

# ROUTES

■ BÉTONS : ROUTES, ENVIRONNEMENT, PAYSAGES ■



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

■ **Le point sur le Gers**

■ **Technique : LTCC – les limons traités pour assises  
de chaussées à faible trafic**

■ JUIN 1997 ■ N° 60

## Sommaire

# 2

### EN BREF

BÉTON DÉSACTIVÉ À  
AMBOISE (37) ET BÉTON IMPRIMÉ  
POUR L'AIRE DE TEYSSONGES SUR  
L'A 40 (01).

# 3

### LE POINT SUR LE GERS (32)

VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS  
URBAINS EN BÉTON.

CE QU'EN PENSENT LES ÉLUS,  
LES MAÎTRES D'ŒUVRE ET  
LES ENTREPRISES.

# 7

### DOCUMENTATION TECHNIQUE

LTCC – LES LIMONS TRAITÉS  
POUR ASSISES DE CHAUSSÉES À  
FAIBLE TRAFIC.

# 15

### AÉROPORT DE MARSEILLE- PROVENCE (13)

UN BÉTON À L'ÉPREUVE  
DU TEMPS.

# 18

### SOURCES PERRIER (30)

TECHNIQUES ROUTIÈRES POUR AIRE  
DE STOCKAGE PERFORMANTE.

# En bref - En bref - En bref

## Amboise (37)



### Du béton désactivé pour l'aménagement des abords du château

De nombreuses communes en France tentent de redonner de l'attrait à leur centre-ville. Pour celles qui ont la chance d'avoir un monument historique, les nouveaux aménagements doivent en outre satisfaire aux exigences en matière d'intégration au site et de voisinage avec un monument historique. Les objectifs initiaux visés par cet aménagement sont : l'amélioration de la sécurité ; l'organisation du stationnement des véhicules ; l'amélioration des conditions de circulation ; ainsi que la structuration de l'espace et l'amélioration de sa lisibilité.

La Commission des monuments historiques a imposé la teinte et l'aspect de l'aménagement pour qu'il s'intègre parfaitement dans le site. Le choix s'est porté tout naturellement sur le béton désactivé, qui permet :

- de donner aux surfaces traitées une couleur en parfaite harmonie avec les façades existantes, par un choix judicieux des granulats en béton ;
- de procurer au revêtement une texture assurant à la fois un drainage efficace et une bonne adhérence, par un choix adéquat de la granulométrie et de la profondeur de désactivation ;
- de s'accommoder des contraintes urbaines : plasticité et modulabilité du béton permettent d'épouser toutes les formes et les contours des obstacles avec une qualité de finition irréprochable.

## Autoroute A40 (01)



### Du béton imprimé pour l'esthétique et la durabilité

L'aire de Teyssonges, située sur l'A40 (à hauteur de Bourg-en-Bresse), a reçu un revêtement innovant : du béton imprimé, sur une surface de 650 m<sup>2</sup>.

M. Giguët, directeur d'exploitation du centre SAPRR de Genay, a opté pour le système de béton imprimé Pavistamp : "Cette technique réunit toutes les qualités indispensables à la pérennité d'un sol. Les coûts d'entretien sont inexistant, l'herbe et la mousse ne s'incrument plus entre les pavés."

Il s'agit d'un revêtement en béton fibré et/ou armé auquel est incorporé par lissage un traitement de surface coloré. Le béton est ensuite imprimé à l'aide de matrices. Après lavage et séchage, une résine bouche-pores est pulvérisée. La fermeture de surface est rendue exceptionnelle par l'ajout de ces 4 kg d'éléments fins au mètre carré, et par la pulvérisation de la résine bouche-pores. De ce fait, le béton imprimé est insensible aux hydrocarbures ainsi qu'aux ultraviolets, donc à la perte de couleur. La mise en œuvre a été réalisée par l'entreprise Sotev de Fixin (21), spécialiste du béton imprimé Pavistamp, en collaboration avec la société Béton Rhône-Alpes, Groupe Vicat, qui développe également les bétons de voirie.

# CIM Béton

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS  
7, place de la Défense - LA DÉFENSE 4

Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10 92974 Paris-la-Défense Cedex

Pour tous renseignements concernant les articles de la revue, s'adresser à CIMBÉTON ● Directeur de la publication : Michael Temenides  
● Directeur de la rédaction : Bernard Darbois ● Coordination des reportages et rédaction de la documentation technique : Joseph Abdo  
● Reportages - rédaction et photos : Romualda Holak, Gilles Nilsen, Yann Kerveno ● Réalisation ALTEDIA SYNELOG - 49, rue Ganneron - 75018 Paris  
Tél. 01 44 85 67 89 - Fax 01 42 26 24 89 ● Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trimestre 1997 ● ISSN 1161 - 2053 1994

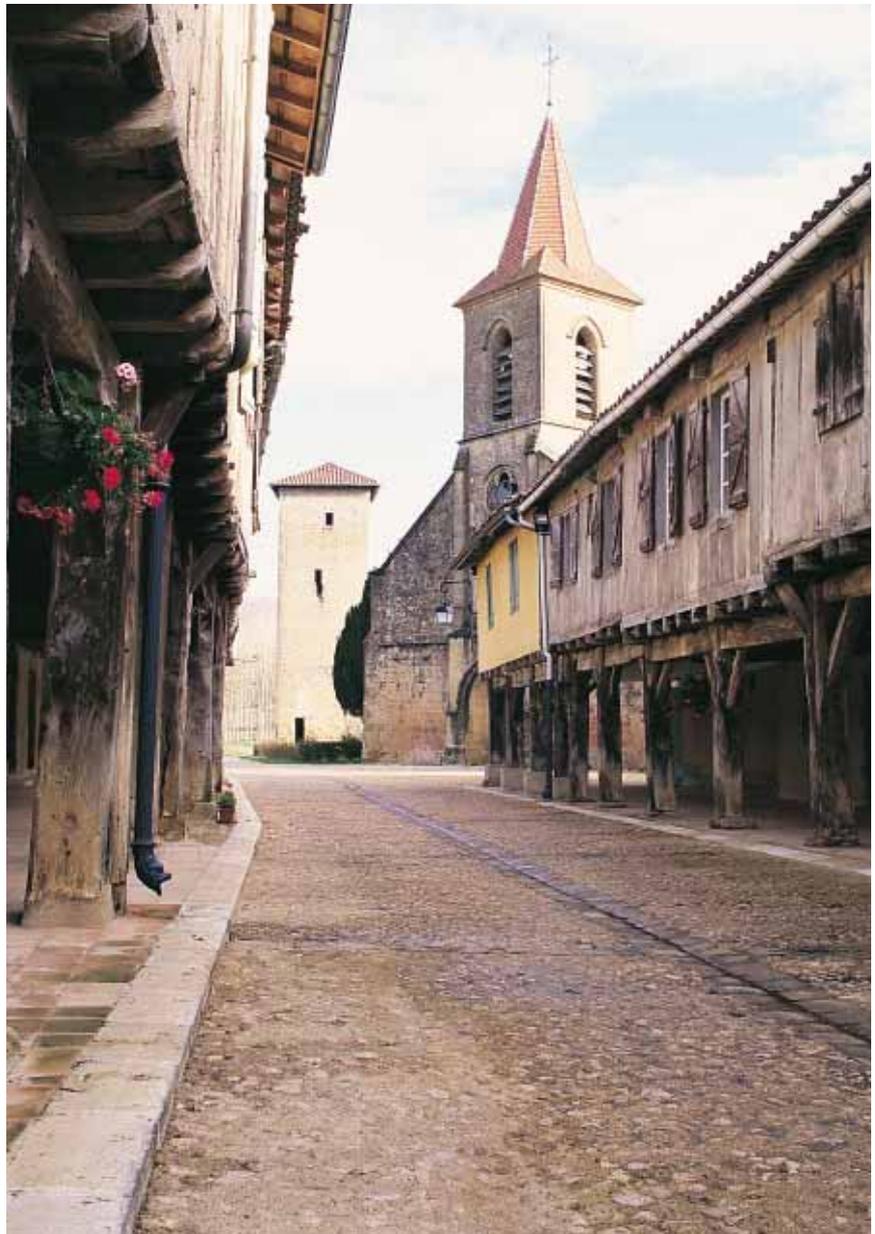
# Le béton au pays de d'Artagnan

Dans ce pays de rondeurs où les collines disputent l'espace aux vallées, on se félicite d'un agroalimentaire solide : maïs, foie gras, confits, armagnac, etc. Le Gers peut donc se targuer d'incarner la Gascogne, d'autant qu'elle lui a donné, avec le personnage de d'Artagnan, un fils pour le moins emblématique. Et même si les touristes boudent encore les routes haut perchées de ce Sud-Ouest au goût de terroir très prononcé, les Gersois ne leur en tiennent pas rigueur. Ils peuvent ainsi profiter plus tranquillement des bastides, sauvetés et autres castelnaux. Et aussi de leur gastronomie, emmenée par un célèbre auscitain : Daguin.

L'importance de son patrimoine architectural, le Gers la doit à une multitude de petites bourgades situées sur les hauteurs et dont les origines remontent au Moyen Âge. Pour "réparer des ans l'irréparable outrage", le béton s'y est montré incontournable. Du béton désactivé, mais aussi un coulis calcaire des plus rustiques qui offre aux villages médiévaux des voiries plus adaptées à notre époque. Extraite des lits de la Garonne ou de l'Adour, la grave noire locale sied peu aux murs ocres de terre écrue qui font les façades des maisons. Pour remédier à ce problème, le Gers fait appel à des granulats venant d'ailleurs. Ainsi à Fleurance, c'est un granulats de Dordogne qui s'est imposé après plusieurs essais. À Bazian, la grave vient d'Aurignac, en Haute-Garonne, et la commune de Preignan, de son côté, a opté pour une alliance de Dordogne et de roulé local noir. La palme de l'innovation revient peut-être à Tillac : là, c'est un coulis calcaire qui a été mis en œuvre lors de la refonte de la rue principale.

## REPÈRES

- SUPERFICIE : **6 256,82 km<sup>2</sup>**
- POPULATION : **174 703 habitants**, dont **60 %** en zone rurale
- DENSITÉ : **28 habitants/km<sup>2</sup>**
- NOMBRE DE COMMUNES : **462**
- GRANDE AGGLOMÉRATION : seule grande ville, Auch concentre 14 % de la population
- PRÉFECTURE : Auch
- SURFACES CONSTRUITES RECENSÉES : **30 000 m<sup>2</sup>** de revêtement béton



▲ Tillac : l'aspect très rustique du coulis calcaire mis en œuvre donne un cachet indéniable au castelnaud.



[ ALAIN CHEYMOL ]

Chargé de mission paysages  
et environnement DDE 32

« Le béton désactivé nous permet de jouer la fantaisie, tandis que le coulis calcaire est particulièrement recommandé pour les sites anciens. »

### UN BÉTON PARFAITEMENT RUSTIQUE

Ancienne place forte, Tillac présente une architecture des x<sup>e</sup> et xi<sup>e</sup> siècles typique de la région : le castelnau. Si ce petit village de 200 habitants est aujourd'hui tranquille, il a pourtant été le théâtre de sérieuses frictions entre Anglais et Français du temps que la Guyenne appartenait à la couronne d'Angleterre. Plus proche de nous, le réaménagement du bourg s'est inscrit dans le cadre d'une opération programmée d'amélioration de l'habitat décidée par le conseil régional de Midi-Pyrénées. Alain Cheymol, chargé de mission paysage et environnement de la DDE du Gers, a conduit le chantier. Il explique ainsi le choix du coulis calcaire : "Pour cette chaussée, nous voulions tout à la fois offrir l'apparence d'un chemin et proposer un confort moderne." De fait, c'est une



▲ Tillac : la granulométrie importante du coulis calcaire en fait un sol très rugueux qui convient parfaitement aux villages très anciens.

chaussée rustique, puisqu'elle est réalisée avec un gros calcaire 50/80 venu d'Aurignac, en Haute-Garonne. "Les cailloux sont soigneusement lavés et dépoussiérés, mis en place au râteau et calés mécaniquement au rouleau compresseur sans vibration", poursuit Alain Cheymol. Une fois installée, la couche de 20 à 25 cm d'épaisseur est remplie à refus d'un mélange de ciment blanc et de sable 0/2 étalé au balai. Un cylindrage avec vibrations fera pénétrer un peu plus de liant ; un liant qui sera finalement rincé à l'eau sous pression, "pour obtenir une macro-rugosité", comme le précise Alain Cheymol, qui l'a utilisé dans plusieurs autres communes du département : "Le coulis calcaire est un matériau tout indiqué pour les villages anciens."



[ JACQUES COUZINET ]

Maire de Bazian

« Avec le béton désactivé, nous préservons notre patrimoine architectural tout en le mettant en valeur. »

matériau puisqu'il officie comme assistant technique à la maison des artisans du Gers, il en a même fait le sujet d'un stage de formation spécifique. Réalisés en béton fibré avec un granulat d'Aurignac 0/20, les 650 m<sup>2</sup> de la voirie du bourg de Bazian donnent l'impression d'avoir toujours été là, et les couleurs du sol se rapprochent de celles des façades. Pour une commune modeste comme celle de Bazian, une telle réalisation représente une part importante du budget. C'est pourquoi le coût relative-



▲ Bazian : la présence d'un monument historique dans le village a imposé un traitement de qualité de la voirie à base de béton désactivé.

### UN COÛT MODÉRÉ

Les aménagements de Bazian, une petite commune de 110 habitants, répondaient aux mêmes contraintes que ceux de Tillac : castelnau du xiii<sup>e</sup> siècle et présence d'une tour-porche classée monument historique. Mais cette fois, c'est le béton désactivé qui a retenu l'attention de la municipalité. "Le réaménagement du bourg était un vieux projet que nous avions dans nos cartons, se souvient Jacques Couzinet, maire de Bazian. Son opportunité était d'autant plus grande que nous avions de graves problèmes d'écoulement des eaux de pluie. Les multiples enrobés réalisés avaient provoqué une surélévation de la chaussée et l'eau rentrait dans les maisons." Après avoir rejeté une proposition de coulis calcaire, Jacques Couzinet a opté pour le béton désactivé. Parfaitement informé des possibilités du



▲ Bazian : les couleurs du granulat d'Aurignac utilisés pour le béton désactivé accentuent les tons chauds du village.



[ JEAN-LOUIS BONNASTRE ]  
*Chef des services techniques,  
 mairie de Fleurance*

« En utilisant la souplesse naturelle du béton désactivé, nous avons pu fondre les bouches à clé dans le trottoir. »



▲ Bazian : une simple modification de la granulométrie a provoqué un changement de couleur qui marque bien le caniveau.

ment modéré du désactivé a été un argument déterminant. À tel point que les caniveaux, prévus en pierre de taille, ont finalement été modifiés et coulés en béton désactivé, avec un granulat d'Aurignac plus fin, 0/10. Et en augmentant la proportion de rouge, la finesse du granulat a provoqué un changement dans la teinte du béton. On a ainsi obtenu deux couleurs différentes à partir d'un même matériau.

#### UN MATÉRIAU PROPICE AUX EXPÉRIENCES

Souvent utilisé dans des cadres anciens ou protégés, le béton désactivé a également séduit d'autres communes du Gers. À Fleurance, Jean-Louis Bonnastre, chef des services techniques de la ville, et le directeur de la centrale Auch Béton, un autre passionné du désactivé, ont été parmi les premiers à se lancer, à la fin des années quatre-vingt. Et les expériences n'ont pas manqué dans la ville : « Nous



▲ Preignan : pour le village, les tons ocres des granulats de Dordogne et d'Aurignac se prêtaient mieux à la typologie du lieu et à la couleur de la pierre locale.

avons mis en œuvre beaucoup de béton balayé pour les trottoirs de la commune, se souvient Jean-Louis Bonnastre, et nous avons tout naturellement adopté le béton désactivé lorsqu'il est apparu. Avec les réseaux, les trottoirs sont pour nous une priorité.» Cinq tranches ont été réalisées depuis le premier essai (du béton désactivé coloré associé à une grave grise locale). Un premier test décisif, d'ailleurs, tant cet aménagement, situé juste devant une école primaire, a été soumis à une circulation intense. Mais la couleur ne donnait pas satisfaction : « Il faut accentuer la différence de teinte entre le trottoir et la chaussée », devait conclure Jean-Louis Bonnastre. Et il est parti à la recherche du granulat idéal, qu'il a finalement trouvé à Thiviers, en Dordogne. « Nous obtenons maintenant des tons plus chauds qui conviennent mieux aux façades en calcaire blanc ou ocre. » Mais Jean-Louis Bonnastre insiste sur la mise en œuvre du matériau : « Le béton désactivé se plie à une foule de contraintes formelles et peut être très approprié à son environnement. Il a beaucoup d'avantages, mais il ne supporte pas la médiocrité. La qualité de la mise en œuvre est primordiale, elle nécessite une maîtrise parfaite de la procédure et une protection soignée du chantier. » La DDE a

par ailleurs suivi l'exemple de la mairie en réalisant sur la commune un rond-point avec une combinaison de deux teintes de béton désactivé.

#### ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT

Si les fondations de Fleurance remontent au Moyen Âge, au même titre que celles de Tillac et de Bazian, la commune de Preignan, quant à elle, ne peut se targuer d'un passé aussi lointain. Située à quelques kilomètres d'Auch et confrontée à un développement important, cette commune a fait l'objet en 1996 d'un début de traitement urbain. Deux tranches ont été réalisées, dans le bourg sur la colline tout d'abord, avec l'aménagement d'une petite place et de plusieurs trottoirs, puis dans la vallée, le long de la nationale qui relie Auch à Agen, avec la création d'un giratoire. Olivier Reveyas, subdivisionnaire de l'équipement d'Auch, explique le choix du béton désactivé pour ces deux tranches de travaux : « Le désactivé permet



[ OLIVIER REVEYAS ]  
*Subdivisionnaire DDE Auch*

« Pour le traitement global d'un site, le béton désactivé offre un aspect esthétique plus intéressant qu'un béton balayé. »



▲ Fleurance : le béton désactivé a séduit par sa souplesse d'utilisation et sa faculté de se combiner avec d'autres matériaux.

# LTCC\* – les limons traités pour assises de chaussées à faible trafic

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



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

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

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

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

L'objet de cette documentation technique est de présenter une synthèse des connaissances et des règles de l'art relatives à la technique du traitement en place des limons à la chaux et au ciment en vue de leur utilisation en assises de chaussées à faible trafic.

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

# Un béton à l'épreuve du temps

Pour résister aux fortes sollicitations, rien n'égale les performances du béton. C'est en tout cas l'opinion des responsables de la chambre de commerce et d'industrie chargés de gérer au quotidien l'exploitation de l'aéroport de Marseille-Provence. La preuve en est que pour faire face à l'extension du trafic aérien, plus de 36 000 m<sup>2</sup> de béton sont mis en œuvre en un semestre sur des taxiways et des parkings pour gros porteurs.

**D**epuis la libéralisation de l'espace aérien, les activités de trafic passagers et de fret de l'aéroport de Marseille-Provence sont en augmentation. Ces perspectives de développement encourageantes ont amené la chambre de commerce et d'industrie Marseille-Provence (CCIMP) à lancer un vaste programme d'extension et de rénovation de la plate-forme aéroportuaire. Sur les 370 millions de francs d'investissements prévus sur trois ans, 33 millions vont à la réfection ou à la création de voies d'accès et d'aires de stationnement pour avions gros porteurs, soit une surface totale de 36 500 m<sup>2</sup>.



▲ Plus de 20 000 m<sup>3</sup> de béton ont été mis en œuvre en l'espace de 7 mois sur la plate-forme aéroportuaire de Marseille-Provence. Ce chantier de grande envergure fait appel à des moyens humains et matériels importants.

## DE FORTES SOLLICITATIONS

L'évolution du trafic aérien est marquée par l'augmentation du tonnage des avions, à l'image du Boeing 747. Cette tendance n'est pas sans conséquences, les structures des chaussées existantes ayant été dimensionnées à l'époque de leur construction pour supporter un trafic plus léger. Ce problème affecte davantage les aires de stationnement que les pistes, du fait de l'importance des sollicitations entraînées par les manœuvres. "Le maître d'ouvrage a décidé de démolir et de reconstruire plusieurs aires de stationnement datant des années cinquante et soixante, qui présentaient des cassures et des épaufures importantes, explique

Henri Delhomme, chef de la subdivision Travaux au service spécial des Bases aériennes Sud-Est, maître d'œuvre des travaux. Ces trois parkings totalisent une surface de 12 500 m<sup>2</sup>."

## UNE STRUCTURE À HAUTE RÉSISTANCE

L'ancienne structure était constituée d'une dalle en béton de 28 cm d'épaisseur, supportée par une couche d'enrobés de 4 cm. Pour éviter tout risque d'affaissement ou de cassure aux angles des dalles, elle a été remplacée par un système très performant constitué d'une dalle de béton de 38 cm d'épaisseur et d'une fondation de béton maigre de 20 cm, l'ensemble



▲ Le béton acheminé par camion est déversé à l'avant de la machine à coffrages glissants.

Ces travaux s'inscrivent dans une longue tradition d'utilisation de la technique de la dalle béton, qui remonte aux années cinquante. "Depuis 1991, environ 100 000 m<sup>2</sup> de parkings et de taxiways ont été réalisés à l'aide de cette technique, précise Alain Balduini, chef du département Travaux neufs à la direction technique de la CCIMP. Il était logique de continuer à faire appel à une solution qui donne entière satisfaction."



▲ Les flancs ondulés des dalles primaires solidarisent les dalles de béton entre elles afin d'assurer un transfert de charges parfait.

reposant sur une assise traitée de façon à offrir la portance requise (module EV2, déterminé à la plaque, supérieur à 50 MPa). "Lors des premières interventions menées en décembre 1996, nous avons dû excaver sur une profondeur de 58 cm puis traiter les zones les plus faibles du fond de forme en purgeant et en apportant des matériaux plus résistants", explique Pierre Curat, conducteur de travaux à l'entreprise CMR, alliée à Chantiers Modernes sous le statut d'une société en participation (SEP) pour faire face à l'ampleur du chantier. "Cette année, nous avons choisi de recharger sur 30 cm d'épaisseur avec les matériaux produits par le concassage des an-

ciennes dalles en béton. La réutilisation des matériaux du site est une technique écologique, car elle épargne les ressources des carrières et limite la mise en décharge de gravats, une pratique amenée à disparaître."

### 24 000 M<sup>2</sup> DE TRAVAUX NEUFS

Cette particularité mise à part, les techniques mises en œuvre pour la réhabilitation et la création de nouvelles structures en béton sont similaires. "La largeur d'exécution des bandes de béton, fixée à 5 m pour les zones rénovées, est portée à 7,50 m pour les travaux neufs, souligne Claude Mériaux, directeur des Travaux chez CMR. L'intérêt de travailler avec une plus grande largeur est d'offrir un meilleur rendement, nécessaire à la réalisation de l'ouvrage principal du projet : une nouvelle aire de stationnement d'une surface de 18 000 m<sup>2</sup>." Cette plate-forme dédiée au fret est reliée aux autres parkings par une bretelle d'accès d'une surface de 6 000 m<sup>2</sup>, également en construction, constituée d'une dalle béton de 38 cm. "L'ensemble des ouvrages neufs en béton totalise 24 000 m<sup>2</sup>", précise Henri Delhomme.

### CONCEPTION POUSSÉE DANS LE DÉTAIL

La première étape des opérations de mise en œuvre du béton consiste à tapisser le fond de forme par un géotextile, une disposition demandée par le maître d'œuvre pour écarter tout risque de contamination du sol et mieux répartir les charges. "Dosé à 160 kg de ciment par mètre cube, ce béton maigre est mis en œuvre avec une des deux machines à coffrages glissants affectées à ce chantier, à savoir une CMI SF 250 évoluant en 5 m de large et une CMI SF 450 montée en 7,50 m." L'engin suit avec des palpeurs les références de direction et de hauteur délivrées

#### COMPOSITION DU BÉTON DE ROULEMENT (POUR 1 M<sup>3</sup>)

|                                      |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Ciment CPJ-CEM II/B 32,5 R (Lafarge) | <b>350 kg</b>  |
| Sable 0,1/4                          | <b>680 kg</b>  |
| Gravillons 6/14                      | <b>210 kg</b>  |
| Gravillons 14/20                     | <b>330 kg</b>  |
| Gravillons 20/40                     | <b>690 kg</b>  |
| Entraîneur d'air                     | <b>0,045 %</b> |
| Plastifiant 228                      | <b>0,45 %</b>  |
| Eau                                  | <b>150 l</b>   |
| Affaissement au cône d'Abrahams      | <b>2 cm</b>    |

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

|                                      |                |
|--------------------------------------|----------------|
| Ciment CPJ-CEM II/B 32,5 R (Lafarge) | <b>160 kg</b>  |
| Sable 0,1/4                          | <b>880 kg</b>  |
| Gravillons 6/14                      | <b>210 kg</b>  |
| Gravillons 14/20                     | <b>330 kg</b>  |
| Gravillons 20/40                     | <b>700 kg</b>  |
| Entraîneur d'air                     | <b>0,045 %</b> |
| Plastifiant 228                      | <b>0,6 %</b>   |
| Eau                                  | <b>140 l</b>   |

par des fils tendus, positionnés avec précision sur toute la longueur des bandes à réaliser, soit 165 m. Cette fondation peut alors recevoir le béton de roulement, dosé à 350 kg, une valeur classique pour les bétons routiers. "Ce type d'application demande de travailler avec des bétons très fermes, afin de limiter la porosité du béton, reprend Pierre Curat. Outre les adjuvants plastifiants réducteurs d'eau et entraîneurs d'air, la formulation comprend un sable naturel, qui augmente la maniabilité du béton."

### MISE EN ŒUVRE ÉLABORÉE

L'exécution de ce béton fait appel à un mode opératoire particulier. La machine

#### Principaux intervenants

- **MAÎTRE D'OUVRAGE :**  
chambre de commerce et d'industrie  
Marseille-Provence
- **MAÎTRE D'ŒUVRE :** service spécial  
des Bases aériennes Sud-Est
- **ENTREPRISE :** groupement  
CMR-Chantiers Modernes
- **FOURNISSEUR DU CIMENT :**  
cimenterie Lafarge Ciments de La Malle



▲ Des goujons montés sur des paniers métalliques sont positionnés à l'aplomb du futur joint de dalle. Ce dispositif transfère les charges d'une dalle à l'autre sans entraver les mouvements de dilatation.



▲ Une pelle hydraulique déverse du béton sur les goujons afin de les immobiliser avant le passage de la machine à coffrages glissants.



▲ Une taloche automatique montée à l'arrière de la machine effectue dans un mouvement de va-et-vient un premier lissage de la surface du béton. L'opération est complétée par un lissage manuel à la taloche. Une toile de jute trainée à l'arrière de la passerelle complète la finition.

réalise lors d'une première phase les bandes impaires, puis vient combler les bandes intermédiaires. "Pour réaliser les bandes primaires, on équipe la machine à coffrages glissants de joues comportant un profil sinusoïdal, poursuit le conducteur de travaux. Cette ondulation imprimée sur les flancs du béton solidarise les bandes paires et impaires, et garantit ainsi la planéité de l'ensemble de la plate-forme." Un système de goujons assure la même fonction dans le sens transversal, au niveau des joints de dalles (trame de 7,50 m x 7,50 m). "Les goujons sont montés sur des paniers métalliques qui les positionnent à mi-



▲ Un produit de cure protège le béton de la dessiccation pendant les premières heures nécessaires à la montée en résistance.

### GÉRER DES À-COUPS DE CHANTIER

Pour ne pas gêner l'activité aéroportuaire, l'entreprise est contrainte de mettre en œuvre des moyens importants pendant toute la durée des travaux de béton, soit entre décembre 1996 et juin 1997. Elle peut ainsi intervenir rapidement en tout point du site, au moment estimé le plus judicieux par la maîtrise d'ouvrage. "La capacité de réaction demandée est telle qu'il a fallu mobiliser deux machines à coffrages glissants, une centrale à béton de 350 m<sup>3</sup>/h capable de fonctionner par à-coups, et des effectifs atteignant 40 personnes, explique Xavier Batut, directeur de la section grands travaux en béton de CMR. Pour linéariser au mieux notre activité, nous nous servons de la grande aire de parking comme d'un 'chantier tampon' sur lequel nous pouvons travailler à n'importe quel moment sans gêner l'exploitation de l'aéroport."

Les sautes d'activité touchent également les livraisons de ciment. Bien que la capacité de stockage de la centrale soit conséquente (2 silos de 100 tonnes), elle ne correspond qu'à la moitié de la consommation quotidienne moyenne. "Nous travaillons quasiment en flux tendu, précise Gérard Benvenuto, responsable régional routes pour le Sud-Est chez Lafarge Ciments. Cette opération demande beaucoup de réactivité. En période de pointe, il nous est arrivé de livrer 1 000 tonnes de ciment par jour."

### UN ENTRETIEN MINIME

Le béton présente plusieurs avantages par rapport aux chaussées en enrobés : "Ce matériau plus durable est insensible aux agressions chimiques du kérosène, et ne nécessite aucun entretien particulier, si ce n'est une réfection des joints tous les 10 ans, explique Henri Delhomme. En revanche, les zones en enrobés demandent des interventions régulières pour sceller les fissures, et un traitement au printemps et à l'automne pour éliminer les herbes qui poussent dans les interstices. En règle générale, l'exploitation de zones en béton demande beaucoup moins d'interventions."

Le mot de la fin revient à Alain Balduini, de la CCIMP : "Le béton est une technique éprouvée de longue date. Son coût est sensiblement équivalent à celui des autres procédés. Je ne vois pas pourquoi nous prendrions des risques en faisant appel à d'autres solutions." ■



▲ Quand elle progresse en clavage, la machine prend comme référence la hauteur des bandes existantes situées de part et d'autre. Le guidage en direction est donné par un fil.

épaisseur, soit 19 cm, précise Pierre Curat. Ces paniers sont placés à l'avancement de la machine à l'aplomb du futur joint. Quand le béton a fait prise, un trait de scie impose une fissuration nette à l'endroit désiré. Le trait est ensuite élargi pour permettre de combler le joint avec un système d'étanchéité à base d'élastomère."



▲ La centrale est configurée sur ce chantier pour fournir 150 à 180 m<sup>3</sup>/h de façon discontinue – alors qu'elle pourrait atteindre 350 m<sup>3</sup>/h avec une configuration légèrement différente par montage d'un pré-malaxeur –, gâchées de 7 m<sup>3</sup>, afin de répondre aux à-coups des travaux.

## LES LIMONS

### ● DÉFINITION

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

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

### ● IMPORTANCE ET SITUATION DES LIMONS

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

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

## LES LIANTS

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

### ● LA CHAUX AÉRIENNE

La chaux aérienne se présente sous les deux formes suivantes :

- la chaux vive, qui est principalement constituée d'oxyde de calcium CaO, à plus de 80 %. Elle est obtenue par calcination du calcaire à 1 000 °C ;

b) la chaux éteinte, qui est obtenue par hydratation (ou extinction) de la chaux vive. Elle contient principalement de l'hydroxyde de calcium Ca (OH)<sub>2</sub>.

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

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

### ● LES CIMENTS

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

## ACTION DES LIANTS SUR LES LIMONS

### ● CAS DE LA CHAUX AÉRIENNE

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

#### ACTION SUR LA TENEUR EN EAU

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

##### ● Cas des limons humides

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

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

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

##### ● Cas des limons secs

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

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

#### MODIFICATIONS IMMÉDIATES DES PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES

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

Au laboratoire, on constate :

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

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

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

### MODIFICATIONS À LONG TERME

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

#### ● CAS DU CIMENT

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

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

### UTILISATION DES LIMONS TRAITÉS EN ASSISES DE CHAUSSÉES

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

#### ● CONCEPTION

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

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

### CRITÈRES DE DÉFORMABILITÉ DE LA PLATE-FORME

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

Les améliorations nécessaires sont données dans le tableau 1.

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

| Portance                       | Améliorations nécessaires                           |   |   |                   |
|--------------------------------|---|---|---|-------------------|
|                                | Portance prévisible de la plate-forme à court terme | Épaisseur de la couche traitée en place | Épaisseur de la couche de forme non traitée | Nouvelle portance |
| $P = P_0^*$ $\text{CBR} < 3$   | 35 cm   | 50 cm                                   |   | $P_2$             |
| $P = P_1$ $3 < \text{CBR} < 6$ | 20 cm   | 30 cm                                   |   | $P_2$             |

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

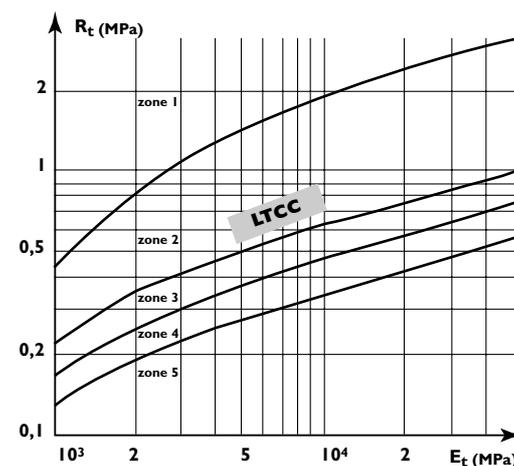
### QUALITÉ DES LIMONS TRAITÉS

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

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

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

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



Classe de résistance selon la zone du graphique

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

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

## ● DIMENSIONNEMENT

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

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

### CHOIX DE LA COUCHE DE SURFACE

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

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

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

### DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE

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

Le dimensionnement est effectué :

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

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

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

## ● LES ÉTUDES DE TRAITEMENT

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

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

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

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

### LA QUALIFICATION DES LIMONS À TRAITER

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

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

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

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

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

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

Celle-ci regroupe ces paramètres en deux grandes familles :

#### ● Paramètres de nature

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### ● Paramètres d'état

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

Du point de vue "état hydrique", la "Classification des sols" (norme NF P 11 300) regroupe les limons de chacune des sous-classes  $A_1$ ,  $A_2$  et  $A_3$  en 5 sous-classes : ts (très sec), s (sec), m (moyen), h (humide) et th (très humide), dans l'ordre croissant de l'humidité.

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

#### LA FORMULATION DES LIMONS TRAITÉS

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

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

#### ● Recherche de la portance immédiate

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

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

La valeur minimale recommandée de l'IPI à la teneur en eau du chantier peut être fixée à  $IPI = 8$ .

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

### ● Recherche des performances mécaniques exigées

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

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

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

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

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

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

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

## EXÉCUTION

### ● TRAITEMENT TYPE

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

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

### ● CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE

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

- la chaux floccule les argiles et assèche les matériaux humides ;

- le ciment apporte ensuite une rigidification rapide.

Les conséquences d'un prétraitement à la chaux sont :

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

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

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

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

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

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

### ÉPANDAGE

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



▲ Épandage du liant.



▲ Contrôle de l'épandage du liant.

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

### MALAXAGE

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



▲ Malaxage.

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

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

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

### COMPACTAGE

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

Le compactage doit suivre sans tarder la fin du malaxage :

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



▲ Compactage.

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

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

### RÉGLAGE

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

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

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

Les matériaux provenant du rabotage doivent être évacués.

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

### PROTECTION DU LIMON TRAITÉ

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

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

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

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

La formulation du produit de protection pourra être la suivante :

- cloutage par un gravillon 10/14 à raison de 10 l/m<sup>2</sup> légèrement compacté au cylindre lisse ;
- émulsion cationique (pH > 4) à 65 % de bitume, dosée à 1,2 kg/m<sup>2</sup> ;
- gravillonnage par un gravillon 4/6 à raison de 6 à 8 l/m<sup>2</sup> suivi d'un léger cylindrage.



▲ Protection de l'assise de limon traité.

## CONCLUSION

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

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

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

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic SETRA LCPC/1981.
- 2 - Catalogue de structures des chaussées à faible trafic pour l'Île-de-France - LROP - Mai 1984.
- 3 - Guide technique "Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques" - SETRA/LCPC, 1997.
- 4 - La chaux dans le traitement des sols - Fiches techniques. Chambre syndicale nationale des fabricants de chaux grasses et magnésiennes.
- 5 - Documentation technique CIMBÉTON.
- 6 - M. Boutonnet, J. Livet : Influence du traitement des limons sur leur comportement au gel - BLPC n° 133 - sept.-oct. 1984.
- 7 - G. Morel : Étude en laboratoire du traitement à la chaux et au ciment des sols fins - BLPC n° 133 - sept.-oct. 1984.
- 8 - Nguyen Dac Chi - J. Mulders : Comportement en fatigue des sols fins traités à la chaux et au ciment - BLPC n° 133 - sept.-oct. 1984.
- 9 - P. Perret : Contribution à l'étude de la stabilisation des sols fins à la chaux : étude globale du phénomène et applications. Thèse docteur-ingénieur - INSA de Rennes - 1977.
- 10 - J. Abdo : Étude expérimentale de la stabilisation des arènes granitiques à la chaux. Thèse docteur-ingénieur - École des Mines - Paris - INSA de Rennes - 1982.
- 11 - D. Puiatti : La chaux, un matériau d'avenir pour la route. *Revue Ciments, bétons, plâtres, chaux* n° 785 - 4/1990.
- 12 - D. Puiatti - J. Puig - M. Schaeffner : Traitement des sols à la chaux aérienne et aux ciments. Méthodologie des études en laboratoire. BLPC n° 124 - mars-avril 1983.
- 13 - A. Rigot : Comportement et dimensionnement des structures comprenant des couches en sols fins traités aux LH. Stage traitement des sols de l'ENPC - Lille, du 9 au 12 avril 1991.
- 14 - M. Schaeffner : Le traitement en place des sols à la chaux et aux liants hydrauliques et pouzzolaniques. Stage traitement des sols de l'ENPC - Lille, du 9 au 12 avril 1991.

**CIM** *Béton*

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

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS  
7, place de la Défense - LA DÉFENSE 4  
92974 Paris-la-Défense Cedex



▲ **Preignan** : réalisé avec un granulat de Garonne, le cheminement piétonnier est bien différencié des chaussées qui le bordent.

de différencier les zones piétonnes des zones dévolues aux voitures, il a un aspect teinté intéressant et c'est un traitement moderne." Dans le bourg, il a été fait appel à des granulats de Dordogne et d'Aurignac, et aussi à un petit roulé local. Pour la création du cheminement piétonnier et de l'arrêt de bus le long de la nationale, dans la vallée, c'est un granulat gris de Garonne qui a été retenu. "Nous proposons le désactivé aux communes qui viennent nous voir parce que c'est un matériau qui offre la possibilité d'une combinaison. Et son aspect rugueux est très intéressant à condition que la granulométrie ne soit pas trop importante", précise-t-il. Avant d'ajouter que c'est aussi un plus pour les maires des communes modestes : "Ils sont très réceptifs, tout simplement parce qu'ils ont vu les aménagements qui ont été réalisés chez leurs collègues. Le désactivé leur permet d'apporter un certain confort et de fournir une esthétique particulière à leurs administrés."

#### AIDER AU RENOUVEAU DES COMMUNES

Autre commune soumise à un développement important : Pujaudran, située aux confins du Gers et de la Haute-Garonne. C'est en fait la déviation de la nationale qui a redonné vie à ce bourg autrefois tra-



[ RENÉ PERIN ]  
Maire de Pujaudran

« L'emploi du béton désactivé fibré nous rassure. Il est solide et son aspect ne changera pas de sitôt. »

versé par un flot incessant de voitures et de camions reliant Auch à Toulouse. À 25 minutes de la place du Capitole, Pujaudran entame une nouvelle vie, symbolisée par la création d'un "cœur de village", selon l'expression de René Perin, son maire : "Nous avons créé un lotissement pour renforcer le bourg, il était donc normal que nous redonnions vie à la place du village, quasi abandonnée." Proposé par la DDE comme alternative à l'enrobé, le désactivé n'a pas mis longtemps à séduire les élus de Pujaudran. "Nous avons vu, ça nous a plu, résume René Perin. Nous avons surtout été frappés par l'apparente solidité du matériau." Réalisé avec un gravier roulé noir de Garonne, l'ensemble est rythmé par le caniveau en dalles préfabriquées à base de granulat roulé ocre. La fontaine monumentale, quant à elle, arbore les galets de gaves et les briques rouges typiques de la vallée de la Garonne. Si René Perin n'exclut pas la possibilité de



▲ **Pujaudran** : sous l'influence toulousaine, l'architecture du village est aujourd'hui mise en valeur par une place réalisée en béton désactivé avec un granulat sombre.

faire de nouveau appel au désactivé dans le cadre des aménagements futurs, il confesse en souriant que l'argument du prix n'est pas pour rien dans le choix du matériau. Et d'ajouter que "selon les administrés, une réalisation est d'autant plus belle qu'elle est... bon marché."

En offrant une nouvelle vie aux communes qui l'ont adopté – Tillac fait partie d'une régie régionale qui propose des sites de tournage aux producteurs de cinéma, Bazian va tenter sa chance au concours des plus beaux villages de France, et Preignan autant que Pujaudran peuvent envisager un développement harmonieux –, le béton affirme son caractère dans un pays fortement typé. Et surtout sa souplesse d'utilisation, qui lorsqu'elle est exploitée par des hommes ingénieurs, autorise les rêves les plus fous. ■



#### QUELQUES RÉFÉRENCES

(coulis calcaire, béton désactivé)

**BAZIAN** rue et place du village (650 m<sup>2</sup>)

**CONDOM** rues anciennes (2 000 m<sup>2</sup>)

**EAUZE** rues (1 000 m<sup>2</sup>)

**FLEURANCE** trottoirs (1 500 m<sup>2</sup>)

**GIMONT** rue (2 000 m<sup>2</sup>)

**L'ISLE-JOURDAIN** place de la mairie (1 000 m<sup>2</sup>)

**MASSEUBE** béton désactivé, pavés béton (1 000 m<sup>2</sup>)

**PREIGNAN** trottoirs et cheminement piétonnier (1 500 m<sup>2</sup>)

**PUJAUDRAN** place (1 000 m<sup>2</sup>)

**RISCLE** traverse route départementale (5 000 m<sup>2</sup>)

**TILLAC** rue principale et place (2 000 m<sup>2</sup>)

**Autres aménagements en béton réalisés dans le Gers : 11 300 m<sup>2</sup>**

# Techniques routières pour aire de stockage performante

En adoptant le béton pour la réalisation de leur nouvelle plate-forme de stockage et de ses voies d'accès, les Sources Perrier misent sur le long terme. D'autant qu'en confiant les travaux à l'entreprise Gailledrat, spécialisée dans la réalisation de routes et d'autoroutes, cet ouvrage bénéficie d'une garantie de 10 ans. Ceci grâce à une formulation spécifique du béton et à la mise en œuvre par une machine à coffrages glissants.

Implantée à Vergèze, dans le Gard (30), l'usine de conditionnement des Sources Perrier s'agrandit pour faire face à une demande croissante. Cela se traduit par la création d'un accès au nord du site, desservant une nouvelle aire de stockage de 4 000 m<sup>2</sup> au sol, d'un seul tenant. La voie d'accès adopte la forme d'une piste de 200 m de long sur 7 m de large. Près de l'entrée, une sur largeur partielle de 3,50 m permet d'aménager des places de parking. Deux bretelles de 5 m de large et de 80 m de long relient également la plate-forme au reste du site.



▲ Après avoir été mis en œuvre, préréglé, coffré et vibré par la *slip form*, le béton est lissé par une taloche de grande dimension.



▲ Provenant de la centrale de BPE Hexabéton d'Aigues-Vives, le béton est déversé à l'avant de la machine à coffrage glissant.

## CALCAIRES DURS POUR BÉTON QUASI INUSABLE

Début mars 1997, la Société chimique de la route, titulaire du marché, a décapé le terrain vierge sur une profondeur de 60 cm. L'emprise du chantier a été prévue avec une marge de 50 cm de large de toutes parts. Sain, porteur et sans problème hydrologique particulier, le terrain n'a pas réclamé de traitement spécifique. La couche de forme se compose d'une épaisseur de 20 cm de graves 4/60 et de 15 cm de matériaux concassés 0/31,5, le tout compacté au rouleau vibrant. La chaussée proprement dite se compose d'une couche de 20 cm de béton, mise en

œuvre par l'entreprise Gailledrat. Les 1 600 m<sup>3</sup> de béton nécessaires à ce chantier proviennent de la centrale à béton Hexabéton d'Aigues-Vives, située à 6 km du chantier. Gailledrat et Hexabéton ont établi conjointement, par ajustements successifs, la formulation du béton employé sur ce site. En effet, l'ajout de calcaires durs locaux (venant de Lunel), souhaité par l'entreprise Gailledrat, apporte au béton lors de sa prise une plus grande tranquillité pour les travaux de sciage des joints de retrait. Outre le classique auto-contrôle, chaque jour le bétonnier réalise 6 éprouvettes qui sont confiées au Laboratoire de la DDE de Nîmes, en charge de réaliser les essais de contrôle.

## AVEC DES TECHNIQUES ROUTIÈRES

“La bonne portance du sol, la fermeté du béton retenu pour la réalisation de ces chaussées ainsi que son mode de mise en œuvre les dispensent de tout ferrailage”, explique Bernard Pontais, chef de chantier de Gailledrat. Après arrosage de la couche de forme, le béton est donc déversé directement par camion-benne à l’avant d’une machine à coffrages glissants (*slip form*) Gunter & Zimmermann MSP 85, couramment employée pour les travaux routiers. Livrée sur le site par deux porteurs, cette machine assure la mise en œuvre du béton, son préréglage, son coffrage et sa vibration. Un palpeur et un fil sur potence assurent le nivellement et le guidage de la machine. Pour réaliser la plate-forme, l’une des chenilles s’appuie sur la bande de béton précédente et l’autre sur un remblai mis à niveau. Une taloche de grande dimension (*super smoother*) lisse ensuite la surface du béton, une opération que complète ponctuellement un talochage manuel.

## PAR PASSES DE 7 M DE LARGE

Dans le cas présent, le réglage de la table de la machine à coffrages glissants s’effectue sur une largeur de 7 m, la plupart du temps. Elle n’est réajustée sur une largeur de 5 m que pour la réalisation des bretelles. “Gage de qualité, ce type de machine autorise l’emploi d’un béton très ferme : son *slump* est compris entre 2 et 3 cm. On est très loin des bétons de dallagistes, qui tournent dans les 10 à 12 cm”, commente



▲ Grâce à un calepinage soigné, les parcelles adoptent des formes évitant les pointes aiguës, irréalisables à la machine.



▲ Pour obtenir une parfaite qualité de finition, des retouches manuelles à la taloche complètent le travail de la machine.

### COMPOSITION DU BÉTON (POUR 1 M<sup>3</sup>) ET CARACTÉRISTIQUES

|  |   |
|--|---|
| Ciment CPJ-CEM II 32,5 (Calcia)                                | <b>330 kg</b>   |
| Sable 0/4 semi-concassé  | <b>699 kg</b>   |
| Gravillon 5/15 semi-concassé                                   | <b>499 kg</b>   |
| Gravillon 10/20 concassé calcaire                              | <b>665 kg</b>   |
| Eau (total)  | <b>172 l</b>  |
| Plastifiant Cerplast Chryso                                    | <b>0,28 % du poids de ciment</b>  |
| Entraîneur d’air AER Chryso : quantité suffisante pour obtenir | <b>4 à 5 % d’air occlus</b>   |
| Résistance à la traction à 7 jours                             | <b>2,1 MPa</b>  |
| Teneur en air occlus   | <b>4 à 5 %</b>  |
| Affaissement au cône d’Abrahms ( <i>slump test</i> )           | <b>2 à 3 cm (mise en œuvre mécanique)</b><br><b>5 cm maximum (mise en œuvre manuelle)</b> |

Bernard Pontais. Ce choix lui permettra de supporter durablement la circulation de chariots élévateurs et de poids lourds.

La rotation de quatre camions-bennes suffit pour l’approvisionnement en béton prêt à l’emploi (BPE), et est parfaitement adaptée à la vitesse d’avancement de la machine.

Pour éviter les risques de décohésion ou de fissuration de la dalle en béton, les zones complexes sont réalisées manuellement en continuité avec les zones “mécaniques”.

Pour le traitement de surface, ensuite, deux équipes disposées de part et d’autre de la bande de béton tirent manuellement une toile de jute pour unifier et structurer la surface de la chaussée. Suit la pulvérisa-

tion manuelle d’un produit de cure, à raison d’un minimum de 200 g/m<sup>2</sup>, pour assurer la protection du béton dans de bonnes conditions.

## UNE STRICTE ORGANISATION DE CHANTIER

L’absence de tout joint d’arrêt de chantier sur cette opération s’explique par un calepinage soigné et l’organisation du chantier en bandes courtes. La construc-



▲ La réalisation des zones complexes s’effectue manuellement, en continuité avec les zones “mécaniques” pour éviter tout risque de décohésion ou de fissuration de la dalle de béton.

tion de la plate-forme s’effectue en bandes parallèles, leur raccordement s’opérant grâce à une forme “rainure et languette” (ancrage de type tenon/mortaise). Le passage d’une bande à l’autre a lieu au bout de 3 jours (48 heures suffiraient). Le soin accordé par Gailledrat au calepinage optimise également le fonctionnement de la machine à coffrages glissants, sachant qu’il lui est impossible de travailler sur des



▲ Avant la pulvérisation d'un produit de cure, le passage d'une toile de jute unifiée et structure la surface de la chaussée en béton.

pointes aiguës. Toutes les découpes se réalisent donc selon des pointes tronquées, quitte à intervenir manuellement sur les raccordements plate-forme/bretelle ou plate-forme/voie d'accès, par exemple.

#### FISSURATION MAÎTRISÉE, ENVIRONNEMENT PROTÉGÉ

Pour assurer l'évacuation des eaux pluviales, la plate-forme adopte une pente de 3 mm/m. Soumises à circulation, les voies d'accès ont une pente plus importante : 8 mm/m dans le sens longitudinal et 2 % dans le sens transversal. Des avaloirs intégrés à la plate-forme et des bordures coulées en place canaliseront ces eaux pluviales. Un cache protège les réservations des avaloirs lors du passage de la *slip form*. Pour maîtriser la fissuration, la plate-forme et la voie d'accès sont divisées en bandes

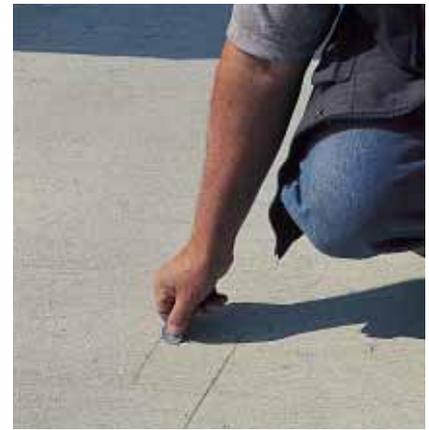


▲ Des réservations et des caches protègent les avaloirs d'eaux pluviales lors du passage de la machine à coffrages glissants.

#### Principaux intervenants

- **MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE** : Sources Perrier (services techniques)
- **TITULAIRE DU MARCHÉ** : Société chimique de la route
- **FONDATEURS** : Société chimique de la route
- **CHAUSSÉES BÉTON** : entreprise Gaillédrot
- **JOINTS (sciage et garnissage)** : Isotech

de 5 m x 3,50 m (bande de 7 m divisée longitudinalement et joint transversal tous les 5 m). Mesurant 5 m de large, les bretelles ne sont découpées que transversalement, tous les 5 m, afin d'obtenir une trame de 5 m x 5 m. Ces joints de retrait-flexion s'obtiennent par le sciage de la dalle sur 1/4 à 1/5 de son épaisseur, 18 à 24 heures après la mise en œuvre. Ce délai dépend des granulats, du ciment et des conditions météorologiques. Habituellement, le chef de chantier procède au test de la pièce de monnaie (frottée à la surface du béton), l'apparition d'une teinte claire déterminant le moment propice au sciage. Quelques jours plus tard, un second sciage sur 3 cm de profondeur et 1 cm de large permettra d'élargir le joint avant son



▲ Le test de la pièce de monnaie permet de déterminer le moment adéquat pour le sciage des joints.



▲ Le marquage du sol au fil chargé d'encre rouge permettra de guider le sciage avec précision.



▲ L'élargissement du joint à la scie précède son garnissage par un produit d'étanchéité anti-kérosène.

garnissage par un produit d'étanchéité anti-kérosène. Cette précaution s'explique par une évidente volonté d'éviter la pénétration de tout liquide polluant au sein de la nappe phréatique de ce site bien particulier. ■

**CIM** Béton

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

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS  
7, place de la Défense - LA DÉFENSE 4  
92974 Paris-la-Défense Cedex