

# ROUTES

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



## DOSSIER

D'un point de vue économique et sociétal, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?

## RÉFÉRENCE

Parc Terra Botanica (Maine-et-Loire) : le mariage réussi entre végétal et béton

## CHANTIER

Montiers-sur-Saulx (Meuse) : des MACES pour l'élargissement de la RD 132

## 2 ÉDITORIAL

### 3-5 LE POINT SUR

**Maine-et-Loire**  
Parc Terra Botanica :  
le mariage réussi entre  
végétal et béton



### 6-7 RÉFÉRENCE

**Bouches-du-Rhône**  
Port de Marseille :  
la digue renforcée par  
une dalle en béton  
désactivé



### 8-10 RÉFÉRENCE

**Pas-de-Calais**  
Calais : du béton désactivé  
pour accompagner la  
rénovation urbaine



### 11-16 DOSSIER

**D'un point de vue  
économique et sociétal,  
faut-il augmenter  
la capacité des  
infrastructures routières ?**



### 17-19 CHANTIER

**Meuse**  
Des Matériaux Auto-  
Compactants Essorables  
de Structure (MACES)  
pour l'élargissement  
de la RD 132



### 20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : un béton sableux micro-désactivé a été choisi pour sa discrète et excellente intégration dans le monde végétal de Terra Botanica (Maine-et-Loire).

## Pour résorber la congestion routière, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?

Dans le numéro 116 de la revue *ROUTES*, on a traité le problème de la congestion routière et de ses principales causes. On a identifié et souligné les enjeux économiques, sociétaux et environnementaux qu'une telle congestion peut entraîner.

On a dit qu'une solution naturelle, pour décongestionner les routes, serait de construire de nouvelles infrastructures. Mais, une telle option n'est, malheureusement, plus d'actualité au niveau des pouvoirs politiques, qui privilégient le développement des modes de transport alternatifs à la route. Et pourtant, on sait que cette politique ne permettra pas de régler définitivement le problème, à cause de l'urbanisation croissante, du renchérissement de l'immobilier et de l'étalement urbain. D'ailleurs, toutes les études de prévision du trafic montrent que la situation future, en France, n'est guère favorable et que le problème de la congestion routière va s'aggraver inéluctablement durant les prochaines décennies.

Pour tenter de résorber ou d'atténuer la congestion du trafic routier, deux voies ont été alors envisagées :

- **La voie éducative et informative**, pour modifier le comportement des conducteurs. La modélisation simplifiée et idéalisée du trafic routier, développée dans le dossier de *ROUTES N° 116*, a permis de :
  - Chasser quelques idées reçues,
  - Souligner le rôle que peut jouer le conducteur dans le phénomène de congestion du trafic routier,
  - Proposer quelques recommandations pour une conduite optimisée.
- **La voie technologique**, pour la mise au point d'outils de régulation et de gestion du trafic routier.

Mais, force est de constater que ces deux voies ne peuvent, à elles seules, résoudre le problème de la congestion du trafic routier. Retour donc à la case départ, avec la même question : "Existe-t-il une solution rentable sur les plans économique, sociétal et environnemental et permettant de fluidifier le trafic routier d'une façon durable ?".

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les calculs montrent que - pour décongestionner les routes tout en faisant faire des économies à la communauté, en réduisant en même temps la gêne aux usagers et aux riverains ainsi qu'en minimisant les impacts sur l'environnement - la solution passe par l'augmentation des capacités des infrastructures routières existantes.

Car, finalement, quand on y réfléchit bien, ce n'est pas tant la construction des infrastructures routières qui impacte le plus, mais plutôt l'utilisation de celles-ci.

Dans ce numéro de *ROUTES* (Dossier pages 11 à 16), on apporte la preuve que "construire de nouvelles infrastructures routières" est rentable sur le plan économique et sur le plan sociétal.

On traitera de la rentabilité environnementale dans le prochain numéro de *ROUTES* qui paraîtra en décembre 2011.

Bonne lecture.

Joseph ABDO - Cimbéton

# CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



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

Tél. : 01 55 23 01 00  
Fax : 01 55 23 01 10

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

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

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély  
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la rubrique *Remue-ménages* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Joseph Abdo, Marc Deléage, Romualda Holak, Michel Levron, Yann Kerveno - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : [mandorla@club-internet.fr](mailto:mandorla@club-internet.fr) - Direction artistique : Arnaud Gautelier - Maquette : Dorothée Picard - Dépôt légal : 3<sup>e</sup> trimestre 2011 - ISSN 1161 - 2053 1994



Terra Botanica : décliné en plusieurs teintes, le béton dessine des méandres rappelant ceux de la Loire qui coule à proximité.

## Parc Terra Botanica : le mariage réussi entre végétal et béton

**Décliné en six teintes rappelant les couleurs de l'Anjou, un béton sableux micro-désactivé a été choisi pour sa discrète et excellente intégration dans le monde végétal de Terra Botanica.**

**T**erre d'élection d'un grand nombre de cultures et de compétences dans le domaine du végétal, et ce depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, l'Anjou est aujourd'hui la première région horticole de France.

De nombreux pépiniéristes, paysagistes, laboratoires de recherche spécialisés et organismes professionnels y excellent. D'où l'idée d'y implanter un équipement paysager sur le thème du végétal, à la

fois ludique et pédagogique, pour la promotion de la filière horticole en Anjou. Fruit d'une dizaine d'années de réflexion, ce projet, initié et mis en œuvre par le Conseil Général de Maine-et-Loire, a mis deux ans à sortir de terre.

Situé en plein cœur de l'Anjou, Terra Botanica est ainsi le tout premier parc spécifiquement dédié à l'univers du végétal.

Thierry Huau, directeur du bureau d'études Interscène, est le concepteur et directeur artistique du projet. Il a déjà à son actif d'autres opérations d'envergure, telles que l'aménagement du quartier des Grands-Moulins à Paris, sa participation à la reconstruction du centre-ville de Beyrouth (Liban), la valorisation du patrimoine historique du Quartier français d'Hanoï (Vietnam)...

Terra Botanica est, en fait, l'un des aspects d'un projet d'aménagement plus vaste qui porte sur tout le Plateau de la Mayenne, soit un total de

137 hectares. Situé à cheval sur Angers (100 ha) et Avrillé (37 ha), il englobe notamment un ancien aérodrome et quelques terres agricoles.

"Thierry Huau mène une mission d'urbaniste-en-chef pour concevoir un éco-quartier à vocation mixte dans le prolongement du tissu urbain d'Angers et d'Avrillé. À cela s'ajoutent la conception et la réalisation de l'aménagement de la Place de l'Aviation et de la station de tramway "Terra Botanica" ainsi que l'ensemble de l'avenue Mendès France" explique Rémy Mahé, architecte-paysagiste d'Interscène, maître d'œuvre du Plateau Mayenne.

### La mise en avant de quatre thématiques végétales

"Avec ses 11 hectares de créations paysagères portant sur 60 jardins thématiques, ludiques ou pédagogiques auréolant un vaste ensemble de bâtiments d'accueil, d'animation et



Les bétons prêts à l'emploi sont formulés pour offrir une ouvrabilité correspondant à la classe de consistance S3, avoir une rhéologie de 1h30 et résister durablement aux cycles gel/dégel.



La pulvérisation du désactivant en phase aqueuse demande un savoir-faire précis.

d'exploitation, Terra Botanica est la vitrine de la filière et l'identité de l'Anjou végétal. Le parc s'organise suivant un concept inédit et innovant, orchestré par Thierry Huau autour de 60 000 m<sup>2</sup> de jardins, 25 000 m<sup>2</sup> d'espaces aquatiques, 20 000 m<sup>2</sup> de cheminements et 10 000 m<sup>2</sup> de serres et de bâtiments" précise Rémy Mahé.

Toutes les dimensions de l'univers végétal y sont évoquées, sur les plans aussi bien symbolique, historique, géographique, économique, scientifique ou esthétique.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage :** Conseil Général de Maine-et-Loire

**Maître d'ouvrage délégué :** Sodemel (Société d'Équipement du Département de Maine-et-Loire)

**Direction des études - Master planer - directeur artistique - paygag :** Thierry Huau, Interscène

**Programme contenu, développement et coordination des thèmes :** Françoise Lenoble Prédine (Terroirs de demain)

**Scénographe :** Frédéric Ravatin

**Maître d'œuvre d'exécution du Parc :** Coteba

**Maître d'œuvre d'exécution et mandataire du Plateau Mayenne :** Interscène

**Architectes :** Roland Korenbaum (Edifices Architectes), Jean-Louis Marin (Sitem), Jean de Gastines

**Entreprises :** Groupement ISS Espaces Verts

**Fournisseurs des bétons :** Lafarge Bétons Ouest, VM Matériaux

**Fournisseur des adjuvants et produits esthétiques :** Chryso



La phase de lavage permet d'éliminer le désactivant et la laitance.

"L'idée est de plonger le visiteur dans un florilège de jardins avec ses parcours, ses clés de lecture, ses aires de jeux et d'observation dans la forme et dans l'esprit des "jardins de paradis", tout en saveurs, en fragrances et en images. L'imaginaire du visiteur est stimulé en mêlant aventures, voyages, changements de lieux et d'échelle, mythes fondateurs de nos civilisations. Il y endosse successivement l'habit de célèbres botanistes-voyageurs, d'aventuriers explorateurs de terres inconnues, de jardiniers passionnés ainsi que de rigoureux scientifiques et hybrideurs. Terra Botanica est donc la synthèse unique de l'art des jardins, où le jeu des surprises et des découvertes se mêle à celui de la composition du théâtre et de la mise en scène du monde du vivant. Le tout selon quatre thématiques végétales : le Convoité, le Généreux, le Mystérieux et l'Approvoisé" détaille Thierry Huau.

### Bien préparer le site à sa valorisation

À l'origine, une grande partie des terres du site était difficilement exploitable car trop argileuse. Comme l'un des objectifs était la valorisation locale des ressources naturelles, aucune terre n'a été évacuée du site : cela a été réalisable grâce à un important travail d'amendement et d'amélioration des sols.

Une des autres priorités était de sauvegarder le plus grand nombre possible d'espèces végétales présentes sur le site, en leur redonnant forme après des années de négligence ou d'abandon. Ainsi, par exemple, toute une allée d'anciens chênes et frênes têtards a ainsi pu être intégrée au projet. Le site s'est ensuite enrichi de 275 000 végétaux dont plus de 1 000 arbres "remarquables" et 400 sujets dits "exceptionnels" de par leur taille, leur forme ou leur âge. Près de 70 % de ces plantes sont produites localement. Sur cette opération, la Sodemel (Société d'Équipement du Département de Maine-et-Loire), maître d'ouvrage délégué par le Conseil général, a dû gérer plus de 150 entreprises représentant 65 corps de métiers.

Aux périodes de pointe, on a compté jusqu'à 350 personnes travaillant simultanément sur le site. Une des



Coulé par bandes successives, le béton sableux coloré micro-désactivé est décliné en six teintes différentes rappelant les couleurs de l'Anjou.

difficultés était de concilier les préoccupations des trois familles d'acteurs, issues des mondes du paysage, du bâtiment/génie civil et, enfin, de la scénographie.

### ■ Réussir à obtenir un béton à l'aspect patiné

*"Pour exprimer au mieux les formes libres de la Loire et les arêtes du schiste, le béton désactivé ou lavé nous a semblé être le matériau le plus approprié. Autre avantage : nous avons mis en place des formes entrelacées complexes sur le parvis et dans les allées du parc, et renforcé ainsi l'impression que c'est la nature qui a fait son œuvre. Celles-ci figurent la lumière et l'aspect naturel des lits de la Loire"* explique Rémy Mahé.

Ce que confirme Philippe Pucel, responsable Développement "bétons esthétiques" chez Chryso : *"Il ne s'agissait pas d'une commande courante avec un cahier des charges précis. L'équipe d'Interscène souhaitait obtenir des cheminements en béton qui semblent patinés : cet aspect était demandé pour que le béton s'intègre discrètement dans le site, afin de mettre le végétal et le béton en adéquation paysagère. Chryso et ISS Espaces Verts ont travaillé ensemble pour réussir à associer le béton et le végétal, de façon homogène et harmonieuse, conformément à la vision de Thierry Huau"*.

Ainsi, sur la totalité des 19 742 m<sup>2</sup> de bétons réalisés dans le Parc, 14 722 m<sup>2</sup> (soit près de 75 %) ont été traités en

béton coloré sableux micro-désactivé à l'aspect patiné.

Pour parvenir à ce résultat, Jean-Luc Rosenberg, ancien coordinateur du Groupement et chargé d'Exploitation chez ISS Espaces Verts et Philippe Pucel (Chryso) ont exploité une solution technique : pour obtenir l'aspect de surface souhaité, ils ont déterminé, à la fin de la désactivation, quel était le moment idéal pour laver le béton, en fonction des réactions du matériau, de sa formulation et des conditions météo.

*"Cette désactivation au ras du granulat donne cet aspect très particulier de béton patiné. Nous avons été un peu des pionniers en aboutissant à cet aspect de surface avec un désactivant "normal". Il existe aujourd'hui des désactivants formulés spécifiquement pour obtenir, bien plus facilement, ce genre de résultats"* confie Philippe Pucel.

Signalons également que le désactivant Chryso Deco Lav P03, employé sur ce chantier, est en phase aqueuse. *"Cela s'avère indispensable sur le plan environnemental car même en essayant de récupérer toutes les laitances lors du rinçage du béton, il existe toujours un risque de fuite. Cependant, si cela se produit, ces effluents ne sont pas néfastes pour la végétation"* ajoute Philippe Pucel.

### ■ Six teintes de béton purement régionales

*"Le béton coloré en noir exprime l'Anjou noir schisteux de l'ardoise et le béton coloré blanc symbolise l'Anjou blanc*

*calcaire du tuffeau. Les autres couleurs sont des beiges qui rappellent les teintes des lits de la Loire"* souligne Rémy Mahé.

De son côté, Jérémy Judon, responsable du Centre Lafarge Bétons Ouest, précise : *"Six formules de bétons Artevia Relief ont donc été mises en œuvre sur ce site. La première est à base de ciment blanc et de quartz blanc Arzano. Une autre emploie des granulats 16/22 de la carrière de Seiches-sur-le-Loir, du ciment blanc et un colorant rose. Ces mêmes granulats ont aussi été associés à du ciment gris et à un colorant beige (10 kg/m<sup>3</sup>), à du ciment gris sans colorant et à du ciment blanc sans colorant. Tous ces bétons ont été produits par Lafarge Bétons Ouest. De son côté, l'entreprise VM Matériaux s'est chargée de la production du béton noir, à partir d'un granulat 10/20 CTC, de ciment gris et de 20 kg/m<sup>3</sup> de colorant Chryso Color G Noir Intense"*.

Tous ces bétons ont en commun l'incorporation de fibres polypropylène pour limiter leur microfissuration. Ils sont formulés pour offrir une ouvrabilité correspondant à la classe de consistance S3 (affaissement au cône d'Abrams de 100 à 150 mm, selon la norme NF EN 206-1), pour avoir une rhéologie de 1h30 et pour résister durablement aux cycles gel/dégel (classe d'exposition XF2).

L'épaisseur de béton mis en œuvre est plus importante dans les zones potentiellement circulables (comme les accès pour pompiers) que dans les parties purement piétonnes.

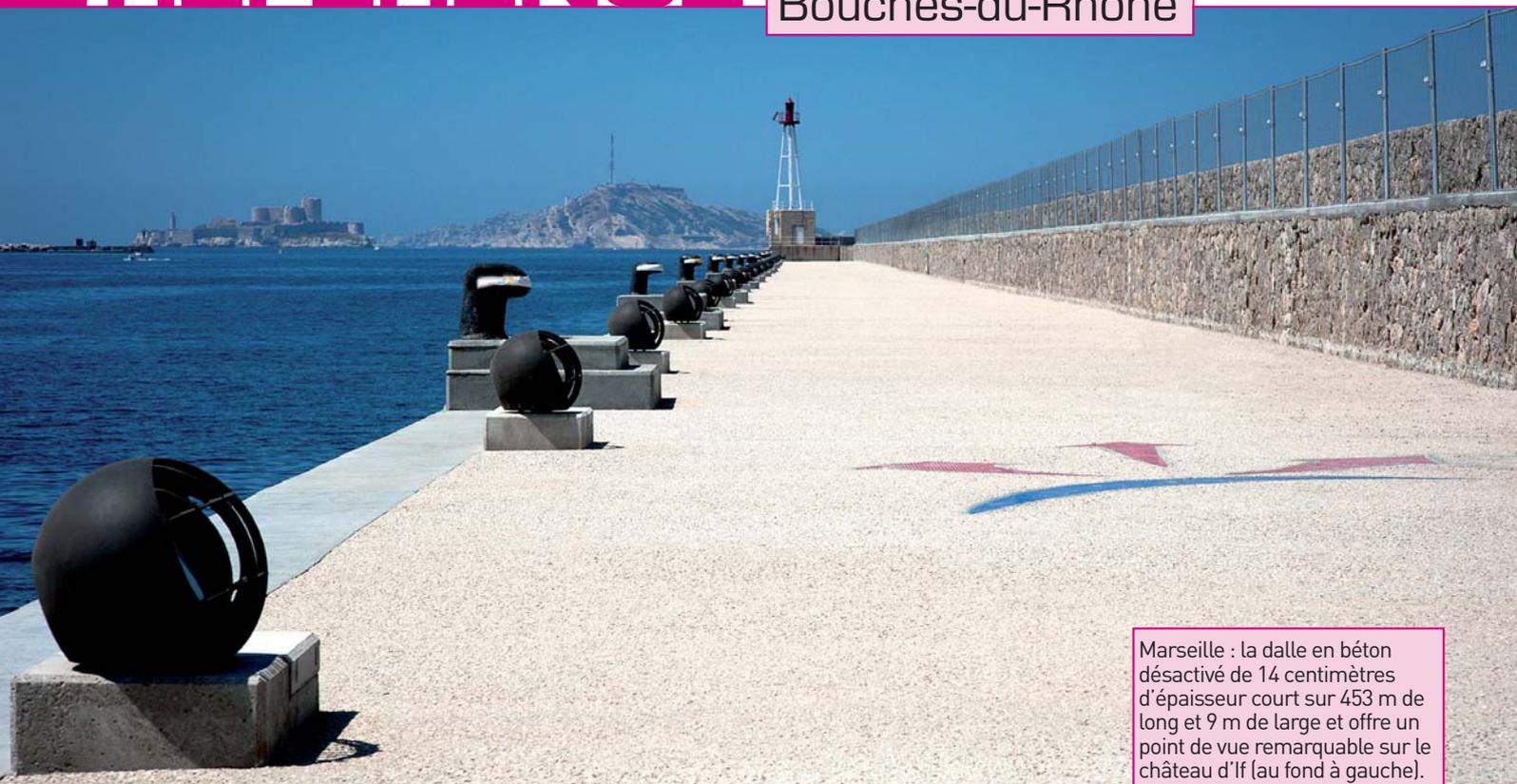
Le coulage des six teintes différentes du béton s'effectue de façon progressive : au fur et à mesure qu'une bande est réalisée, elle est protégée en appliquant du Chryso Deco Film, avant de pulvériser le désactivant sur la bande suivante. Et ainsi de suite. Ce produit étant également en phase aqueuse, il est ensuite éliminé facilement au jet.

En accord avec l'équipe d'Interscène, les joints ont été positionnés de manière à conjuguer fonctionnalité et esthétique.

Au final, le succès est au rendez-vous : au terme de sa première saison, les allées de Terra Botanica ont été foulées par les pas de 260 000 visiteurs. ■



Le processus de désactivation, spécifique à ce chantier, donne aux bétons sableux colorés micro-désactivés l'aspect patiné qui était recherché.



Marseille : la dalle en béton désactivé de 14 centimètres d'épaisseur court sur 453 m de long et 9 m de large et offre un point de vue remarquable sur le château d'If (au fond à gauche).

## Port de Marseille : la digue renforcée par une dalle en béton désactivé

**Conçue pour renforcer la digue du large qui protège l'entrée du port de Marseille, la dalle de béton désactivée allie charme et prouesses techniques.**

Le port de Marseille symbolise l'histoire de la ville puisque c'est de ce port qu'est née la cité phocéenne, voici près de 2600 ans. La petite crique, où débarquèrent les Phéniciens, allait devenir le Vieux Port d'aujourd'hui, tandis qu'au nord fut tout récemment développé le port moderne. Pour protégée qu'elle est, la rade n'en est pas moins parfois balayée par de sérieux coups de vents, et très régulièrement par le fameux mistral, vent qui dépasse souvent les 100 km/h et crée une mer grosse, hachée, violente pour les navires.

Afin que les bateaux puissent décharger en toute quiétude, quelles que soient les conditions météo, tout un ensemble de digues fut progressivement aménagé à mesure que l'activité du port se développait. Celle qu'on nomme "la digue Sainte-Marie" sert à protéger l'entrée sud du port du commerce, mais aussi du Vieux Port à quelques brasses de là. Construite dans les années 1930, elle

est en première ligne lorsque les éléments se déchaînent dans la baie.

### Privilégier l'esthétique et la robustesse

Soumise à de telles contraintes physiques, en plus de l'environnement très salé de la Méditerranée, la digue Sainte-Marie nécessite un entretien régulier, voire des travaux plus lourds de temps à autre. Ainsi l'an passé, l'intégralité de la dalle de cette digue fut reprise pour remplacer l'ancienne, complètement désagrégée par le temps et les agressions marines.

"La dalle avait subi des désordres importants, c'est pourquoi nous avons été obligés de mettre à l'étude la réalisation d'un nouveau revêtement" confirme Pascal Bedros, responsable des infrastructures bâtiments au Grand Port Maritime de Marseille (GPMM).

"La première solution que nous avons envisagée était de faire un revêtement en enrobé" poursuit Pascal Bedros. "Le

choix du béton désactivé s'est ensuite imposé, notamment parce qu'il fallait privilégier l'esthétique et la robustesse et aussi parce qu'il fallait intégrer l'hypothèse d'ouvrir éventuellement cette digue au public".

La digue Sainte-Marie, longue de 453 mètres et large de 9, offre un point de vue unique sur Marseille, l'église de la Major, l'entrée du Vieux port, le palais du Pharo, sans oublier les îles du Frioul au large et le château d'If.

"Il est probable que la digue soit, un jour, ouverte aux promeneurs et aux

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maître d'ouvrage :** Grand Port de Marseille

**Entreprises :** Gagneraud Construction, Provence Impressions (sous-traitant béton désactivé)

**Fournisseur du béton :** Lafarge Béton Bouches-du-Rhône

**Fournisseur du ciment :** Lafarge Ciments

animations, comme nous l'avons fait récemment pour un concours de pêche" ajoute Pascal Bedros.

Pour la dalle, le Port de Marseille avait des préconisations très précises.

"Nous avons souhaité une dalle coulée sur 14 centimètres d'épaisseur sur l'ensemble des 4 070 m<sup>2</sup>, avec un treillis soudé calibré en conséquence et, bien entendu, un béton à base de ciment prise mer fibré" poursuit Pascal Bedros.

La suite, c'est Armand Joly qui la raconte. Son entreprise, Provence Impressions, a assuré en sous-traitance de la société Gagneraud Construction la mise en place et le coulage de la dalle désactivée : "La préparation a d'abord consisté à curer la digue et à raboter la dalle en béton existante qui était complètement dégradée. Une fois la surface nettoyée et balayée, nous avons posé les joints d'isolement périphériques et le treillis soudé ST 60, mis en place à l'avancement en une nappe posée sur des cales en béton".

Le béton coulé directement à la goulotte est un C35/45 : renforcé avec des fibres polypropylène, il assure une classe d'exposition XS3 permettant de résister à la corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer.

### Le granulat assure aspect rustique et antidérapage

"Le granulat est un 11/22 concassé calcaire de la carrière de Châteauneuf-les-Martigues. Il permet de rester dans les teintes locales en donnant un aspect rustique à la dalle, mais comme il est



La dalle de la digue Sainte-Marie, réalisée en béton désactivé de 14 cm d'épaisseur sur une surface de 4 070 m<sup>2</sup>, fait face à Notre-Dame de la Garde.

concassé, il apporte une dimension supplémentaire de sécurité par sa qualité antidérapante" ajoute Armand Joly. Ce qui, dans le contexte marin d'une telle digue, est un atout important. "La formulation a, en outre, été faite sans entraîneur d'air afin de limiter au maximum la porosité et donc les infiltrations d'eau, dans et sous la dalle. C'est pourquoi, nous avons procédé à des essais d'affaissement au cône d'Abrams pour chaque toupie arrivant sur le chantier, ainsi qu'à un test d'écrasement à 7 et à 28 jours tous les 30 m<sup>3</sup>".

Le chantier ayant eu lieu en hiver, il a fallu, pour parvenir à un résultat homogène lors de la désactivation des bétons et pour éviter toute dessiccation, interrompre l'opération lorsque le mistral soufflait fort.

La dalle a été coulée selon deux procédures différentes : le premier coulage est venu couvrir le treillis avant d'être vibré à la règle vibrante, le second est destiné à être désactivé,

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

Ciment C35/45 CEM 1 52,5 XS3 PM : 330 kg

Granulats concassés calcaires 11/22 (carrière de Châteauneuf-les-Martigues) : 1 300 kg

Sable 0/2 : 580 kilos

Fibres polypropylène : 0,9 kg/m<sup>3</sup>

Plastifiant

Désactivant bio Piéri

coulé par-dessus mais sans être vibré afin que les granulats restent en surface et offrent un effet esthétique s'harmonisant parfaitement avec les tonalités très minérales des alentours. "En guise de finition, nous avons appliqué une protection minéralisante afin de rendre le béton complètement étanche à l'eau, en empêchant les infiltrations" conclut Armand Joly.

Dans l'hypothèse où la digue sera effectivement ouverte au public dans les années qui viennent, nul doute qu'elle constituera un but d'excursion recherché, mettant la mer au cœur de Marseille. ■



La digue Sainte - Marie sert à protéger l'entrée sud du port du commerce, mais aussi celle du Vieux Port à quelques brasses de là.



Les gros granulats concassés calcaires 11/22 limitent les glissades lorsque la dalle est mouillée par les paquets de mer.



Quartier Marinot (Calais) : les trottoirs sont de teinte claire pour que la distinction entre la zone réservée aux piétons et la zone circulée soit évidente au premier coup d'œil.

## Calais : du **béton désactivé** pour accompagner la rénovation urbaine

Certains quartiers de Calais bénéficient actuellement d'un important plan de rénovation urbaine. Pluri-annuelle, cette opération porte aussi bien sur l'habitat et ses abords que sur les zones de stationnement et sur l'organisation de la voirie de desserte. Adoptant différentes teintes, le béton désactivé y est à l'honneur en tant que revêtement de sol, aussi bien sur le domaine public que privé.

**E**n 2007, la Ville de Calais s'est lancée dans une démarche de requalification urbaine de certains de ses quartiers dans le cadre d'une convention ANRU (Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine) qui s'achèvera fin 2012.



Quartier Marinot (Calais) : mise en œuvre du béton prêt à l'emploi des trottoirs entre les rangées de pavés.

L'objectif est de réaliser des villes et des quartiers durables. Pour être menées à bien, ces opérations de rénovation nécessitent à la fois des démarches de concertation (implication des habitants dans les projets), de diversification des quartiers (en les ouvrant davantage vers l'extérieur) et de partenariat (avec les bailleurs sociaux, notamment).

Tout cela n'est possible qu'en redonnant une échelle humaine à des quartiers à l'architecture souvent très datée (grands ensembles des "trente glorieuses"). Cela passe donc par un remodelage, une réhabilitation, voire des opérations de démolition/reconstruction de certains immeubles d'habitation.

Après le quartier de la Mi-Voix, cette opération s'est concentrée sur les secteurs Marinot et Matisse.

*"La transformation de ces quartiers a nécessité la démolition de quelques*

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage :** Services techniques de la ville de Calais, OPHLM de Calais et Habitat 62/59

**Maîtrise d'œuvre :** Services techniques de la ville de Calais, OPHLM de Calais, Habitat 62/59, V2R Ingénierie & Environnement et EMA Architecte Paysagiste-Urbaniste

**Entreprises :** Eurovia Pas-de-Calais (Quartier Marinot), Dezellus (Quartier Matisse), Eiffage TP (Quartier Mi-Voix)

**Fournisseur du béton :** Holcim Bétons - Région Nord (centrale de BPE de Calais)

**Fournisseur du ciment :** Holcim Ciments

bâtiments pour en reconstruire d'autres, plus adaptés aux besoins actuels. Une opération menée en parallèle avec la rénovation du reste du parc immobilier. À cela s'ajoute la privatisation de toutes les zones d'habitation collectives par des clôtures délimitant clairement les différents espaces résidentiels. La création de six nouvelles voies dans le quartier Marinot et de quatre dans le quartier Matisse améliore leur maillage interne et les ouvre davantage sur l'extérieur pour mieux les désenclaver" explique Henri Grzanka, responsable des services techniques de la Ville de Calais.

Le réaménagement des espaces publics (création de parvis, de places de stationnement...) et des abords des immeubles (refonte des accès piétons, amélioration de l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite...) nécessite aussi une bonne collaboration entre la Ville de Calais et les bailleurs sociaux concernés (OPHLM de Calais et Habitat 62/59).

### Objectif : améliorer la lecture des espaces

Si le principe de l'utilisation d'enrobés est conservé au niveau des chaussées, y compris pour celles nouvellement créées, tous les trottoirs, parvis et zones accessibles aux piétons, sur le secteur public comme sur celui du privé, sont en béton désactivé.



Quartier Marinot (Calais) : rampe d'accès pour les personnes à mobilité réduite. Le revêtement, en béton fibré désactivé, est moucheté grâce au mélange de deux granulats différents : un 4/12,5 gris et un 6/14 noir.



Quartier Marinot (Calais) : des granulats noirs 10/14 roulés de basalte (Corrèze) donnent sa teinte au béton désactivé des places de stationnement, contrastant avec la voie de circulation claire des véhicules.

"Cette solution a été retenue car deux autres quartiers de Calais avaient déjà été traités ainsi, il y a une dizaine d'années. Depuis, nous n'avons eu aucun problème, ni d'entretien, ni de tenue dans le temps. C'est, de plus, une solution intéressante quand il y a des travaux : les réfections de trottoirs, suite aux interventions de certains concessionnaires, sont faciles à faire et très peu visibles après les travaux" précise Henri Grzanka.

Les trottoirs sont toujours de teinte claire pour que la distinction entre la zone circulée et la zone réservée aux piétons soit évidente au premier coup d'œil. Le béton désactivé est à base de granulat blanc cassé dans le quartier de la Mi-Voix, de granulat beige clair pour les trottoirs et la terrasse surplombant le blockhaus du quartier Matisse et d'un mélange de granulats gris et noirs dans le quartier Marinot.

"De temps à autre, une rangée de briques dans le quartier de la Mi-Voix ou de pavés gris dans les deux autres quartiers vient interrompre l'uniformité du revêtement pour lui donner un aspect de maillage" indique Henri Grzanka.

"Dans le quartier Marinot, la rénovation des accès piétons de la Résidence Flandres s'est traduite par la création d'une rampe d'accès pour les personnes à mobilité réduite, en conformité avec les normes en vigueur. Le dessin de son profil

en long assure d'un côté son raccordement à la résidence et, de l'autre, à la voirie et à la zone de stationnement. Sa pente est inférieure à 5 % et un palier de repos est prévu tous les 10 mètres. Le sol est revêtu du même béton désactivé fibré que celui employé pour le domaine public, dans un souci de cohérence esthétique" commente Benoît Soufflet, conducteur de travaux du bureau d'études V2R Ingénierie & Environnement.

"En revanche, nous avons dû choisir une teinte plus claire pour l'accès à certains de nos bâtiments car ils sont déjà eux-mêmes très clairs" ajoute Joël Cassez, directeur des services techniques de l'OPHLM de Calais.

De son côté, le parvis de la salle de sport du quartier Matisse bénéficie d'un béton désactivé foncé, à base de granulats 10/14 de basalte noir, sans ajout de colorant au ciment.

Dans le quartier Marinot, a été réalisé un parking public de 2 100 m<sup>2</sup> en béton désactivé d'un noir profond, fait à partir du même granulat de basalte et d'un colorant dans la masse.

Cette solution a été choisie, à la fois, pour sa durabilité et pour son esthétique qui lui permet de se démarquer du classique enrobé. Autre avantage dû à la couleur sombre, les taches des fuites d'huile et d'hydrocarbures ne se verront pas à la surface du revêtement.



Quartier Matisse (Calais) : l'étroitesse de certains accès implique, pour acheminer le béton prêt à l'emploi, de recourir à un tapis transporteur.

### Un ciment avec 62 % de laitier de haut-fourneau

Tous ces bétons désactivés ont en commun d'avoir été produits par la centrale de BPE d'Holcim, située dans la zone industrielle de Calais, à une dizaine de minutes seulement de chaque chantier.

"Nous avons utilisé une formulation spécialement conçue pour les bétons désactivés, appelée Articimo®. Nous l'avons adaptée aux caractéristiques des différents granulats employés : des cailloux roulés 5/12,5 de couleur blanc crème venant de la Haute-Marne pour le quartier Matisse, des cailloux gris et noir du Boulonnais pour le quartier Marinot, des granulats noirs venant de Gaurain (Belgique) pour le parvis de la salle de sport du quartier Matisse, du basalte noir de Corrèze, complété par un colorant noir Pieri, pour les parkings" signale Frédéric Butel, responsable de site chez Holcim Bétons (France) - Région Nord.

Tous ces bétons contiennent des fibres polypropylène et utilisent un même ciment de haut fourneau très clair, un CEM III 42,5 N CE CP1 NF, venant de la cimenterie Holcim de Lumbres, dans le Pas-de-Calais.

Dans ce ciment, le laitier de haut fourneau (62%) l'emporte sur le clinker (35%). Le reste est constitué de 4 % de gypse, qui agit en tant que régulateur de prise, et d'un agent de mouture, dosé à 0,02 %, qui vient améliorer la performance du béton à ses jeunes âges. Ce qui permet

d'atteindre une résistance à la compression de 13 MPa à 2 jours et de 53 MPa à 28 jours. Ce ciment est dosé à 330 kg par m<sup>3</sup> de béton. S'y ajoutent un plastifiant et un entraîneur d'air, ce dernier ayant pour fonction d'améliorer la résistance du béton au gel et au dégel.

"Ces chantiers qui s'étalent sur plusieurs années demandent une organisation particulière car il faut livrer deux à trois camions-toupies par jour et par chantier, sauf bien entendu les mois d'hiver. Cela représente, au final, un volume important, car il y a environ 20000 m<sup>2</sup> de sols à réaliser par quartier. Le planning est établi à l'année, avec confirmation de la commande 48 heures à l'avance" détaille Frédéric Butel.

"Sur des opérations de ce type, il convient d'avoir la réactivité et la souplesse nécessaires pour s'adapter aux nombreux arrêts de chantier. Outre le fait que les travaux se répartissent entre le domaine public et le domaine privé, il faut aussi prendre en compte les interventions des différents intervenants : les réseaux EDF, de l'eau, de l'assainissement, de l'éclairage, des communications, le chauffage urbain..., doivent être en place avant de pouvoir couler le béton désactivé. Certaines zones sont évidemment traitées en priorité, de manière à permettre aux gens de rentrer chez eux" explique

Jean-Pierre Willams, conducteur de travaux chez Eurovia, entreprise qui s'est chargée du quartier Marinot. Ensuite, la réalisation des trottoirs et parvis est assez classique : application d'une toile géotextile anti-contaminante sur la couche de fondation (grave non traitée 0/20 compactée), mise en place des bordures, coulage du béton sur 12 cm d'épaisseur, réglage, lissage, pulvérisation homogène du désactivant puis, le lendemain, rinçage. Pour terminer, les joints de fractionnement sont alors réalisés à l'aide d'un trait de scie sur le tiers de l'épaisseur du béton. ■



Quartier Matisse (Calais) : une pulvérisation homogène d'un produit désactivant, à la surface du béton, est indispensable.



Quartier Matisse (Calais) : la terrasse surplombant le blockhaus présente un béton désactivé à base de gros granulats beige clair.

# D'un point de vue économique et sociétal, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?

Cet article fait suite au dossier "La congestion du trafic routier est-elle une fatalité ?", paru dans la revue ROUTES N° 116 de juin 2011.

Son objectif est de prouver que, du point de vue économique et sociétal, il est rentable de construire de nouvelles infrastructures routières pour fluidifier la circulation routière. Il est vrai que la construction et l'entretien de nouvelles routes nécessitera des investissements et entraînera des gênes aux usagers et aux riverains. Ces dépenses d'investissement qu'on peut facilement évaluer et ces gênes qu'on saura décrire avec précision, seront à supporter uniquement durant la période d'exécution des travaux (**une durée limitée, de quelques jours à quelques mois**).

Mais, il ne faut pas oublier que la mise en service de ces nouvelles infrastructures routières, en fluidifiant le trafic, vont réduire à néant la part des dépenses énergétiques, les pertes de temps et la part de stress, d'anxiété et d'énervement des conducteurs, imputables à la congestion du trafic, et ceci durant toute la période de service des infrastructures routières (**une durée longue, de quelques années à quelques décennies**).

Pour répondre à la question "D'un point de vue économique et sociétal, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?", il est judicieux de procéder à un vrai bilan économique et sociétal.

## LE BILAN ÉCONOMIQUE ET SOCIÉTAL

En ce qui concerne l'aspect économique, il consiste à comparer :

- D'une part, le coût d'investissement global de l'infrastructure routière qui est la somme du coût de construction et des coûts actualisés des travaux d'entretien qui seront effectués durant la période de service. À cela, il faut ajouter les coûts actualisés des gênes à l'utilisateur et aux riverains causées par les travaux de construction et d'entretien.
- D'autre part, les économies réalisées par les usagers en matière de dépenses énergétiques (consommation de carburant) et le gain de temps (augmentation de la productivité des entreprises), du fait de la fluidification du trafic.

En ce qui concerne l'aspect sociétal, il consiste à comparer :

- D'une part, les gênes causées aux usagers et aux riverains durant la période de construction et des périodes d'entretien de l'infrastructure routière (congestion du trafic, stress, anxiété, énervement, bruit, pollution, etc.)
- D'autre part, le confort des usagers et des riverains, et le gain de temps des usagers, du fait de la fluidification du trafic et ceci durant toute la période de service.

## Le bilan économique

### Le coût d'investissement global de l'infrastructure routière

Il porte sur le coût de l'investissement, sur les coûts d'entretien mais aussi sur le coût des gênes causées aux usagers et aux riverains à l'occasion des travaux pendant une période de service donnée.

Pour tenir compte de l'échelonnement dans le temps des différents coûts (coût de construction, coûts des travaux d'entretien et coût de gênes aux usagers et aux riverains), il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour évaluer les divers coûts à la date de construction de la voirie.

Le coût global " $C_t$ " est ainsi exprimé en valeur actualisée. Il représente la somme dont on doit disposer au moment de la construction pour réaliser et entretenir une route sur une période de service prévue.

L'expression du coût global " $C_t$ " s'écrit alors :

$$C_t = P_c + (E_c) \text{ actualisé} + (C_g) \text{ actualisé} \quad (1)$$

Avec :

$P_c$  : coût de construction

$(E_c)$  actualisé : ensemble des coûts d'entretien actualisés sur la période de service,

$(C_g)$  actualisé : ensemble des coûts des gênes aux usagers et aux riverains durant les travaux de construction et d'entretien.

### Comment actualiser les coûts d'entretien ?

Pour pouvoir effectuer une intégration des coûts de construction, d'entretien et de gênes, il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour ramener tous les coûts à la date de construction du projet, les dépenses étant décalées dans le temps.

La valeur du taux d'actualisation "a" est égale à la différence entre l'intérêt sur le capital d'emprunt et l'inflation. On admet que le taux d'actualisation, d'une année sur l'autre, est constant. Ainsi, le coefficient d'actualisation " $C_a$ " de l'année "j" à l'année zéro "0" s'écrit :

$$C_a = 1/(1+a)^j \quad (2)$$

Avec :

a : taux d'actualisation

$C_a$  : coefficient d'actualisation de l'année "j" à l'année "0".

### Expression du coût d'entretien actualisé: $(E_c)$ actualisé

La méthode consiste à évaluer, à l'aide de l'expression (2), les coûts d'entretien actualisés en partant de scénarios d'entretien connus et établis sur la base du comportement réel des structures existantes. Si un tel scénario prévoit pour une structure donnée, durant la période de service, des

travaux d'entretien aux âges "i", "j" et "k" dont les coûts - valeurs le jour de l'étude - sont respectivement  $(E_c)_i$ ,  $(E_c)_j$  et  $(E_c)_k$ , l'expression (3) permet d'évaluer le coût d'entretien actualisé sur une période donnée :

$$(E_c)_{\text{actualisé}} = (E_c)_i/(1+a)^i + (E_c)_j/(1+a)^j + (E_c)_k/(1+a)^k \quad (3)$$

### Expression du coût de gênes actualisé : $(C_g)$ actualisé

Il s'agit de comptabiliser les coûts actualisés de gênes aux usagers et aux riverains causées par les travaux de construction et d'entretien. Si les travaux d'entretien sont prévus aux échéances "i", "j" et "k", l'expression du coût total  $(C_g)$  actualisé des gênes causées par les travaux est donnée par l'expression (4) :

$$(C_g)_{\text{actualisé}} = C_{gc} + (C_{ge})_i/(1+a)^i + (C_{ge})_j/(1+a)^j + (C_{ge})_k/(1+a)^k \quad (4)$$

Avec :

$C_{gc}$  : coût des gênes durant les travaux de construction  
 $(C_{ge})_i$  ;  $(C_{ge})_j$  ;  $(C_{ge})_k$  sont respectivement les coûts des gênes causées par les travaux d'entretien aux échéances i, j et k.

### Expression du coût global " $C_t$ "

Les relations (1), (3) et (4) donnent l'expression détaillée (5) du coût global " $C_t$ " pour une période de service "N" donnée.

$$C_t = P_c + (E_c)_i/(1+a)^i + (E_c)_j/(1+a)^j + (E_c)_k/(1+a)^k + C_{gc} + (C_{ge})_i/(1+a)^i + (C_{ge})_j/(1+a)^j + (C_{ge})_k/(1+a)^k \quad (5)$$

Connaissant les valeurs de  $P_c$ ,  $C_{gc}$ ,  $(E_c)_i$ ,  $(E_c)_j$ ,  $(E_c)_k$ ,  $(C_{ge})_i$ ,  $(C_{ge})_j$ ,  $(C_{ge})_k$ , a, i, j, et k, on peut évaluer par l'expression (5) l'impact économique global de la construction et de l'entretien de l'infrastructure routière sur la période de comparaison.

### Les économies réalisées par les usagers

Les économies réalisées par les usagers, du fait de la fluidification du trafic, sont de deux types :

- Les économies en matière de dépenses énergétiques (consommation de carburant),
- Les économies correspondant au gain de temps (augmentation de la productivité des entreprises).

Ces économies ont un caractère permanent et durent tant que la route est en service et que les conditions de fluidité du trafic existent. Elles s'accumulent année après année, tout au long de la période de service choisie pour la route.

Pour tenir compte de l'échelonnement dans le temps des différentes économies, il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour évaluer les différentes économies à la date de construction de la voirie.

### Somme des économies de dépenses énergétiques actualisées

Comme les économies de dépenses énergétiques sont réalisées d'une façon continue, il est, dès lors, judicieux de déterminer les économies réalisées chaque année  $(E_{de})_i = 1, \dots, n$  et de procéder ensuite à l'évaluation de l'économie globale  $(E_{de})_g$  pour une période de service "n", moyennant l'expression (6) :

$$(E_{de})_g = (E_{de})_1/(1+a)^1 + (E_{de})_2/(1+a)^2 + \dots + (E_{de})_n/(1+a)^n \quad (6)$$

### Somme des économies, liées aux gains de temps, actualisées

Comme les économies de gain de temps sont réalisées d'une façon continue, il est, dès lors, judicieux de déterminer les économies réalisées chaque année  $(E_{gt})_i = 1, \dots, n$  et de procéder ensuite à l'évaluation de l'économie globale  $(E_{gt})_g$  pour une période de service "n", moyennant l'expression (7) :

$$(E_{gt})_g = (E_{gt})_1/(1+a)^1 + (E_{gt})_2/(1+a)^2 + \dots + (E_{gt})_n/(1+a)^n \quad (7)$$

### Economie globale " $E_g$ "

Pour une période de comparaison "n" donnée, l'économie globale " $E_g$ " générée par suite de la fluidification du trafic routier, exprimée en valeurs actualisées, est donnée par l'expression (8) :

$$E_g = (E_{de})_g + (E_{gt})_g \quad (8)$$

Les relations (6), (7) et (8) donnent l'expression détaillée (9) de l'économie globale " $E_g$ " :

$$E_g = (E_{de})_1/(1+a)^1 + \dots + (E_{de})_n/(1+a)^n + (E_{gt})_1/(1+a)^1 + (E_{gt})_2/(1+a)^2 + \dots + (E_{gt})_n/(1+a)^n \quad (9)$$

Connaissant les valeurs de  $(E_{de})_1, \dots, (E_{de})_n$ ,  $(E_{gt})_1, \dots, (E_{gt})_n$ , a, n, on peut évaluer par l'expression (9) l'économie globale de l'infrastructure routière sur la période de comparaison.

## Le bilan sociétal

### Les gênes causées aux usagers et aux riverains durant les phases construction et entretien de l'infrastructure routière

Elles représentent la somme arithmétique des périodes de gênes subies par les usagers et les riverains durant la phase de construction de l'infrastructure routière et des périodes correspondant à son entretien. Elles s'expriment en jours ou en heures de gênes subies.

### Le confort des usagers et des riverains, et le gain de temps des usagers, du fait de la fluidification du trafic

Ils représentent la somme arithmétique des périodes de confort apportées aux usagers et aux riverains, ainsi que le gain de temps dont bénéficient les usagers, par suite de la fluidification du trafic, et ceci durant toute la période de service (excepté les périodes de gênes au moment des travaux d'entretien). Elles s'expriment en jours ou en heures de confort/gain de temps.

## ÉVALUATION DU BILAN ÉCONOMIQUE ET SOCIÉTAL

### Les hypothèses de calcul

Dans le but de comparer les aspects économiques et sociétaux, une analyse détaillée a été menée avec les hypothèses suivantes :

## Caractéristiques géométriques

Le projet à étudier est une section de voie routière d'un kilomètre de longueur et de 4 m de largeur.

## Structures prises en compte

Les calculs sont réalisés pour 4 structures de chaussées avec les hypothèses suivantes :

- classe de trafic : TC6 (1 000 PL/J, NE=15 000 000)
- poids lourds : 10 % du trafic
- classe de la plateforme support : PF3
- durée de dimensionnement : 30 ans.

Les structures de chaussées retenues sont :

**Structure 1 : Dalles goudonnées sur béton maigre : BC5g 20 cm / BC3 15 cm**

**Structure 2 : Dalles goudonnées sur Grave Bitume : BC5g 18 cm / GB3 10 cm**

**Structure 3 : Béton armé continu sur béton maigre : BAC 18 cm / BC3 15 cm**

**Structure 4 : BAC sur grave bitume : BAC 16 cm / GB3 10 cm**

### Nota

- Il a été retenu une densité de 2,45 pour tous les bétons et une densité de 2,35 pour tous les produits bitumineux.
- Pour la dalle goudonnée, le calcul a été fait à raison de 12 goujons par voie de circulation. Ces goujons ont une longueur de 45 cm et un diamètre de 30 mm (conformément à la norme NF P 98-170). Ceci donne, au mètre carré de chaussées, un pourcentage en poids de l'acier par rapport au béton de 0,4 %.
- Pour le béton armé continu, le calcul a été fait sur la base d'un taux d'acier de 0,67 % par rapport à la section béton. Ceci donne, au mètre carré de chaussées, un pourcentage en poids de l'acier par rapport au béton de 2,36 %.

## Les séquences d'entretien

À partir des constatations effectuées sur les chaussées neuves, et compte tenu de l'amélioration des méthodes et techniques de construction et d'entretien, il a été établi de façon pragmatique des scénarios plausibles pour les différentes structures envisagées, sur une période de 30 ans, qui s'établissent comme suit :

- **Pour la structure 1 (BC5g/BC3) et la structure 2 (BC5g/GB3)**
  - Garnissage périodique des joints tous les 10 ans ;
  - Régénérescence de l'adhérence, tous les 10 ans, par grenailage
- **Pour la structure 3 (BAC/BC3) et la structure 4 (BAC/GB3)**
  - Régénérescence de l'adhérence, tous les 10 ans, par grenailage.

## Les données de l'étude

### Données relatives aux coûts de construction et d'entretien de chaussées

- Coût d'un m<sup>3</sup> de béton maigre BC3 mis en place : 125 €
- Coût d'un m<sup>3</sup> de béton goudonné BC5g mis en place : 200 €
- Coût d'un m<sup>3</sup> de Béton Armé Continu BAC mis en place : 250 €
- Coût d'un m<sup>3</sup> de grave bitume GB3 mis en place : 175 €
- Coût d'entretien du revêtement en béton :
  - Garnissage périodique des joints : 2 €/m<sup>2</sup>
  - Régénérescence de l'adhérence par grenailage : 2 €/m<sup>2</sup>

### Données relatives à la circulation routière

- Deux congestions du trafic par jour :
  - Le matin : 2 heures, de 07h00 à 09h00
  - En fin de journée : 2 heures, de 17h00 à 19h00
- Vitesse de la circulation
  - Vitesse autorisée du trafic : 80 km/h
  - Vitesse moyenne du trafic en période de congestion : 10 km/h
- Consommation des véhicules légers :
  - À vitesse de 80 km/h : 6 l de carburant au 100 km
  - À vitesse de 10 km/h : 15 l de carburant au 100 km
- Consommation des poids lourds :
  - A vitesse de 80 km/h : 25 l de carburant au 100 km
  - A vitesse de 10 km/h : 60 l de carburant au 100 km
- Temps moyen de transport sur 1 km :
  - A vitesse de 80 km/h : 45 secondes
  - A vitesse de 10 km/h : 6 mn ou 360 secondes.
- Nombre de poids lourds au km, en situation de congestion : 20
- Nombre de véhicules légers au km, en situation de congestion : 200
- Nombre de jours de congestion par an : 225
- Nombre de riverains sur un km de voie : 150

### Données économiques

- Salaire moyen brut en France : 2 750 €/mois, soit un taux horaire : 23,75 €
- Prix moyen carburant : 1,30 €/l

## Evaluation du bilan économique

Il s'agit de comparer :

- Le coût d'investissement total actualisé sur 30 ans de construction, d'entretien et de gênes d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m, destinée à décongestionner la circulation routière,
- Les impacts économiques de la circulation routière en situation de congestion ou les économies générées par la fluidification du trafic grâce à l'augmentation de la capacité de l'infrastructure routière.

À partir des données relatives aux coûts de construction et d'entretien des chaussées, le tableau 1 donne l'évaluation du coût total actualisé sur 30 ans d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m, pour les quatre structures de chaussées sélectionnées pour cette étude. Le coût total actualisé comprend le coût de construction de la chaussée, le coût des terrassements, le coût de la signalisation, les coûts d'entretien actualisé de la chaussée sur la période de service de 30 ans. Il ne comprend ni le coût du foncier, ni le coût éventuel des travaux sur ouvrages d'art existants ou à construire.

Le tableau 1 montre que le coût d'investissement total actualisé sur 30 ans pour construire et entretenir une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m varie, en fonction de la structure de chaussée envisagée, entre 657 853 € et 772 926 € HT.

En outre, à partir de données relatives aux gênes causées par les travaux de construction et d'entretien de l'infrastructure, le tableau 2 donne l'évaluation du coût actualisé de gênes aux usagers et aux riverains. Ce tableau

montre que le coût sociétal induit par la congestion routière occasionnée par les travaux de construction et d'entretien de l'infrastructure routière (longueur 1 km et largeur 4 m) peut être relativement élevé. En effet, ce coût varie entre 2 177 083 et 2 699 583 € HT en fonction de la structure de chaussée envisagée.

Enfin, le tableau 3 donne le coût total d'une voie (longueur 1 km, largeur 4 m) sur une période de 30 ans. Il montre que les coûts économiques et sociétaux de la construction et d'entretien, pour 30 ans d'un km de voie de largeur 4 m, varient entre 2 834 932 € et 3 472 509 € en fonction de la structure de chaussée envisagée.

**Tableau 1 - Coût total actualisé d'une voie de 1 km de longueur et de 4 m de largeur sur 30 ans**

Structures	Coût de construction chaussée (€)	Coût de construction total (Chaussées + terrassements + signalisation, mais non compris le coût du foncier)	Coût d'entretien à 10 ans (€)	Coût d'entretien à 20 ans (€)	Coût Total (€ HT)
Structure 1 20 cm BC5g/15 cm BC3	235 000	705 000	9 823	6 030	<b>720 853</b>
Structure 2 18 cm BC5g/10 cm GB3	214 000	642 000	9 823	6 030	<b>657 853</b>
Structure 3 18 cm BAC/15 cm BC3	255 000	765 000	4 911	3 015	<b>772 926</b>
Structure 4 16 cm BAC/10 cm GB3	230 000	690 000	4 911	3 015	<b>697 926</b>

**Tableau 2 - Coût de gênes cumulé sur 30 ans engendrées par la construction et l'entretien d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m**

Structures	Coût de gênes dues aux Terrassements (€)	Coût de gênes dues aux Travaux de chaussées (€)	Coût de gênes dues aux Travaux de signalisation (€)	Coût de gênes dues aux travaux d'entretien à 10 ans (€)	Coût de gênes dues aux travaux d'entretien à 20 ans (€)	Total (€ HT)
Structure 1 20 cm BC5g/15 cm BC3	1 306 250	435 417	435 417	174 167	174 167	<b>2 525 417</b>
Structure 2 18 cm BC5g/10 cm GB3	1 045 000	348 333	435 417	174 167	174 167	<b>2 177 083</b>
Structure 3 18 cm BAC/15 cm BC3	1 306 250	609 583	435 417	174 167	174 167	<b>2 699 583</b>
Structure 4 16 cm BAC/10 cm GB3	957 917	522 500	435 417	174 167	174 167	<b>2 264 167</b>

**Tableau 3 - Coût total actualisé d'une voie de 1 km de longueur et de 4 m de largeur sur 30 ans**

Structures	Coût de construction et d'entretien (€)	Coûts des gênes aux usagers et riverains (€)	Total (€ HT)
Structure 1 - 20 cm BC5g/15 cm BC3	720 853	2 525 417	<b>3 246 270</b>
Structure 2 - 18 cm BC5g/10 cm GB3	657 853	2 177 083	<b>2 834 936</b>
Structure 3 - 18 cm BAC/15 cm BC3	772 926	2 699 583	<b>3 472 509</b>
Structure 4 - 16 cm BAC/10 cm GB3	697 926	2 264 167	<b>2 962 093</b>

D'autre part, à partir des données relatives à la circulation routière et aux données économiques, le tableau 4 donne l'évaluation des impacts économiques de la circulation routière en situation de congestion, pour 1 km de voie de largeur 4 m. Plus précisément, le tableau 4 donne en coût actualisé sur une période de 30 ans :

- Le coût actualisé de la surconsommation des Poids Lourds sur 30 ans qui s'élève à 1,26 millions d'euros,
- Le coût actualisé de la surconsommation des Véhicules Légers sur 30 ans qui s'élève à 3,24 millions d'euros,

- Le coût actualisé des pertes de temps des usagers sur 30 ans qui s'élève à 63,25 millions d'euros.

Le tableau 4 montre que les coûts économiques de la congestion routière totalisent donc 67 750 000 € sur une période de service de 30 ans.

En examinant les tableaux 3 et 4, on constate que le bilan économique est largement favorable à une politique d'augmentation de la capacité des infrastructures routières, quelle que soit la structure de chaussée envisagée.

**Tableau 4 - Impacts économiques de la circulation en situation de congestion  
Pour 1 km de voie de 4 m de large**

Indicateur	Surconsommation PL/30 ans	Surconsommation vh/30 ans	Perte de temps/30 ans	Total
Coût actualisé année 1	7,80E+04	2,0057E+05	3,9188E+06	4,1193E+06
Coût actualisé année 2	7,43E+04	1,9102E+05	3,7321E+06	3,9232E+06
Coût actualisé année 3	7,07E+04	1,8192E+05	3,5544E+06	3,7363E+06
Coût actualisé année 4	6,74E+04	1,7326E+05	3,3852E+06	3,5584E+06
Coût actualisé année 5	6,42E+04	1,6501E+05	3,2240E+06	3,3890E+06
Coût actualisé année 6	6,11E+04	1,5715E+05	3,0704E+06	3,2276E+06
Coût actualisé année 7	5,82E+04	1,4967E+05	2,9242E+06	3,0739E+06
Coût actualisé année 8	5,54E+04	1,4254E+05	2,7850E+06	2,9275E+06
Coût actualisé année 9	5,28E+04	1,3575E+05	2,6524E+06	2,7881E+06
Coût actualisé année 10	5,03E+04	1,2929E+05	2,5261E+06	2,6554E+06
Coût actualisé année 11	4,79E+04	1,2313E+05	2,4058E+06	2,5289E+06
Coût actualisé année 12	4,56E+04	1,1727E+05	2,2912E+06	2,4085E+06
Coût actualisé année 13	4,34E+04	1,1169E+05	2,1821E+06	2,2938E+06
Coût actualisé année 14	4,14E+04	1,0637E+05	2,0782E+06	2,1846E+06
Coût actualisé année 15	3,94E+04	1,0130E+05	1,9792E+06	2,0805E+06
Coût actualisé année 16	3,75E+04	9,6478E+04	1,8850E+06	1,9815E+06
Coût actualisé année 17	3,57E+04	9,1884E+04	1,7952E+06	1,8871E+06
Coût actualisé année 18	3,40E+04	8,7509E+04	1,7097E+06	1,7972E+06
Coût actualisé année 19	3,24E+04	8,3342E+04	1,6283E+06	1,7117E+06
Coût actualisé année 20	3,09E+04	7,9373E+04	1,5508E+06	1,6302E+06
Coût actualisé année 21	2,94E+04	7,5593E+04	1,4769E+06	1,5525E+06
Coût actualisé année 22	2,80E+04	7,1994E+04	1,4066E+06	1,4786E+06
Coût actualisé année 23	2,67E+04	6,8565E+04	1,3396E+06	1,4082E+06
Coût actualisé année 24	2,54E+04	6,5300E+04	1,2758E+06	1,3411E+06
Coût actualisé année 25	2,42E+04	6,2191E+04	1,2151E+06	1,2773E+06
Coût actualisé année 26	2,30E+04	5,9229E+04	1,1572E+06	1,2164E+06
Coût actualisé année 27	2,19E+04	5,6409E+04	1,1021E+06	1,1585E+06
Coût actualisé année 28	2,09E+04	5,3723E+04	1,0496E+06	1,1034E+06
Coût actualisé année 29	1,99E+04	5,1164E+04	9,9965E+05	1,0508E+06
Coût actualisé année 30	1,89E+04	4,8728E+04	9,5205E+05	1,0008E+06
<b>TOTAL</b>	<b>1,26E+06</b>	<b>3,2374E+06</b>	<b>6,3253E+07</b>	<b>6,7749E+07</b>

## ■ Evaluation du bilan societal

Il s'agit de comparer :

- Le temps cumulé des périodes de gênes subies par les usagers et les riverains durant la phase de construction d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m et des périodes correspondants à son entretien. Elles s'expriment en heures de gênes subies.
- L'impact societal de la circulation routière en situation de congestion (temps cumulé de gênes subies par les usagers et les riverains durant la période de service de 30 ans) ou le temps cumulé des périodes de confort apportées aux usagers et aux riverains, ainsi que le gain de temps dont bénéficient les usagers, par suite de la fluidification du trafic, et ceci durant toute la période de service (excepté les périodes de gênes au moment des

travaux d'entretien). Ils s'expriment en heures de confort/gain de temps.

À partir des données relatives à la circulation routière, le tableau 5 donne l'évaluation du temps de gênes cumulé sur 30 ans, engendrées par la construction et l'entretien d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m, pour les quatre structures de chaussées sélectionnées pour cette étude. Le temps de gênes subies par les usagers et les riverains correspond à la période de construction de la chaussée, des terrassements, de la signalisation et le temps correspondant aux périodes d'entretien de la chaussée sur la période de service de 30 ans.

**Le tableau 5 montre que le temps de gênes pour construire et entretenir sur 30 ans une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m, varie entre 91 667 et 113 667 heures, en fonction de la structure de chaussée sélectionnée.**

**Tableau 5 - Temps de gênes cumulés sur 30 ans engendrés par la construction et l'entretien d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m**

Structures	Temps de gênes dues aux Terrassements (h)	Temps de gênes dues aux Travaux de chaussées (h)	Temps de gênes dues aux Travaux de signalisation (h)	Temps de gênes dues aux travaux d'entretien à 10 ans (h)	Temps de gênes dues aux travaux d'entretien à 20 ans (h)	Total (h)
Structure 1 20 cm BC5g/15 cm BC3	55 000	18 333	18 333	7 333	7 333	<b>106 333</b>
Structure 2 18 cm BC5g/10 cm GB3	44 000	14 667	18 333	7 333	7 333	<b>91 667</b>
Structure 3 18 cm BAC/15 cm BC3	55 000	25 667	18 333	7 333	7 333	<b>113 667</b>
Structure 4 16 cm BAC/10 cm GB3	40 333	22 000	18 333	7 333	7 333	<b>95 333</b>

**Tableau 6 - Gênes aux usagers et riverains, cumulées sur 30 ans et engendrées par la congestion du trafic sur 1 km de voie**

Gênes usagers cumulées sur 30 ans (h)	Gênes riverains cumulées sur 30 ans (h)	Total (h)
5 197 500	4 050 000	9 247 500

D'autre part, à partir des données relatives à la circulation routière et aux données économiques, le tableau 6 donne l'évaluation des impacts sociétaux de la circulation routière en situation de congestion, pour 1 km de voie de largeur 4 m. Plus précisément, le tableau 6 donne en cumulé sur une période de 30 ans :

- Le temps de gênes subies par les usagers à cause d'une situation permanente de congestion du trafic routier et qui s'élève à 5 197 500 heures,
- Le temps de gênes subies par les riverains à cause d'une

situation permanente de congestion du trafic routier et qui s'élève à 4 050 000 heures.

**Le tableau 6 montre que les impacts sociétaux engendrés par la congestion routière totalisent donc 9 247 500 heures sur une période de service de 30 ans.**

En examinant les tableaux 5 et 6, on constate que le bilan sociétal est largement favorable à une politique d'augmentation de la capacité des infrastructures routières, quelle que soit la structure de chaussée envisagée.

## CONCLUSION

Le bilan économique et sociétal qui vient d'être évalué dans l'exemple ci-dessus a permis de :

- Prouver qu'il est de l'intérêt de la communauté, sur le plan économique et sociétal, d'augmenter la capacité des infrastructures routières qui se trouvent régulièrement en situation de congestion.
- Le bilan économique, évalué pour un km de voie sur une période de 30 ans, est largement en faveur de la construction de nouvelles routes. En effet, l'investissement (construction + entretiens + gênes sur 30 ans) qui s'élève, en valeurs actualisées, à environ 3 millions d'euros, permet d'engendrer une économie de carburant et de temps aux usagers s'élevant à plus de 67 millions d'euros.
- Le bilan sociétal, évalué pour un km de voie sur une période de 30 ans, est aussi largement en faveur de la construction de nouvelles routes. En effet, les gênes subies par les usagers et les riverains durant les périodes de travaux (construction + entretiens sur 30 ans) qui s'élèvent, en cumulé, à environ 100 000 heures, sont largement compensées par les économies de gênes et de pertes de temps aux usagers et aux riverains apportées par la nouvelle

infrastructure et qui s'élèvent à plus de 9 millions d'heures.

- À en croire les informations sur le trafic qui annoncent, matin et soir, 1 000 km environ de voies en état de congestion sur l'ensemble de la France, le bilan qu'on vient d'établir se traduit par une économie globale de 64 milliards d'euros et de 8,9 milliards d'heures sur 30 ans. Ce qui, en moyenne, représente donc 2,1 milliards d'euros et 296 millions d'heures par an.

- Enfin, le bilan économique et sociétal est largement en faveur de la construction de nouvelles infrastructures routières, quelle que soit la structure de chaussée béton envisagée.

Ce bilan économique et sociétal présente un écart tellement important en faveur d'une augmentation de la capacité des infrastructures routières qu'une étude de sensibilité ne paraît pas justifiée.

**Cette étude sera poursuivie par un bilan environnemental qui sera présenté dans le prochain numéro de la revue ROUTES paraissant fin décembre 2011.**

Joseph ABDO - Cimbéton



RD 132 à Montiers-sur-Saulx (Meuse) : le MACES est directement déversé dans la fouille au moyen de la goulotte du camion-toupie.

## Des Matériaux Auto-Compactants Essorables de Structure (MACES) pour l'élargissement de la RD 132

Rapidement et efficacement mis en œuvre avec des moyens techniques et humains réduits, les MACES (Matériaux Auto-Compactants Essorables de Structure) conviennent parfaitement aux élargissements des chaussées à faible trafic ( $t_3$ ). C'est la solution qui a été retenue pour la RD 132 à Montiers-sur-Saulx, dans le département de la Meuse.

Habituellement, les routes départementales à trafic modéré sont couramment rénovées par la simple application d'une nouvelle couche de roulement en enrobés. Mais, au fil des ans, ces couches de roulement successives se mettent à déborder de plus en plus sur les rives de la chaussée. Ces rives, très souvent non stabilisées, finissent inévitablement

par s'affaisser peu à peu, sous le passage des véhicules et notamment des poids lourds.

La solution habituellement employée consiste alors à élargir la route départementale. Le creusement d'une tranchée, de part et d'autre de la chaussée, est ensuite suivi de la réalisation d'une poutre en grave traitée ou en grave-laitier. Ce matériau est compacté avant la réalisation d'une couche de roulement sur toute la surface de la nouvelle chaussée.

*"Le point le plus délicat est de s'assurer que ce compactage est réellement efficace. Cela sous-entend que l'élargissement fasse au moins un mètre de large pour que le compacteur puisse intervenir correctement. Mais ces élargissements ont généralement une*



Les rives de l'ancienne chaussée ont fini par s'affaisser, sous le passage des poids lourds. Elles vont être élargies et renforcées grâce à la mise en œuvre du MACES.

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre :** Direction du patrimoine bâti et routier (Conseil Général de la Meuse)

**Réalisation et fournisseur du MACES :** Entreprise Paul Calin

**Fournisseur du ciment :** Ciments Calcia

largeur variable : ils sont souvent plus étroits et de forme irrégulière. De plus, ils sont réalisés dans des accotements instables, ce qui rend difficile à la fois l'accès des engins et le compactage proprement dit. D'où, là encore, un rapide affaissement de ces élargissements peu de temps après la remise en circulation" explique Jean-Yves Fagnot, directeur du Patrimoine bâti et routier du Conseil Général de la Meuse.

### Une solution bien adaptée aux faibles largeurs

En 2003, une technique alternative a été testée en Moselle et y a fait preuve de son efficacité. D'autres expérimentations ont ensuite eu lieu dans la Vienne et en Mayenne.

"Dès 2006, le département de la Meuse a réalisé ses premiers chantiers tests : un premier, long d'un kilomètre, puis un autre, plus important, sur la RD 124, entre la Voie Sacrée RD 1916 et Rambluzin-et-Benoite-Vaux, notamment. Dans notre département, ces différents chantiers, totalisant une dizaine de kilomètres, nous ont permis d'affiner ce procédé grâce aux retours d'expérience. Pour les élargissements de chaussée de faible largeur, de l'ordre de 30 à 40 cm, le recours à des Matériaux Auto-Compactants Essorables de Structure (MACES) représente donc, selon nous, la



Une simple pelle mécanique suffit pour creuser la fouille et en lisser le fond.



Une fois sa prise achevée, le MACES supporte parfaitement le passage des poids lourds.

solution la plus appropriée" précise Jean-Yves Fagnot.

"Grâce à sa thixotropie (aptitude à former, de manière réversible, un "gel"), ce matériau remplit bien la fouille et assure un comblement complet des vides. Il se compacte par le seul effet de la gravité, ce qui facilite grandement sa mise en œuvre. En revanche, dans certains cas, le réglage des pentes transversales peut s'avérer plus délicat en raison de sa relative fluidité. À l'état durci, il présente des propriétés mécaniques proches de celles de graves traitées aux liants hydrauliques. De plus, son délai de prise de 24 heures implique de le protéger de la circulation, sous peine de voir apparaître des traces dues au passage des véhicules" ajoute Alain Berton, responsable du service entretien des routes au Conseil Général de la Meuse. Après un reprofilage de la partie centrale (autrement dit la chaussée d'origine) pour partir d'une base saine, différentes solutions sont possibles pour la couche de surface : grave émulsion puis enduit (mono ou bicouche), grave-bitume puis béton bitumineux semi-grenu (BBSG), grave émulsion puis un enrobé coulé à froid (ECF)... Si la chaussée existante est en parfait état, un BBSG peut également être directement appliqué sur le MACES, sans reprofilage.

"Au final, le coût d'un élargissement en faible largeur est équivalent, voire inférieur, à celui réalisé en méthode

traditionnelle. En effet, même si le matériau proprement dit est plus cher, une moindre quantité doit être mise en œuvre. Autre avantage, le chantier est un peu plus rapide à exécuter. Enfin, quelle que soit la solution retenue, la durabilité attendue est d'au moins 15 ans" signale Alain Berton.

Dans les appels d'offres, il convient donc de prévoir logiquement une utilisation conjointe des deux techniques : l'une, traditionnelle, pour les zones de plus d'un mètre de large, l'autre, le MACES, pour les zones plus étroites.

### Progression du chantier : 1 km par jour et par côté

"C'est cette association des deux techniques, en privilégiant le MACES, qui a été demandée pour le chantier de Montiers-sur-Saulx, commune de 450 habitants du département de la Meuse. Long de 4 km, ce chantier se trouve sur la RD132, à proximité de la Champagne et la Haute-Marne. Pendant les deux mois qu'ont duré les travaux, cette route a été barrée et déviée" explique Daniel Ruhland, conseiller général de la Meuse.

Ce chantier a mobilisé cinq à six personnes et deux pelles mécaniques. Le MACES est déversé sur 35 cm d'épaisseur dans une fouille dont le fond est auparavant simplement lissé au godet. Sur les quelques rares zones plus larges, on emploie la technique



Après déversement, le MACES est uniformément réparti au râteau.

traditionnelle : grave-ciment sur grave non traitée.

Sur ce chantier, la formulation du MACES dérive des formulations déjà éprouvées avec succès sur le terrain, dans la Meuse et dans les autres départements ayant déjà testé ce procédé.

*"On associe 100 kg de ciment CEM II, 820 kg de sable 0/6, une tonne de granulats 6/20, 200 litres d'eau et 40 kg d'un additif assurant la thixotropie du mélange : un filler calcaire Premiacal. Étant donné que certains tronçons sont en pente, nous avons formulé un MACES assez ferme"* souligne Guy Calin, PDG de l'entreprise Paul Calin.

Ce MACES est livré sur le chantier par camion-toupie à raison de 6 à 8 rotations de 2 à 3 véhicules par jour, faisant en moyenne entre 8 et 12 m<sup>3</sup> chacun. Un quart d'heure environ sépare l'arrivée de deux toupies successives pour conserver une cadence régulière d'avancement. Ainsi, le chantier progresse, en moyenne, à raison de 1 km par jour et par côté.

*"D'après les enseignements issus des précédents chantiers, l'approvisionnement par camion-toupie paraissait impératif pour être certain que le matériau reste suffisamment plastique et homogène. Transporté dans une benne, le béton aurait été trop ferme. Son déversement n'aurait pas été régulier et le résultat final aurait donc été globalement moins bon"* précise Guy Calin.

Le matériau est directement déversé dans la fouille depuis la goulotte de la toupie, puis égalisé au râteau. Deux à trois heures plus tard, une entaille est tracée tous les 10 m, sur 5 à 10 cm de profondeur, avec un simple outil de maçonnerie à lame métallique. Cette préfissuration est indispensable pour canaliser la fissuration de retrait du matériau. Quelques jours plus tard, le déflashage et le reprofilage de la chaussée précèdent l'application d'une couche de roulement en grave-émulsion BBSG.

### Une technique appelée à se développer dans l'avenir

Ce chantier, une première pour l'entreprise Calin, a été une franche réussite.

*"C'est une technique dont nous avons entendu parler et qui nous intéressait à plusieurs titres, notamment parce qu'il est évident qu'elle est appelée à se développer. De plus, nous pouvons parfaitement en contrôler la qualité, puisque nous mettons en œuvre le MACES que nous fabriquons nous-même dans l'une de nos centrales à béton, à partir de granulats issus de l'une de nos carrières"* souligne Guy Calin.

Ce chantier a aussi servi de vitrine pour présenter ce procédé aux techniciens du service des routes des Conseils Généraux voisins.

*"Il existe également un projet dans les*

### FORMULATION POUR 1 M<sup>3</sup> DE MACES

**Ciment CEM II/A 42,5 R CP2 : 100 kg**  
**Sable 0/6 : 820 kg**  
**Granulats concassés 6/20 (carrière de Magneux, Haute-Marne) : 1 000 kg**  
**Filler calcaire Premiacal : 40 kg**  
**Eau : 200 litres**

*Vosges, département confronté à des problèmes de fissuration au niveau du raccord entre la poutre de rive et l'ancienne chaussée dans certaines zones"* ajoute Guy Calin.

*"Nous disposons de plus en plus d'informations sur ce procédé. Sur l'un des anciens chantiers, la réouverture d'une tranchée nous a permis de constater que le MACES comble vraiment bien les vides des bords de l'ancienne chaussée, grâce à sa thixotropie. Les traces de ce béton sont observables jusqu'à 10 cm de la découpe"* précise Alain Berton.

Ce procédé est encore appelé à évoluer puisque, sur le prochain chantier par exemple, l'approche sera différente : *"Le sciage du bord de la chaussée permettra d'éliminer les élargissements clandestins et d'avoir ainsi une meilleure perception du corps de chaussée initial. En se calant sur le bord originel de la chaussée, l'efficacité du MACES devrait encore être bien meilleure. Mais pour le moment, le point délicat consiste à repérer exactement où se trouve le bord de la chaussée, afin d'y tracer le trait de scie"* conclut Alain Berton.



Tous les 10 mètres, une simple lame d'acier sert à préfissurer le MACES, sur 5 à 10 cm de profondeur, ce qui permet de canaliser la fissuration de retrait.



## Remue-ménages

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

### La profondeur d'un puits

Vous êtes à côté d'un puits et vous vous interrogez sur la profondeur à laquelle se trouve l'eau au fond du puits. Ne disposant d'aucun outil de mesure à part un chronomètre, une feuille de papier, un stylo et éventuellement une calculatrice, est-il possible d'imaginer une méthode permettant d'évaluer, avec une bonne précision, la profondeur du puits ? Décrivez cette méthode, puis donnez une application numérique.

#### Solution du Remue-ménages de *Routes* N°116 :

##### Histoire de marketing

**Rappel du problème posé :** une société de service multimédia, ayant 100 000 abonnés, perçoit 30 € par mois de chaque abonné. Souhaitant maximiser son revenu, elle décide de modifier le prix de son abonnement. Comment faut-il modifier le montant de l'abonnement mensuel pour obtenir le maximum de revenu, sachant qu'une étude a démontré que toute variation de 1 € du prix de l'abonnement entraîne une variation inverse de 2 000 du nombre d'abonnés ?

**Solution :** soit "X" la variation du montant de l'abonnement qui permet de maximiser le revenu de la société de service multimédia. "X" peut être positif (si le montant de l'abonnement augmente) ou négatif (si le montant de l'abonnement diminue).

Soit "A" le nouveau montant de l'abonnement.

Soit "N" le nouveau nombre d'abonnés.

Soit "R" le nouveau revenu de la société de service multimédia.

D'où :

$$A = 30 + X$$

$$N = 100\,000 - X \cdot 2\,000 \quad (N \text{ augmente si "X" est négatif})$$

$$R = N \cdot A = (100\,000 - X \cdot 2\,000) (30 + X)$$

$$R = 3\,000\,000 + 100\,000 X - 60\,000 X^2 - 2\,000 X^3$$

$$R = -2\,000 X^3 + 40\,000 X^2 + 3\,000\,000 \quad (1)$$

Le maximum de revenu de la société de service multimédia correspond donc au maximum de l'équation du second degré (1). Or, le maximum de l'équation (1) correspond à la valeur de X qui annule la dérivée R' de l'équation (1).

$$R' = -4\,000 X + 40\,000 = 0.$$

$$\text{D'où : } X = 10$$

Pour maximiser le revenu de la société de service multimédia, le montant de l'abonnement doit être augmenté de 10 €.

Le nouvel abonnement mensuel sera donc de :  $A = 30 + 10$

$$A = 40 \text{ €}$$

Le nouveau revenu espéré par la société peut être obtenu à partir de l'équation (1).

$$R = -2\,000 (10)^3 + 40\,000 (10)^2 + 3\,000\,000$$

$$R = 3\,200\,000 \text{ €}$$

À comparer à l'ancien revenu qui était de :  $30 \times 100\,000 = 3\,000\,000 \text{ €}$ .

**Le gain s'élève donc à 200 000 €.**



## Agenda

### Journées Techniques Cimbéton 2011

La prochaine journée technique sur le thème "Traitement des sols et Retraitement des chaussées aux liants hydrauliques", organisée par Cimbéton, se déroulera à Agen, le mercredi 16 novembre.

Invitations disponibles sur simple demande auprès de Cimbéton.

### 23<sup>e</sup> Rencontres nationales du transport public

12-14 octobre 2011 (Strasbourg)

#### Rencontres nationales du transport public

Cimbéton et ses partenaires, SNBPE et SNPB, seront présents (stand 25A) à la 23<sup>e</sup> édition de ces Rencontres qui auront lieu au Parc des Expositions de Strasbourg. Celles-ci sont organisées par le GIE "Objectif transport public" qui a pour mission de sensibiliser les professionnels du secteur, ainsi que le grand public, aux enjeux de la mobilité durable.

Pour en savoir plus : [www.rencontres-transport-public.fr](http://www.rencontres-transport-public.fr)

17-19 octobre 2011 (Lyon)

#### Congrès de l'AFTES

Cimbéton et ses partenaires SNBPE, SNPB, FIB, CERIB et SPECBEA seront présents (stands 324-326) au salon du Congrès de l'Association Française des Tunneliers et de l'Espace Souterrain (AFTES), qui aura lieu à la Cité-Centre de Congrès à Lyon.

Thème : "Les espaces souterrains de demain".

Pour en savoir plus : [www.aftes.asso.fr](http://www.aftes.asso.fr)



22-24 novembre 2011 (Paris)

#### Salon des Maires et des Collectivités locales (Porte de Versailles - Paris)

CIMBÉTON sera présent (stand D30) dans le Hall 2-2 (Bâtiment, Travaux Publics, Voirie, Aménagements urbains) du prochain Salon des Maires et des Collectivités locales. Ce stand est animé en partenariat avec le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE) et le Syndicat national du pompage du béton (SNPB). L'an dernier, ce rendez-vous majeur de l'achat public territorial avait réuni 57 300 visiteurs, en hausse de 3,5 % par rapport à 2009.

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



7, Place de la Défense  
92974 Paris-la-Défense cedex  
Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10  
Email : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net)  
Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)