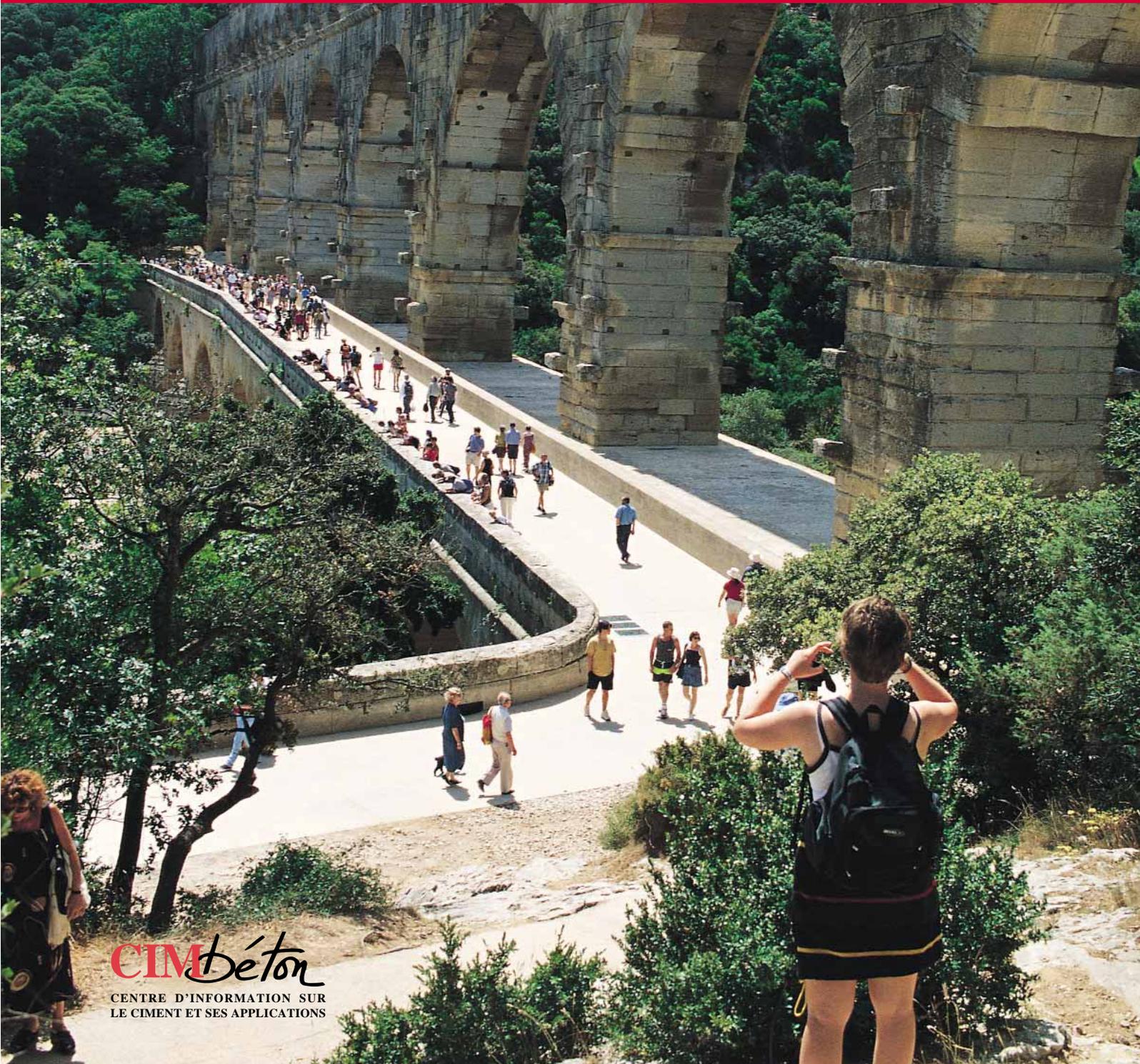


# ROUTES

■ BÉTONS : ROUTES, ENVIRONNEMENT, PAYSAGES ■



**CTM** *béton*  
CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

■ **Le point sur la Moselle**

■ **Technique : les limons traités pour assises de chaussées**

**à faible trafic**

■ DÉCEMBRE 2000 ■ N° 74

## Sommaire

### 2 EN BREF

AMÉNAGEMENT DU MÉTRO ET  
EMPLOI DU BCMC RUE BUFFON  
À RENNES (35).

### 3 LE POINT SUR LA MOSELLE (57)

LE BÉTON DANS TOUS SES ÉTATS.

### 7 DOCUMENTATION TECHNIQUE

LES LIMONS TRAITÉS POUR ASSISES  
DE CHAUSSÉES À FAIBLE TRAFIC.

### 15 PONT DU GARD (30)

UN RUBAN DE BÉTON POUR LE  
PONT DU GARD.

### 18 HABSHEIM (68)

BCMC : UNE PREMIÈRE  
EN ALSACE.

# En bref - En bref - En bref

## Rennes (35)



### Du béton compacté pour le métro

Pour la réalisation du chantier du Val de Rennes, il a été retenu la technique du béton compacté, mélange de graves de carrière et de ciment qui offre un très bon rapport performance-coût. Le chantier a été réalisé par l'entreprise Eurovia. L'organisation et la technicité de ce chantier, qui s'est déroulé durant trois mois jusqu'à fin septembre, ont été adaptées à sa spécificité :

- 3 700 m ont été mis en œuvre par des engins de chaussée améliorés par l'apport d'un système de dépollution permettant de travailler en milieu confiné ;
- la mise en œuvre du béton compacté a été réalisée en trois couches successives de 35 cm avec, grâce à une station laser robotisée, une précision de 5 mm ;
- 36 000 t de béton compacté ont été livrées par la carrière de la Garenne, ce béton étant envoyé à 15 m de profondeur par un système de pelle hydraulique, trémie, goulotte, tapis.

### Une première dans l'Ouest : à Rennes, la chaussée de la rue Buffon a été refaite en béton

La rue Buffon est une petite voie de quartier qui n'avait pas été conçue pour le passage des autobus, passage qui réduit la durée de vie des chaussées.

Le service des infrastructures de Rennes chargé de la restauration de cette chaussée devant intégrer la création d'une voie de bus a décidé d'employer une nouvelle technique, le BCMC (béton de ciment mince collé), plutôt que de réaliser une réfection traditionnelle en béton bitumineux.

C'est en deux jours, les 24 et 25 juillet dernier que les travaux ont été exécutés. L'application du BCMC s'est déroulée de la façon suivante : après rechargement de 5 cm d'enrobés, une mince couche de béton de 8 cm a été coulée directement sur la route, puis aplaniée avec un engin spécial ; ce béton, scié tous les m<sup>2</sup> avec soft cut avant qu'il ne soit sec afin de lui donner de la souplesse et éviter qu'il ne se fissure ; il adhère, par réaction chimique, à l'enrobé bitumineux et se rigidifie en 24 heures, ce qui permet de rétablir rapidement la circulation.



## 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  
E-mail : [centrinfo@cimbeton.asso.fr](mailto:centrinfo@cimbeton.asso.fr) • internet : [www.cimbeton.asso.fr](http://www.cimbeton.asso.fr)

Pour tous renseignements concernant les articles de la revue, s'adresser à CIMBÉTON • Directeur de la publication : Frédéric Velter  
• Directeur de la rédaction : Bernard Darbois • Coordination des reportages et rédaction de la documentation technique : Joseph Abdo  
• Reportages, rédaction et photos : Romualda Holak, Gilles Nilsen, Yann Kerveno, Marc Deléage • Réalisation ALTEDIA COMMUNICATION – 5, rue de Milan –  
75319 Paris Cedex 09. Tél. 01 44 91 51 00 – Fax 01 44 91 51 01 • Dépôt légal : 4<sup>e</sup> trimestre 2000 • ISSN 1161 – 2053 1994

# Le béton dans tous ses états

Le béton a trouvé sa place au pays de l'acier et des mines. Désactivé, imprimé, ou tout simplement balayé, il intervient dans de nombreuses réalisations de voirie en Moselle, à la campagne ou en ville, pour de simples aménagements d'agrément ou pour répondre à des demandes techniques très complexes. Dans chaque aménagement, il fait valoir l'étendue de ses qualités esthétiques et mécaniques.

À deux pas de la frontière, Rodemack est une petite ville de "caractère" affectueusement appelée la "Carcassonne lorraine" par les Lorrains eux-mêmes. Entourée de remparts, cette citée postée à quelques encablures d'une frontière très disputée est dotée d'un chemin qui suit une longue portion des fortifications. Réalisé en béton désactivé en granulat de Moselle, le chemin se perd parfois sous le couvert des arbres, s'expose plus loin contre les pierres anciennes, se joue de l'histoire en venant discrètement buter contre un petit pont aux allures moyen-âgeuses qui enjambe un ruisseau. Tout concourt ici à rendre la promenade aussi agréable que possible, mais également garantit une accessibilité permanente en évitant que le cheminement se transforme, au plus humide de l'hiver ou du printemps, en un cloaque dissuasif.



## LES ATOUTS DU BÉTON DÉSACTIVÉ

Un peu plus à l'Est et dans un secteur beaucoup plus vallonné, voire escarpé, le château de Manderen a été doté d'un parking pour voitures en béton désactivé (granulat d'Autrey), procédé qui lui assure une meilleure intégration au pied des remparts qu'un revêtement de couleur sombre. En Moselle comme ailleurs, le béton désactivé a su prendre place au cœur de sites sensibles et participe de l'aménagement qualitatif des lieux ouverts aux touristes. Ce qui ne l'empêche pas, loin de là, de se trouver présent dans des aménagement résolument modernes. À Thionville, c'est une résidence moderne de 113 logements qui a fait l'objet d'un traitement en béton désactivé à base de

▲ Rodemack : la promenade qui longe les remparts de la "Carcassonne lorraine" a été réalisée en béton désactivé et s'intègre parfaitement entre vieilles pierres et végétation.

granulats très clairs d'Autrey. Le béton y a été mis en œuvre pour l'ensemble des espaces piétonniers et les dessertes des entrées de cage d'escalier. Les tons clairs ainsi inscrits dans le paysage sont en harmonie avec les façades blanches, et les espaces uniquement dévolus aux piétons s'accordent avec la tonalité contemporaine de l'architecture de l'ensemble.

Au-delà des cheminements piétonniers ainsi traités, qui sont aujourd'hui monnaie courante, le béton permet également la réalisation d'équipements soumis à des contraintes plus lourdes. À Marsilly, c'est

## REPÈRES

- SUPERFICIE : 6 216 km<sup>2</sup>
- POPULATION : 1 023 447 habitants
- DENSITÉ : 165 habitants/km<sup>2</sup>
- NOMBRE DE COMMUNES : 767
- PRÉFECTURE : Metz
- SOUS-PRÉFECTURES : Boulay-Moselle, Château-Salins, Forbach, Sarrebourg, Sarreguemines, Thionville



▲ Rodemack : l'intégration des chemins en béton désactivé est essentiel pour la réalisation d'aménagements en secteurs protégés ou classés.

une route complète en béton balayé qui a été construite pour longer le village, à l'image des chemins agricoles en béton auxquels il est souvent fait appel dans l'est de la France pour pérenniser les accès aux parcelles.

La commune de Pange, à quelques kilomètres au sud-est de Metz, s'est équipée d'un rond-point en béton désactivé et d'une aire d'arrêt pour autobus. Les grandes qualités de résistance mécanique et de pérennité offertes par le béton désactivé sont donc déterminantes et conjuguent solidité – puisqu'il supporte le passage de poids lourds et de tracteurs –, et esthétique. La nuance de couleurs née du changement de matériaux donne en effet un aspect différent au rond-point, signalant clairement aux automobilistes l'entrée en agglomération.

### DES GRANULATS ESSENTIELLEMENT LOCAUX

Le béton désactivé a fait son entrée en Lorraine depuis une dizaine d'années, même si les premières routes en béton balayé existent depuis plus longtemps. *“Le désactivé est un produit que nous faisons de plus en plus, juge Alain Marcus, d'Orsa Bétons. Le béton désactivé séduit, car nous sommes en mesure d'offrir une grande palette de couleurs et de granulats qui correspondent aux recherches actuelles des aménageurs (DDE, collectivités locales...) en termes d'esthétique, notamment. À tel point que se font jour aujourd'hui des demandes pour des granulats rouges ou verts.”* Dans leur grande majorité pourtant,



▲ Manderen : le parking en béton désactivé s'inscrit naturellement et durablement dans les abords de ce château restauré.

les granulats actuellement utilisés en Moselle restent d'origine locale, principalement pour des raisons de coût. *“Dans ce secteur, nous disposons des granulats de Moselle, roulés et dans les tons jaunes, des granulats de Meuse qui sont également des roulés, mais un peu plus plats et dans des tons blanc laiteux. Sinon, nous mettons en œuvre des granulats d'Autrey, également blancs en roulé ou en concassé, et du calcaire concassé qui se rapproche de la pierre de Jaumont”,* explique Alain Marcus.

Les maîtres d'ouvrage ont également compris que l'entretien de tels aménagements

était un mal nécessaire, même si la robustesse du béton incite bien souvent à s'en dispenser. *“D'une manière générale, poursuit Alain Marcus, on peut dire que les équipements qui ont été réalisés en béton sont bien entretenus, les rues piétonnières sont nettoyées régulièrement. Lorsque c'est l'esthétique qui est recherchée avec le béton désactivé, les maîtres d'ouvrage tiennent naturellement à ce que cela reste propre.”*

Un état d'esprit qui est encore pourtant loin d'être la règle chez l'ensemble des aménageurs.



▲ Metz : la rue des Clercs et la rue Serpenoise supportent respectivement un trafic de 161 et 289 bus par jour, ce qui impliquait le recours aux chaussées en béton pour ralentir l'usure dans le temps.

## BÉTON IMPRIMÉ EN ULTIME SOLUTION

L'aménagement de la rue des Clercs et de la rue Serpenoise, deux des rues les plus passantes de Metz, relève de la saga tant les contraintes imposées étaient complexes. En 1978, elles étaient parmi les toutes premières voies de la commune à être transformées en zones piétonnières, tout en continuant à supporter le trafic très élevé des bus (entre 160 et 280 véhicules par jour) et des camions de livraison.

*“Ces deux rues sont au cœur du dispositif de transports en commun de la ville, notamment la rue Serpenoise, empruntée par l'ensemble des lignes existantes”,* détaille Pierre Dezamy, directeur du service circulation de la ville de Metz. Et avant de parvenir à une solution satisfaisante, plusieurs tentatives ont été faites sur la base de combinaisons de matériaux différents. *“Lorsque ce chantier a été réalisé, nous avions l'habitude à Metz de travailler avec des matériaux nobles, de la pierre naturelle principalement, et nous avons conçu ces deux rues avec des pavés et des dalles de granit”,* explique Jean-Philippe Gautier, directeur du service voirie de la ville de Metz. La bande centrale, de 3 m de largeur, était constituée de pavés 10 x 10 à face éclatée, sur lit de mortier (de 5 à 10 cm d'épaisseur) avec une fondation béton, une dalle de 25 cm avec treillis soudé. Les pavés étaient jointoyés au mortier de chaux, selon les recommandations de l'architecte des Bâtiments de France. Cette première version a rapidement posé des problèmes aux services techniques de la ville. *“Le confort de marche pour les piétons était assez faible et, compte tenu du trafic urbain que supportaient ces revêtements, nous avons très vite été confrontés à des problèmes de déformation”,* détaille



▲ Metz : le béton imprimé a été l'ultime solution retenue par les services techniques de la ville pour assurer la viabilité du revêtement tout en conservant une certaine esthétique.



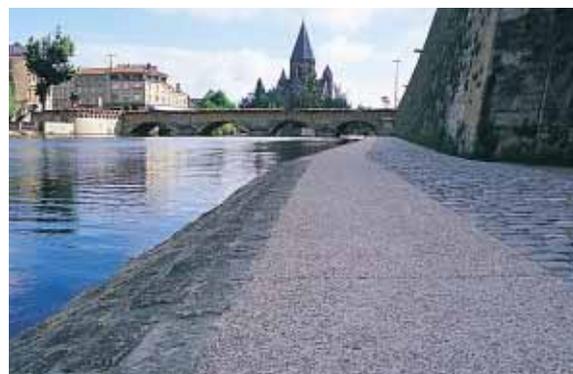
▲ Metz : le cheminement des berges de la Moselle a été réalisé en béton désactivé.

Jean-Philippe Gautier. Les pavés se déchaussaient, le lavage à haute pression chassait les joints, l'eau parvenait à s'infiltrer jusqu'au mortier de pose... Et l'aménagement de se transformer en cauchemar urbain.

## LE BÉTON POUR RENFORCER LES FONDATIONS

En 1983 et 1984, l'ensemble des rues a été repris avec un autre type de pavés 16 x 16 puisque les fondations ne semblaient pas avoir souffert. Jean-Philippe Gautier poursuit : *“Nous les avons posés sur un lit de sable très peu épais et ils ont été quasi jointoyés à sec. Ce fut une opération très difficile et lourde.”* D'autant que les problèmes sont survenus assez vite : *“Les pavés éclataient sous le passage des bus, ce qui engendrait des désordres importants, mais tout de même moins graves que ceux que nous avons connus par le passé. Nous avons alors dû envisager une solution beaucoup plus radicale et définitive.”*

Dès lors, le service voirie de la ville de Metz a planché sur une solution béton. *“Nous nous étions aperçus que les fondations avaient souffert, la dalle d'origine était irrégulière, le treillis soudé avait été mal installé par endroits. Nous avons donc cherché un revêtement qui renforce la chaussée. Le béton s'est imposé naturellement pour les 20 ou 22 cm d'épaisseur que nous avions à réaliser.”* Dès 1998, la ville s'est donc engagée dans un procédé nouveau, apte à répondre à toutes les contraintes exigées, le béton imprimé, en procédé Bomanite, le seul disponible à ce



moment-là. *“Aucun chantier n'avait été réalisé à ce moment-là en France, nous avons dû aller en Grande-Bretagne pour constater de visu de quoi il retournait. C'était un choix essentiellement technique de renforcement d'une structure insuffisante, et c'était également la première fois que nous apportions une réponse aux problèmes de revêtement des couloirs de bus.”* Une solution qui semble avoir séduit tout



▲ Pange : utilisé dans le cadre d'aménagements de carrefours giratoires, le béton désactivé fait preuve de ses très grandes qualités de résistance et de pérennité, et permet de signaler clairement l'entrée en agglomération.



▲ Thionville : dans un ensemble de logements, l'aspect moderne du béton désactivé se conjugue parfaitement avec l'architecture contemporaine des bâtiments.

le monde, notamment les commerçants des deux rues, qui ont vu l'achèvement de ces longues périodes de travaux, synonymes de désordres et peu favorables au commerce. En effet, depuis la mise en place de la chaussée de bus de 3 m de large en béton imprimé, aucun entretien de grande ampleur n'a été réalisé, et l'aspect esthétique des rues situées dans un secteur sensible de la ville a été préservé. Seule la rue des Clercs fait l'objet durant l'année 2000 d'interventions plus lourdes, bien que très partielles.

### UNE ALTERNATIVE ÉCONOMIQUE

Construire ces chaussées en béton imprimé a donc permis de s'affranchir des contraintes mécaniques imposées et de conserver une certaine esthétique, mais c'est également une alternative économique à plus d'un titre. *"Nous avons mis en place un revêtement qui revient à environ 600 francs le mètre carré contre 1 200 à 1 500 francs le mètre carré avec les matériaux traditionnels que nous utilisons habituellement, comme le granit par exemple"*, commente Jean-Philippe Gautier. D'autres endroits de la ville ont par la suite bénéficié de ce procédé, notamment une dalle supérieure de parking. Comme dans la majeure partie des grandes villes françaises, les chaussées en béton, imprimé ou désactivé, ont ainsi trouvé à Metz un terrain de prédilection qui s'attarde jusqu'aux bords de la Moselle comme sur le quai des Régates, qui conduit, le long de la rivière, du centre-ville au bâtiment des Régates Messines. Le chemin ainsi délimité par l'emploi du



▲ Thionville : les cheminements réalisés en béton désactivé offrent un parfait confort aux piétons.



▲ Marsilly : en milieu rural, les routes en béton offrent des gages de pérennité incomparables.

béton désactivé reste propre toute l'année, contrairement à un cheminement en grave par exemple, que quelques journées de pluie un peu soutenue ont tôt fait de transformer en pataugeoire, et se fond dans le paysage constitué de la rivière, des anciens remparts de la place forte et du parc qu'il longe. Preuve en est que le béton est un matériau pétri d'urbanité trouvant place dans les aménagements les plus contemporains, et qu'il sait aussi se faire discret et respectueux dans les milieux naturels. Tout en apportant des gages de pérennité à nuls autres pareils. ■



### QUELQUES RÉFÉRENCES

(béton désactivé, coloré et imprimé)

#### Bambiderstroff

- Route de lotissement, 600 m<sup>2</sup>

#### Rodemack

- Chemin de ronde des remparts, 300 m<sup>2</sup>

#### Chérissey

- Route du golf, 300 m<sup>2</sup>

#### Marsilly

- Route en béton balayé, 2 000 m<sup>2</sup>

#### Manderen

- Parking du château, 400 m<sup>2</sup>

#### Metz

- Chemin le long de la Moselle, 600 m<sup>2</sup>
- Rue des Clercs, 1 500 m<sup>2</sup>
- Rue Serpenoise, 1 500 m<sup>2</sup>
- Abords du plan d'eau, 300 m<sup>2</sup>
- Accès école Île-du-Sauily, 200 m<sup>2</sup>

#### Pange

- Giratoire, 100 m<sup>2</sup>

#### Rémilly

- Giratoire, 100 m<sup>2</sup>

#### Thionville

- Aire de circulation et accès à 113 logements, 700 m<sup>2</sup>
- Parking et accès bureau zone du Gassion, 500 m<sup>2</sup>

# Les limons traités pour assises de chaussées à faible trafic

La raréfaction des ressources en granulats dans certaines régions et le renchérissement des transports ont incité maîtres d'œuvre, organismes techniques et entreprises à rechercher des solutions alternatives, notamment en faisant appel aux techniques permettant de valoriser les matériaux disponibles localement. Dans cette optique, le traitement des limons en place prend toute sa signification.



▲ Vue générale d'exécution d'une plate-forme industrielle. Assises en limon traité à la chaux et au ciment.

La construction routière nécessite des quantités importantes de granulats. En France, la consommation annuelle s'élève en effet à environ 200 millions de tonnes. Le caractère assez restrictif des spécifications routières fait que seules certaines catégories de matériaux sont couramment utilisées : ce sont essentiellement des alluvions et des matériaux provenant des roches massives. Les limons, des formations superficielles extrêmement répandues dans certaines régions, ont été trop longtemps considérés comme des matériaux de caractéristiques médiocres et d'importance secondaire en technique routière. Le traitement en place des limons pour l'exécution des remblais et des couches de forme s'est largement développé ces trente dernières années en France.

L'extension de son domaine d'emploi aux assises de chaussées s'est déroulée progressivement. Dans un premier temps, cette technique a été utilisée pour réaliser des chaussées à faible trafic (zones pavillonnaires, parkings, centres commerciaux, plates-formes industrielles, etc.). Actuellement, on évalue le tonnage annuel de limon traité en couches d'assises à faible trafic entre 3 et 5 millions de tonnes.

Ensuite, le champ d'application de cette technique a été élargi aux chaussées à trafic moyen à lourd, où son utilisation a dépassé aujourd'hui le stade expérimental. Elle se répand de plus en plus dans les chaussées des routes départementales, où elle est utilisée jusqu'au niveau de la couche de base (régions du nord et de l'ouest de la France). Sur les routes nationales, elle va actuellement jusqu'au niveau de la fondation. À ce jour, on compte plus de 50 km de routes à fort trafic réalisées avec une assise en LTCC\*. Cet intérêt croissant pour la technique, nous le devons à la conjonction de deux phénomènes : une meilleure connaissance des performances mécaniques des limons traités et du comportement des structures, et une amélioration notable des performances et de la fiabilité des matériels de traitement en place. L'objet de cette documentation technique est de présenter une synthèse des connaissances et des règles de l'art relatives à la technique du traitement en place des limons à la chaux et au ciment en vue de leur utilisation en assises de chaussées à faible trafic.

\* *Limons traités à la chaux et/ou au ciment.*

## LES LIMONS

### ● DÉFINITION

Pour le géotechnicien, le limon désigne une fraction granulométrique intermédiaire entre argile et sable, c'est-à-dire la fraction granulométrique 2 µm-20 µm et, par extension, une famille de sols où cette fraction prédomine. Pour le géologue, la classification des limons se fait suivant un critère génétique. Il distingue :

- les limons éluviaux, résultant d'une altération sur place du substratum ;
- les limons colluviaux, formés par entraînement d'éléments par l'eau courante ou par gravité ;
- les limons alluviaux, les plus répandus, formés par accumulation d'éléments transportés par un fluide (air ou eau) en mouvement. Ils sont essentiellement représentés par les limons éoliens, comme les "loëss".

### ● IMPORTANCE ET SITUATION DES LIMONS

Les limons sont des formations superficielles extrêmement répandues, souvent morcelées, si bien que la carte géologique ne les représente pas toujours et ne rend pas bien compte de leur grande étendue. Ils se rencontrent constamment dans les travaux de terrassement lors de la création de nouveaux équipements industriels ou urbains, et dans les chantiers de terrassements routiers et autoroutiers. Les nombreux travaux réalisés récemment, en particulier dans les régions Nord, Picardie, Normandie, Bretagne et Ile-de-France, ont dû s'accommoder de ces matériaux. Leur épaisseur excède souvent 5 m, et parfois même 10 m dans le nord et dans l'ouest de la France.

Malgré leur grande étendue et la diversité des roches dont ils émanent, les limons sont caractérisés globalement et classés du point de vue géotechnique, conformément à la classification des sols établie par le SETRA et le LCPC (norme NFP 11 300).

## LES LIANTS

Deux types de liants sont successivement utilisés dans la technique de traitement en place des limons. Il s'agit de la chaux aérienne et du ciment.

### ● LA CHAUX AÉRIENNE

La chaux aérienne se présente sous les deux formes suivantes :

- la chaux vive, qui est principalement constituée d'oxyde de calcium CaO, à plus de 80 %. Elle est obtenue par calcination du calcaire à 1 000 °C ;
- la chaux éteinte, qui est obtenue par hydratation (ou extinction) de la chaux vive. Elle contient principalement de l'hydroxyde de calcium Ca (OH)<sub>2</sub>.

Le lait de chaux est obtenu par mise en suspension de chaux éteinte dans de l'eau.

Les caractéristiques des chaux aériennes à usage routier sont définies dans la norme NFP 98 101.

### ● LES CEMENTS

En France, les ciments utilisés doivent être conformes à la norme NFP 15 301 et certifiés conformes par l'AFNOR.

### ● LES LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS

Dans l'attente d'une norme qui est en cours d'élaboration, ils font l'objet d'avis techniques délivrés par le Comité français pour les techniques routières (CFTR).

## ACTION DES LIANTS SUR LES LIMONS

### ● CAS DE LA CHAUX AÉRIENNE

Compte tenu de ses propriétés, la chaux modifie de façon sensible le comportement des limons, grâce à trois types d'action distincts :

#### ACTION SUR LA TENEUR EN EAU

Elle dépend du type de chaux utilisé, qui se détermine en fonction de la teneur en eau naturelle du limon à traiter.

#### ● Cas des limons humides

On cherche à abaisser la teneur en eau pour se rapprocher des conditions optimales de réemploi. On fait alors appel à la chaux vive, qui permet de diminuer la teneur en eau sous l'action conjuguée de trois phénomènes :

- apport en produit sec ;
- consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux vive ;
- évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation et par l'aération provoquée par le malaxage.

En moyenne, la diminution de la teneur en eau d'un limon traité à la chaux vive est de 1 à 2 % pour 1 % de chaux.

#### ● Cas des limons secs

On peut utiliser soit la chaux vive, soit la chaux éteinte, soit le lait de chaux.

Pour des raisons pratiques, il est souvent fait appel au traitement à la chaux vive. Mais la diminution de la teneur en eau qui en résulte nécessite une humidification du matériau après traitement au ciment pour se rapprocher des conditions optimales de compactage.

#### MODIFICATIONS IMMÉDIATES DES PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES

Dès l'incorporation de la chaux dans le limon, les fines particules argileuses s'agglomèrent en éléments plus grossiers et friables. Ce phénomène, appelé floculation, s'explique par la formation de ponts Ca (OH)<sub>2</sub> entre les feuillets d'argile.

Au laboratoire, on constate :

- une diminution de l'indice de plasticité  $I_p$  ou, ce qui revient au même, de la valeur de bleu VBS ;
- une augmentation de l'indice portant immédiat IPI ;
- un aplatissement de la courbe Proctor avec diminution de la densité maximale et augmentation de la teneur en eau optimale.

Sur chantier, un limon humide perd immédiatement son caractère collant pour prendre un aspect sableux, homogène. Sa manipulation devient aisée, son comportement à la mise en œuvre et sa portance sont nettement améliorés. L'homogénéité qu'il acquiert le place dans des conditions idéales pour subir le traitement au ciment.

En général, un faible dosage en chaux, de l'ordre de 1 %, suffit pour déclencher ces modifications.

### MODIFICATIONS À LONG TERME

La chaux, en tant que base forte, élève le pH du limon et favorise la mise en solution de l'alumine et de la silice. Il se forme des aluminates et des silicates de calcium hydratés qui, en cristallisant, agissent comme un liant entre les grains. Les performances mécaniques s'en trouvent améliorées, mais pas suffisamment pour permettre d'utiliser le limon-chaux en assises de chaussées.

#### ● CAS DU CIMENT

Les réactions du ciment et du liant hydraulique routier avec un limon, consistent essentiellement en une hydratation des silicates et aluminates de calcium anhydres, avec passage par la phase soluté suivie de la cristallisation des produits hydratés : c'est la prise hydraulique.

C'est la croissance des microcristaux formés, leur enchevêtrement, leur feutrage progressif, qui enrobent et relient les grains du matériau entre eux, formant en quelque sorte des ponts de plus en plus nombreux et solides. Ce qui conduit rapidement au durcissement du mélange, à l'obtention de caractéristiques mécaniques élevées et à sa stabilité à l'eau et au gel.

### UTILISATION DES LIMONS TRAITÉS EN ASSISES DE CHAUSSÉES

L'utilisation des limons traités à la chaux et au ciment en assises de chaussées exige un soin particulier non seulement au niveau de la conception des ouvrages et de leur dimensionnement, mais aussi au niveau des études de traitement en laboratoire et de l'exécution sur chantier.

#### ● CONCEPTION

La conception des chaussées à faible trafic en limons traités à la chaux et au ciment est définie dans le *Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic* (SETRA-LCPC/1981).

Ce manuel fixe les conditions d'utilisation de ces matériaux selon les critères suivants.

### CRITÈRES DE DÉFORMABILITÉ DE LA PLATE-FORME

Le manuel prévoit des solutions d'amélioration (couche de forme) chaque fois que la portance du sol au moment des travaux est inférieure à  $P = P_2$  ( $6 < CBR \leq 10$ ).

Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau 1.

**Tableau 1 : choix des couches de forme en fonction des impératifs de chantier**

Portance	Améliorations nécessaires	
Portance prévisible de la plate-forme à court terme	Épaisseur de la couche de limon traité en place	Nouvelle portance
$P = P_0^*$ $CBR \leq 3$	35 cm	$P_2$
$P = P_1$ $3 < CBR \leq 6$	20 cm	$P_2$

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

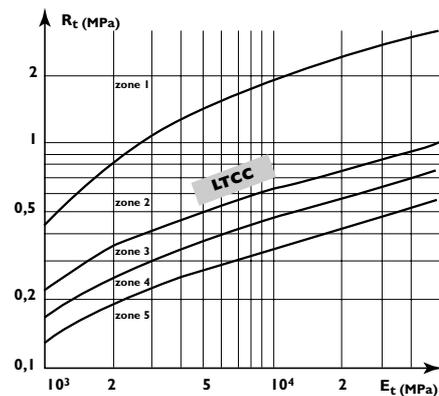
### QUALITÉ DES LIMONS TRAITÉS

Le matériau limon-chaux-ciment doit posséder des caractéristiques mécaniques suffisantes pour être utilisé en assises de chaussées.

Le manuel de conception (SETRA-LCPC/1981) définit trois classes de résistance pour les limons-chaux-ciment en fonction de leur résistance à la traction directe  $R_t$  et de leur module de déformation  $E_t$  mesurés à 180 jours. Il est à souligner que ces matériaux sont déclassés de deux classes par rapport à une grave traitée ou un sable traité ayant les mêmes caractéristiques mécaniques ( $R_t$ ,  $E_t$ ).

La figure 1 – extraite du manuel – fournit les différentes classes de résistance correspondant aux matériaux d'assises traitées aux liants hydrauliques.

Figure 1 : Classes de résistance.  $E_t$ ,  $R_t$  sont mesurés à 180 jours. (Extrait du *Manuel de conception SETRA-LCPC*.)



Classe de résistance selon la zone du graphique

Classe	GH, SH, CV	LTCC
1	Zone 1	
2	Zone 2	
3	Zone 3	Zone 1
4	Zone 4	Zone 2
5	Zone 5	Zone 3, 4, 5

Nota : l'utilisation des matériaux de classe 5 n'est pas envisagée dans ce document.

## ● DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement de la chaussée à assises en limons traités s'effectue en deux étapes :

- choix de la couche de surface ;
- dimensionnement de l'assise.

### CHOIX DE LA COUCHE DE SURFACE

Le manuel de conception SETRA-LCPC définit la couche de surface minimale requise par cette technique. L'épaisseur de cette couche est fonction de la classe du trafic à la mise en service. Le choix de l'épaisseur est donné dans le tableau 2 :

Tableau 2 : choix de la couche de surface	
Classe de trafic à la mise en service	Épaisseur de la couche de surface* en BB (cm)
t <sub>5</sub>	6 cm BB 0/10
t <sub>4</sub>	8 cm BB 0/14
t <sub>3-</sub>	10 cm BB 0/14
t <sub>3+</sub>	solution non prévue

\*Pour certaines voiries de zones pavillonnaires ou des parkings à usage exclusif de véhicules légers, la couche de surface peut être ramenée à 3 cm d'épaisseur.

### DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE

Le manuel de conception permet le dimensionnement de l'assise à partir d'abaques établies pour les limons traités de classe 3 et de classe 4.

Le dimensionnement est effectué :

- en lisant sur l'abaque l'épaisseur "h" qui dépend du trafic cumulé "N" et de la couche de surface choisie ;

- en lui rajoutant un terme correcteur "Δ h" qui est fonction de la portance de la plate-forme à long terme P.

Le tableau 3 constitue une fiche de structures types pour les limons traités à la chaux et au ciment. Elle est établie à partir de l'abaque du manuel correspondant aux matériaux de classe 4 en prenant les hypothèses suivantes : durée de service, 20 ans, et taux de croissance annuel du trafic, 4 %.

## ● LES ÉTUDES DE TRAITEMENT

La diversité des limons susceptibles d'être traités à la chaux et au ciment, tant en ce qui concerne leur nature qu'en ce qui concerne leur teneur en eau naturelle, ne permet pas de proposer une formulation générale. Dans chaque cas, une étude géotechnique est donc nécessaire.

L'objectif de cette étude consiste à déterminer les liants à employer et les dosages à appliquer en fonction :

- des caractéristiques des limons ;
- des performances recherchées des limons traités ;
- éventuellement des matériels utilisés.

Elle doit comporter deux phases : la qualification des limons à traiter et la formulation des limons traités.

### LA QUALIFICATION DES LIMONS À TRAITER

Elle a pour but de fournir, à partir de sondages de reconnaissance et d'essais en laboratoire, une description des terrains rencontrés avec principalement :

- leur regroupement en familles homogènes et représentatives, conformément à la "Classification des sols" établie par le SETRA et le LCPC - norme NF P 11 300 ;

Tableau 3 : planche de structures limons traités à la chaux et au ciment							
		Portance à long terme p					
		p = P <sub>1</sub> ou (3 < CBR ≤ 6)		p = P <sub>2</sub> ou (6 < CBR ≤ 10)		p = P <sub>3</sub> ou (10 < CBR ≤ 20)	
		Vérifier que la portance à court terme est au moins égale à P <sub>2</sub>					
Classe de trafic à la mise en service t	t <sub>6</sub> 0 - 10 PL/j	cloutage + enduit 35 cm	3 cm BB 0/10 LTCC	cloutage + enduit 32 cm	3 cm BB 0/10 LTCC	cloutage + enduit 30 cm	3 cm BB 0/10 LTCC
	t <sub>5</sub> 10 - 25 PL/j	cloutage + enduit 38 cm	6 cm BB 0/10 LTCC	cloutage + enduit 34 cm	6 cm BB 0/10 LTCC	cloutage + enduit 30 cm	6 cm BB 0/10 LTCC
	t <sub>4</sub> 25 - 50 PL/j	cloutage + enduit 40 cm	8 cm BB 0/14 LTCC	cloutage + enduit 36 cm	8 cm BB 0/14 LTCC	cloutage + enduit 32 cm	8 cm BB 0/14 LTCC
	t <sub>3-</sub> 50 - 100 PL/j	cloutage + enduit 41 cm	10 cm BB 0/14 LTCC	cloutage + enduit 37 cm	10 cm BB 0/14 LTCC	cloutage + enduit 33 cm	10 cm BB 0/14 LTCC

Nota : pour les LTCC d'épaisseur > 35 cm, seuls des malaxeurs performants permettent de réaliser le traitement en une seule couche.

– la localisation dans l'espace (profils en long et en travers) ainsi que les volumes disponibles.

Cette étude permet, avec une garantie suffisante, de préjuger l'intérêt que peut présenter le traitement des limons en vue d'une utilisation en assises de chaussées, des problèmes qu'ils risquent de poser et donc des solutions qu'il conviendra d'apporter. Elle doit être réalisée et interprétée par un géotechnicien compétent et expérimenté. Il convient donc de caractériser ces limons au regard des paramètres significatifs vis-à-vis du traitement et de les classer du point de vue géotechnique conformément à la "Classification des sols" (norme NF P 11 300).

Celle-ci regroupe ces paramètres en deux grandes familles :

#### ● Paramètres de nature

Ils caractérisent ce qui ne varie pas, ou peu, ni dans le temps ni au cours des manipulations que peut subir un sol lors de la mise en œuvre. Les paramètres de nature à considérer sont la granularité et l'argilosité.

La **granularité** est définie dans les normes NF P 94 056 et NF P 94 057. La connaissance de  $D_{max}$  (dimension du plus gros élément) et du tamisat à 80  $\mu\text{m}$  déterminent respectivement le choix des engins de malaxage et de la méthode de travail.

Du point de vue granularité, la "Classification des sols" (norme NF P 11 300) place les limons dans la catégorie des sols fins de classe A, caractérisée par :

- $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$  ;
- tamisat à 80  $\mu\text{m}$  > 35 %.

Ces caractéristiques sont adaptées à l'utilisation de malaxeurs performants du type "pulvérisateurs à arbre horizontal" permettant d'obtenir l'homogénéité requise pour des assises de chaussées.

L'**argilosité** caractérise à la fois la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans le sol. On peut la mesurer à l'aide de l'un ou l'autre des paramètres suivants :

- l'**indice de plasticité  $I_p$** , défini par la norme NF P 94 051 ;
- la **valeur de bleu de méthylène VBS**, définie par la norme NF P 94 068.

Du point de vue argilosité, la "Classification des sols" (norme NF P 11 300) regroupe les limons en trois sous-classes :

- sous-classe  $A_1$ , qui représente les limons peu plastiques, définie par :  
 $I_p \leq 12$  ou  $VBS \leq 2,5$  ;
- sous-classe  $A_2$ , qui représente les limons moyennement plastiques, définie par :  
 $12 < I_p \leq 25$  ou  $2,5 < VBS \leq 6$  ;
- sous-classe  $A_3$ , qui représente les limons très plastiques, définie par :  
 $25 < I_p \leq 40$  ou  $6 < VBS \leq 8$ .

La connaissance de l'argilosité permet d'évaluer, en première approximation, le dosage en chaux à utiliser pour annihiler les argiles contenues dans le limon.

#### ● Paramètres d'état

Ces paramètres ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve. Le paramètre d'état le plus déterminant est l'état hydrique du sol, qui s'exprime par le rapport  $\frac{w_{NAT}}{w_{OPN}}$  entre la teneur en eau naturelle et la teneur en eau à l'Optimum Proctor Normal du sol considéré.

Du point de vue "état hydrique", la "Classification des sols" (norme NF P 11 300) regroupe les limons de chacune des sous-classes  $A_1$ ,  $A_2$  et  $A_3$  en cinq sous-classes : ts (très sec), s (sec), m (moyen), h (humide) et th (très humide), dans l'ordre croissant de l'humidité.

Cette caractéristique est déterminante car elle conditionne à la fois le choix du type de chaux à utiliser (chaux vive, chaux éteinte, lait de chaux), le bon déroulement des réactions de prise et de durcissement, et la qualité de la mise en œuvre, du malaxage et du compactage.

#### LA FORMULATION DES LIMONS TRAITÉS

L'objectif est de déterminer les dosages en chaux et en ciment à incorporer successivement dans le limon à étudier pour satisfaire aux trois critères suivants :

- le premier critère est relatif à la vérification de l'aptitude du limon à être traité. Elle se fait à partir de "l'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques", défini par la norme NF P 94 100. Si les résultats de cet essai sont négatifs, il est alors souvent justifié de procéder à des mesures des teneurs de certains constituants chimiques susceptibles d'avoir perturbé l'action des liants, tels que les matières organiques et les nitrates (effet inhibiteur), les sulfures et les sulfates (effet de gonflement) et les chlorures (effet accélérateur de prise et de durcissement avec risque de gonflement) ;
- le deuxième critère est relatif à l'exécution. On recherche le dosage en chaux capable de conférer au limon étudié une portance immédiate suffisante afin d'assurer sa mise en œuvre correcte : aptitude au compactage et à supporter la circulation des engins de chantier ;
- le troisième critère est relatif à la tenue dans la structure. On recherche le dosage en ciment à incorporer au mélange limon-chaux pour lui conférer les performances mécaniques exigées d'un matériau d'assises.

#### ● Recherche de la portance immédiate

On étudie l'évolution de l'indice portant immédiat IPI (CBR sans surcharges) en fonction du dosage en chaux pour différentes teneurs en eau représentatives de l'état naturel.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau ou traduits en un abaque indiquant, pour une teneur en eau naturelle donnée, le dosage nécessaire à l'obtention du niveau de portance visé.

La valeur minimale recommandée de l'IPI à la teneur en eau du chantier peut être fixée à IPI = 10.

Dans le cas où la teneur en eau naturelle du limon est faible, le dosage minimal en chaux de 1 % sera retenu.

### ● Recherche des performances mécaniques exigées

L'objectif général est de déterminer le dosage en ciment à incorporer au mélange limon-chaux pour atteindre les performances mécaniques exigées pour un matériau d'assises.

Celles-ci sont appréciées par le couple résistance à la traction et module de déformation du matériau ( $R_t$ ,  $E_t$ ), paramètres indispensables au dimensionnement des chaussées.

La méthodologie de l'étude consiste donc à étudier l'évolution des paramètres  $R_t$  et  $E_t$ , à des âges bien définis (7 j, 28 j, 90 j et 180 j), en fonction des dosages en ciment, des plages de variation des teneurs en eau et des compacités prévisibles sur le chantier, et de l'éventualité d'apparition de gel ou d'immersion.

Les paramètres  $R_t$  et  $E_t$  sont mesurés sur des éprouvettes cylindriques de diamètre  $\phi = 5$  cm et de hauteur  $H = 5$  cm.

La confection des éprouvettes et leur conservation doivent être conformes à la norme NFP 98 230-2.

La détermination du couple ( $R_t$ ,  $E_t$ ) se fait à partir de l'essai de compression diamétrale (essai brésilien) conformément à la norme NFP 98 232-3.

Le couple ( $R_t$ ,  $E_t$ ) permet de définir la classe de résistance du limon traité selon la classification définie à la figure 1.

## EXÉCUTION

### ● TRAITEMENT TYPE

L'exécution des travaux de traitement des limons à la chaux et au ciment suit, en règle générale, le processus suivant :

- ouverture du limon au ripper, au scarificateur ou au malaxeur ;
- épandage de la chaux (vive ou éteinte, ou lait de chaux), poids au mètre carré indiqué par le laboratoire ;
- malaxage, nombre de passages du malaxeur à déterminer sur chantier ;
- compactage partiel et réglage fin ;
- réouverture du matériau ;
- épandage du ciment, poids au mètre carré indiqué par le laboratoire ;
- malaxage, nombre de passages du malaxeur à déterminer sur chantier ;
- arrosage éventuel suivi d'un malaxage ;
- compactage partiel, nombre de passages du compacteur à déterminer sur chantier ;
- réglage fin ;
- cloutage ;
- compactage final et protection superficielle.

### ● CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE

Il est illusoire d'espérer gagner du temps et de la production en supprimant le prétraitement à la chaux ou en réunissant les deux liants. Chaque liant a un rôle bien spécifique :

- la chaux floccule les argiles et assèche les matériaux humides ;
- le ciment apporte ensuite une rigidification rapide.

Les conséquences d'un prétraitement à la chaux sont :

- facilité de manutention du sol ;
- amélioration des conditions de circulation des engins de chantier ;
- homogénéité accrue du mélange final.

En pratique, le traitement à la chaux se fait au déblai. Le matériau traité est alors :

- soit enlevé et mis en remblai ;
- soit laissé sur place dans l'attente du traitement au ciment.

Dans les deux cas, il subit un compactage et un réglage simple à la cote définitive plus une légère surépaisseur (10 % de l'épaisseur de la couche au maximum) pour juger de la bonne répartition du matériau.

Le traitement au ciment se fait alors de manière traditionnelle, en prenant soin de vérifier au préalable que les teneurs en eau sont correctes.

Le délai entre traitement à la chaux et traitement au ciment dépend de l'organisation du chantier. Les deux traitements sont souvent enchaînés dans la même journée.

### ÉPANDAGE

Pour réduire et maîtriser la dispersion du liant, il est préférable de retenir un épandeur à contrôle pondéral, asservi à la vitesse d'avancement.



▲ Épandage du liant.



▲ Contrôle de l'épandage du liant.

La vérification de la régularité de l'épandage et de la quantité des liants est réalisée par la méthode dite "à la bêche".

### MALAXAGE

Pour assurer une bonne homogénéité du mélange et une profondeur homogène du malaxage, il est impératif de retenir un malaxeur à rotor horizontal.



▲ Malaxage.

Le malaxage doit conduire à une granularité apparente 0/20.

D'autre part, le malaxage foisonnant énormément les matériaux, il faut veiller – lorsqu'on traite par bandes jointives – à mordre suffisamment (20 cm) dans la partie déjà foisonnée, pour ne pas laisser de matériau non malaxé en bordure des bandes.

La profondeur du malaxage se règle par un dispositif prévu sur les machines de malaxage. Des vérifications peuvent être faites sur le matériau traité par sondage.

### COMPACTAGE

L'atelier de compactage ainsi que le nombre de passes nécessaires seront définis sur une planche d'essais de compactage.

Le compactage doit suivre sans tarder la fin du malaxage :

- d'une part, pour ne pas laisser un matériau foisonné exposé aux intempéries (pluies, vent) ;
- d'autre part, parce que le délai de maniabilité autorisé par le ciment est relativement court (de 2 à 4 heures).



▲ Compactage.

Par ailleurs, certains rouleaux vibrants peuvent provoquer un feuilletage superficiel. Ce phénomène réduit la résistance de la couche traitée vis-à-vis des efforts générés par le trafic et crée une discontinuité verticale dans la chaussée.

On atténue le phénomène en limitant les interventions des cylindres vibrants à ces niveaux et surtout en veillant au maintien de l'humidité du matériau lors du compactage. Des mesures complémentaires doivent être prises lors du réglage.

### RÉGLAGE

Le réglage définitif doit se faire par rabotage sur toute la largeur à régler et en aucun cas par comblement des points bas par les matériaux provenant de l'écraissage des bosses. Le rabotage permet, en outre, l'évacuation de la partie superficielle feuilletée, éventuellement produite lors du compactage au cylindre vibrant.

Cette opération doit s'intercaler entre le compactage partiel et le compactage final sous peine d'être très vite difficile à réaliser à cause de la rigidification rapide du matériau traité.

Elle se fait le plus souvent à la niveleuse, éventuellement guidée (fil ou laser), ou bien, sur les chantiers importants, à la raboteuse guidée.

Les matériaux provenant du rabotage doivent être évacués.

L'épaisseur à raboter doit être prise en compte au stade du traitement, en prévoyant une surépaisseur suffisante du matériau traité (environ 3 cm).

### PROTECTION DU LIMON TRAITÉ

Elle est destinée à protéger la couche d'assise des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic de chantier.

Lorsque la chaussée comporte deux couches de limon traité exécutées à intervalles rapprochés (2 jours maximum), la

protection de la première couche peut être assurée par une simple pulvérisation d'eau.

Par contre, il est indispensable de prévoir sur la couche finale une protection particulière destinée à favoriser l'accrochage du béton bitumineux, et réalisée dans les plus brefs délais après la fin de la mise en œuvre du limon traité.

La formulation du produit de protection pourra être la suivante :

- cloutage par un gravillon 10/14 à raison de 8 à 9 l/m<sup>2</sup> légèrement compacté au cylindre lisse ;
- émulsion cationique (pH > 4) à 65 % de bitume, dosée à 2 kg/m<sup>2</sup> ;
- gravillonnage par un gravillon 4/6 à raison de 6 à 7 l/m<sup>2</sup> suivi d'un léger cylindrage.



▲ Protection de l'assise de limon traité.

## CONCLUSION

L'utilisation des limons traités en place à la chaux et au ciment en assises de chaussées à faible trafic est une technique parfaitement au point.

Son développement est dû à plusieurs raisons : la raréfaction des matériaux d'assises de chaussées dans certaines régions, l'accroissement du prix du transport des granulats, et des problèmes d'environnement et d'ouverture de carrières et de balastières.

Ses avantages sont nombreux : la facilité d'extraction due au caractère meuble des limons, la valorisation d'un matériau excédentaire qui aurait été mis en décharge, l'économie en énergie de transport, la préservation du réseau routier local, le traitement se faisant sur place, le coût plus faible que celui des techniques d'assises classiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic SETRA LCPC/1981.
- 2 - Catalogue de structures des chaussées à faible trafic pour l'Ile-de-France - LROP - Mai 1984.
- 3 - Guide technique "Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques" - SETRA/LCPC, 2000.
- 4 - La chaux dans le traitement des sols - Fiches techniques. Chambre syndicale nationale des fabricants de chaux grasses et magnésiennes.
- 5 - Documentation technique CIMBÉTON.
- 6 - M. Boutonnet, J. Livet : Influence du traitement des limons sur leur comportement au gel - BLPC n° 133 - sept.-oct. 1984.
- 7 - G. Morel : Étude en laboratoire du traitement à la chaux et au ciment des sols fins - BLPC n° 133 - sept.-oct. 1984.
- 8 - Nguyen Dac Chi - J. Mulders : Comportement en fatigue des sols fins traités à la chaux et au ciment - BLPC n° 133 - sept.-oct. 1984.
- 9 - P. Perret : Contribution à l'étude de la stabilisation des sols fins à la chaux : étude globale du phénomène et applications. Thèse docteur-ingénieur - INSA de Rennes - 1977.
- 10 - J. Abdo : Étude expérimentale de la stabilisation des arènes granitiques à la chaux. Thèse docteur-ingénieur - École des Mines - Paris - INSA de Rennes - 1982.
- 11 - D. Puiatti : La chaux, un matériau d'avenir pour la route. Revue *Ciments, bétons, plâtres, chaux* n° 785 - 4/1990.
- 12 - Guide technique pour l'utilisation de matériaux régionaux d'Ile-de-France - Les limons - 1996.
- 13 - Guide régional pour l'utilisation des limons en Haute-Normandie.

# 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  
E-mail : [centrinfo@cimbeton.asso.fr](mailto:centrinfo@cimbeton.asso.fr) • internet : [www.cimbeton.asso.fr](http://www.cimbeton.asso.fr)

# Un ruban de béton pour le pont du Gard

Adoptant la teinte des pierres locales, un chemin de béton, gommé par hydrosablage, relie avec élégance et discrétion les deux rives du site du pont du Gard, tout en donnant l'impression d'être simplement posé, en relief, sur le site pour préserver son authenticité.

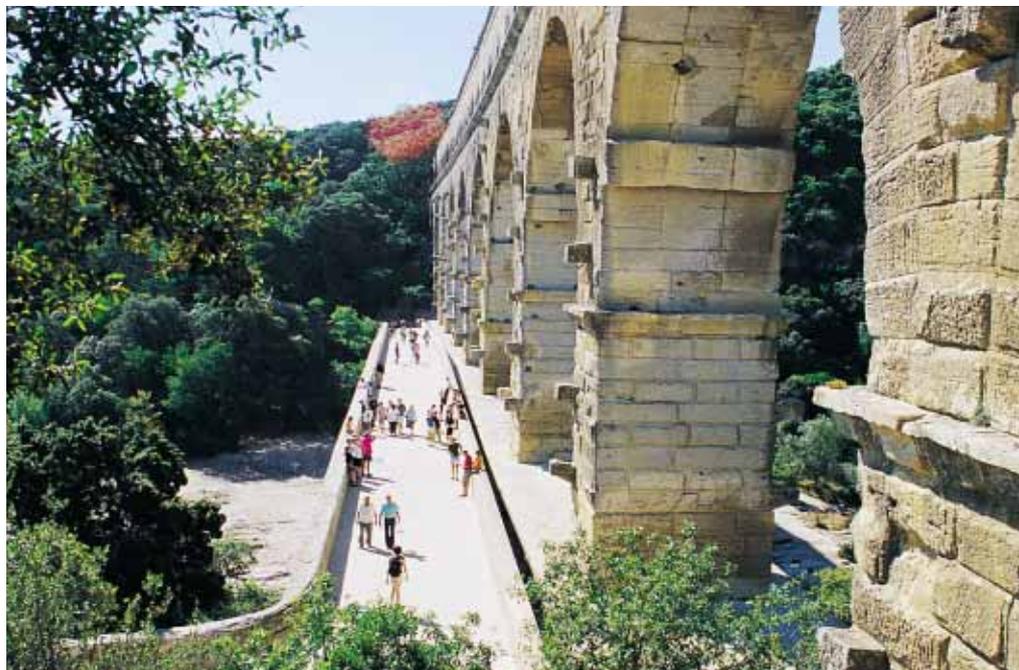
**H**aut lieu touristique avec près de deux millions de visiteurs par an, le pont du Gard va devenir encore plus séduisant grâce à une importante opération de protection et d'aménagement portant sur un total de 56 ha. Celle-ci consiste à nettoyer ce site prestigieux de divers éléments parasites, à fermer la route départementale pour la rendre aux piétons, à créer deux musées et deux parkings implantés dans la plus grande discrétion. À cela s'ajoute la mise en lumière pour un spectacle de nuit englobant le pont, les contreforts rocheux sur lesquels il s'inscrit, la végétation environnante et le Gardon. L'ensemble de ce projet architectural a été confié à Jean-Paul Viguier.

## UNE ARCHITECTURE "SILENCIEUSE"

Dans le cadre de cette opération, un bâtiment est édifié de chaque côté du Gardon, mais de manière à être invisible depuis le pont du Gard. Un parking sera situé en amont de chaque bâtiment pour accueillir un total de 1 400 véhicules. Les deux sont dotés de quais de desserte d'autobus.

Le bâtiment de la rive gauche rassemble sur 10 000 m<sup>2</sup> des espaces d'exposition, une zone d'accueil-billetterie-services, des boutiques, des cafés et un restaurant autour d'un parvis de 2 250 m<sup>2</sup>. *"Il s'agit d'une architecture silencieuse. Un volume abstrait, assez simple, une sorte de pierre posée dans le paysage et pour lequel il n'y a pas de relation possible d'architecture avec le monument lui-même"*, explique Jean-Paul Viguier.

Totalisant 5 200 m<sup>2</sup>, le bâtiment rive droite s'inscrit dans une ancienne carrière. Il se présente sous forme d'une longue ligne



▲ Le ruban de béton emprunte l'ancien pont routier restitué aux piétons.

horizontale. Au premier plan sont regroupés les services accueil-billetterie, un bar, un restaurant, des boutiques et des services. Au second plan, une autre lame horizontale vient couvrir le volume de la salle d'exposition (600 m<sup>2</sup>).

Parallèlement, la rénovation de la façade de l'ancien Hôtel du pont du Gard, datant de 1865, et la démolition des ajouts lui permettent de retrouver sa vocation première : un lieu de gastronomie régionale.

## DÉROULER UN RUBAN DE BÉTON

Les deux bâtiments sont reliés par un chemin en béton de 1,5 km, qui traverse le Gardon en empruntant l'ancienne route

### FORMULATION DU BÉTON (POUR 1 M<sup>3</sup>)

Cailloux concassés calcaires 6/31,5 (carrière GSM de Roussas)	<b>1 020 kg</b>
Sable silico-calcaire roulé lavé 0/3 (carrière de Bellegarde)	<b>900 kg</b>
Ciment CPA-CEM I 52,5 PMES Lafarge	<b>330 kg</b>
Superplastifiant Cerplast	<b>0,30 % du poids de ciment</b>
Entraîneur d'air	<b>0,15 % du poids de ciment</b>
Fibres polypropylène 12 mm	<b>700 g</b>
Eau	<b>170 l</b>
Slump	<b>10-11 cm</b>



▲ Mise à la forme des coffrages en tube d'acier avant le coulage du béton.



▲ Humidification de la couche support en tout-venant compacté avant le coulage du béton.



▲ Acheminé par camion-toupie, le béton est sommairement réparti.

départementale. Constante, sa largeur de 4,5 m est celle de la chaussée du pont. *“Au lieu d’essayer de concurrencer maladroitement la teinte des pierres du pont ou d’adopter un pavage risquant de pasticher l’aspect de ses pierres, mieux vaut trancher avec une surface minérale continue offrant une teinte proche des pierres du paysage. Cette teinte claire en fait une voie assez discrète qui s’efface dans le paysage tout en différant de la teinte jaune des*

*pierres du pont”*, explique Laurent Huët, du cabinet Cusy-Maraval, architectes d’opération, des espaces extérieurs et concepteurs de la route.

Le mélange d’un ciment gris clair, de sable jaune, de granulats blancs issus de carrières voisines permet de reconstituer cette teinte locale sans avoir besoin de recourir à des colorants. Ce travail sur le sable et les granulats, suivi de la réalisation de différents échantillons, a fait que les premiers essais coulés en place étaient les bons. Plusieurs essais de finition (balayé, désactivé, sablé...) ont permis de retenir l’hydro-sablage – ou gommage – pour obtenir l’aspect d’un béton lisse qui a déjà vieilli, et qui a donc déjà du vécu, souhaité par les architectes.

*“L’objectif était aussi de donner l’illusion d’un ruban simplement posé sur le site, pour mieux le respecter. Une image de réversibilité qui laisserait penser qu’il suffit de simplement le dérouler si nécessaire”*, ajoute Laurent Huët. Les conséquences sont une largeur constante, celle du pont, et, au niveau des arêtes, une garde au sol de quelques centimètres qui matérialise clairement le décollage de ce ruban de béton par rapport au sol du site. Sa surface continue répond aussi à un autre besoin : celui d’offrir aux personnes à mobilité réduite une parfaite accessibilité au pont depuis les parkings.

#### TOUT CONCENTRER SUR CE CHEMIN EN BÉTON

*“Pour valoriser le pont du Gard et préserver au mieux le site en évitant l’éparpillement, tous les éléments techniques sont concentrés sur la chaussée : éclairages, signalétique par peinture au sol plutôt que des poteaux, mobiliers extérieurs tels que les bancs, les poubelles...”*, commente Véronique Bombal, responsable des aménagements extérieurs de la chambre de commerce et d’industrie du Gard.

Tous les détails ont été scrupuleusement étudiés, comme les poubelles enterrées. *“Au nombre de treize, ces poubelles prennent chacune place dans une fosse de 1,9 m de profondeur, accueillant un bac en polyester renforcé de fibres de verre d’une capacité de 3,5 m<sup>3</sup>. Hors du sol n’apparaît qu’un tube en inox brossé avec un tiroir de collecte dessiné par Maarten Van Severen. Une simple visseuse-dévisseuse sans fil suffit ensuite pour faire remonter le bac pour le vider”*, explique Jean-Marie Alamelle, directeur des opérations de l’entreprise Collect ayant construit ces équipements.

#### UNE DALLE FLOTTANTE DE 6 500 M<sup>2</sup>

**A**u niveau du pont routier longeant le pont du Gard proprement dit, la première étape des travaux consiste à décaisser l’ancienne chaussée en enrobé jusqu’à la pierre support pour mettre en place une étanchéité. Ensuite, une première couche de béton dans laquelle sont disposés les différents réseaux précède la mise en place d’une couche de tout-venant concassé 0/30. Une fois les caissons préfabriqués en béton destinés à recevoir les éclairages mis en place, suit le coulage de la chaussée en béton sur une épaisseur de 15 cm, d’un parapet à l’autre. Parallèlement est construit un parapet en pierre pour limiter l’accès à l’aqueduc romain et les dégradations qui s’ensuivent.

Sur la rive, pour les parties adoptant le trajet de l’ancienne route départementale, le reprofilage de l’ancienne chaussée passe par le décapage de l’enrobé et un apport en tout-venant concassé 0/30. Après compactage, le béton est coulé sur une épaisseur de 15 cm.

*“Pour le reste de la chaussée, après décapage de la terre végétale et du remblai, puis la mise en place d’un feutre anti-poinçonnement (géotextile), la chaussée se com-*

#### Un vestige de 2000 ans

**C**onstruit au premier siècle après Jésus-Christ, le pont du Gard est une partie de l’aqueduc de 50 km de long qui alimentait en eau la ville de Nîmes à l’époque gallo-romaine.

Formé de trois ponts superposés de 6, 11 et 35 arcades, le pont du Gard est solidement ancré sur le massif rocheux. Haute de 48 m, longue de 490 m, son arche centrale enjambe le Gardon grâce à une ouverture de 24,50 m. Il n’a plus été utilisé à la fin de l’empire romain (début du VI<sup>e</sup> siècle). En 1743, les États du Languedoc décident de construire un pont accosté du côté de l’amont de l’aqueduc (achevé en 1747), c’est le pont utilisé il y a peu de temps encore par les automobilistes.

En 1840, le pont du Gard figure sur la première liste des Monuments historiques classés, instituée par Prosper Mérimée. Le pont du Gard s’inscrit dans un site naturel typique du paysage méditerranéen, lui-même classé au titre de la loi de 1930.

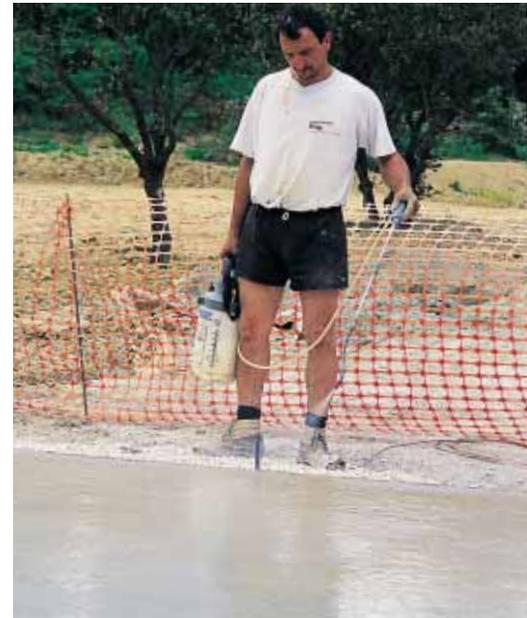
En 1985, le pont est classé au patrimoine mondial par l’Unesco. Il est retenu également en France par la mission “2000 en France” pour la célébration de l’an 2000 au titre de sa mise en lumière. ♦



▲ Interposition tous les 25 m d'une épaisseur de polystyrène pour créer le joint de dilatation.



▲ Nivellement du béton à la règle.



▲ Pulvérisation d'un produit de cure.

pose de 35 cm de tout-venant 0/80 compacté au rouleau, puis de 15 cm de tout-venant 0/31,5 également compacté", explique Jacky Gautier, chargé d'affaires de l'entreprise Rouméas. Des réservations sont ménagées dans la chaussée pour les poubelles enterrées. Un double rail métallique de section carrée mis sur place à la forme sert de coffrage lors du coulage du béton. Là encore, le coulage du béton s'effectue sur 15 cm d'épaisseur.

Acheminé par camion-toupie, ce béton provient de la centrale de BPE Béton Chantiers (Lafarge) d'Uzès (Gard), située à 15 km du chantier. Pendant les quelques jours où cette centrale a dû fermer, le béton venait de la centrale de L'Ardoise (même département), située à 25 km.

"L'autocontrôle au départ de chaque camion-toupie permet d'obtenir un résultat homogène d'un bout à l'autre du chantier", précise Jean-Marie Moussu, agent technico-commercial de Béton Chantiers. Tout d'abord sommairement réparti, le béton est ensuite nivelé à la règle, puis soigneusement taloché. Sa souplesse permet d'épouser facilement les courbes et les pentes de ce chemin en formant un ruban continu. La largeur constante de la chaussée (4,5 m) implique un joint de retrait tous les 5,5 m ; un joint de dilatation avec polystyrène est posé tous les 25 m.

L'hydrosablage a lieu 24 à 48 heures après le coulage du béton. Cet hydrogommage nécessite du sable (quartz cristal 00) qui permet un décapage au jet d'eau haute pression par rotations de la lance. Des dalles de transition avec d'autres voies ou des accès privés sont coulées en béton balayé pour se distinguer du cheminement béton.

Sur l'ensemble de l'opération, en vitesse de pointe, 400 à 600 m<sup>2</sup> journaliers sont réalisés les jours de coulage. "Juste fibré, ce béton est adapté à la circulation des piétons et ponctuellement à celui des véhicules de service", résume Laurent Serre, qui assure le suivi de chantier. ■



▲ Hydrogommage au jet d'eau haute pression additionné de sable.



▲ De profondes réservations sont prévues à l'emplacement des poubelles enterrées.

### Principaux intervenants

- **MAÎTRE D'OUVRAGE** : DDE du Gard (pont) et chambre de commerce et d'industrie de Nîmes (rives)
- **MAÎTRE D'ŒUVRE** : Jean-Paul Viguié, architecte (mise en lumière du pont du Gard : James Turrell)
- **MOBILIER EXTÉRIEUR** : Maarten Van Severen
- **AMÉNAGEMENT PAYSAGER** : Laure Quoniam
- **REQUALIFICATION DU CHEMIN** : Jean-Paul Viguié
- **SIGNALÉTIQUE** : Évelyne Deltombe
- **ARCHITECTES D'OPÉRATION (chemin et aménagements extérieurs)** : Gilles Cusy et Michel Maraval
- **TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX ET VRD** : entreprises Lauthier (pont) et Rouméas TP (rives)
- **SOLS BÉTON** : sociétés Empreintes (Vaucluse) et Entreprise Sol (Drôme)
- **HYDROSABLAGE** : EINAPP



▲ Éclairages encastrés dans la piste en béton.



▲ Seul un tube inox émerge au-dessus des poubelles encastrees sous la chaussée béton.



▲ Pour mieux préserver le site, la signalétique est peinte directement sur la chaussée béton.

# BCMC : une première en Alsace

Pour résoudre l'équation fort trafic, esthétique et rapidité d'intervention, une petite commune a opté pour le BCMC (béton de ciment mince collé), signant par la même occasion la première référence de cette technique en Alsace. Une opération soigneusement encadrée pour des résultats à la hauteur.

**H**absheim, petite ville coquette et colorée, compte 4 400 habitants, dont une cigogne trônant au sommet de l'ancien hôtel de ville. Cette commune est située sur l'axe Mulhouse – Saint-Louis – Bâle, itinéraire quotidiennement emprunté par de nombreux usagers, dont des frontaliers se rendant à leur travail en Suisse ou en Allemagne. Le trafic, qui atteint 11 000 véhicules aux heures de pointe, compte une proportion non négligeable de poids lourds (8 à 9 %, alors que la moyenne d'un trafic normal est de 4 à 5 %). *“La rénovation du centre historique d'Habsheim répondait à deux objectifs : un légitime souci de sécurité des riverains exposés aux risques engendrés par la vitesse excessive des véhicules, et la requalification du site afin de lui conférer un vrai statut de centre-ville”*, résume Gérard Lamy, maire de la commune.



▲ Habsheim, petite ville d'Alsace dont l'architecture est très représentative de la région, a joué la carte de l'innovation en optant pour la technique du BCMC.

## Les grandes lignes du chantier

- **LIEU** : commune d'Habsheim, RD 66 (Haut-Rhin)
- **TYPE DE TRAVAUX** : aménagement urbain (passage protégé)
- **SURFACE TOTALE** : 140 m<sup>2</sup>
- **CONTRAINTE** : réaliser dans des délais très courts une structure pérenne, résistante à un trafic de poids lourds et compatible avec l'architecture locale
- **SOLUTION** : une structure constituée d'une couche de béton de ciment mince collé, colorée dans la masse et désactivée, posée sur une couche de grave bitume
- **DURÉE DES TRAVAUX** : 2 jours

## LE BCMC, POUR L'ESTHÉTIQUE ET LA PERFORMANCE

Opération de grande envergure, le réaménagement du centre a nécessité la démolition d'une maison, le déplacement du monument aux morts, l'édification d'une fontaine ainsi qu'une refonte totale de la place qui relie la mairie à l'église. *“Le rétrécissement des voies et la création de plusieurs courbes ont contribué à faire ralentir les automobilistes de façon sensible”*, reprend Gérard Lamy. *Il ne restait plus qu'à achever le large passage entre la place de la Mairie et les abords de l'église pour que l'aménagement prenne toute sa dimension.”*

Initialement prévue en béton désactivé, cette portion de chaussée de 140 m<sup>2</sup> a été finalement réalisée avec la technique du BCMC. *“L'avantage de cette technique est de permettre d'obtenir l'esthétique offerte*



▲ La couche de grave bitume est rabotée et soigneusement nettoyée pour offrir au béton les conditions d'une parfaite adhérence.



▲ Trente minutes de trajet sont nécessaires à l'acheminement du béton sur le chantier par camion-toupie.



▲ Un ouvrier oriente la rampe pour répartir le plus uniformément possible le béton.



▲ Un premier réglage est fait sommairement à l'aide d'un râteau.

### Principaux intervenants

- **MAÎTRE D'OUVRAGE** : Commune d'Habsheim (Haut-Rhin)
- **MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ** : communauté de communes de l'Île-Napoléon
- **MAÎTRE D'ŒUVRE** : DDE du Haut-Rhin, subdivision de Mulhouse sud
- **CONTRÔLE DU BÉTON** : LRPC de Strasbourg
- **ENTREPRISE** : Richert
- **FOURNISSEUR DU BÉTON** : Orsa Bétons

par le béton désactivé, tout en optimisant la structure sur les plans techniques et financiers”, justifie Jean-François Durand, directeur des services techniques de la communauté de communes de l'Île-Napoléon, qui regroupe les cinq villes de Habsheim, Sausheim, Baldersheim, Rixheim et Battenheim.

Solution anti-orniérage par excellence, le BCMC associe en un ensemble monolithique la structure bitumineuse, préalablement rabotée et nettoyée, et une mince couche de béton de ciment. Ce procédé,

basé sur la parfaite adhérence des deux matériaux, diminue sensiblement les sollicitations du béton en traction, reprises par l'enrobé. Le béton apporte à la chaussée la rigidité qui lui faisait défaut (absence de fluage et d'orniérage) en assurant une bonne répartition des charges. Enfin, la technique permet de réduire les épaisseurs mises en œuvre, d'où une réelle compétitivité. Ici, la structure, fondée sur une grave non traitée de 15 cm, est constituée d'une grave bitume de 12 cm surmontée d'une couche de béton d'épaisseur 8 cm.

### UNE INSPIRATION SIGNÉE CIMBÉTON

“Nous nous sommes inspirés de la formulation présentée dans la plaquette BCMC éditée par Cimbéton\*, confie Marc Leguil, responsable qualité Alsace chez Orsa Bétons. Nous l'avons adaptée aux matériaux locaux.” Le but était d'écartier tout risque d'alcali réaction entre le ciment et les granulats potentiellement réactifs. Le

\* Collection Technique Cimbéton, Une solution durable contre l'orniérage, le béton de ciment mince collé “BCMC”, référence T 60.

laboratoire d'Orsa Bétons a donc remplacé le ciment type CPA par un CPJ. “De plus, la distance assez longue entre le chantier et la centrale de Guebwiller nous a incités à employer à la fois un plastifiant et un superplastifiant, afin que le béton conserve ses propriétés, notamment de maniabilité, même après 30 min de transport par cette forte chaleur”, ajoute le responsable.

À noter, la formulation fait appel à toute la gamme d'adjuvants, y compris un colorant. “L'architecte et la commune s'attendaient employer un granulats beige, qui s'est révélé techniquement inadapté”, explique Philippe Berrier, technico-commercial chez Piéri. Solution : apporter cette dominante en colorant le béton dans la masse avec un produit à base d'oxyde de fer de synthèse qui résiste à l'action des UV.

### UN CHANTIER ÉTROITEMENT ENCADRÉ

“Cette opération est expérimentale, car c'est notre première expérience de BCMC, explique Jean-Michel Schmitt, contrôleur à la DDE du Haut-Rhin, subdivision de Mulhouse sud. D'une part, la chaussée devra supporter le passage quotidien de



▲ Le béton est ensuite vibré à l'aiguille et nivelé à la règle métallique.



▲ Un talochage soigné, complète l'opération.



▲ Un agent désactivant est pulvérisé à la surface du béton frais pour permettre un dénudage ultérieur des granulats au jet d'eau à haute pression.



▲ Le tracé des traits de scie correspondant aux joints de retrait est réalisé à l'aide d'un cordon élastique trempé dans de la peinture.

700 poids lourds ; d'autre part, le tracé est légèrement courbe, ce qui augmente les efforts tangentiels. Nous sommes très intéressés d'observer le comportement de la structure dans le temps."

Pour plus de sécurité sur les conditions de réalisation, la maîtrise d'ouvrage a demandé au laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg d'intervenir pour contrôler la qualité des bétons. Enfin, l'entreprise Richert, qui signait sa première référence en BCMC, a été conseillée par l'entreprise Gailledrat, spécialiste de cette technique depuis son introduction en France en 1997.

#### MISE EN ŒUVRE MANUELLE

La grave bitume a été appliquée puis rabotée afin de garantir un parfait accrochage avec le béton. La taille réduite du chantier, combinée à la nécessité de réaliser une chaussée courbe d'une largeur variant entre 6,40 et 6,50 m, a conduit l'entreprise Richert à mettre en œuvre le béton à la main, la vibration étant obtenue à l'aide d'une aiguille vibrante. "La difficulté a été de réaliser un coffrage parfaitement courbe et bien immobilisé, explique le conducteur de travaux Thierry Guerbert, qui encadre une équipe de cinq maçons. Nous avons également veillé à bien nettoyer le support en utilisant un jet d'eau à haute pression."

Réalisé en 48 heures, le chantier a nécessité deux livraisons de béton par jour. Une fois réglée et talochée, la surface du béton a reçu un agent désactivant, inhibant la prise du béton sur les premiers millimètres et rendant ainsi les granulats apparents, après lavage à l'eau sous pression. Le



▲ Le choix d'un BCMC désactivé et coloré permettra une parfaite intégration de l'ouvrage au site.

désactivant fait aussi office de produit de cure en protégeant le béton d'une déshydratation trop rapide qui aurait compromis sa résistance et sa durabilité. Quant à la réalisation des joints de retrait, elle a été obtenue par le sciage du béton sur un quart de l'épaisseur, soit 2 cm, une opération menée de nuit. La courbure de la



▲ Une équipe de cinq maçons a été mobilisée pour réaliser cette première application du BCMC dans les meilleures conditions.

chaussée a imposé un tracé des joints rayonnant. "L'espacement est de 90 cm d'un côté et de 1 m de l'autre", souligne Thierry Guerbert.

#### UNE NOUVELLE RÉFÉRENCE POUR LE BCMC

"Cette opération pilote est une première en Alsace, tant pour les fournisseurs, les donneurs d'ordre que pour les entreprises, conclut Jean-Louis Philippe, responsable du secteur Haut-Rhin chez Orsa Bétons. Je suis convaincu du potentiel de développement du BCMC, qui allie aux qualités premières du béton que sont la durabilité et l'esthétique l'avantage d'une intervention rapide et d'un coût attractif." Gageons que cette référence fera des émules dans les autres régions où la technique a déjà entamé son développement. ■

#### FORMULATION DU BÉTON (POUR 1 M<sup>3</sup>)

Ciment CPJ-CEM II/A 42,5 CP2 Origny-Altkirch	<b>400 kg</b>
Granulats concassés du Rhin 6/10	<b>1 220 kg</b>
Sable 0/4 roulé du Rhin	<b>630 kg</b>
Eau	<b>170 l</b>
Plastifiant chrysoplast CER (chryso)	<b>0,4 %</b>
Fluidifiant chrysoair D10 (chryso)	<b>0,08 %</b>
Superplastifiant resiflow BB 40 (CIA)	<b>0,6 %</b>
Colorant jaune piéris	<b>10 kg</b>
Résistance à la compression à 2 jours	<b>de 25 à 30 MPa</b>
Résistance à la compression à 7 jours	<b>35 MPa</b>
Affaissement au cône d'Abrams	<b>7 cm</b>
Teneur en air occlus	<b>3,8 %</b>
Résistance à la compression à 28 jours	<b>42 MPa</b>

**CIM** béton

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10  
E-mail : [centrinfo@cimbeton.asso.fr](mailto:centrinfo@cimbeton.asso.fr) • internet : [www.cimbeton.asso.fr](http://www.cimbeton.asso.fr)