit en interne, soit en faisant appel à des prestataires de service, une à deux fois par an".

Soucieux à l'extrême du devenir de ses réalisations, Alain Marguerit a tiré les leçons du passé, qui utilisaient des formules de béton compliquées, avec des granulats de provenances différentes : *"Pour le problème posé par les réparations des dalles, dans le cadre des démarches de Haute Qualité Environnementale, par exemple, nous nous attachons aujourd'hui à travailler avec des granulats extraits à proximité, dans un rayon maximum de 50 kilomètres. Nous imposons aux entreprises de travailler avec des carrières proches, en pleine activité, pour pouvoir retrouver, si cela s'avère nécessaire, la formule exacte plus de cinq ans après la réalisation"*.

Le nouveau visage des Cours de Salon-de-Provence est donc parfaitement inscrit dans le long terme qui est, par nature, le temps de toute la Cité. ●



L'espace alloué aux voitures a été ramené à une plus juste proportion, grâce aux trottoirs en béton désactivé qui offrent un large domaine aux piétons.

LE SAVIEZ-VOUS ?



Remue-ménages

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 **4 parties**, telles que leur produit soit maximum.

Solution du Remue-ménages de *Routes* n° 97 :

Maximum d'un produit

Rappel du problème posé : diviser un nombre en **trois parties** telles que leur produit soit maximum.

Solution : pour résoudre ce problème, nous allons nous servir des résultats du problème précédent (voir Remue-Ménages dans *Routes* N° 96).

Soit "a" le nombre recherché. Celui-ci est divisible en trois parties de trois manières différentes :

- Cas n° 1 : a/3, a/3, a/3
- Cas n° 2 : a/3, (a/3 + x), (a/3 - x)
- Cas n° 3 : (a/3 + x), (a/3 - y), (a/3 + y - x)

Cas n° 1 : Le nombre "a" est divisé en trois parties égales "a/3". Leur produit P1 est donc $a/3 \cdot a/3 \cdot a/3$, soit $a^3/27$

Cas n° 2 : Le nombre "a" est divisé en trois parties inégales dont l'une est égale à "a/3". Les deux autres parties auront donc respectivement la forme (a/3 + x) et (a/3 - x). Leur produit P2 est donc $a/3 (a/3 + x) (a/3 - x)$ avec "x" strictement positif. "a/3" étant constant, P2 est maximal lorsque le produit (a/3 + x) (a/3 - x) est maximal.

Celui-ci est constitué de deux parties "a/3 + x" et "a/3 - x" dont la somme est constante et égale à "2a/3". D'après le problème précédent (voir Remue-Ménages dans *Routes* N° 96), le produit de deux nombres, dont la somme reste constante, est maximum lorsque ces deux nombres sont égaux. Le produit sera donc maximal pour $x = 0$, autrement dit quand chacune des deux parties est égale à "a/3".

Le produit P2 est maximal lorsque les trois parties sont égales à "a/3".

D'où : $P2 = a/3 \cdot a/3 \cdot a/3 = a^3/27$

Cas n° 3 : Le nombre "a" est divisé en trois parties "a/3 + x", "a/3 - y", "a/3 + y - x". Leur produit P3 est donc $(a/3 + x) (a/3 - y) (a/3 + y - x)$ avec "x" et "y" strictement positifs. Considérons le produit des deux premiers facteurs de P3 : $(a/3 + x) (a/3 - y)$.

Après mise en facteur et développement, nous obtenons :

$$\begin{aligned} (a/3 + x) (a/3 - y) &= a/3 (1 + (3/a)x) (a/3 - y) \\ &= a/3 (a/3 - y + x - (3/a)xy) \\ &= a/3 (a/3 + x - y) - (3/a)xy \\ &= a/3 (a/3 + x - y) - xy \end{aligned}$$

$$\text{D'où : } (a/3 + x) (a/3 - y) = a/3 (a/3 + x - y) - xy$$

"x" et "y" étant strictement positifs, nous avons donc :

$$(a/3 + x) (a/3 - y) < a/3 (a/3 + x - y)$$

Reprenons l'expression $P3 = (a/3 + x) (a/3 - y) (a/3 + y - x)$

Comme $(a/3 + x) (a/3 - y) < a/3 (a/3 + x - y)$, on a :

$$(a/3 + x) (a/3 - y) (a/3 + y - x) < a/3 (a/3 + x - y) (a/3 + y - x)$$

Or, les trois termes du second membre de l'inégalité ont la même somme que les trois termes du premier membre de l'inégalité, c'est-à-dire "a". Etudier le maximum de P3 revient à étudier le maximum de : $a/3 (a/3 + x - y) (a/3 + y - x)$.

D'après le cas n°2 ci-dessus, le maximum de cette dernière expression est obtenu pour : $(x - y) = 0$, autrement dit lorsque chacune des deux parties est égale à "a/3".

Leur produit P3 est donc maximal lorsque les trois parties sont égales à "a/3".

D'où : $P3 = a/3 \cdot a/3 \cdot a/3 = a^3/27$

Conclusion : le produit de trois nombres, dont la somme reste constante, est maximum lorsque ces trois nombres sont égaux.



GROS PLAN

Grand Jeu gratuit *Routes* N°100 : de superbes prix à gagner !

Pour fêter en juin 2007 la parution de son 100^e numéro, le magazine *Routes* a décidé d'organiser un Grand Jeu, sans obligation d'achat, qui vous permettra de gagner un week-end de rêve pour deux personnes à Venise, des dîners en Relais & Châteaux, ainsi que de nombreux autres prix !



Un week-end
de rêve
à Venise
pour deux
personnes



Des dîners
en Relais
& Châteaux
pour deux
personnes

Pour participer, c'est très simple : ne manquez pas le N° 99 de *Routes* (parution fin mars 2007) dans lequel vous trouverez le bulletin de participation et le règlement complet du jeu.

La liste des gagnants sera publiée dans le N° 100 de *Routes* qui paraîtra fin juin 2007 et qui marquera de façon officielle le 25^e anniversaire de la revue trimestrielle de Cimbéton.



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