

ROUTES

Ciments - Liants hydrauliques routiers - Bétons

Travaux et équipements routiers - Terrassements - Aménagements urbains - Aéroports



CHANTIER

Landivisiau (Finistère) :
un guidage 3D sans fils
pour la réalisation
d'un parking en béton

CHANTIER

Vanves : test d'un béton
anti-pollution à base
de dioxyde de titane

DOCUMENTATION TECHNIQUE

La maîtrise de la fissuration
des graves hydrauliques

2 ÉDITORIAL

3-5 LE POINT SUR

La Côte d'Azur
Énorme engouement pour le béton désactivé sur la Côte d'Azur

6-13 DOCUMENTATION TECHNIQUE

La maîtrise de la fissuration des graves hydrauliques

14-15 CHANTIER

Finistère
Landivisiau : un guidage 3D sans fils pour réaliser un parking en béton

16-17 CHANTIER

Hauts-de-Seine
À Vanves, une rue de 300 mètres de longueur en béton dépolluant

18-19 CHANTIER

Ardèche
Lachapelle-sous-Aubenas : traitement au ciment pour la déviation de la RD104

20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : à Saint-Jean-Cap-Ferrat (Alpes-Maritimes), l'allée en béton désactivé qui traverse le parc du Grand Hôtel pour mener à l'entrée de l'établissement.



Le 23^e Congrès Mondial de la route : une grande réussite !

Le 23^e Congrès Mondial de la Route, organisé par l'Association Mondiale de la Route (AIPCR) sous l'égide du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, s'est tenu du 17 au 21 septembre 2007 au Palais des Congrès à Paris.

Cent ans après la première édition, qui a eu lieu à Paris en 1908, cette manifestation a attiré 3 000 participants, en provenance du monde entier.

Placé sous le signe du Développement Durable, ce Congrès a été bien sûr l'occasion, pour la communauté routière mondiale, de démontrer sa capacité à concilier la route et le Développement Durable.

Quatre thèmes stratégiques avaient été retenus :

- La gouvernance et la gestion des réseaux routiers,
- La mobilité durable,
- La sécurité routière et l'exploitation,
- La qualité des infrastructures routières.

Ces quatre thèmes ont été la toile de fond de différentes séances de travail auxquelles ont participé les 3000 congressistes.

La séance des ministres, intitulée "*Financement des réseaux routiers : quelles stratégies ?*", a été l'un des temps forts du Congrès. Les interventions ont montré les différences de politiques existant entre les pays, selon leur degré de développement économique et leurs impératifs sociaux.

À noter sur vos agendas : le 24^e Congrès Mondial de la Route se tiendra à Mexico en 2011.

Joseph ABDO
Cimbéton

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



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

Tél. : 01 55 23 01 00

Fax : 01 55 23 01 10

Email : centrinfo@cimbeton.net

Site Internet : www.infociments.fr

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

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la Documentation technique et de *Remue-ménages* : Joseph Abdo -
Reportages, rédaction et photos : Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Levron, Jacques Mandorla -
Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr -
Direction artistique : Arnaud Gautelier -
Maquette : Dorothee Picard -
Dépôt légal : 4^e trimestre 2007 - ISSN 1161 - 2053 1994



Nice : rénovation des jardins de la Villa Masséna, au moyen de bétons désactivés de couleur beige et ocre, et de motifs traités en calades (galets posés sur chant).

Énorme engouement pour le béton désactivé sur la Côte d'Azur

S'il est un lieu où le béton désactivé est particulièrement adapté, c'est bien la Côte d'Azur où couleurs et lumières le mettent particulièrement en valeur. Illustration à travers quatre réalisations d'exception : Nice (Villa Masséna), Antibes, Nice (Paillon) et Saint-Jean-Cap-Ferrat.

NICE - VILLA MASSÉNA

La Ville de Nice a récemment décidé de rénover les jardins de la Villa Masséna, en parallèle au bâtiment proprement dit, l'ensemble étant situé sur la Promenade des Anglais. Pour cet espace vert de 6 250 m², il a été décidé de s'inspirer au maximum des plans d'origine, établis en 1899 par Edouard André, grand paysagiste de la fin du XIX^e siècle.

Un jardin à l'anglaise... et à la française

"En fait, ce jardin public se compose de deux styles différents", précise Emmanuel Robert, ingénieur à la Direction des espaces verts de la Ville de Nice. "La partie à l'anglaise, située au sud, est constituée d'une grande pelouse, d'allées sinueuses, de mouvements de terre et d'une végétation luxuriante. Au nord-est, la partie à la

française est surtout composée de trois massifs de gazon et de fleurs".

Trois solutions étaient envisagées : allées en stabilisé, en enrobé clair ou en béton désactivé. La solution en stabilisé a été écartée d'emblée car, outre le problème du nettoyage des allées, les promeneurs risquaient d'être gênés par les poussières de sable.

Restaient deux possibilités : un enrobé clair ou un béton désactivé. Pour Emmanuel Robert : "Nous avons choisi le béton désactivé pour des raisons non

seulement d'esthétique et d'entretien, mais aussi pour coller au mieux au plan d'origine. D'autant plus qu'avec la solution en enrobé, il aurait fallu prévoir des bordures le long des allées".

Un travail très précis avec de nombreux arrondis

Coulé sur une surface de 1 730 m² et sur 12 cm d'épaisseur, le béton a été scié et jointoyé tous les 25 m² environ. Il s'expose en deux couleurs : dans les



Nice (Villa Masséna) : les parterres du jardin à la française avec ses motifs en courbe.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : Ville de Nice
Maîtrise d'œuvre : Direction des espaces verts
Entreprise du lot Génie civil : Garelli TP
Mise en œuvre du béton : MB Constructions (06510 Gattières)
Fournisseurs du béton : BCCA (groupe VICAT) et Lafarge Bétons Côte d'Azur

allées, il est beige, sans colorant et avec de fins granulats 4/6 de la carrière de la Somat à La Turbie ; par contre, la couleur ocre a été choisie là où il y a des motifs en arrondis. À noter qu'un grand motif a été réalisé en calades, c'est-à-dire à l'aide de galets posés sur chant. "Les difficultés de ce chantier étaient de trois ordres" précise Christian Genet, gérant de MB Constructions. "D'abord, la partie à la française n'étant pas accessible aux camions, il a fallu apporter le béton avec des brouettes mécaniques. Puis, on a fait des coffrages très précis qui suivent les courbes et les arrondis des massifs et des motifs décoratifs. Enfin, la finition du béton désactivé devait avoir une qualité parfaitement identique sur toute la surface". Sur ce volet béton désactivé, c'est l'entreprise Garelli TP qui a préparé les fonds de forme et réalisé les motifs en calades. Résultat : un lieu où il fait bon se promener et où la belle esthétique du revêtement de sol met en valeur la richesse de la végétation.

ANTIBES

À la manière de Vauban, le Bastion Saint-Jaume est une avancée de la fortification des remparts d'Antibes sur la mer. Protégeant le bassin du vieux port, il a abrité depuis le XIX^e siècle un chantier naval qui a travaillé sur des navires prestigieux comme la Calypso de Cousteau. Définitivement fermés en 1985, les hangars servent depuis de salle de spectacles. C'est là qu'Eve Ruggieri a longtemps organisé son festival d'art lyrique "Musiques au cœur d'Antibes".

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : Ville d'Antibes

Maîtrise d'œuvre (conception) :
J.-C. Corbinais, architecte de la Ville

Maîtrise d'œuvre (exécution) :
Services études et travaux
infrastructures

Entreprise générale : Avena Père et Fils

Mise en œuvre du béton :
MB Constructions

Fournisseur du béton :
BCCA (groupe VICAT)



Antibes (Bastion Saint-Jaume) : la terrasse de 1 500 m² en béton désactivé, matériau retenu par les Bâtiments de France.

Une programmation prévue en plusieurs phases

Menaçant ruines, les structures de l'ancien chantier naval ont été démontées en 2005. Cependant, aux yeux des Antibois, ce site devait rester un lieu festif et culturel. C'est pourquoi, il a été décidé de restaurer le Bastion Saint-Jaume. Inscrit à l'Inventaire Supplémentaire des Monuments historiques, il se compose d'une esplanade de 2 500 m² au niveau du port et d'une terrasse de 1 500 m² couvrant 13 casemates. "Notre objectif est de restaurer ce site, puis de l'ouvrir au public", explique Jean-Charles Corbinais, architecte de la Ville d'Antibes. "Le niveau bas servira à l'organisation de manifestations, alors que le niveau haut sera transformé en promenade pouvant accueillir des réceptions, des expositions... À terme, il est prévu que cette promenade longe l'ancien port et rejoigne celle des remparts du XVII^e siècle".

Compte tenu de l'ampleur des travaux, une programmation en plusieurs phases a été décidée avec l'aide de l'Etat, de la Région et du Département. La première phase, d'un budget d'un million d'euros, a notamment porté sur la préservation et la mise en lumière du monument, ainsi que sur la possibilité pour le public d'accéder aux terrasses situées sur les anciennes voûtes, après réalisation de garde-corps, sorties de secours, travaux d'étanchéité,...

Le choix du désactivé par les Bâtiments de France

S'agissant d'un Monument historique, le revêtement de sol de la terrasse a été

choisi par les Bâtiments de France, l'objectif étant de retrouver l'aspect de stabilisé et les couleurs qui rappellent la pierre du bastion et des remparts du Vieil Antibes.

C'est pourquoi le béton désactivé a été retenu pour cette promenade. Le béton, coulé sur une épaisseur de 12 cm, est gris et les granulats, d'une granulométrie 0/6, sont de couleur beige rosé. Le dallage a été scié et jointoyé tous les 25 m². Et Christian Genet de préciser : "Pour ce site remarquable, vous imaginez bien qu'il a fallu réaliser un travail particulièrement méticuleux. De plus, pour nous entrepreneurs, c'est toujours passionnant d'intervenir sur un monument historique !". Depuis fin mars 2007, les promeneurs peuvent profiter de ce lieu chargé d'histoire et d'un superbe panorama sur le Cap d'Antibes, le Fort Carré et la Vieille Ville.

NICE - PAILLON

À Nice, pour continuer à limiter l'impact visuel et sonore de la pénétrante du Paillon, le Conseil Général des Alpes-Maritimes, maître d'ouvrage de l'opération, a choisi de construire un tunnel qui prolonge celui construit sur 2 km en 1995-1996 entre la place Masséna et la rue Barla.

Long de 840 m, ce nouvel ouvrage est constitué d'un cadre en béton armé, ancré le long de la rive gauche de la rivière Paillon. Ce cadre comporte une chaussée unidirectionnelle à deux voies, suit la pente naturelle du cours d'eau et se raccorde aux ouvrages existants.



Nice (Paillon) : la promenade en béton désactivé longe la rivière.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : Conseil Général des Alpes-Maritimes

Maîtrise d'œuvre (conception) : AABD Architectes

Maîtrise d'œuvre (exécution) : SETEF

Entreprise générale : Nardelli TP

Mise en œuvre du béton : MB Constructions

Fournisseur du béton : Lafarge Bétons

Un espace qui va changer l'image du quartier

Pour tirer le meilleur parti de la couverture du tunnel, le maître d'ouvrage a décidé de réaliser une promenade qui, tout en contribuant à la requalification des berges du Paillon, transforme la vision négative de ce quartier toujours marqué par son passé industriel et militaire.

Ce que confirme Stéphane Conquet du cabinet AABD Architectes : *"Cet aménagement met en exergue l'image d'une Nice végétale et puise dans le lit du Paillon les qualités latentes du site, afin de mieux intégrer un lieu naturel en milieu urbain"*.

Cette promenade est mixte, avec une piste cyclable en enrobé et un cheminement en béton désactivé, réservé aux piétons. Scié et jointoyé tous les 25 m², le béton contient des granulats 6/14 concassés, de couleur calcaire ocre, provenant de la carrière SEC de Saint André. Au total, 5 000 m² de béton désactivé ont été coulés sur 15 cm d'épaisseur avec, au niveau du cadre du tunnel, un béton de remplissage de 20 cm d'épaisseur.

Un planning très serré

"Ce chantier a été terminé en mai 2007. Comme nous disposions d'un calendrier extrêmement serré, il nous a fallu travailler jour et nuit, avec pour obligation de respecter une cadence de livraison très régulière", précise Christian Genet.

Outre la réalisation du béton désactivé en surface, la maîtrise d'œuvre et la mission Ordonnancement et Pilotage de Chantier (OPC) assurée par la SETEF ont permis de mener de front les travaux de réseaux et d'aménagement de surface.

Pour Christophe Martello, ingénieur à la SETEF : *"En surface, l'intervention simultanée de plusieurs lots – paysagers, éclairage public, mobilier urbain... – n'a pas rendu simple le calage du poste "traitement surfacique". L'entreprise MB Constructions et le mandataire du groupement Nardelli TP ont dû s'adapter, et parfois même alterner leur planning, pour pouvoir réaliser le béton désactivé, pièce maîtresse de cette réalisation"*.

Nul doute que cette promenade très joliment arborée va très vite faire partie du patrimoine urbain niçois.

SAINT-JEAN-CAP-FERRAT

Dans le très luxuriant parc du Grand Hôtel de Saint-Jean-Cap-Ferrat, une grande allée mène à l'entrée de l'établissement, côté mer. Cette allée permet également de descendre à la piscine située en bord de mer. Très passant, ce cheminement de 60 m de long sur 3,50 m de large a été récemment refait en béton désactivé

sur une surface de près de 300 m² et sur une épaisseur de 12 cm.

Le béton prêt à l'emploi comporte des granulats de couleur ocre et de petite granulométrie (0/6) provenant de la carrière de la Somat à La Turbie. Les promeneurs ont donc l'impression de marcher sur un sol naturel, imitant les tons du pays.

Pour animer ce cheminement, deux types de calades ont été réalisées : des caniveaux de 20 cm et des bandes structurantes, en forme de chevron, tous les mètres. Le seuil de l'entrée de l'allée est également réalisé avec des briquettes posées sur chant.

Sylvain Richard, directeur technique de l'hôtel, explique la finalité du projet : *"Notre objectif était de réaliser une allée qui rappelle la terre du pays et soit, à la fois, esthétique et rustique. C'est pourquoi nous avons opté pour du béton désactivé. De plus, il est facile d'entretien, anti-dérapant et permet de marcher aisément, même avec des talons hauts : ce qui est important, compte tenu de la clientèle féminine que nous recevons dans notre établissement !"*.



Saint-Jean-Cap-Ferrat : l'allée en béton désactivé qui mène à la mer.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : Grand Hôtel du Cap-Ferrat

Maîtrise d'œuvre : Luc Svetchine, architecte

Préparation et mise en œuvre du béton : MB Constructions

Fournisseur du béton : BCCA (groupe VICAT)



Chantier de mise en œuvre des graves-ciment.

La maîtrise de la fissuration des graves hydrauliques

Sous l'enrobé... les graves traitées. La technique des assises de chaussées en graves-ciment et en graves-liants hydrauliques routiers fait l'objet d'une évolution continue. Résultat de ces progrès constants : une maîtrise accrue du phénomène de fissuration, avec pour corollaire une plus grande durabilité de ces chaussées. Un peu plus de quinze ans après une première étude, cet article fait le point.

INTRODUCTION

Dans sa documentation technique n°15 (septembre 1985), la revue Routes avait fait le point, après plusieurs décennies de développement, sur la technique des graves-ciment.

Au cours de ces dernières années, la technique a progressé dans deux domaines : la codification et la maîtrise de la fissuration.

Dans le domaine de la codification, la technique a fait l'objet d'une série de normes françaises et européennes. On distingue :

- NF P 98 114 : Méthodologie d'étude des matériaux traités aux liants hydrauliques.
 - Norme NF P 98 114 - 1 : Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Partie 1 : graves traitées aux liants

hydrauliques.

- Norme NF P 98 114 - 2 : Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Partie 2 : Sables traités aux liants hydrauliques.
- Norme NF P 98 114 - 3 : Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Partie 3 : Sols traités aux liants hydrauliques.
- Normes NF P 98 115 : Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées - Constituants - Composition des mélanges et formulation - Exécution et contrôles.
- Norme NF EN 14227-1 : Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications - Partie 1 : Mélanges granulaires traités au ciment.

- Norme NF EN 14227-5 : Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 5 : Mélanges granulaires traités au liant hydraulique routier.
- Norme NF EN 14227-10 : Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 10 : Sols traités au ciment.
- Norme NF EN 14227-13 : Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 13 : Sols traités au liant hydraulique routier.
- Norme NF P 98 128 : Assises de chaussées – Bétons compactés routiers et graves traitées aux liants hydrauliques et pouzzolaniques à hautes performances – Définition – Composition – Classification.

Dans le domaine de la maîtrise de la fissuration, des progrès importants ont été enregistrés. Plusieurs procédés ont, en effet, vu le jour ces dernières années et ont fait l'objet de procédures d'avis techniques.

Le but de cet article est double :

- d'une part, faire le point sur les connaissances actuelles dans le domaine de la compréhension du mécanisme de fissuration des graves hydrauliques ;
- d'autre part, présenter les moyens actuels permettant de maîtriser cette fissuration.

LA FISSURATION DES GRAVES HYDRAULIQUES

On sous-entend ici uniquement les fissures de retrait. Le phénomène est inévitable et se manifeste par une fissuration transversale régulière et bien établie, si les règles de l'art ont été respectées lors des travaux.

Les fissures qui ne sont pas spécifiques aux graves hydrauliques – les fissures de fatigue (en général longitudinales et anarchiques), les défauts des joints longitudinaux ou transversaux de mise en œuvre des enrobés, les fissures d'épaulement ou d'élargissement, les fissures provoquées par les mouvements du remblai – ne sont pas évoquées dans cette documentation technique.

■ Définition

Sous l'effet du retrait, il arrive un moment où la contrainte de traction, engendrée dans le matériau, atteint une valeur proche de sa résistance à la traction. Il y a alors rupture, au moins localement, c'est-à-dire séparation d'un milieu continu en deux parties, de part et d'autre d'une surface géométrique, appelée fissure. Dans le domaine de la fissuration de retrait, on distingue deux types de retrait élémentaires :

- les retraits primaires, comprenant le retrait avant durcissement et le retrait hydraulique. Ils sont responsables des premières mises en contrainte lente du matériau après sa mise en œuvre et se produisent alors que le matériau est encore peu résistant ;

- le retrait thermique, associé soit aux variations journalières de température, soit aux variations annuelles de température. Les premières peuvent se situer entre 20 et 30 °C sous nos climats, tandis que les secondes peuvent atteindre 50 à 60 °C.

■ La fissuration des graves hydrauliques est-elle évitable ?

L'ensemble des constatations réalisées sur les chaussées en graves hydrauliques, les études de simulation effectuées en laboratoire et les études de modélisation confirment le caractère inéluctable de la fissuration de retrait de ces matériaux.

On ne peut espérer supprimer le phénomène dans le contexte climatique français, dès lors que l'on recherche les résistances et les modules de déformation figurant dans les directives ou les recommandations concernant ces matériaux.

La mise au point de liants hydrauliques spécialement adaptés ou l'adjonction aux mélanges de produits divers ne permettront pas d'éviter totalement la fissuration. Même une modification des propriétés du ciment, aussi radicale que l'emploi d'un liant à retrait compensé, ne supprime pas la fissuration qui apparaît par suite du retrait thermique.

En effet, des ciments à retrait compensé ont été utilisés en graves-ciment sur plusieurs chantiers expérimentaux.

Les constatations faites sur ces chantiers montrent que les fissures apparaissent plus tardivement que sur les graves-ciment traditionnelles mais qu'à terme, l'espacement et l'ouverture des fissures sont identiques.

■ Les règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait

Les règles à appliquer et les précautions à prendre pour limiter la fissuration des matériaux d'assises traités aux liants hydrauliques sont prises en compte dans :

- la directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques. Juin 1983 - SETRA/LCPC ;
- la directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves traitées aux liants hydrauliques. Février 1985 - SETRA/LCPC.

En outre, la note d'information SETRA n°55 intitulée "Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques", éditée en mars 1990, rappelle clairement ces règles et précautions. Elle précise en particulier que pour obtenir des fissures fines, il faut :

- choisir un granulats dont le coefficient de dilatation est faible (quand c'est possible) ;
- assurer une bonne liaison de l'assise avec son support (couche de forme ou de fondation dans le cas d'une chaussée neuve, ancienne chaussée dans le cas d'un renforcement) ;
- éviter les caractéristiques mécaniques (résistance, module) élevées au moment de la fissuration.

LA FISSURATION DES GRAVES HYDRAULIQUES : ÉVOLUTION SOUS SOLLICITATIONS ET CONSÉQUENCES

Sous l'effet du trafic et des conditions climatiques, les fissures de retrait des graves hydrauliques remontent inéluctablement à travers les couches de roulement en enrobés bitumineux. L'augmentation de l'épaisseur de la couche bitumineuse est un facteur favorable pour retarder le processus de remontée des fissures, toutes autres conditions étant identiques par ailleurs. Par contre, cette influence peut être annulée par d'autres facteurs tels que la qualité de l'enrobé bitumineux ou celle du collage entre la couche de roulement et la couche de base, mais surtout par les conditions climatiques. Un seul hiver particulièrement froid peut faire remonter une fissure de retrait à travers la couche bitumineuse, même épaisse.

■ Schéma de propagation des fissures dans la couche de roulement

La propagation d'une fissure, depuis la couche de base en graves hydrauliques jusqu'à la couche de roulement en béton

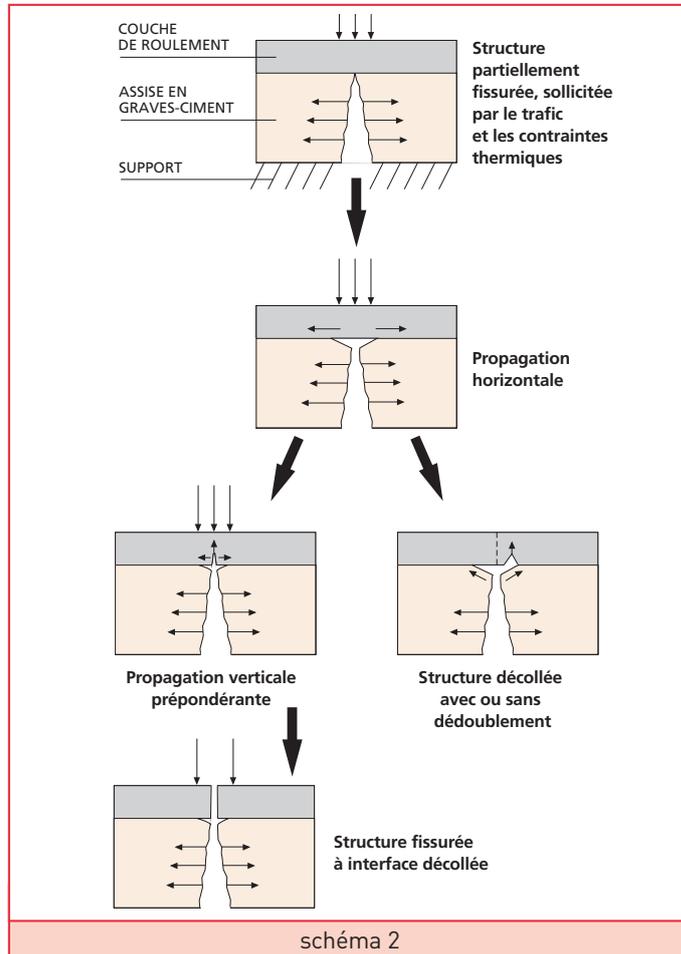
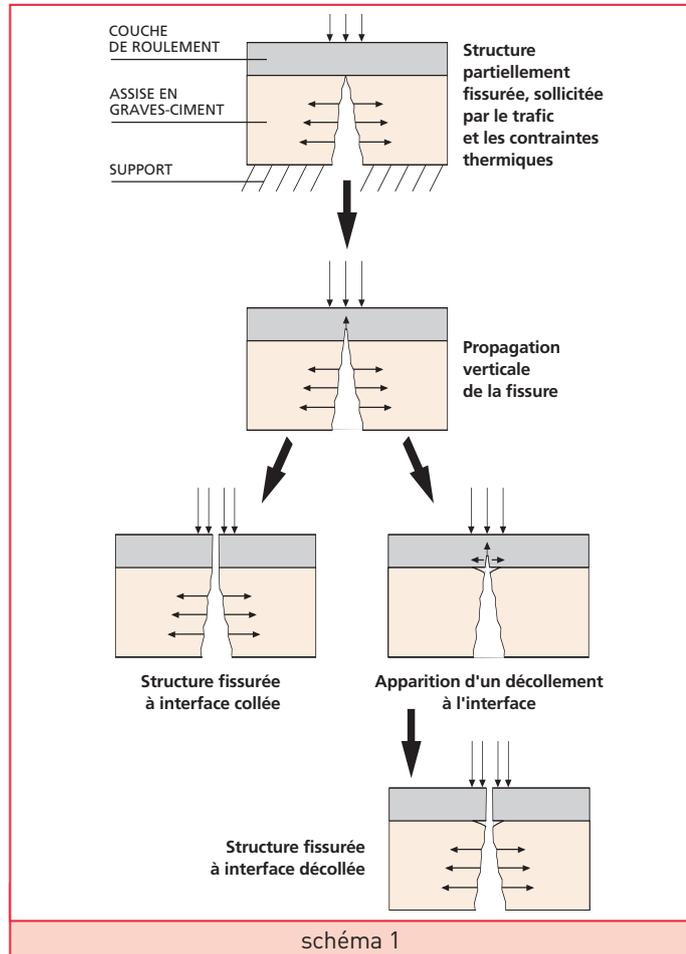
bitumineux, est régie par le rapport entre l'effort tendant à propager la fissure dans une direction donnée et la résistance qu'opposent les matériaux à cette propagation.

Les différentes possibilités de cheminement d'une fissure transversale de retrait sont présentées aux schémas 1 et 2.

Le schéma 1 représente le cas où la structure est caractérisée par une excellente liaison à l'interface couche de base / couche de roulement. La fissure se propage d'abord verticalement dans la couche supérieure. Au cours de cette propagation, s'il n'y a pas fatigue de l'interface, la fissure débouche en surface, en conservant l'interface collée.

Le schéma 2 représente le cas où la structure est caractérisée par une interface à liaisons faibles dans laquelle la propagation est, dans un premier temps, essentiellement horizontale. Cette propagation étant stable, le processus se poursuit par une amorce dans la couche de roulement, soit au droit de la fissure de l'assise, soit à l'extrémité du décollement, soit aux deux endroits à la fois.

Ces schémas de propagation conduisent à des temps de remontée de la fissuration très variables. Le décollement est un facteur favorable pour retarder le processus de remontée ; par contre, il conduit ensuite à une situation plus défavorable. En effet, l'évolution des structures au voisinage des fissures (épaufures, dédoublement, ramification, faïençage), sous l'action du trafic, est nettement plus rapide.



Les conséquences de la fissuration

L'existence de fissures dans l'assise de la chaussée et leur transmission à la couche de roulement ont, sur le comportement global de la chaussée, des conséquences directes et indirectes.

Les conséquences directes de la fissuration de l'assise et leur influence sur la durée de vie de la structure des chaussées en graves hydrauliques (augmentation des contraintes liées au trafic dans la couche et sur le sol support) ont été prises en compte dans les catalogues et méthodes de dimensionnement. De ce point de vue, une fissuration normale est admissible pour les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.

En revanche, les conséquences indirectes liées à l'apparition des fissures en surface (aspect fracturé de la chaussée, confort visuel dégradé, etc.) et autres risques de dégradations de la couche de roulement (évolution de la fissure, ramification, bourrelets, etc.) sont moins bien maîtrisées, et c'est sur elles que se concentrent les préoccupations des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage.

La position des maîtres d'ouvrage face au phénomène de fissuration

Pour des raisons techniques et économiques, les avis des maîtres d'ouvrage face au phénomène de fissuration sont partagés.

Dans le domaine des chaussées à trafic faible ou moyen, la fissuration est en général acceptée et n'est pas considérée comme une dégradation. Elle évolue peu et les enduits superficiels constituent une bonne solution d'entretien.

Pour les chaussées à fort trafic, les fissures peuvent évoluer dans le temps : un traitement des fissures est donc souhaitable. Le colmatage par pontage est une technique simple que tous les maîtres d'œuvre reconnaissent comme efficace.

Le colmatage a cependant quelques inconvénients :

- l'uni de la chaussée est légèrement affecté, notamment pendant la période suivant immédiatement les travaux ;
- les chaussées dont les fissures ont été colmatées présentent un aspect discontinu et inesthétique que les maîtres d'ouvrage et les usagers peuvent estimer être le résultat d'un mauvais état global de la chaussée ;
- l'opération même du colmatage, qui doit être renouvelée tous les trois ans, est une gêne pour l'utilisateur, d'autant plus importante que le trafic est élevé.

Pour ces raisons, la fissuration est de plus en plus difficilement acceptée sur autoroute par les sociétés concessionnaires, qui réservent actuellement les matériaux traités aux liants hydrauliques aux couches de fondation.

Il a donc paru utile d'étudier des procédés pour limiter la remontée de ces fissures à la surface des chaussées et éviter ainsi les travaux de colmatage.

LES MOYENS POUR LIMITER LA REMONTÉE DES FISSURES À LA SURFACE DES CHAUSSÉES

En fait, la fissuration de retrait et ses conséquences ne peuvent être un argument pour ignorer les assises traitées aux liants hydrauliques que si le maître d'ouvrage refuse par principe, à tout moment, l'apparition d'une fissure transversale à la surface de la chaussée. Les techniques et méthodes destinées à réduire les conséquences dommageables de la fissuration de retrait existent aujourd'hui et permettent à un service gestionnaire, s'il le désire, d'éviter un entretien de la chaussée consécutif à cette fissuration.

L'étude des mécanismes de transmission des fissures à la surface des chaussées a permis d'aboutir à deux idées-forces qui sont les principes des méthodes permettant de retarder la transmission des fissures de retrait à la surface des chaussées :

- la réduction des sollicitations appliquées par l'assise traitée à l'enrobé, par la maîtrise du pas de fissuration. C'est la technique de préfissuration ;
- la création d'un obstacle à la transmission de ces sollicitations de l'assise à l'enrobé, par l'utilisation d'une interface anti-fissures placée entre l'assise en graves-hydrauliques et la couche de roulement.

La préfissuration

Cette technique consiste à provoquer et à localiser les fissures de retrait.

Elle vise plusieurs objectifs :

- savoir localiser une fissure de retrait (c'est-à-dire faire en sorte qu'elle existe là où on le désire) permet, soit de réaliser un traitement préventif à cet endroit, de manière à limiter les conséquences dommageables de cette fissure de retrait, soit de faciliter l'entretien de la fissure apparue en surface de la chaussée, si l'on admet que le fait de provoquer la fissure permet d'en maîtriser la linéarité ;
- savoir provoquer une fissure de retrait permet également d'en multiplier le nombre d'une manière optimale, de sorte que les multitudes ainsi créées soient aussi fines que possible, avec une faible amplitude d'ouverture de ces fissures à chaque cycle thermique. Il s'ensuit un meilleur comportement mécanique de la structure, grâce à un meilleur engrenement des lèvres de la fissure, et des contraintes moins sévères dans la couche de roulement au droit de la fissure.

L'interface anti-fissures

Dans le paragraphe "Schéma de propagation des fissures dans la couche de roulement", nous avons vu que l'absence de collage entre l'assise et la couche de roulement est un facteur

favorable pour retarder la remontée de la fissure. En revanche, cela conduit à un fonctionnement de la structure dans des conditions trop défavorables sous l'effet des sollicitations dues au trafic. D'où le concept d'une "couche supérieure anti-fissures", qui a un triple rôle :

- dissiper les contraintes provenant des cycles thermiques et apparaissant en tête des fissures de l'assise : c'est un rôle analogue au décollement ;
- assurer un bon collage de l'enrobé à son support, pour permettre à la structure de supporter les sollicitations dues au trafic ;
- conserver l'imperméabilité de la structure, malgré les cycles d'ouverture thermique.

LES PROCÉDÉS DE PRÉFISSURATION

Plusieurs techniques ont été recherchées et testées. À ce jour, trois procédés ont été développés d'une façon industrielle :

- deux procédés mis au point par l'entreprise EUROVIA : OLIVIA® et CRAFT® ;
- un procédé élaboré par l'entreprise SACER : Joints Actifs®.

Le procédé OLIVIA® d'EUROVIA

Principe

Le procédé est un procédé de préfiissuration des assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques (Avis Technique en cours). Il localise à des emplacements prédéterminés, lors de la mise en œuvre, les fissures de retrait qui se forment naturellement dans la couche traitée.

L'originalité du procédé réside :

- dans la création, à intervalles réguliers (tous les 2 à 3 mètres), d'une amorce de fissuration exécutée transversalement dans la partie supérieure de la couche traitée ;
- dans l'introduction, au niveau de l'amorce, d'une fine feuille de plastique.

Matériel de mise en œuvre

En 1984, Viafrance (aujourd'hui EUROVIA) a développé et mis au point un matériel permettant de réaliser une entaille dans une couche de matériau traité et compacté, et d'introduire simultanément, dans cette amorce, une feuille de plastique assurant le maintien de la discontinuité. Cette entaille est réalisée à l'aide d'un "couteau" constitué d'un anneau métallique fixé sur la jante d'un compacteur à main.

Ce matériel a été utilisé pour la réalisation de plusieurs chantiers, en particulier celui du terre-plein du port de la Goulette (Tunisie, 280 000 m²). L'efficacité du procédé a poussé Viafrance à faire évoluer le matériel, de manière à intégrer plus facilement l'engin de coupe dans l'atelier de mise en œuvre. Un nouveau matériel, OLIVIA®, a ainsi vu le jour en 1992. Il permet l'introduction verticale d'un film plastique très



OLIVIA® : la machine de préfiissuration d'EUROVIA.



OLIVIA® en action : préfiissuration sur toute la largeur de la chaussée, élargissements compris.



Machine à trancher les joints en position de travail. L'incorporation, dans le joint, d'une feuille de polyane permet d'éviter les épaufures aux bords de l'entaille.

mince (environ 80 µm) dans une couche de matériau traité, non compactée.

C'est un ensemble porté par un engin automoteur de type chariot élévateur et constitué :

- d'une poutre fixe liée à l'engin automoteur ;
- d'une poutre mobile guidée en translation par rapport à la poutre fixe ;
- de l'outil de préfiissuration qui se déplace par rapport à la poutre mobile, son déplacement étant assuré par l'action d'un moteur hydraulique et d'une chaîne ;

- d'un ruban plastique, conditionné sous forme de rouleau, qui entre dans l'outil de préfissuration à travers une fente et qui en ressort verticalement par une autre fente située à l'arrière de l'outil.

L'ensemble de ces mouvements permet la pénétration de l'outil dans le matériau et son déplacement sur une longueur donnée. C'est l'avance de l'outil dans le matériau qui entraîne le déroulement du rouleau et la mise en place verticale du ruban plastique. Le film est coupé automatiquement en fin de passe. Ce procédé permet la pose de rubans de différentes largeurs (en général 6, 8 ou 10 cm) à des profondeurs variables par simple réglage. La longueur de pose du ruban plastique est réglable et peut varier de 2 à 4 mètres, ou de 2 à 5 mètres, selon la machine.

Le procédé CRAFT® d'EUROVIA

Principe

Ce procédé est aussi connu sous le nom de CRAFT®, qui signifie "Création automatique de fissures transversales". Ce procédé fait l'objet de l'Avis Technique N°141 émis en février 2004 par le Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR).

L'originalité du procédé réside :

- dans la création à intervalles réguliers (tous les 2 à 3 mètres), et avant compactage final, d'un sillon transversal dans la couche traitée ;
- dans la projection d'un produit bitumineux dans ce sillon, temporairement ouvert ;
- dans la fermeture de ce sillon au moment du compactage final.

Fourniture

Actuellement, le produit bitumineux est une émulsion de bitume de type cationique à rupture rapide, de même nature que celle utilisée en couche de cure des assises traitées aux liants hydrauliques.

L'émulsion de bitume a un double rôle :

- par sa phase aqueuse à faible pH, elle inhibe partiellement la prise du liant hydraulique et crée donc une zone de résistance plus faible, favorable à la localisation des fissures de retrait ;
- par sa phase bitumineuse, elle crée une discontinuité qui accentue le phénomène et permet une prélocalisation précise de la fissure. Par ailleurs, la phase bitumineuse rend le matériau insensible à l'eau et peu sensible à l'abrasion au droit de la fissure.

Matériel de mise en œuvre

Ce matériel de mise en œuvre a été développé par l'entreprise EUROVIA. Les premiers chantiers de taille industrielle remontent à 1988.

Le matériel de préfissuration est installé sur la partie frontale d'un engin porteur de type tractopelle. Il comprend :

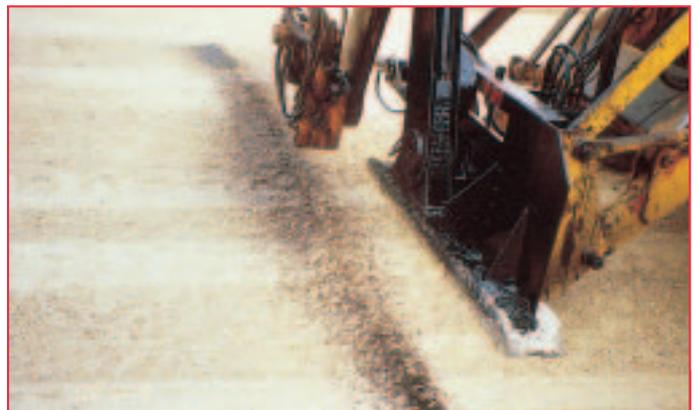
- un bras manipulateur articulé, en forme de compas, qui permet le positionnement de l'outil dans la couche et sa progression horizontale transversalement à l'axe de la chaussée sur une longueur maximale de 3,5 ou 5 mètres, selon la machine ;

- un outil en forme de dent qui assure l'ouverture du sillon et l'injection du liant. Le mouvement de la dent est facilité par un dispositif de vibration ;
- des équipements complémentaires : une réserve à émulsion, une centrale hydraulique, un compresseur et un groupe électrogène.

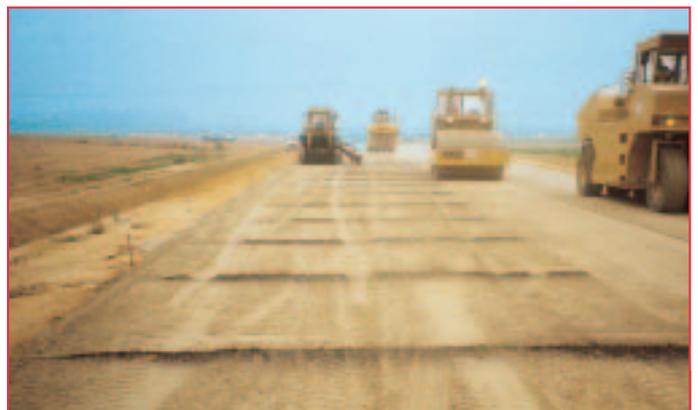
Le procédé consiste à pratiquer un sillon, sur toute la hauteur de la couche, à l'aide d'un soc qui projette simultanément sur les parois du sillon une émulsion de bitume dont les caractéristiques (vitesse de rupture et pH) sont bien définies.



Procédé CRAFT® : le soc, porté par un bras télécommandé, permet d'ouvrir un sillon dans la grave-ciment.



Procédé CRAFT® : le soc projette simultanément, sur les parois du sillon, une émulsion de bitume.



L'atelier de compactage suit la machine de préfissuration. Les joints exécutés sont espacés de 2 à 3 mètres.

Le sillon est immédiatement refermé et la mise en œuvre du matériau se poursuit normalement.

L'émulsion bitumineuse maintenant la discontinuité, l'opération peut être réalisée sur le matériau déjà régalé et grossièrement réglé. L'effort mécanique nécessaire à l'ouverture du sillon est faible dans ce cas, ainsi que les incidences du procédé sur l'uni de l'assise.

L'encombrement de la machine lui permet de s'intégrer dans un processus de mise en œuvre d'assises traitées aux liants hydrauliques, sans gêner les engins de réglage ou de compactage.

La durée d'un cycle complet de travail est de 30 secondes. Ce cycle comprend le déplacement de la machine vers un sillon à créer (à 2 mètres environ du précédent) et la préfissuration sur toute la largeur du sillon.

Le procédé Joints Actifs® de SACER

Principe

Le Joint Actif® est un procédé de fissuration des assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques, mis au point par SACER®. Ce procédé fait l'objet de l'Avis technique N°140 émis en novembre 2003 par le Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR). Le Joint Actif® localise, à des emplacements prédéterminés lors de la mise en œuvre, les fissures de retrait dans la couche.

Lors du retrait, les fissures se créent naturellement au droit des joints et dans leurs prolongements latéraux ; les joints, par leur profil, assurent un engrènement efficace des deux dalles sur une grande partie de leur section, et donc le transfert des charges quel que soit le type de matériau hydraulique utilisé. Du fait de ce mode de fonctionnement, le dimensionnement de la chaussée est effectué de façon spécifique et se traduit par une réduction d'épaisseur de l'assise en grave hydraulique (voir, à ce sujet, l'Avis Technique N°140).

Fournitures

Les profilés ont une épaisseur de 0,7 à 1,0 mm, une longueur maximale de 2,90 m et leur hauteur, modulable entre 16 et 24 cm, est fonction de l'épaisseur finale de l'assise (hauteur du joint inférieure à hauteur de l'assise). Deux types de profilés sont disponibles.



Création, par vibro-fonçage et avant compactage, d'un sillon transversal dans la couche de matériau traité.



L'atelier de mise en œuvre des Joints Actifs®, procédé de fissuration des assises, mis au point par SACER.

Matériel de mise en œuvre

De 1990 à 1995, la mise en œuvre des joints était assurée par une machine équipée d'une roue trancheuse. Depuis 1996, on utilise une machine plus performante, dite "machine de seconde génération", qui applique le principe du vibro-fonçage (Brevet SACER, pour la France N°9601972, pour l'Europe N° 97 400 142 2).

Cette nouvelle machine permet un meilleur alignement des joints dans un profil en travers et l'insertion de joints de plus grandes dimensions, sans modifier ni leur positionnement dans le matériau, ni leur comportement dans la structure. L'atelier de pose du Joint Actif® s'insère immédiatement après le pré-réglage et avant le compactage du matériau et il comprend deux outils :

- Un outil d'ouverture du sillon par vibro-fonçage (machine de seconde génération), portée par une pelle hydraulique sur pneus qui en assure le transport, le positionnement et lui fournit l'énergie hydraulique nécessaire. Les fonctions de translation entre deux lignes de joints, de rotation de part et d'autre de l'axe de la chaussée pour placer les joints sur un même profil en travers, de descente et de remontée de l'outil de fonçage (temps et profondeur), sont normalement gérées par des automatismes à partir d'une télécommande, mais la possibilité d'une gestion manuelle de ces fonctions a été conservée.
- Un outil pour la fermeture du sillon, actuellement porté par un tracteur ou un petit chargeur. Cet outil est constitué de deux peignes qui, positionnés de part et d'autre du joint



Insertion, dans le sillon, d'un joint en profilé plastique rigide, de forme sinusoïdale.

et animés d'un mouvement alternatif, viennent fermer le sillon en appliquant le matériau contre le joint.

TECHNIQUES "INTERFACES ANTI-FISSURES"

Trois types de couches anti-fissures sont à la base des trois procédés les plus utilisés :

- l'enrobé fin bitumineux, riche en liant et en fines ;
- l'enduit épais au bitume caoutchouc ou élastomère ;
- le géotextile imprégné de bitume.

Ces procédés s'utilisent aussi bien pour l'entretien des chaussées en service que pour les chaussées neuves en graves hydrauliques.

La note d'information SETRA n°57 de mars 1990 "Techniques pour limiter la remontée des fissures à la surface des chaussées semi-rigides" fait le point sur l'efficacité des différentes techniques.

Le enrobé fin bitumineux riche en liant et en fines

Ce procédé consiste à mettre en œuvre 1,5 à 2 cm d'un enrobé fin comportant de l'ordre de 10 % de bitume et de 12 à 15 % d'éléments inférieurs à 80 µm.

La fabrication et la mise en œuvre se font d'une manière classique. Sous fort trafic, il convient d'utiliser un bitume modifié pour éviter le phénomène d'orniérage.

Sur cette couche anti-fissures, on réalise une couche de roulement en béton bitumineux de 4 ou 6 cm d'épaisseur.

Le enduit superficiel épais au bitume caoutchouc ou au bitume élastomère

Le procédé consiste à réaliser, avant la mise en place de la couche de roulement, un enduit superficiel épais constitué de 2,5 à 3 kg/m² d'un liant modifié à forte teneur en élastomère. Le film de liant est légèrement gravillonné (6/10 ou 10/14 dépoussiérés et préchauffés) pour permettre la mise en œuvre de la couche de roulement et pour éviter une migration de liant.

Ce procédé est peu utilisé en France.

Le géotextile imprégné de bitume

Ce procédé consiste à répandre un film de liant bitumineux, puis un géotextile non tissé. Le géotextile sert de réservoir et le liant joue le rôle de membrane anti-fissures.

Le liant utilisé est de préférence un bitume polymère anhydre. Il doit assurer l'accrochage des couches et saturer les vides du géotextile : il est dosé à 1 kg/m². La porosité du géotextile doit permettre d'absorber une telle quantité de liant. Il doit avoir une faible compressibilité verticale, mais rester déformable en plan. La masse surfacique des géotextiles utilisés est de 150 à 200 g/m².

L'enrobé est ensuite répandu sur le géotextile, son réchauffage par l'enrobé chaud permettant au liant de terminer sa percolation et d'assurer ainsi ses fonctions.

Pratiquement, toutes les entreprises routières ont des "procédés maison" pour lutter contre la remontée des fissures. Chacun de ces procédés peut se rattacher à l'une des trois techniques déjà présentées.

CONCLUSION

La fissuration des graves hydrauliques est inévitable. Par contre, il est possible de la maîtriser partiellement et de retarder son apparition à la surface de la chaussée.

Dans l'état actuel de la technique, pour réaliser des chaussées en bénéficiant des avantages de ces assises (coût, robustesse) sans en subir les inconvénients (fissures de retrait), il suffit :

- de définir un bon matériau d'assise et de bien le mettre en œuvre avec une technique de préfissuration si nécessaire ;
- de choisir un bon enrobé pour la couche de roulement ;
- de prévoir, si le niveau de service recherché le justifie, un dispositif anti-remontée de fissures.

Pour l'avenir, les études et expérimentations en cours permettent d'envisager, à moyen terme, la réalisation des chaussées en graves hydrauliques dont les fissures n'apparaîtront pas en surface, avant la date normale de renouvellement de la couche de roulement. Cet objectif peut se concevoir dans l'association suivante :

- des fissures localisées et très fines dans l'assise en graves hydrauliques ;
- des couches de roulement mono ou multicouches adaptées.

Il faut donc poursuivre les recherches et les expérimentations dans ces deux domaines. ■

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense 92974 Paris-la-Défense cedex - Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10

Email : centrinfo@cimbeton.net - Site Internet : www.infociments.fr



Base aéronautique navale de Landivisiau (Finistère) : vue sur le grand parking de 15 000 m² en béton (300 m de long sur 50 m de large), réalisé par bandes de 5 mètres. En arrière-plan : deux avions Rafales en train de décoller.

Landivisiau : un guidage 3D sans fils pour réaliser un parking en béton

Pour accueillir la deuxième flottille d'avions Rafale embarqués sur le porte-avions Charles-de-Gaulle, un parking en béton de 20 000 m² a été récemment réalisé sur la base aéronautique navale (BAN) de Landivisiau. La mise en œuvre du béton a été effectuée par une machine à coffrage glissant, asservie par le nouveau système de guidage 3D sans fils. Une technique innovante qui offre bien des avantages.

Réalisée au début de l'été 2007 par un groupement d'entreprises dont Appia Grands Travaux (groupe Eiffage) était mandataire, l'opération a porté sur deux parkings : l'un de 15 000 m² (300 m de long sur 50 m de large) et l'autre de 5 000 m². Ce sont des dalles de 40 cm d'épaisseur à joints goujonnés, posées sur une fondation en béton maigre, avec un espacement de

5 mètres entre les joints. *"En fait, informe Luc Riottot, conducteur de travaux chez Appia Grands Travaux, la réalisation proprement dite de ce parking n'a pas posé de problème particulier. Seules les réservations, prévues pour une quarantaine de regards techniques situés à chaque poste de stationnement d'avion, ont été un peu plus délicates. En revanche, la mise en œuvre du béton a été très innovante puisque la machine à coffrage glissant, une Gomaco de type Commander III GT 6300 XY, était totalement asservie par le nouveau système de guidage 3D sans fils, mis au point par Leica Geosystems".*

pour la France du système de guidage 3D de Leica Geosystems et de ses filiales : *"Cette technique de pointe permet le déplacement et le contrôle de la machine asservie par des théodolites*

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Marine Nationale
Assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) : Direction des Travaux Maritimes (DTM) de la Marine Nationale

Groupement d'entreprises : Appia Grands Travaux (mandataire), Marc SA, Screg Ouest

Géomètre-expert guidage 3D : 2AGE-Conseils

Sous-traitant sciage de béton frais et garnissage de joints : Socotras

Fournisseur du ciment : Lafarge Ciments



L'absence de fils et de potences permet aux maçons d'évoluer librement autour de la machine à coffrage glissant.

Prismes et théodolites remplacent fils et potences

Pour Jean-Pierre Cosnier, directeur commercial de Scanlaser, distributeur

robotisés. Pour cela, deux théodolites visent en continu deux prismes de 360° qui sont installés sur la machine. Un troisième sert à vérifier les mesures et à avancer sur les grandes distances. Auparavant, le chantier a été modélisé en 3D par les géomètres du cabinet 2AGE-Conseils, société propriétaire des théodolites servant au guidage du système, les données recueillies étant en permanence mises en cohérence. Ces informations sont ensuite envoyées, par un théodolite motorisé, sur un ordinateur embarqué sur la machine qui, grâce à un automate, va alors être pilotée en X,Y et Z, sans aucun fil pour la guider. Sa position est calculée en permanence en trois dimensions. En fait, le système guide la machine en remplacement des fils, ce qui change radicalement la façon habituelle de travailler”.



Deux théodolites visent en continu les prismes de 360° installés sur la machine et le troisième sert à vérifier les mesures et à avancer sur les grandes distances.

Jusqu'à présent, le guidage des machines à coffrage glissant pour couler des pistes en béton est effectué à l'aide d'un système de fils en acier ou en synthétique, de poteaux et de potences préalablement installés qui servent à guider l'engin. Ces fils permettent, grâce aux capteurs de la machine, de réaliser le profil demandé. Une technique qui exige une très grande précision et est très contraignante puisque le chantier est entouré de fils et de potences... Sans parler du personnel spécialisé qui doit mettre en place tout ce dispositif.

“Pouvoir s'affranchir des contraintes du système traditionnel, tout en conservant la même précision : voilà ce que permet le nouveau système 3D sans fils”, indique Guy-Marie Lambert, géomètre-expert, directeur chez 2AGE-Conseils.



Le guidage 3D permet d'avoir des bandes très nettes et régulières. À droite : la dalle de 40 cm d'épaisseur, avec ses couches de béton maigre et de béton de roulement marquées tous les 5 mètres.



des géomètres, avec en plus la casquette d'informaticiens de chantier”.

Une organisation de chantier simplifiée

Pour l'organisation du chantier et les conditions de travail, ce système offre plusieurs avantages :

- devant la machine, qui avance au rythme de 1,50 mètre par minute, les camions qui acheminent le béton peuvent évoluer sans aucune contrainte ;
- derrière la machine, les maçons peuvent intervenir sur la dalle sans être gênés par les potences et les fils ;
- le choix des bandes de coulage peut être changé à tout moment, la contrainte de la préparation par des fils et des potences de chaque bande n'existant plus ;
- dès qu'une anomalie se produit, la machine s'arrête alors que, dans le système classique, quand un fil casse ou qu'une potence se dérègle, il arrive qu'elle continue à avancer ;
- enfin, ce système apporte un véritable avantage en terme de qualité puisqu'à partir du moment où les données sont entrées dans l'ordinateur, le travail en continu de la machine est extrêmement précis, les bandes étant très nettes et régulières. Ce qui n'est pas toujours le cas avec les fils.

“Cette technique revalorise l'image des géomètres, poursuit Guy-Marie Lambert. Avant nous étions trop souvent assimilés à des planteurs de piquets et à des tireurs de fils. Maintenant, nous redevons

Un système d'avenir

En France, le groupe Eiffage, via Appia Grands Travaux, est le premier à avoir investi et utilisé la technique de guidage 3D sans fils. Cette dernière a servi à réaliser des parkings d'Airbus A380 aussi bien à Toulouse-Blagnac qu'à Roissy-Charles-de-Gaulle, ainsi que des parkings sur les bases aéronautiques navales de Landivisiau et de Nîmes-Garons.

“Mais surtout, se réjouit Luc Riottot, nous allons changer d'échelle dans le cadre de la construction du tunnel ferroviaire de 2 fois 8,2 km de la ligne de TGV Perpignan-Figueras. En effet, nous utiliserons ce système pour les radiers et les quais techniques en béton, situés de chaque côté de la voie”.

À noter que l'utilisation de ce système est aussi parfaitement envisageable pour la réalisation d'équipements de sécurité d'autoroutes : glissières en béton, caniveaux pour les eaux de pluie... On peut donc l'affirmer avec certitude : le guidage en 3D sans fils a de très beaux jours devant lui !



À Vanves, la rue Jean Bleuzen a été choisie comme site expérimental par le Conseil général des Hauts-de-Seine, afin de tester un revêtement utilisant du ciment à effet photocatalytique.

Jean-Baptiste Vetter

À Vanves, une rue de 300 mètres de longueur en béton dépolluant

À Vanves, le Conseil général des Hauts-de-Seine expérimente le principe d'une route qui dépollue. Dans ce but, il a fait mettre en place, rue Jean Bleuzen, un revêtement utilisant du ciment à effet photocatalytique.

Déterminé à lutter contre la pollution de l'air en milieu urbain, le Conseil général des Hauts-de-Seine a décidé d'ouvrir, en avril 2007, un chantier expérimental d'une route en béton de ciment mince collé (BCMC), totalement inédite en France. Ces travaux, d'un montant total de 3 millions d'euros, sont intégralement pris en charge par le Département. À noter que la chaussée rénovée sera ensuite rétrocedée à la commune de Vanves.

☰ Limiter la pollution des transports urbains

L'objectif prioritaire de cette technique est de parvenir à réduire les pics de pollution en ville, en limitant l'impact des transports polluants.

À Vanves, tout près du boulevard périphérique, la rue Jean Bleuzen fait partie de la Route Départementale 130. Elle vient d'être choisie comme site

expérimental pour trois raisons essentielles : elle possède un fort trafic avec le passage quotidien de 14.000 véhicules, elle est inscrite à un programme de restructuration de voirie et elle est protégée du vent, condition nécessaire pour que la pollution au sol ne soit pas balayée, ce qui fausserait le test.

☰ Un chantier expérimental réalisé en deux sections

Pour Charles Chemama, ingénieur responsable de l'Opération à la Direction de la Voirie du Conseil général des Hauts-de-Seine : "Le choix de la rue Jean Bleuzen est le résultat d'une évaluation réalisée, au préalable, sur la base de plusieurs critères : une orientation nord-sud de la voie, facilitant une bonne exposition au soleil et

présentant aussi l'avantage d'être perpendiculaire aux vents dominants, une configuration de la rue avec des immeubles de part et d'autre, une file de circulation par sens et du stationnement longitudinal et, enfin, un trafic routier important qui génère un niveau de pollution atmosphérique significatif".

Afin de mener à bien l'expérimentation,

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage et maître d'œuvre :
Conseil général des Hauts-de-Seine

Suivi technique et contrôles :
Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien

Entreprises mandataires :
Groupement Screg / Colas

Fournisseur du béton : Unibéton

Fournisseur des pavés bordures en béton dépolluant : Stradal

Fournisseur du ciment à effet photocatalytique : Ciments Calcia



Jean-Baptiste Vetter

Mise en œuvre du béton dépolluant formulé avec un ciment à effet photocatalytique.

la rue Jean Bleuzen a été partagée en deux sections de 300 mètres chacune, traitées différemment :

- Une section témoin avec un béton de ciment traditionnel CEM I 52,5 N CE.
- Une section expérimentale avec une voie en BCMC et des trottoirs en pavés béton autobloquants, l'ensemble formulé avec un ciment à effet photocatalytique.

Pour mesurer l'efficacité comparée de chacune de ces deux sections, ces dernières seront équipées de capteurs (voir encadré).

Le rôle du ciment à effet photocatalytique

Le nouveau type de béton, appelé "béton anti-pollution" ou "béton dépolluant", est formulé à partir d'un ciment à effet photocatalytique dont le catalyseur est une variété de dioxyde de titane à granulométrie grossière, présent en très faible quantité et intimement lié dans la matrice cimentaire. Ce catalyseur permet d'obtenir, sous l'action des rayonnements ultraviolets (UV), la dégradation des polluants de l'air, principalement les gaz d'oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV) qui sont piégés par action directe à la surface du béton : les réactions d'oxydo-réduction, issues de l'absorption du rayonnement UV par le ciment "photo-actif", transforment alors les oxydes d'azote en produits acides qui sont, en partie, neutralisés par le carbonate de calcium alcalin contenu dans le béton et, en partie, éliminés par l'eau de pluie.

Conséquence : le revêtement d'une chaussée en béton de ciment à effet photocatalytique devient particulièrement efficace contre la pollution, car le mouvement de l'air amène constamment des oxydes d'azote et d'autres composés volatils ou semi-volatils à sa surface. Et comme les molécules adhèrent suffisamment longtemps, elles sont susceptibles d'être décomposées par le processus d'oxydation.

Des premiers résultats déjà spectaculaires

Le premier chantier expérimental d'évaluation de l'action dépolluante en oxydes d'azote a été réalisé à Segrate (Italie). Il a permis de mettre en évidence l'efficacité des matériaux dépolluants en conditions réelles en extérieur. L'activité dépolluante de 7000 m² de mortier formulé avec du ciment à effet photocatalytique a été comparée à la même surface en enrobé sur le passage de 1 000 voitures par heure. Une réduction de 60 % de la teneur en oxydes d'azote a été constatée avec la surface traitée à base de ciment à effet photocatalytique.

Un second chantier à Calusco (Italie) a été réalisé sur 8000 m² de pavés béton autobloquants bicouches, fabriqués avec du ciment à effet photocatalytique, puis comparés à la même surface en enrobé sur le site d'une cimenterie. Le résultat a fait apparaître la suppression des pics de pollution sur la zone pavée réalisée avec le ciment à effet photocatalytique (voir graphiques ci-contre).

Enfin, à Guerville (Yvelines), siège français des Ciments Calcia, filiale du groupe italien Italcementi, un test réalisé dans une pièce de 35 m³, a montré qu'un panneau de 4 m² en béton dépolluant permettait de détruire 100 % de la teneur en oxydes d'azote en 6 heures seulement.

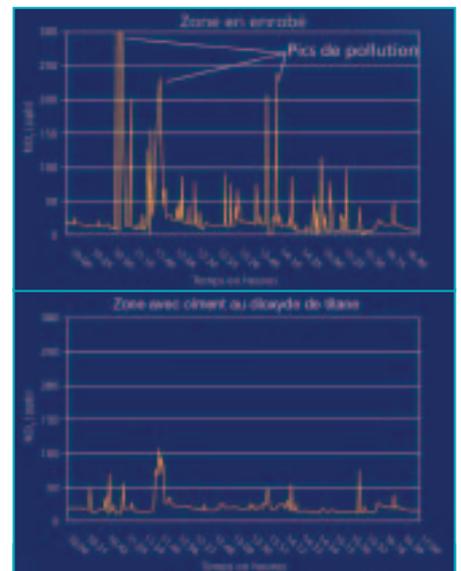
Nul doute que ce nouveau type de béton, réalisé avec du ciment à effet photocatalytique, va constituer dans les années à venir une application pertinente dans les secteurs de la voirie urbaine et de l'aménagement des villes, non seulement dans les constructions neuves, mais aussi en rénovation. ■

PLUSIEURS CAMPAGNES DE MESURES PRÉVUES

À la fin du chantier de la rue Jean Bleuzen, les deux sections (l'une réalisée avec un ciment à effet photocatalytique et l'autre avec un ciment traditionnel) seront équipées de capteurs destinés à mesurer la qualité de l'air et des eaux de ruissellement.

Ce dispositif permettra d'évaluer, avec exactitude, l'efficacité de cette nouvelle technologie et de dresser un bilan complet de l'expérience. En effet, durant toute une année, seront réalisées plusieurs campagnes de mesures (au moins une campagne par saison, les équipements restant en place sur le site) qui fourniront :

- le recueil des données météorologiques : énergie lumineuse, hygrométrie, vitesse et direction du vent,
- la mesure de la qualité de l'air, au moyen de deux dispositifs de mesures : des analyseurs passifs pour déterminer la pertinence des points de mesure et des analyseurs en continu pour étudier la corrélation entre phénomènes d'éclairement et dépollution,
- et, enfin, la mesure de la qualité des eaux de ruissellement.



Réduction très nette des pics de pollution sur la zone de pavés autobloquants, par rapport à la même surface en enrobé.



Lachapelle-sous-Aubenas (Ardèche) : la déviation, avec réemploi des matériaux locaux et traitement au ciment, offre pour le trafic de transit un itinéraire alternatif à l'actuelle RD 104.

Lachapelle-sous-Aubenas : traitement au ciment pour la déviation de la RD104

Le réemploi des matériaux locaux, après traitement au ciment, pour la construction de la déviation de Lachapelle-sous-Aubenas, représente le meilleur compromis possible entre exigences techniques, environnementales, économiques et logistiques.

Situé à une trentaine de kilomètres de la Vallée du Rhône, le bassin d'Aubenas se trouve au carrefour de deux axes majeurs : Est - Ouest (RN 102 : Vallée du Rhône - Massif Central) et Nord - Sud (RD 104 : Vallée du Rhône - Privas - Aubenas - Sud Ardèche - Alès / vallon Pont d'Arc).

En cours de construction, la déviation de la route départementale 104, passant par Lachapelle-sous-Aubenas, s'inscrit dans l'aménagement de cet axe Nord - Sud, en continuité avec la déviation de Saint-Privat et celle d'Aubenas.

Pour Annick Chalbos, chef du service Etudes générales et programmes du Conseil général de l'Ardèche : "Cette déviation offre, pour le trafic de transit, un itinéraire alternatif à l'actuelle RD 104. Elle améliore donc les conditions de circulation, notamment aux heures de pointe et en période estivale, dans les communes de Lachapelle-sous-

Aubenas, Saint-Sernin et Saint-Etienne-de-Fontbellon. Les riverains subissent ainsi moins de nuisances, sans compter l'amélioration de leur sécurité au quotidien. De plus, cette déviation favorise non seulement les échanges mais aussi le développement économique de l'ensemble du bassin d'Aubenas".

Pour préparer cette réalisation, les premières études ont commencé dans le cadre du plan routier départemental 1995-2000. Un travail de longue haleine puisque la mise en service effective de la

totalité de cette déviation est prévue pour fin 2008.

"Sans la réalisation de cette déviation, le cumul des trafics locaux, d'échanges et de transit sur la RD 104 aurait atteint 16 400 véhicules/jour en moyenne, à l'horizon 2015. Grâce à elle, le trafic devrait diminuer de 60 %" précise Annick Chalbos.

Longue de 7 300 mètres, cette nouvelle infrastructure est l'une des plus importantes réalisées en Ardèche. "C'est une 2 x 1 voie qui comporte des



Epandage d'un ciment CEM II 32,5 CE NF, dosé à 5 % en moyenne.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre : Conseil Général de l'Ardèche, Direction des routes, service technique des routes et des transports

Entreprise titulaire du marché : Berthouly TP

Fournisseur du ciment : VICAT



L'arrosage du limon permet l'hydratation du ciment et assure la prise du mélange.

créneaux à trois couloirs pour les dépassements. Mais, sur l'ensemble du parcours, seuls trois points de croisements ont été volontairement prévus, de manière à sécuriser cette nouvelle voie" ajoute Christophe Sevenier, technicien territorial responsable du suivi du chantier au Service technique des routes et des transports du Conseil Général de l'Ardèche.

Des terrassements aux formats titanesques

La déviation est réalisée dans un paysage naturel au relief très chahuté, comme le confirme Régis Avons, conducteur de travaux chez Berthouly TP à Montélimar : "Les zones de déblais et de remblais se succèdent de manière très rapprochée. À certains endroits, le profil en long du terrain naturel est très chahuté : plus ou moins 10 mètres sur à peine 20 mètres de distance !".

L'entreprise Berthouly TP a réalisé l'ensemble des terrassements du chantier, ce qui représente 520 000 m³ de matériaux à extraire, dont une importante partie en matériaux rocheux. Rien que pour le minage des 280 000 m³ de rochers, 95 tonnes d'explosifs ont été utilisées : les charges de tir ont été judicieusement placées grâce aux deux foreuses de Berthouly TP et à sa compétence reconnue en la matière. La majeure partie des 520 000 m³ de déblais a ensuite été employée en remblais, avant le nivelage de l'ensemble.

"Dans la zone sud du chantier, il a fallu fragmenter les marnes car ces matériaux ont la caractéristique d'être évolutifs au contact de l'air. Cette opération permet ainsi de leur conférer une granulométrie régulière et de petite dimension, seul moyen envisageable pour les utiliser, de manière fiable, en remblai" précise Régis Avons. À noter que 5 300 tonnes de chaux ont été malaxées avec les limons pour diminuer leur teneur en eau avant compactage et que l'assainissement de la plate-forme a été assuré par 2 kilomètres de buses.



Le pulvimixeur mélange limon, ciment et eau pour créer la couche de forme.

Couche de forme en limons traités au ciment

La couche de forme de l'ensemble de la chaussée, excepté au niveau des bretelles de raccordement, est construite avec les matériaux du site. Après la mise en œuvre des limons sur 35 centimètres d'épaisseur et un arrosage superficiel, l'épandage de ciment CEM II 32,5 CE NF, dosé à 5 % en moyenne, est suivi du passage du pulvimixeur. Cet engin se charge de mélanger intimement l'ensemble pour déclencher la prise.



Compactage de la couche de forme.

Un compactage immédiat permet de réaliser, dans la foulée, la couche de forme selon la même procédure. "Au final, la couche de forme a une épaisseur moyenne de 35 cm, pour une portance de 80 MPa" commente Régis Avons.

Précisons que divers prélèvements ont été réalisés par le laboratoire intégré de VICAT, celui du Conseil général et celui du CEBTP de Lyon.

Quatre camions par jour seulement

Sur le plan logistique, quatre porteurs approvisionnent quotidiennement le chantier en ciment, ce qui représente environ 110 tonnes/jour. "L'entreprise Berthouly TP a eu la bonne idée de prévoir deux citernes-tampons, d'une contenance unitaire de 28 tonnes, pour ne pas faire attendre les camions en cas de retard" précise Gérard Rousselle, chargé d'affaires à la Direction Régionale Pays Rhodaniens de VICAT ciments et liants hydrauliques.

Ces camions ont quasiment été les seuls à effectuer des allers-retours vers ce chantier. Le traitement en place des matériaux du site a ainsi permis d'éviter un important trafic de poids lourds sur les routes avoisinantes.

Cette grande première pour le département de l'Ardèche a démontré qu'il est facile de conjuguer sécurité de circulation, critères économiques, développement durable et performances techniques. ■



La niveleuse règle la couche de limon sur 35 centimètres d'épaisseur.



Remue-méninges

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

Coïncidence des aiguilles d'une montre

Question : Sur le cadran d'une montre en bon état, combien y a-t-il de positions où les deux aiguilles coïncident ?



Solution du Remue-méninges de *Routes* N°101 : À vos montres

Rappel du problème posé : est-il possible, en intervertissant les positions des aiguilles d'une montre en parfait état de marche, d'obtenir une indication exacte de la montre ? Si oui, quel est le nombre de solutions où l'intervention des aiguilles est possible ?

Solution : le cadran d'une montre comporte 60 graduations. En tournant dans le sens des aiguilles de la montre, repérons la position de chaque aiguille par le nombre de graduations qui la séparent de la position occupée par le chiffre 12, pris comme origine.

Considérons maintenant une indication horaire de la montre et supposons que :

- La petite aiguille occupe la position correspondant à "x" graduations (en partant du 12),
- La grande aiguille occupe la position correspondant à "y" graduations.

Étant donné que la petite aiguille se déplace de 60 graduations en 12 heures, soit 5 graduations à l'heure, elle a parcouru "x" graduations en un temps de "x/5" d'heure. Autrement dit, x/5 d'heure se sont écoulés depuis l'instant où la petite aiguille indiquait la position 12.

De la même manière, étant donné que la grande aiguille se déplace de 60 graduations en une heure, soit une graduation à la minute, elle a parcouru "y" graduations en un temps de "y" minutes ou "y/60" d'heure. Autrement

dit, y/60 d'heure se sont écoulés depuis l'instant où la grande aiguille pointait sur 12.

La différence (x/5 - y/60) est un nombre entier (de 0 à 11) car il représente le nombre d'heures entières qui se sont écoulées depuis que les deux aiguilles pointaient simultanément sur 12.

Si l'on intervertit les positions des deux aiguilles et que l'on recommence le même raisonnement, on aboutit à la conclusion que la différence (y/5 - x/60) est un nombre entier (de 0 à 11).

Nous avons donc le système d'équations :

$$x/5 - y/60 = m$$

$$y/5 - x/60 = n$$

où m et n sont des paramètres entiers qui peuvent varier de 0 à 11.

La résolution de ce système d'équations donne :

$$X = 60 (12m + n)/143$$

$$Y = 60 (12n + m)/143$$

En donnant à m et n les valeurs comprises entre 0 et 11, nous trouverons toutes les solutions du problème.

Puisque chacune des 12 valeurs de m peut être combinée avec chacune des 12 valeurs de n, le nombre de solutions est égal à 12 x 12 = 144.

En réalité, **le nombre exact de solutions est égal à 143** car les couples (m = 0, n = 0) et (m = 11, n = 11) donnent la même solution qui est celle où les deux aiguilles pointent sur 12.

Vient de paraître

Aménagements urbains et produits de voirie en béton

Conception et réalisation

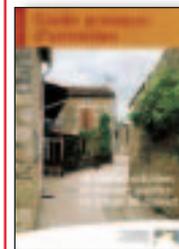


Cette nouvelle édition de 112 pages traite des rubriques suivantes :
La réponse aux besoins de l'aménageur et du gestionnaire (fonctionnalité et qualité des produits en béton) – La conduite d'un projet d'aménagement (intervenants, méthode, cheminement) – La conception et le dimensionnement d'un ouvrage (principes, outils) – La réalisation et l'entretien des ouvrages.
Édition 2007 - Référence : T 54

Ce document est disponible gratuitement auprès de CIMBÉTON, soit par fax au 01 55 23 01 10, soit par email : centrinfo@cimbeton.net

Guide pratique d'entretien

Voiries urbaines et espaces publics en béton de ciment



Ce guide de 52 pages a été conçu par le SPECBEA, CIMBÉTON et le LROP. Destiné à tous les gestionnaires de voiries urbaines, ce document répond à

3 questions fondamentales : où, quand et comment intervenir ? L'information est divisée en 5 grands chapitres :
Le nettoyage du béton et les traitements de protection – L'intervention sur les réseaux enterrés – La rénovation de caractéristiques de surface – Les joints – Les dégradations.

Ce document est disponible gratuitement auprès de CIMBÉTON par email : centrinfo@cimbeton.net ou du SPECBEA, 3 rue de Berri, 75008 Paris