

ROUTES

CIMENTS ≡ LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS ≡ BÉTONS

Travaux et équipements routiers • Terrassements • Aménagements urbains • Aéroports



// CHANTIER

RD36a : une
rénovation express,
« verte » et planifiée

// CHANTIER

Avignon : le béton,
champion des solutions
« tramway »

// ÉTAT DE L'ART

Les carrefours giratoires
en béton



// CHANTIER
AVIGNON (84)

Avignon : le béton, champion des solutions « tramway »



// ÉTAT DE L'ART
CARREFOURS GIRATOIRES EN BÉTON

La solution durable pour la gestion des conflits, la fluidité du trafic et la sécurité des usagers



// CHANTIER
PÉROUGES (01)

Giratoire de Pérouges (Ain) : une chaussée composite pour résister aux trafics denses



// CHANTIER
SEINE-ET-MARNE (77)

RD36a : une rénovation express, « verte » et planifiée



// LE SAVIEZ-VOUS ?

Remue-ménages
Agenda
Sur la Toile
Vient de paraître



PHOTO DE COUVERTURE // Vue aérienne du chantier de retraitement à froid au liant hydraulique routier de la RD36a, au sud de la Seine-et-Marne, réalisé fin juin par la société Routes et chantiers modernes (RCM), avec du Rolac Optimum de Saint-Pierre-la-Cour de LafargeHolcim.

CRÉDITS PHOTOS // Une : Routes et chantiers modernes (RCM) - p. 3 : Communauté d'agglomération du Grand Avignon - p. 6 et p. 7 : CIMbéton/Charles Desjardins - p. 8 à p. 11 : CIMbéton - p. 13 : CIMbéton/Charles Desjardins - p. 14 : Vicat - p. 15 : CIMbéton/Charles Desjardins - p. 16 : Vicat et CIMbéton/Charles Desjardins - p. 17 : Routes et chantiers modernes (RCM) - p. 18 et p. 19 : CIMbéton/Fabrice Trognon.

**LES CHAUSSÉES COMPOSITES :
PERFORMANCES ET DURABILITÉ**

Les évolutions des techniques routières sont continues ; elles améliorent les performances des chaussées en les rendant plus durables et plus sûres. En outre, les progrès de la technique routière doivent aujourd'hui contribuer à la préservation des ressources naturelles en matériaux et à la diminution des impacts sur l'environnement. Les chaussées composites, qui permettent de réduire significativement les épaisseurs des structures, vont dans ce sens.

Qu'est-ce qu'une chaussée composite ?

Schématiquement, c'est un revêtement en béton mis en œuvre sur un matériau bitumineux. Ce mélange des matériaux permet de tirer profit des qualités de durabilité du béton de ciment et de souplesse des produits bitumineux. Ce nouveau concept de chaussée repose sur le principe de l'utilisation optimale des qualités mécaniques intrinsèques des matériaux et du collage (naturel) durable du béton coulé sur un matériau bitumineux. La nouvelle chaussée composite optimisée devient alors une structure bicouche : couche de roulement-base en béton et couche de fondation en grave-bitume. L'atout de cette structure de chaussée tient à la présence de la couche de fondation traitée au bitume (couche non érodable), qui travaille comme une couche dimensionnante.

Avec ce concept de chaussée composite, la couche de roulement en béton peut être un revêtement à joints goujonnés BC5g ou un revêtement en béton armé continu BAC. Les avantages sont nombreux, et la technique est utilisée avec succès sur bon nombre de chantiers réalisés depuis une vingtaine d'années sur le réseau national et départemental et, en particulier, pour les carrefours giratoires.

Dans ce numéro, le lecteur découvrira :

- // Un article technique faisant l'état de l'art en France des carrefours giratoires en béton et, en particulier, ceux conçus avec le concept de chaussée composite (cf. « Carrefours giratoires en béton. La solution durable pour la gestion des conflits, la fluidité du trafic et la sécurité des usagers », p. 8-11).
- // Un reportage de chantier d'un carrefour giratoire en béton, réalisé en 2018 à Pérouges (p. 12-14). Il s'agit du premier giratoire en béton de l'Ain et qui adopte le concept de chaussée composite avec un revêtement en dalles béton à joints goujonnés sur fondation en grave-bitume.

Je vous souhaite une bonne lecture.

Joseph ABDO - CIMbéton



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 / Fax : 01 55 23 01 10
E-mail : centrinfo@cimbeton.net
Site Internet : www.infociments.fr
Site dédié à la valorisation des matériaux aux liants hydrauliques : lhr.cimbeton.net

Pour tout renseignement concernant les articles de la revue, contacter CIMbéton.

- Directeur de la publication : François Redron
- Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la rubrique « Remue-ménages » : Joseph Abdo
- Rédacteur en chef : Charles Desjardins
- Reportages, rédaction et photos : SCML Médias, Joseph Abdo, Marie Blanchelande, Étienne Diemert
- Direction artistique et réalisation : Fenêtre sur cour / Studio L&T
- Dépôt légal : 3^e trimestre 2018 - ISSN 1161 - 2053 1994

AVIGNON : LE BÉTON, CHAMPION DES SOLUTIONS « TRAMWAY »

Le tramway est de retour dans la Cité des papes. Pour lui permettre de circuler de nouveau, le béton est largement mis à contribution. Le but : réaliser différents types de revêtements, végétalisés ou minéraux, en fonction du tracé. Avec des solutions innovantes comme la pose des rails en jaquette ou la plate-forme en « ladder track », totalement inédite en France.



Vues d'artiste du tramway du Grand Avignon. La ligne 1 reliera le centre historique (la porte Saint-Roch et les remparts, en médaillon à droite) aux quartiers périphériques situés au sud et à l'est (ci-dessus).

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitrise d'ouvrage

Communauté d'agglomération
du Grand Avignon

Maitrise d'ouvrage déléguée

Tecelys

Maitrise d'œuvre

Edeis (mandataire), Ilex (architecte), Safege, SCE

Entreprises

TSO (groupe NGE, mandataire), EHTP, Agilis,
Guintoli, Alstom Transport

Mise en œuvre du béton décoratif

Agilis

Fournisseur du béton

Cemex

Fournisseur du ciment

Calcia

C'est la fin d'une longue absence de près de neuf décennies. L'ancien réseau avait été fermé en 1932. Quarante-vingt-sept ans plus tard, le nouveau tramway entrera en exploitation en 2019.

L'idée de renouer avec ce moyen de transport urbain remonte à 2010. Elle a été concrétisée par un vote à l'unanimité des élus de la communauté d'agglomération du Grand Avignon. Après consultation de la population, à l'été 2011, le tracé de deux lignes a été dévoilé en 2012. Mais, en 2015, pour tenir compte des nouvelles contraintes budgétaires, le Grand Avignon a décidé de phaser le projet initial, en ne réalisant qu'une seule ligne pour commencer.

LA GENÈSE DU PROJET DE NOUVEAU TRAMWAY

En octobre 2016, la première phase des travaux (rénovation et déviation des réseaux) a débuté dans le secteur de Saint-Ruf, au sud de l'agglomération.

En mai 2017, un groupement composé de NGE et d'Alstom Transport a été choisi par la communauté d'agglomération du Grand Avignon, et le maître d'ouvrage délégué, Tecelys, pour réaliser les travaux de plates-formes de génie civil, de rails et de revêtements. Outre NGE et Alstom Transport, ce groupement rassemble quatre filiales de NGE : TSO (mandataire choisi et proposé par Edeis, MOE mandataire et en charge de la voie et des systèmes), Guintoli, EHTP et Agilis. Cette deuxième phase a débuté à la mi-mai 2017 et s'achèvera en janvier 2019. Après l'essai du matériel roulant, l'entrée en service de la ligne 1 est prévue pour la mi-2019. Aux heures de

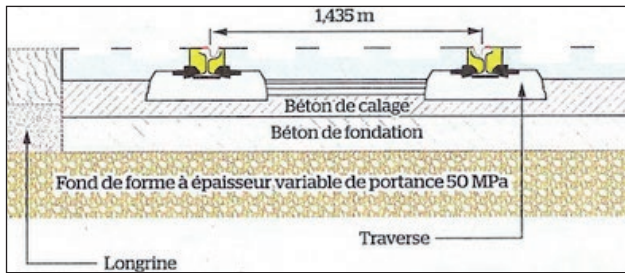


SCHÉMA 1 // Pose voie courante. Larges de 6,20 m, les plates-formes du tramway d'Avignon sont constituées d'une couche de forme de 40 cm en grave non traitée (portance de 50 MPa au minimum), d'une couche de fondation en BC3 (de 19 cm ou 29 cm, selon les cas), sur lequel est posé sans ancrage un béton de calage BC5 (19 cm).

pointe, le tramway circulera toutes les cinq ou six minutes, mettant le parking-relais de Saint-Chamand (station Saint-Chamand, située à l'extrémité sud-est) à une quinzaine de minutes du centre historique de l'agglomération (stations Gare Centre et Saint-Roch, près de la porte Saint-Roch). Le réseau de tramway fera l'objet d'une extension de 3,2 km qui sera livrée en 2023.

LE TRAMWAY, UN CHOIX AMBITIEUX

Outre l'amélioration de l'offre de transports publics, le retour du tramway est, pour la communauté d'agglomération du Grand Avignon, un moyen très efficace de transformer la ville et de « repenser » les espaces. C'est une des composantes stratégiques de l'opération, inspirée par les réflexions de l'agence lyonnaise Ilex et de son président, l'urbaniste-paysagiste de renom, Guéric Péré. « Faire d'Avignon une ville apaisée, unifiée et confortable », résume-t-il. Parmi les objectifs visés : la reconexion et la clarification des zones urbaines ; la limitation des émissions de gaz à effet de serre ; l'amélioration du bilan carbone ; la réduction des « îlots de chaleur »...

Dans une Cité des papes très minérale, dotée d'un patrimoine historique exceptionnel, c'est notamment l'occasion de créer une « promenade urbaine verte » permettant l'embellissement des remparts, en incitant la population à se réappropriier les lieux. Plus au sud, dans la deuxième couronne urbaine de l'agglomération, c'est également la possibilité de valoriser le quartier Saint-Ruf, riverain de la RN570, et de le « pacifier » du point de vue de la circulation automobile. En fin de tracé, vers l'est, c'est aussi l'opportunité d'entamer la transformation de la rocade Charles-de-Gaulle en créant un « boulevard végétal » (avec un contournement routier est-ouest en cours d'étude) et d'accompagner le renouvellement urbain des quartiers La Barrière et Saint-Chamand.

UN CHANTIER INNOVANT

Pour la réalisation de ce vaste projet, le maître d'ouvrage a également imposé une règle stricte : le respect absolu du budget, impliquant une maîtrise parfaite des coûts. « C'est un leitmotiv que nous n'avons cessé de relayer auprès de tous nos interlocuteurs », soulignent ensemble Maryan Paitry, directeur de projet pour Edeis, mandataire pour la maîtrise d'œuvre, et Jean-Claude Butstraen, directeur du projet pour TSO, mandataire pour les entreprises. Cette exigence a un corollaire : l'obligation d'optimiser chaque aspect du chantier, notamment ceux liés au béton, afin de respecter un planning exigeant.

« Les contraintes d'un chantier aussi important, auxquelles il faut ajouter l'impératif de causer le moins de nuisances possible aux Avignonnais, nous ont obligés à faire preuve d'imagination pour proposer les meilleures solutions possible, soulignent les deux directeurs de projet. Nous avons pu valider des solutions qualitatives et innovantes qui visent soit à rationaliser ou à accélérer la mise en œuvre, soit à améliorer le fonctionnement ou la maintenance des équipements. » C'est notamment le cas pour la signalisation, l'énergie, l'éclairage ou le centre de maintenance (initialement prévu sur une superficie de 4 hectares et finalement limité à un seul hectare).

Un chantier « créatif », donc, sur bien des aspects. Mais c'est dans le domaine de la plate-forme et des voies mettant en œuvre du béton que les innovations ou les adaptations sont les plus nombreuses et notables.

LES TRAVAUX

Pour la construction de la ligne 1, le groupement NGE et Alstom a été chargé

LE CHANTIER EN CHIFFRES

- // Béton de propreté (ép. 10 cm) : 8 650 m²
- // Béton de fondation : 22 300 m³
- // Béton de calage : 5 200 m³
- // Carrefours aménagés : 20
- // Surface totale de voiries refaites : supérieure à 10 500 m²
- // Volume des terrassements : 14 500 m³ (pales-formes)
46 910 m³ (voiries)
- // Rails en acier (poids total : 1 040 t) : 20 000 mètres linéaires
- // Stations de tramway créées : 10
- // Massifs végétaux créés : 17 000 m² (850 arbres, 7 350 arbustes,
110 000 vivaces et granulés, 4 300 bulbes)

de mener à bien la réalisation de 5,25 km de plate-forme, soit 10,5 km de voies, avec dix stations et un centre de maintenance (voir le schéma 1). Les travaux, d'une durée de vingt mois, sont prévus pour prendre fin en janvier 2019. Le projet comprend les études, la fourniture et le montage des plates-formes de génie civil et des rails. Un découpage précis du tracé en six séquences a été adopté (voir schéma 2).

LES CARACTÉRISTIQUES DES PLATES-FORMES

Tout au long du tracé en cours de réalisation, la largeur des plates-formes est fixée à 6,20 m. La portance minimale de la couche de forme (40 cm de grave non traitée) a été mesurée partout à 50 MPa. « La géologie du sous-sol ne pose pas de problème, même si les nappes phréatiques ne sont pas très profondes », indique Jean-Claude Butstraen, directeur du projet pour TSO. La couche de fondation est constituée d'un béton BC3 (19 cm pour une pose classique et 29 cm pour une pose avec atténuation), sur lequel est posé sans ancrage un béton de calage BC5 (sur 19 cm).

LES RAILS

Longs de 18 m, ils sont fournis par la société autrichienne Voestalpine, dont le siège se trouve à Linz. Sur les lignes droites et les courbes d'un rayon supérieur à 150 m, ils sont de nuance R 26 (sur l'échelle de Brinell). Dans les courbes plus serrées, ils sont de nuance R 290 GHT, plus résistante. En ce qui concerne les revêtements, la ligne 1 comporte principalement deux types de matériaux.

LE REVÊTEMENT VÉGÉTAL

Pour la majorité des séquences (4 sur 6, 70 % du tracé, sur une superficie de 25 000 m²),



SCHÉMA 2 // Tracé de la ligne 1 du tramway d'Avignon, avec le nom des stations.

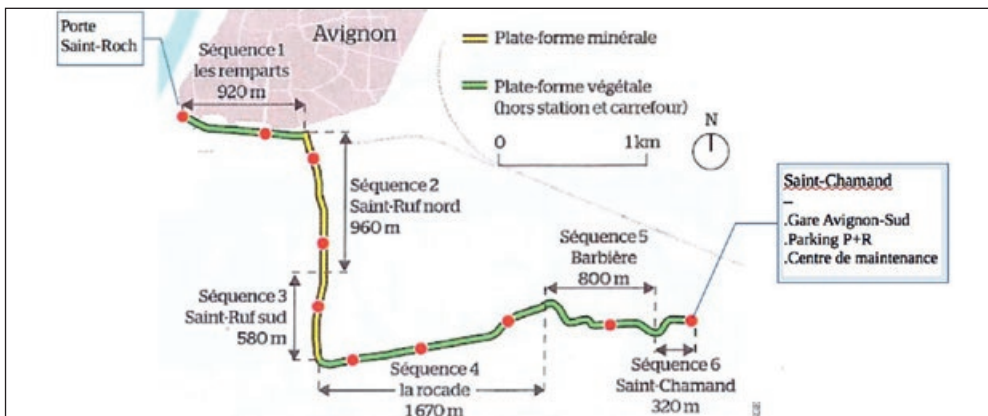


SCHÉMA 3 // Longue de 5,2 km, la ligne 1 reliera les remparts du centre historique (Saint-Roch) au quartier de Saint-Chamand, où se situe la gare d'Avignon-Sud, avec un parking de transit et le futur centre de maintenance. Elle alternera revêtements végétalisés et minéraux. (Source : Le Moniteur).

le Grand Avignon a souhaité que son tramway circule sur une plate-forme végétalisée (hors stations et carrefours), comme c'est déjà le cas dans de nombreuses agglomérations, par exemple à Paris. « *Un mélange spécifique de graines produisant un gazon peu gourmand en eau et adapté au climat avignonnais a été choisi* », précise Maryan Païtry, le directeur de projet d'Edeis, MOE (mandataire). Il s'agit des séquences 1 (le long des remparts, longueur : 920 m), 4 (sur la rocade, longueur : 1 670 m), 5 (dite La Barbière, longueur : 800 m), 6 (dite Saint-Chamand, longueur : 320 m).

Longueur totale : 3 185 mètres linéaires de voies échelles (« ladder track »).

Pour réaliser ces plates-formes, TSO a proposé de mettre en œuvre un nouveau type de « voie environnementale ». Mis en œuvre pour la première fois en 1997, en Allemagne, par DW Schwellen, ce procédé a été adapté aux techniques de pose françaises par Sateba, la filiale française de Consolis. Il s'agit de dalles en béton préfabriquées d'une longueur de 6 m et d'un poids de 8 t. Évidées en leur centre, elles sont alignées pour former deux poutres longitudinales continues, sur lesquelles

sont fixés les rails. Des poutres transversales renforcent l'assemblage. L'ensemble doit être minutieusement calculé et calepiné afin de respecter le tracé de la ligne.

Outre un gain de temps non négligeable, cette architecture en « ladder track » dite « perméable » laisse plus de place pour le substrat. Elle permet une épaisseur de terre trois fois supérieure aux méthodes traditionnelles. « *Le gazon a accès à davantage de nutriments et d'eau. En principe, le couvert végétal n'a donc pas besoin d'être renouvelé. Ce dispositif permet même, dans certains cas, d'envisager de se passer de l'arrosage automatique* », commente Jean-Claude Butstraen, le directeur du projet pour TSO. Fabriqués dans l'usine de Bonna Sabla (également filiale du groupe Consolis) à Vendargues (Hérault), les modules sont disposés par grue et directement sur le chantier. Cette technique est utilisée pour la première fois en France.

LE REVÊTEMENT MINÉRAL

Pour deux séquences sur six (30 % du tracé), les rames évolueront sur des plates-formes minérales. Il s'agit des séquences 2 (Saint-

Ruf-Nord, longueur : 960 m) et 3 (Saint-Ruf-Sud, longueur : 580 m). Longueur totale : 1 540 m. Par ailleurs, les stations et les carrefours disposent également de plates-formes minérales. Pour les réaliser, plusieurs méthodes sont mises en œuvre, parfois de façon combinée, selon l'environnement urbain et les contraintes spécifiques.

// Pose en jaquette pour les voies propres ou les zones de faible trafic

Sur le tracé très linéaire de l'avenue Saint-Ruf (séquences 2 et 3), la circulation automobile, précédemment à double sens, est désormais limitée à une seule voie dans le sens descendant. Ici, partout où le tramway circule en voie propre ou dans les zones où le trafic partagé est faible, TSO a proposé de réaliser une pose de voie en jaquette. Ce nouveau procédé s'accompagne notamment de la disparition du « plat métallique ». Il s'agit d'un fer plat de section rectangulaire, disposé de chaque côté du rail dans les zones de revêtement minéral circulé ; sa fonction est de protéger le complexe d'habillage du rail (chambres

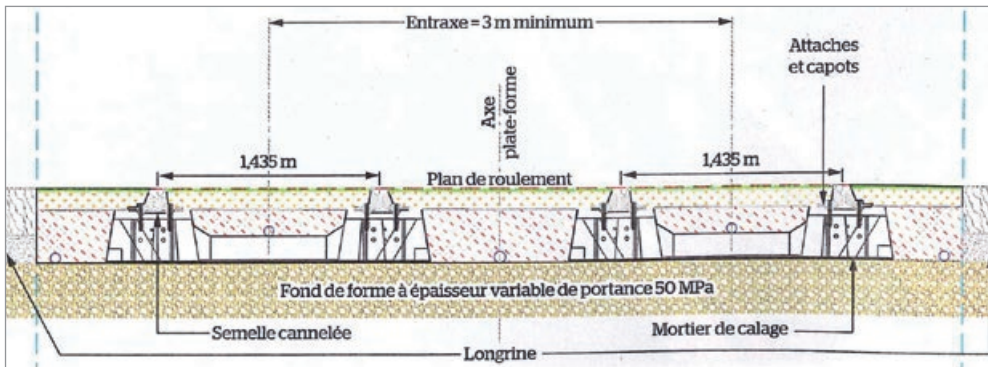


SCHÉMA 4 // Conçus par l'allemand DW Schwellen, les modules préfabriqués de type « ladder track » (« voie échelle ») sont longs de 6 m et creux au centre. Ils laissent un plus grand accès à la terre. C'est la première fois qu'ils sont utilisés en France.

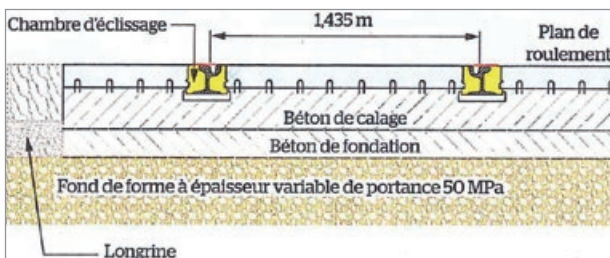


SCHÉMA 5 // Le procédé en jaquette consiste, en dehors du chantier, à envelopper les rails dans une chambre d'éclissage en caoutchouc recyclé. Transportés et installés sur le site, les rails ainsi conditionnés sont coulés dans le béton de revêtement, sans l'adjonction de traverses latérales ni de blochets.



Plate-forme en « ladder track », destinée à accueillir une couverture végétale sur la séquence 1, le long des remparts historiques.



À gauche, un rail enrobé dans son complexe en caoutchouc (« jaquette »). Après coulage du béton de calage (vue des connecteurs en surface), en attente du coulage du béton de revêtement. À droite, deux rails en jaquette positionnés sur le béton de fondation, avec adjonction d'une nappe de treillis soudé, en attente du béton de calage.

en polyuréthane et joints) contre les agressions dues au passage des roues de véhicules.

L'utilisation de chambres de haute densité, conjuguée à l'exécution de joints dits « routiers », permet de s'affranchir de la mise en place de fer plat ou « plat métallique » et des traverses. « Le plat métallique est une technique, héritée de l'utilisation des enrobés et encore répandue, qui ne se révèle plus justifiée avec le recul. L'ensemble de ces éléments a même tendance à générer plus de problèmes qu'il n'en résout (épaufrures, fissurations, problème de la gestion de la dilatation). De plus, ils complexifient la mise en œuvre du béton », relèvent ensemble Jean-Claude Butstraen, le directeur du projet pour TSO, et Christophe Chevalier, le directeur technique d'Agilis.

Comme son nom le suggère, ce procédé en jaquette consiste, en dehors du chantier, à envelopper les rails dans une chambre d'éclissage en caoutchouc. Transportés et installés sur le site, les rails, ainsi conditionnés, sont fixés dans le béton de calage et maintenus dans le béton de revêtement, sans traverses ni blochets. « Tout se prépare en amont du chantier. Il n'est pas nécessaire de coffrer, ni de ferrailer, ni de bétonner les longrines sur place... Il y a beaucoup moins de matériaux à provisionner, notamment les traverses. Seuls les rails et le matériel de réglage sont nécessaires. Le temps de mise en œuvre est très réduit », insiste Jean-Claude Butstraen, le directeur de projet « tramway » de TSO. Ce procédé optimisé, « bien adapté aux tracés linéaires et homogènes », permet de réaliser jusqu'à 200 m de voies par semaine, soit un gain de temps de 50 à 75 % par rapport à une pose classique. Précaution obligatoire : « Disposer des connecteurs sur la couche de béton de

calage pour assurer une bonne liaison avec le béton de revêtement », souligne Christophe Chevalier, le directeur technique d'Agilis. Avantages complémentaires de cette méthode « économique » : « L'absence de blochets évite le phénomène d'engrènement (encastrement de fragments les uns dans les autres), et la disparition des traverses limite l'apparition de fissures. Cette méthode peut même être utilisée dans des zones circulées et dans les carrefours, si l'on prend la précaution de poser un treillis sous le béton de revêtement pour assurer une bonne répartition des contraintes au niveau des connecteurs », précise le directeur technique d'Agilis.

// Utilisation de dispositifs antivibratiles à proximité des habitations

Dans certains tronçons étroits des séquences 2 (Saint-Ruf-Nord) et 3 (Saint-Ruf-Sud), la plate-forme minéralisée du tramway passe à proximité immédiate des habitations (à moins de 7 mètres linéaires). Le bruit et les vibrations générés par le futur passage des rames excéderaient les 60 décibels (dB) autorisés. Il a donc fallu prévoir une mise en œuvre particulière, combinée ou non avec la pose en jaquette. « Pour limiter les nuisances les plus importantes et les abaisser de 20 dB, un tapis antivibratile d'une épaisseur de 28 mm a été posé entre le béton de propreté et le béton de fondation, expliquent Jean-Claude Butstraen, directeur du projet pour TSO, et Maryan Paistry, directeur de projet pour Edeis. Conçu par l'entreprise Getzner, ce type de tapis résilient contient notamment deux couches de polyuréthane qui absorbent les vibrations. Il remonte jusqu'à la surface du revêtement, le long des longrines, pour assurer une bonne isolation. Pour obtenir

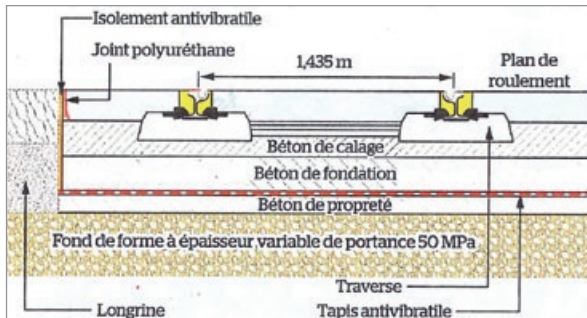


SCHÉMA 6 // Pour obtenir un gain jusqu'à - 20 dB, un tapis antivibratile d'une épaisseur de 28 mm est posé entre le béton de propreté et le béton de fondation. Il remonte jusqu'à la surface du revêtement, le long des longrines, pour assurer une bonne isolation.

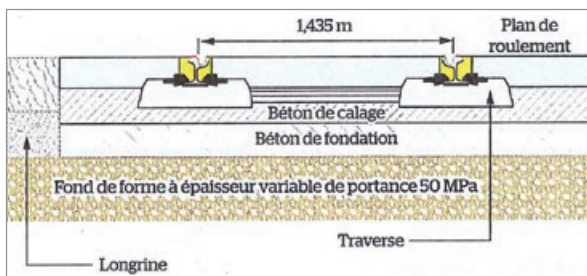


SCHÉMA 7 // Les rails sont maintenus par des traverses biblocs en béton. Celles-ci sont noyées (blochets y compris) dans du béton de calage. Un revêtement recouvre l'ensemble jusqu'au niveau du plan de roulement.



À gauche, les rails posés sur des traverses biblocs en béton, préfabriqués par Sateba. En gros plan, à droite, la partie sous patin de l'habillage des rails en mousse polyuréthane. Ces pièces (semelles élastiques) garniront les rails avant le coulage du béton de calage. D'autres pièces viendront garnir les flancs du rail avant le coulage du béton de revêtement.



À gauche, lavage à haute pression du béton désactivé. À droite, en gros plan, le béton désactivé intégrant deux types de granulats : beige (6/16 SCV à 60 %) et noir (6/16 La Môle à 40 %).

des gains moindres (- 10 dB), un dispositif d'amortissement – tapis – peut être installé directement sous les rails, y compris sur les plates-formes végétalisées. »

// Méthode de pose classique

En dehors des zones végétalisées, celles permettant une pose en jaquette et celles nécessitant la pose d'un dispositif antivibratile, les autres voies sont réalisées selon une méthode classique. Les rails sont maintenus par des traverses biblocs en béton. La société Sateba en a fabriqué 7 000 pour ce projet. Elles sont disposées au-dessus de la couche de fondation, avant d'être noyées (blochets y compris) dans le béton de calage. Un revêtement recouvre l'ensemble jusqu'au niveau du plan de roulement. Dans tous les cas, TSO et Agilis ont préconisé la suppression du « plat métallique ». Pour les carrefours, TSO a privilégié la « pose noyée » avec résine. Après coulage de la plate-forme (béton de fondation, béton de calage, revêtement), une engravure est réalisée pour positionner le rail, qui est noyé dans une résine polyuréthane (type Corkelast). Ce type de pose présente un bon affaiblissement vibratoire (- 10 dB) et permet son installation à une distance des habitations comprise entre 7 et 11 m. Contrainte : « Pour couler la résine, il est impératif d'attendre que le béton soit bien sec (vingt-huit jours) », indique Jean-Claude Butstraen, le directeur du projet pour TSO.

« En tant que MOE, Edeis a joué son rôle dans ce projet et dans ses évolutions (plate-forme verte drainante avec Ilex, réactivité et technicité avec TSO), Je suis fier d'avoir porté personnellement ces sujets », conclut Maryan Paistry, le directeur de projet pour Edeis. ■

TYPES DE BÉTONS ET FORMULATIONS

// Béton de propreté

BPSCC C16/20 S3 X0 Dmax 22,4
BPSCC C16/20 pompable S3 X0 Dmax 22,4

// Béton de propreté

C20/25 G3 et C20/25 G2

// Béton en couche de base

BC3 – C23/30 XF2 S3 Dmax 22,4

// Béton de voie (ou béton de calage)

BC5 – C35/45 XF2 S3 Dmax 22,4

// Béton désactivé (carrefours)

BC5 – C35/45 XF2

Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/16 SCV (beige) (30 %) – 6/16 La Môle (noir) (70 %)

// Béton désactivé (zones circulées)

BC5 – C35/45 XF2

Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/16 SCV (beige) (60 %) – 6/16 La Môle (noir) (40 %)

// Béton désactivé (plates-formes non circulées – petites zones)

C30/37 XF2

Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/16 SCV (beige) (100 %)

// Béton désactivé (zones non circulées)

C30/37 XF2

Sable 0/4 mixte du Rhône – 6/22 SCV (beige) (100 %)

// Béton désactivé (divers)

C25/30 XF2

2/6 SCV (beige) + 0/4 Beaucaire

CARREFOURS GIRATOIRES EN BÉTON

La solution durable pour la gestion des conflits, la fluidité du trafic et la sécurité des usagers

La France est sans doute le pays européen qui compte le plus de giratoires. En effet, la gestion du trafic aux carrefours est de plus en plus souvent organisée par des giratoires prioritaires, plus sûrs et plus fluides. La plupart de ces carrefours giratoires ont été conçus avec des structures classiques à base de matériaux bitumineux. Aussi, en cas de trafic lourd et dense, les revêtements en sont particulièrement sollicités, tant par les efforts résultant de la force centrifuge que par la surcharge apportée par les roues extérieures suite au déport latéral des véhicules. Les conséquences de ces sollicitations sont : un orniérage du revêtement, un glissement de la couche de roulement, un arrachement des granulats en surface, voire un faïençage par défaut de portance de la chaussée au droit du passage des roues extérieures des véhicules.

Au vu de ces constatations, la construction de giratoires en béton a été envisagée à partir de l'année 1984. Deux raisons particulières justifient ce choix, à savoir :

// la suppression du risque de déformation suite aux sollicitations dues aux véhicules lourds et se déplaçant à allure modérée ;

// l'élimination des phénomènes de glissement de la couche de roulement dus aux sollicitations de la force centrifuge. Ces premiers giratoires présentent toujours un très bon comportement. Il s'agit donc d'une technique éprouvée et qui mérite d'être appliquée à plus grande échelle.



Carrefour giratoire d'Airvault, réalisé en 2001, avec une structure composite en béton armé continu sur grave-bitume (BAC/GB3).

≡ L'OFFRE STRUCTURELLE « BÉTON »

L'offre « béton » pour la construction des carrefours giratoires s'est, au fur et à mesure, enrichie de nouvelles structures pour constituer aujourd'hui une offre riche et diversifiée, répondant aux besoins des maîtres d'œuvre. Selon l'importance du trafic des poids lourds, il existe, en effet, plusieurs types de structures en béton possibles qui peuvent se différencier par leurs constitutions et leurs dispositions constructives. Cette offre peut être déclinée en trois grandes familles :

- // structure béton sans fondation ;
- // structure béton avec fondation en matériaux hydrauliques ;
- // structure béton avec fondation en matériaux bitumineux, connue sous le nom de « chaussée composite ».

La diversité de l'offre « béton » permet au concepteur de choisir la structure la mieux adaptée à son projet au regard des contraintes et des exigences à prendre en compte pendant les phases de réalisation, d'exploitation et de fin de vie.

≡ STRUCTURE BÉTON SANS FONDATION

Il s'agit d'un revêtement en béton posé directement sur une plate-forme support dont la portance est supérieure

ou égale à PF2 ($EV2 \geq 50$ MPa). Il peut être :

- // Soit un revêtement en béton non armé et à joints non goujonnés BCi
- // Soit un revêtement en béton non armé et à joints goujonnés BCig
- // Soit un revêtement en béton armé continu BAC

Le béton doit être conforme aux normes NF EN 206/CN, NF EN 13877-1 et NF P 98 170. Il doit donc satisfaire aux deux exigences suivantes :

- // Classe mécanique minimale BC4
- // Classe d'exposition XFi (i variant de 1 à 4 en fonction du niveau du gel et de la fréquence du salage)

Le dimensionnement du revêtement se fait conformément à la norme NF P 98 086. L'interface entre le revêtement en béton et la couche de forme est supposée collée.

Ce type de structure est envisageable pour des voiries à trafic faible ($t < 50$ PL/j) et pour des carrefours giratoires urbains ou périurbains à trafic allant de faible à moyen.

≡ STRUCTURE BÉTON AVEC FONDATION EN MATÉRIAUX HYDRAULIQUES

Il s'agit d'une structure en deux couches, constituée d'un revêtement en béton et d'une couche de fondation en matériaux hydrauliques (béton maigre), posée sur une

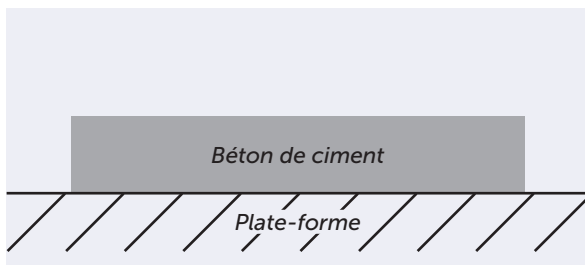


Schéma d'une structure béton sans fondation.

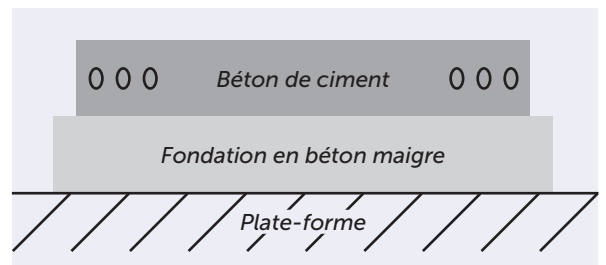


Schéma d'une structure en béton avec fondation en matériaux hydrauliques.



Carrefour giratoire Euro Chanel à Neuville-Lès-Dieppe (RD925). Structure BC5g sur couche de forme, réalisée en 1995.

CE TYPE DE STRUCTURE EST PÉNALISÉ SUR LE PLAN DU DIMENSIONNEMENT ET SUR LE PLAN ÉCONOMIQUE, DU FAIT DE LA NÉCESSITÉ DE DÉSOLIDARISER LES DEUX COUCHES (INTERFACE DÉCOLLÉE)

plate-forme support dont la portance est supérieure ou égale à PF2 (EV2 \geq 50 MPa). Le revêtement en béton peut être :

// Soit un revêtement en béton non armé et à joints non goujonnés BCi

// Soit un revêtement en béton non armé et à joints goujonnés BCig

// Soit un revêtement en béton armé continu BAC

Le béton du revêtement doit être conforme aux normes NF EN 206/CN, NF EN 13877-1 et NF P 98 170 et satisfaire par conséquent aux deux exigences suivantes :

// Classe mécanique minimale BC5

// Classe d'exposition XFi (i variant de 1 à 4 en fonction du niveau du gel et de la fréquence du salage)

Le matériau hydraulique de la couche de fondation doit satisfaire aux exigences suivantes :

// Classe mécanique minimale BC2

// Épaisseur minimale exigée de 12 cm

// Classe d'exposition X0

Le dimensionnement du revêtement se fait conformément à la norme NF P 98 086. L'interface entre le revêtement en

béton et la couche de fondation en matériaux hydrauliques est décollée. Pour éviter que les fissures transversales de retrait de la fondation en béton maigre ne remontent au travers de la couche de roulement en béton, les deux couches doivent être désolidarisées par un traitement de surface adapté (produit de cure, enduit bitumineux sablé, feuille de plastique mince du type « polyane », etc.). Le catalogue 1998 retient l'hypothèse d'un décollement à l'interface béton-fondation, conduisant ainsi – par rapport à l'hypothèse d'un collage – à une majoration des contraintes horizontales générées par le trafic et, donc, à des épaisseurs à prévoir plus importantes.

La structure avec un revêtement en béton non armé et à joints non goujonnés BCi est recommandée pour les carrefours giratoires dont le trafic prévisible se situe entre 50 et 300 PL/j.

Pour des trafics plus importants, allant de 300 à 1 000 PL/jour, soit en trafic cumulé de 2.10^6 à 15.10^6 essieux équivalents NE (pour un CAM de 1), il convient de passer à une structure en béton en dalles goujonnées.

Enfin, pour de très forts trafics de poids lourds, il convient de retenir la structure avec un revêtement en béton armé continu (BAC) sur une fondation en béton maigre BC3, d'épaisseur de 15 cm. Cette structure convient à des trafics de poids lourds allant de 750 à 1 500 PL/jour soit de 10.10^6 à 20.10^6 essieux équivalents NE (pour un CAM



Chaussée composite. Mise en œuvre du béton, à l'aide d'une machine à coffrages glissants, sur une fondation en grave-bitume.

En médaillon : carotte prélevée illustrant un collage parfait entre béton et grave-bitume.

de 1). Au-delà, la construction reste possible, mais cette classe de trafic se rencontre plutôt sur le réseau principal de chaussée unidirectionnelle et nécessite, dans tous les cas, une étude particulière.

STRUCTURE BÉTON AVEC FONDATION EN MATÉRIAUX BITUMINEUX OU CHAUSSÉE COMPOSITE

Il s'agit d'une structure en deux couches, constituée d'un revêtement en béton et d'une couche de fondation en matériaux bitumineux (grave-bitume), posée sur une plate-forme support dont la portance est supérieure ou égale à PF3 ($EV2 \geq 120$ MPa). Le revêtement en béton peut être :

// Soit un revêtement en béton non armé et à joints goujonnés BCig

// Soit un revêtement en béton armé continu BAC

Le béton de revêtement doit être conforme aux normes NF EN 206/CN, NF EN 13877-1 et NF P 98 170 et satisfaire par conséquent aux deux exigences suivantes :

// Classe mécanique minimale BC5

// Classe d'exposition XFi (i variant de 1 à 4 en fonction du niveau du gel et de la fréquence du salage)

La couche de fondation en matériaux bitumineux doit être conforme à la norme NF EN 13 108-1 « enrobés

bitumineux » et satisfaire aux conditions suivantes :

// Classe mécanique minimale GB3

// Compacité de la grave-bitume supérieure à 92 %

// L'épaisseur minimale exigée est de 8 cm. L'épaisseur maximale pour la mise en œuvre en une seule couche est de 14 cm.

Le dimensionnement de cette structure se fait conformément à la norme NF P 98 086. L'interface entre le revêtement en béton et la couche de fondation en matériaux bitumineux est supposée collée pendant les quinze premières années et décollée au-delà.

Ce concept de chaussée repose sur le principe de l'utilisation optimale des qualités mécaniques intrinsèques des matériaux et du collage « naturel » et durable du béton coulé pervibré sur un matériau bitumineux.

L'intérêt de cette structure réside dans le fait qu'elle tire bénéfice des qualités du béton (rigidité, indéformabilité, durabilité) et de celles de la grave-bitume (souplesse, sans retrait, déformabilité) ainsi que de l'adhérence naturelle observée à l'interface des deux matériaux. En effet, le béton est un matériau de module élastique élevé (35 000 MPa), dont la valeur demeure constante dans le temps et surtout insensible à la température et à la durée d'application des charges. Il est idéalement destiné à être placé en couche supérieure de chaussée, avec une durée

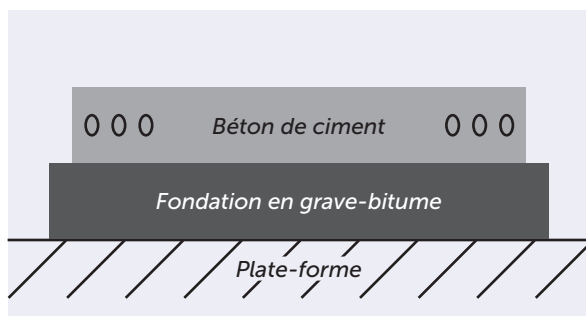


Schéma d'une structure en béton avec fondation en matériaux bitumineux.



Carotte prélevée dans une chaussée composite illustrant parfaitement le collage BAC sur GB3.



Carrefour giratoire de Saint-Pierre-la-Cour. Structure BC5g sur GB3, réalisée en 2005.

**L'INTÉRÊT DE LA
CHAUSSÉE COMPOSITE
RÉSIDE DANS LE FAIT
QU'ELLE TIRE BÉNÉFICE
DES QUALITÉS
DU BÉTON ET DE CELLES
DE LA GRAVE-BITUME
ET DU COLLAGE
« NATUREL »
À LEUR INTERFACE**

de service probablement longue. Le matériau bitumineux est un matériau viscoélastique, dont le module d'élasticité varie dans le temps et en fonction de la température (23 000 MPa à - 10 °C et 1 000 MPa à + 40 °C). En outre, ce matériau est non érodable, sans retrait et souple, admettant des déformations assez fortes sans rupture. Il est donc destiné, en premier lieu, à être placé en couche de fondation.

Le collage à l'interface du revêtement en béton et du matériau bitumineux permet à celui-ci de participer au fonctionnement mécanique de la structure, en assurant le rôle d'une couche dimensionnante. Les efforts de traction par flexion induits par le trafic sont ainsi répartis sur deux couches traitées au lieu d'une seule.

L'innovation de cette structure de chaussée est de profiter de la présence de la couche de fondation traitée au bitume en tant que couche non érodable, pour l'intégrer à la structure et pour la faire travailler comme une couche de base dimensionnante. Nous ne sommes pas en face d'une structure rigide classique du type « couche en béton non collée sur une couche de fondation non érodable », mais d'une structure réellement composite, dont la couche en béton est collée naturellement sur

la couche de fondation en matériaux bitumineux. Cette dernière assure, de ce fait, le rôle d'une couche de fondation non érodable et participe à la prise en charge des contraintes de traction imposées par le trafic.

Ce type de structure est envisageable en ville et en périurbain pour des questions de phasage d'exécution sous circulation, toujours plus aiguës en urbain, car la ville continue de fonctionner pendant la réalisation des travaux.

Pour les sollicitations encore plus fortes des axes stratégiques, le recours au béton de ciment goujonné sur support bitumineux est conseillé, sans que cela reflète une logique d'exclusivité parmi les potentialités du béton : il faut allier, en effet, des conditions d'exécution particulièrement contraignantes – de délai, de phasage, d'exiguïté et d'exploitation – à une performance mécanique durable.

En résumé, à titre indicatif, le tableau résume les préconisations en matière de structures en béton pour les carrefours giratoires en fonction du niveau de trafic estimé à la mise en service. En outre, d'autres critères peuvent être pris en considération par le maître d'œuvre dans le choix de la structure du carrefour giratoire (travail sous circulation, projet urbain, conditions d'exécution contraignantes en matière de délais, etc.).

TRAFIC (PL/JOUR)	STRUCTURES					
	BC5/CdF	BC5/BC3	BC5g/BC3	BC5g/GB3	BAC/BC3	BAC/GB3
0 à 25	X					
26 à 150	X	X				
151 à 750			X	X		
751 à 1500			X	X	X	X

BCi : béton de ciment non goujonné de classe i ; BC5g : béton de ciment goujonné de classe 5 ; GB : grave-bitume ; BAC : béton armé continu ; CdF : couche de forme.

TABLEAU
Choix des structures suivant le trafic (exprimé en TMJA).

POUR EN SAVOIR PLUS

CIMbéton a publié plusieurs documents sur les giratoires, disponibles gratuitement par fax au 01 55 23 01 10, par e-mail à centrinfo@cimbeton.net ou par téléchargement sur le site Internet www.infociments.fr

// Carrefours giratoires. Des solutions durables en béton de ciment. Collection Technique CIMbéton. Référence T56.

// Carrefours giratoires en béton. Tome 1 - Guide de dimensionnement. Collection Technique CIMbéton. Référence T63.

// Carrefours giratoires en béton. Tome 2 - CCTP type - BPU – DE. Collection Technique CIMbéton. Référence T64.

// Revue Routes de CIMbéton. Plusieurs reportages de chantiers sur des carrefours giratoires en béton.

D'autre part, l'IDRRIM a publié, en 2015, un guide technique sur les carrefours giratoires, téléchargeable soit sur le site Internet de l'IDRRIM www.idrrim.com, soit sur le site du Specbea www.specbea.com

// Guide technique. Carrefours giratoires en béton. IDRRIM, 2015.

Giratoire de Pérouges (Ain) : une chaussée composite pour résister aux trafics denses

Cette chaussée est constituée d'un revêtement en béton à joints goujonnés et d'une couche de fondation en grave-bitume. Elle allie avec efficacité les qualités des deux matériaux. Un choix qui s'inspire de celui du Puy-de-Dôme, qui avait déjà adopté le béton pour réaliser le giratoire de Billom en décembre 2016.



Le giratoire de Pérouges, sur la RD65b, lors du bétonnage. La société Agilis a utilisé une règle vibrante pour assurer la mise en place du béton.

PRINCIPAUX INTERVENANTS



Maîtrise d'ouvrage

Département de l'Ain

Maîtrise d'œuvre

Département de l'Ain

Entreprises

Eurovia, Famy

Mise en œuvre du béton

Agilis

Fournisseur du béton

Béton Vicat (centrale de Pérouges)

Fournisseur du ciment

Vicat (usine de Montalieu)

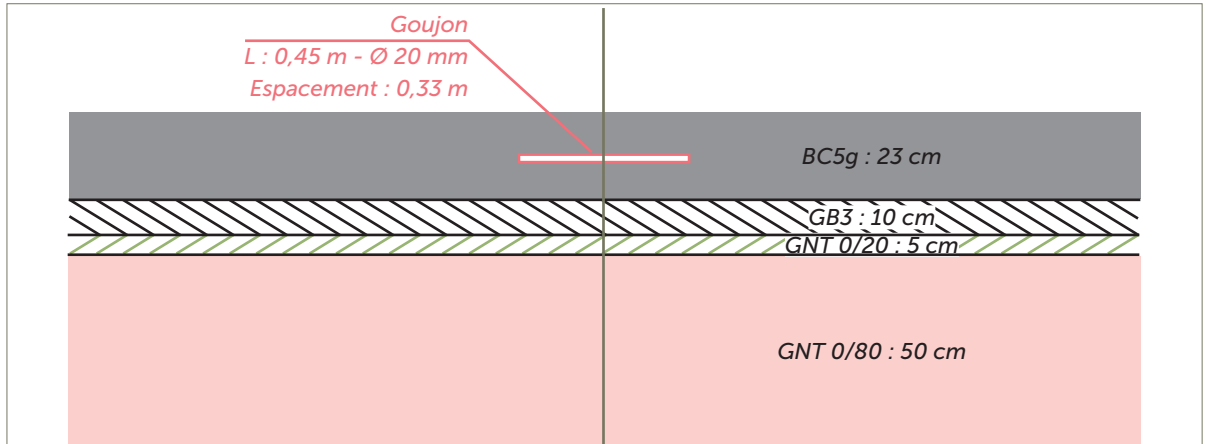
Située dans la plaine de l'Ain, à proximité de la région naturelle et historique de la Dombes, la commune de Pérouges est connue pour sa cité médiévale. Cet ancien bourg de tisserands, entouré de remparts, est classé parmi les plus beaux villages de France. La route départementale RD65b traverse le territoire de la commune, permettant, au sud, de rallier l'autoroute A42.

À la frontière méridionale du territoire communal, cet axe permet également d'accéder à une carrière exploitée par Vicat, d'une part, et à un terrain appartenant également à Vicat, d'autre part.

Cette configuration particulière génère d'ores et déjà un important trafic de poids lourds, promis à se développer à l'avenir. Il soumet la chaussée, dont le revêtement était jusqu'alors en enrobé, à d'importantes sollicitations.

UNE SOLUTION MÛREMENT RÉFLÉCHIE

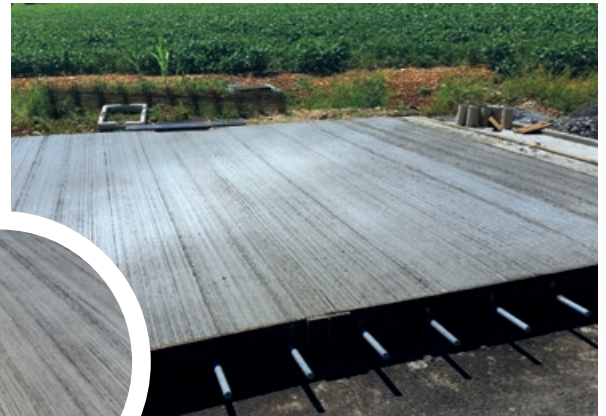
« La décision a été prise, sur cette route existante, de créer un giratoire pour améliorer la sécurité des usagers et pour canaliser les flux de véhicules. Initialement imaginé en enrobé, il a finalement été conçu et réalisé en béton fondé sur grave-bitume, en s'inspirant d'une précédente réalisation très réussie : le giratoire de Billom, dans le Puy-de-Dôme, réalisé



Profil en travers de la chaussée composite du giratoire.



Après mise en place, le béton a été balayé pour l'adhérence et la tenue de route des véhicules.



Les goujons métalliques d'une longueur de 0,45 m et d'un diamètre de 30 mm.

en décembre 2016 », commente Julien Saint-Martin, ingénieur Travaux chez Agilis (cf. Routes n°140, juin 2017, p. 3-5). Même problématique, même solution. En cas de trafic lourd et intense, le déport latéral des charges des véhicules et la force centrifuge exercent des sollicitations importantes et néfastes sur les revêtements des giratoires. Les conséquences de ces sollicitations sont, selon les cas :

- // l'ornièrage des revêtements bitumineux ;
- // le glissement de la couche de roulement ;
- // l'arrachement des granulats en surface ;
- // et, éventuellement, le faièçage par défaut de portance de la chaussée au droit du passage des roues extérieures des véhicules.

Le giratoire en béton constitue une réponse très pertinente à ces pathologies. Le département de l'Ain étant à la fois maître d'ouvrage et maître d'œuvre du projet, ses responsables techniques se sont rendus à Billom pour constater l'intérêt de la solution offerte par le giratoire en béton et le bon comportement de l'ouvrage. La visite ayant été concluante, un appel d'offres public a été lancé et remporté par Agilis.

DES TRAVAUX RÉALISÉS SOUS CIRCULATION

D'un rayon de 20 ml, la superficie totale de l'ouvrage est de 2 049 m² en incluant les bretelles d'entrée et de sortie, soit deux fois celle du giratoire en béton de Billom. Ce nouveau projet comportait toutefois une contrainte particulière : l'aménagement du carrefour devait impérativement se faire sous circulation, pendant l'été. Les travaux ont donc été réalisés par demi-chaussée sous alternat de circulation.

Cette modalité a été voulue par le Département pour limiter la gêne occasionnée aux usagers.

Pour en tenir compte, la mise en œuvre du béton a donc été réalisée en deux temps :

// Première phase de coulage : du 13 au 19 juillet dernier sur une surface de 988 m².

// Une seconde phase du 7 au 13 août sur 1 061 m².

Structure du giratoire (du haut vers le bas) :

// 23 cm de béton de ciment de classe 5 à joints goujonnés (BC5g) en couche de roulement.

// 10 cm de grave-bitume GB3 pour la couche de fondation.

Cette structure a été mise en œuvre sur une plate-forme

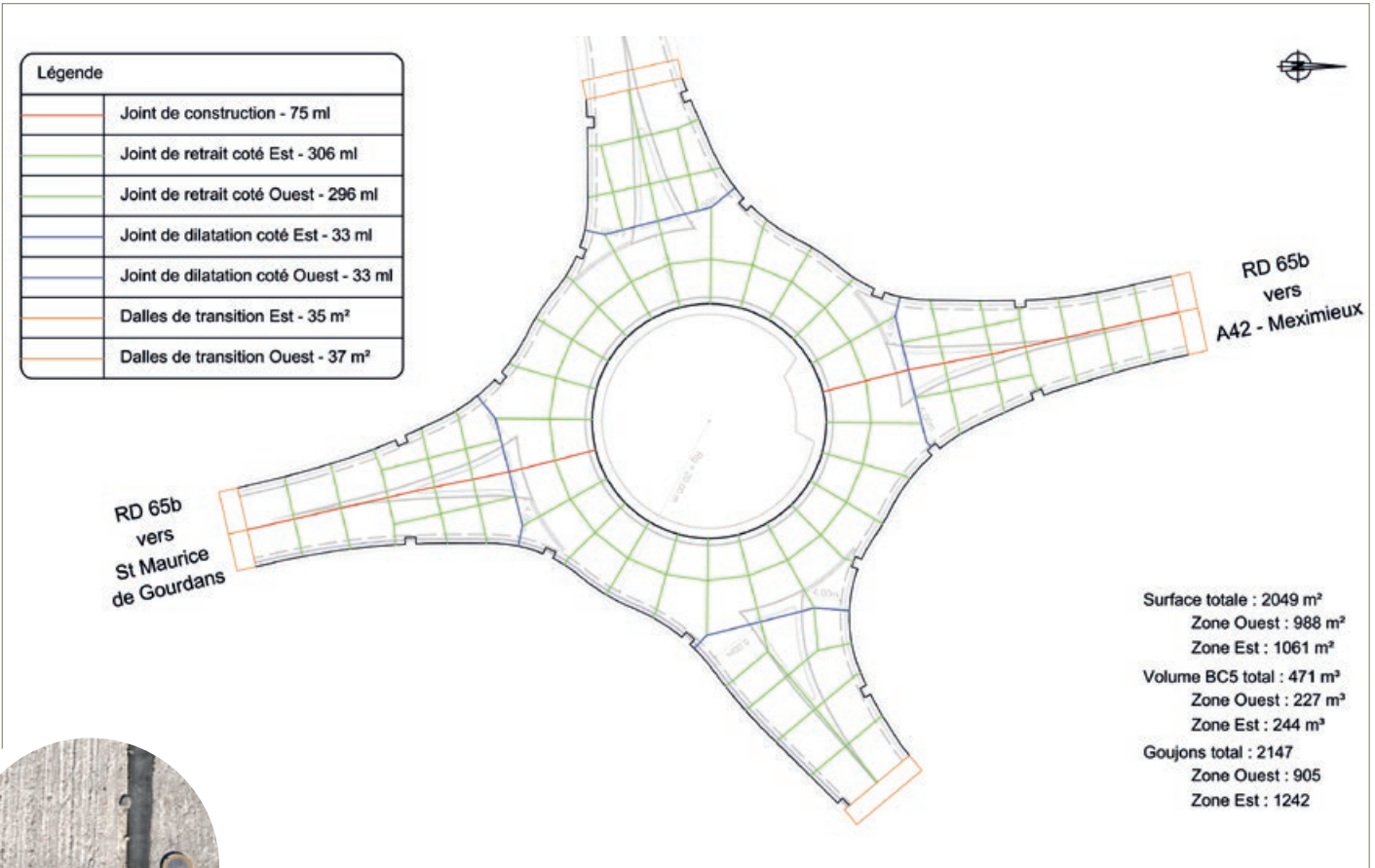


Schéma de calepinage
du carrefour de Pérouges.

En médaillon : les joints de retrait
et le béton avec sa finition balayée.

support dont le niveau de portance est PF2qs (80 MPa), obtenue grâce à 50 cm de GNT 0/80 surmontées de 5 cm de GNT 0/20.

CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON ET DES GOUJONS

L'ouvrage a été réalisé avec un béton livré par la centrale Béton Vicat de Pérouges (01) et formulé avec du ciment Vicat.

Caractéristiques du béton : BC5 (2,7 MPa) XF4 D3 S3.

Au total, l'ouvrage a nécessité la mise en œuvre de 471 m³ de BC5g. Il intègre 2 147 goujons, dont la fonction est « d'éviter le pianotage des dalles, mais ne jouant pas le rôle d'armatures au sens du béton armé », souligne Julien Saint-Martin. Ces goujons métalliques (longueur : 0,45 m, diamètre : 30 mm) sont placés à mi-hauteur des dalles et à cheval sur les joints transversaux.

MISE EN ŒUVRE

Transport

Pour le délai de mise en œuvre, les toupies avaient un délai maximal de quinze minutes pour arriver sur le chantier.

Bétonnage

Autre particularité : « Côté ouest, nous avons dû travailler sous une ligne à haute tension de 50 kV, ce qui nous a obligés à réaliser nos travaux avec une pompe sans flèche et un dispositif de pompage à pistons. L'avantage, c'est que cette pompe avait un gabarit équivalent à un tout petit poids lourd. Nous avons utilisé une formule de béton pompable (S3), dont la prise est plus longue, mais dont le temps de séchage reste de vingt-huit jours. »

Vibration

L'équipe d'Agilis a utilisé une règle vibrante pour assurer l'aspect de surface. La règle prenait appui sur les planches latérales de coffrage et était manipulée par deux treuils. But recherché : densifier le béton.

Talochage

Le béton a été taloché pour être fermé.

Balayage

Après avoir été taloché, le béton a été balayé afin d'augmenter l'adhérence en surface pour les véhicules. « Le balayage du béton permet d'obtenir une meilleure rugosité et lui donne un bon aspect final », rappelle Julien Saint-Martin.

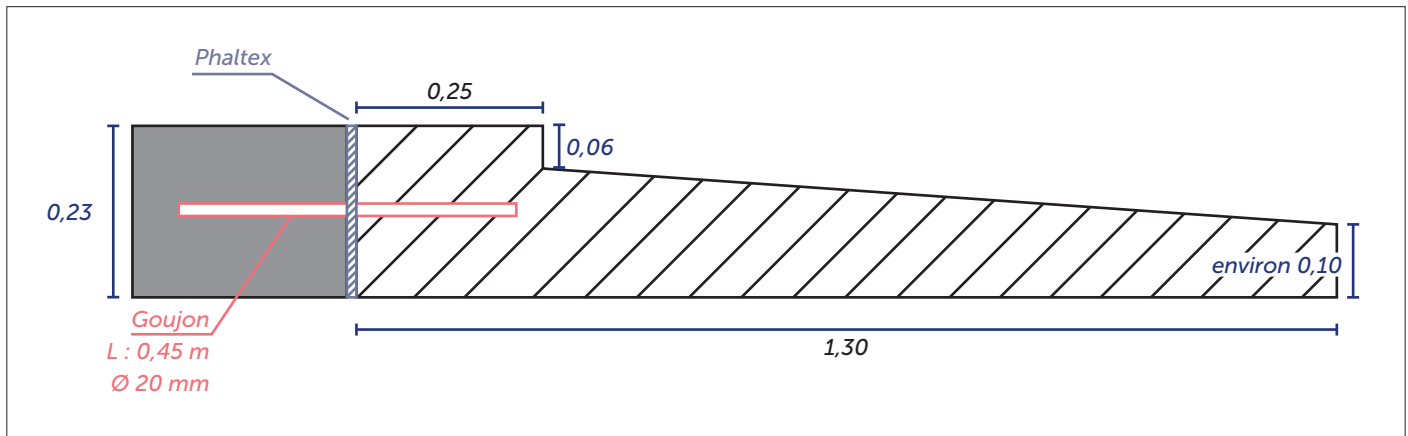


Schéma d'une dalle de transition.



Une dalle de transition avant et après la mise en œuvre de l'enrobé.

Cure

Afin d'éviter que le béton ne perde son eau et pour qu'il fasse sa prise dans les meilleures conditions, le béton a été recouvert d'un produit de cure.

Joints

Les joints de retrait ont été réalisés quelques heures après la mise en œuvre, en sciant la dalle sur un tiers de son épaisseur, conformément au schéma de calepinage (ci-dessus).

Scellement des joints

L'étanchéité des joints a été réalisée vingt-huit jours après le coulage, afin de prévenir les infiltrations. L'ouvrage, que le magazine *Routes* a pu visiter courant septembre, comporte des joints de construction, des joints de retrait et des joints de dilatation :

// Les joints de construction (75 ml au total) ont une profondeur de 4 cm pour 1 cm de largeur et ont été dotés d'un fond de joint et remplis d'un produit de garnissage.

// Les joints de retrait (306 ml au total) ont une largeur de 1 cm sur 4 cm de profondeur. Il s'agit d'un présciage afin de pouvoir réaliser une étanchéité garante de la pérennité de la structure. Ils ont été dotés d'un fond de

joint et d'un produit de garnissage.

// Les joints de dilatation (33 ml au total) ont été réalisés à proximité immédiate de l'anneau central, à la jonction avec les entrées et les sorties en béton.

ENTRÉES-SORTIES EN BÉTON ET DALLES DE TRANSITION

Alors qu'à Billom seul l'anneau du giratoire avait été réalisé en béton, à Pérouges, les branches d'entrée et de sortie du giratoire sont également en béton. Ces branches cristallisent les zones de freinage et de réaccélération pour les poids lourds. Dans ces aires soumises à de fortes contraintes, le béton répond de manière optimale aux contraintes subies. Les entrées et les sorties s'achèvent par une dalle de transition également en béton goujonné. D'une longueur totale de 1,30 m, l'épaisseur de celle-ci décroît de 23 à 10 cm pour former un talon. Destinée à être recouverte par de l'enrobé comme le prolongement de la chaussée, cette dalle assure un raccordement robuste, qui transfère progressivement les efforts exercés par les PL. Cela réduit ainsi les risques de déformation de l'enrobé en limite de béton, qui conduirait à l'apparition d'une marche et d'épaufrures. ■

RD36a : une rénovation express, « verte » et planifiée

Au sud de la Seine-et-Marne, la RD36a est un axe essentiel pour la vie locale (agriculture, transports scolaires, transit de poids lourds). Plutôt que d'effectuer une réparation partielle, comment rénover complètement cette voie, le plus rapidement possible, en limitant les nuisances et en respectant l'environnement ? Réponse : grâce au retraitement à froid au liant hydraulique. Démonstration.



La RD36a en cours de retraitement à froid au liant hydraulique routier, fin juin.

A une vingtaine de kilomètres au sud de Fontainebleau, la petite commune agricole d'Amponville se situe dans le parc naturel régional du Gâtinais français, en Seine-et-Marne. Elle est desservie par la RD36a, que l'on rejoint par la route de Larchant, vers l'est. En dépit de ses apparences modestes, c'est un axe de circulation important aux niveaux local et départemental. Sa rénovation était devenue nécessaire, mais elle ne pouvait être réalisée que selon un planning serré et minutieusement concerté.

« La RD36a accueille un trafic de 30 à 50 poids lourds par jour (classe T4-T3), explique Gérard Gaisnon, adjoint au service Études et travaux, de la direction des routes du conseil départemental de Seine-et-Marne. Elle est également empruntée par les transports scolaires des communes avoisinantes. Elle a surtout la particularité d'être une voie dédiée aux convois exceptionnels. » Il est en effet d'usage qu'Électricité de France (EDF) et sa filiale Enedis transportent sur cet itinéraire certaines pièces (qui peuvent peser entre 500 et 600 t), destinées à la maintenance des centrales nucléaires situées sur les rives de la Loire. « Nous enregistrons également des passages de convois liés à l'exploitation de l'énergie éolienne. »

« Lors des poids lourds se croisaient, poursuit Gérard Gaisnon, il y avait des détériorations en rives, les camions passant sur les accotements et provoquant des effondrements. » À l'étude depuis « trois ou quatre ans », une opération de rénovation est finalement décidée début 2018. En plus du remplacement du revêtement, la solution de base proposée par la direction des routes

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Conseil départemental de Seine-et-Marne

Maîtrise d'œuvre

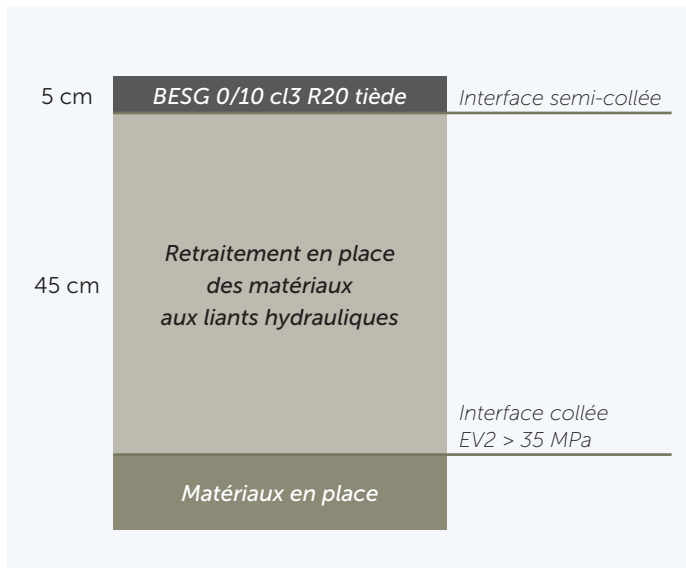
Conseil départemental de Seine-et-Marne

Fournisseur du liant hydraulique routier

LafargeHolcim (Rolac Optimum de Saint-Pierre-la-Cour)

Entreprise

Routes et chantiers modernes (RCM)



La variante proposée par RCM.

de Seine-et-Marne consiste en un élargissement (passage d'une largeur de 5,80 à 6,20 m avec une reprise d'1,50 m de chaque côté) et en un renforcement de la chaussée par réfection des poutres de rives sur une longueur d'un peu moins de 3 km. Réalisable par demi-chaussée, l'opération implique une mise en décharge des anciens matériaux.

VARIANTE : RETRAITEMENT EN PLACE AU LHR

Le Département pouvant envisager de fermer la voie à la circulation pendant les travaux, la société Routes et chantiers modernes (RCM), entreprise familiale originaire de l'Yonne, propose une variante. Celle-ci consiste à effectuer un retraitement de l'ensemble de la chaussée en place au liant hydraulique routier (LHR) sur la totalité du tronçon concerné. « Tout en l'élargissant à 6,20 m, comme le souhaitait le Département, nous avons proposé de reprendre l'ensemble de la voie sur une profondeur de 45 cm et non pas seulement les rives, ce qui a pour avantage d'homogénéiser la chaussée », détaille Patrice Quilloux, directeur général de la société RCM.

Pour valider la faisabilité du projet, RCM s'appuie sur une première série de sondages contenus dans l'appel d'offres. D'autres échantillonnages et des terrassements viendront ensuite les affiner. « L'ancienne chaussée à retraiter sur 45 cm était constituée de 7 cm d'enrobés, d'un enduit, puis de 29 cm de grave calcaire 0/63 et de 9 cm de limon sableux, avec une portance du support supérieure à 35 MPa, compatible avec le retraitement envisagé », indique Yoann Ausanneau, le responsable de laboratoire de RCM. Par ailleurs, la voie relativement linéaire n'abrite pas de réseau et ne comporte pas de dispositif (regards, bouches à clef, etc.) pouvant gêner l'intervention d'un malaxeur.

LES AVANTAGES DU RETRAITEMENT EN PLACE AU LHR

Mis en avant par l'entreprise, les avantages de cette variante sont nombreux :

// **Rapidité d'exécution.** Les usagers, avec lesquels les dates de fermeture à la circulation ont été concertées, subiront un minimum

DU NEUF AVEC DE L'ANCIEN

Le retraitement en place à froid aux liants hydrauliques permet de reconstruire une chaussée neuve en considérant la structure existante comme gisement de matériaux. Outre sa rapidité d'exécution, ce procédé permet de sauvegarder l'environnement (pas de transport ni de mise en décharge), en valorisant le patrimoine routier et en obtenant une meilleure pérennité que celle d'une solution classique.



À gauche, l'épandeur à liant de RCM. À droite, le malaxeur Wirtgen 2400 intervenant sur une épaisseur de 45 cm de profondeur.

de gêne. « Un chantier dit "classique" prendrait deux mois. Avec le retraitement en place, nous réduisons environ par deux la durée des travaux », se réjouit Patrice Quilloux.

// **Respect de l'environnement : le chantier ne génère aucun déblai.** Ils ne sont pas mis en décharge, en occasionnant des coûts. Ils ne sont pas évacués par camion en provoquant des nuisances. « Limiter le nombre de déplacements, étant donné que la quasi-totalité des matériaux est sur le site, réduit l'empreinte carbone du chantier », relève Dominique Pernier, chef du service Patrimoine au conseil départemental, en charge de la maîtrise d'œuvre.

// **Préservation des ressources.** Le chantier nécessite très peu d'apports en nouveaux matériaux. Seulement 340 m³ sont nécessaires pour renforcer certaines zones. « 90 % de nos besoins se trouvent déjà sur le site », indique Dominique Pernier.

// **Mise hors gel de la chaussée.** Elle sera circulaire par les poids lourds en hiver, sans barrières de dégel, avantage important pour le trafic commercial.

// **Compétitivité.** Le chantier revient 25 à 30 % moins cher qu'un chantier dit « classique ».

Le Département opte pour cette variante, considérée comme la plus « performante ». « Pour le maître d'ouvrage, le choix du retraitement en place au liant hydraulique pour ce chantier répond à différents critères : le prix, la valeur technique, le délai de remise en service, explique Gérard Gaisnon. Cette offre s'est notamment révélée très intéressante par l'économie financière et par la démarche environnementale. »

CINQ SEMAINES DE TRAVAUX

Les travaux débutent le 18 juin. « Trois communes sont impactées pour les transports scolaires : La Chapelle-la-Reine, Amponville, Larchant. Par ailleurs, la partie de la RD36a à retraiter est entourée de champs, notamment de blé. Nous devons donc réaliser le chantier en cinq semaines, entre la fin de l'année scolaire et le début des moissons, pour perturber le moins possible les uns et les autres », expliquent tour à tour les responsables de RCM,



À droite, contrôle de la régularité de l'épandage et de la quantité des liants réalisé par la méthode dite « à la bêche ». À gauche, préparation d'un test de compacité. En médaillon, résultat à l'issue du malaxage : le liant clair a été finement mélangé avec le matériau de l'ancienne chaussée.



L'atelier de compactage composé d'un compacteur à pneumatiques Bomag BW 24 RH et d'un rouleau V5.

notamment Yannick Bureau, le chef de chantier, et Pierre Stoquert, le responsable d'exploitation. Patrice Quilloux, le directeur général de RCM, et les représentants du Département résumant : « Il a fallu tout calculer au plus juste pour respecter toutes ces contraintes. Et tout devra être achevé, pose des enrobés y comprise, pour le 16 juillet. »

Le magazine Routes se rend sur le chantier lors des opérations de retraitement, qui se déroulent du 27 juin au 2 juillet. Ce jour-là, sur ce tronçon de la RD36a qui chemine dans un paysage légèrement vallonné, une dizaine d'engins sont en action.

L'étape préalable au retraitement, la fragmentation, consistant à transformer le corps compact de la chaussée en un matériau granulaire, est achevée. « La surface a été rabotée, générant environ 14 000 m² de fraisat d'enrobé, commente encore le directeur général de RCM. Il va être reconditionné avec du liant hydraulique pour élargir la voie et servir de couche de base à la nouvelle route. Le traitement s'effectue sur une largeur de 7,20 m, ce qui permet d'augmenter la largeur totale de la chaussée jusqu'à 6,20 m et de stabiliser aussi les bas-côtés. »

ROLAC OPTIMUM DE SAINT-PIERRE-LA-COUR DOSÉ À 3,5 %, SOIT À 34 KG/M²

Yoann Ausanneau, le responsable de laboratoire de RCM, poursuit : « Nos sondages carottés et nos échantillonnages, associés à l'utilisation du logiciel Alizé LCPC pour le dimensionnement des structures de chaussée, nous ont permis de proposer un retraitement parfaitement adapté à la RD36a et aux conditions du chantier. Le liant hydraulique choisi est du Rolac Optimum de Saint-Pierre-la-Cour, dosé à 3,5 %, soit à 34 kg/m². C'est un liant à durcissement rapide, ce qui nous permet de réaliser la couche de roulement rapidement, dès lors que nous aurons obtenu les déflexions recherchées. »

De son côté, Jean-Christophe Redon, directeur adjoint des ventes Routes chez Lafarge Ciments Distribution, précise : « Le Rolac Optimum de Saint-Pierre-la-Cour est un liant hydraulique polyvalent qui apporte une réponse optimale à la problématique

rencontrée sur la RD36a. Ses fortes capacités d'activation permettent d'accélérer le développement des résistances mécaniques pour une remise en circulation rapide. Son dosage favorise une optimisation du couple performance technique et coût. »

550 TONNES DE LIANTS

Pendant la période du retraitement, le liant en provenance de l'usine Lafarge de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne) est livré sur le chantier à raison de quatre porteurs de 30 t par matinée, un par heure, entre 7 et 10 heures. « Au total, nous en utiliserons environ 550 t pour près de 3 000 mètres linaires retraités. »

La matinée avance sur la RD36a, et la dernière livraison de liant s'achève. Point particulièrement surveillé : la teneur en eau. « Elle doit impérativement se situer entre 7 et 8 %. Le temps étant très ensoleillé, un tracteur avec une citerne de 10 000 l, doté d'un enfouisseur, s'est chargé d'humidifier la voie à raison de 30 l par mètre cube avant le passage de l'atelier de traitement. » Après épandage du liant, le malaxeur – un Wirtgen 2400 capable de travailler jusqu'à 55 cm de profondeur – fait son office. Derrière, une niveleuse à guidage numérique entre en action pour régler le résultat du malaxage, bientôt suivie de l'atelier de compactage. « Le rouleau V5 devra effectuer huit passes, suivi du compacteur à pneus », précise-t-on. Entre-temps, les autres paramètres importants (dosage en liant au mètre carré, compactage) sont contrôlés et permettent de vérifier la qualité du retraitement. Enfin, pour parachever la nouvelle voie, vient l'épandage d'une émulsion gravillonnée, en attendant de recevoir 5 cm de BBSG tiède 0/10 cl3 avec 20 % d'agrégats d'enrobés, dégageant moins de chaleur et à l'empreinte carbone réduite. Les enrobés sont mis en œuvre, comme prévu, les 12, 13 et 16 juillet.

« Les avantages du retraitement en place sont multiples. C'est un procédé que nous aimerions développer, lorsque c'est possible, conclut Dominique Pernier, le chef du service Patrimoine au conseil départemental. Vu l'ensemble des intérêts que proposent les chantiers 100 % recyclés, il serait dommage de s'en priver ! » La RD36a a été rouverte à la circulation le lundi 30 juillet. ■



// REMUE-MÉNINGES

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

PROBLÈME N°145

Un chapelet spécial

Il est composé de 250 perles en bois, percées en leur centre et au travers desquelles passe un cordon dont les extrémités sont reliées par un nœud. Ces perles mobiles, pouvant librement glisser le long du fil, portent chacune un nombre strictement inférieur à 100. Le chapelet a été conçu de telle sorte que la somme des nombres inscrits sur quatre perles consécutives est égale toujours à 100, quelle que soit leur position sur le chapelet. L'une des perles, occupant la position « x », porte le nombre 16. Quel nombre porte la perle occupant la position « x + 3 » ?

SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES DE ROUTES N°144

RAPPEL DU PROBLÈME POSÉ

Une solution astucieuse !

Un vieux berger a laissé le testament suivant : « À ma mort, je lègue la moitié de mes moutons à mon fils aîné. Ma fille recevra le tiers de mes moutons. Quant à mon dernier, il bénéficiera du neuvième de mes moutons. » Lorsqu'il décéda, le berger possédait 17 moutons. Ils avaient beau réfléchir, ses trois enfants ne voyaient pas comment se partager les moutons en respectant scrupuleusement la volonté de leur père. La solution est venue d'un vieux berger, ami de leur père, qui trouva la solution astucieuse. Que proposa-t-il ?

SOLUTION

Le vieux berger, ami du père, leur prêta 1 mouton. Le nombre de moutons à partager, conformément à la volonté de leur père, devint :

$17 + 1 = 18$ moutons.

Le fils aîné recevait : $18/2 = 9$ moutons.

La fille recevait : $18/3 = 6$ moutons.

Le dernier fils recevait : $18/9 = 2$ moutons.

À eux trois, ils totalisaient : $9 + 6 + 2 = 17$ moutons.

Ils pouvaient ainsi rendre le 18^e mouton au vieil ami de leur père après le partage !



// AGENDA 2018

CONFÉRENCES TECHNIQUES POUR LA VALORISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE À FROID AUX LIANTS HYDRAULIQUES

Angers : 9 octobre • Paris-Nanterre : 22 novembre

Invitations disponibles sur simple demande auprès de CIMbéton ou sur le site lhr.cimbeton.net



// SUR LA TOILE

UN SITE ENTIÈREMENT DÉDIÉ AUX LHR

Découvrez le nouveau site Internet dédié aux techniques de valorisation des matériaux en place à froid aux liants hydrauliques routiers (LHR) :

lhr.cimbeton.net

LOGICIEL DE COMPARAISON ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE CIMBÉTON

Le logiciel de comparaison économique et environnementale vient d'être enrichi d'un nouveau module : la technique de traitement des sols en assises de chaussées vs les techniques à base de matériaux traditionnels. Ce logiciel, libre de droits, est accessible via le site Internet dédié aux techniques de valorisation des matériaux en place à froid aux liants hydrauliques routiers (LHR) : lhr.cimbeton.net

LA PLATE-FORME DIGITALE BYBÉTON

Visitez le site Internet bybeton.fr



// VIENT DE PARAÎTRE

GUIDE « Lutter contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines. Les revêtements drainants en béton »

Ce guide se propose de répondre aux quatre questions : comment lutter contre l'imperméabilisation des sols, concevoir et dimensionner des ouvrages adaptés, réaliser puis contrôler et, enfin, entretenir les structures. Pour lutter efficacement contre l'imperméabilisation des sols, ce guide fournit la riche palette de solutions disponibles et, en particulier, celles fondées sur l'infiltration et le stockage et donne un inventaire détaillé de l'offre béton (béton coulé en place et produits préfabriqués). Pour concevoir et dimensionner, le guide traite des différents concepts utilisés et des méthodes de dimensionnement, illustrées de plusieurs études de cas. Pour réaliser, il précise les techniques de mise en œuvre, les règles de l'art à observer et les contrôles en vue d'assurer la qualité finale de l'aménagement. Enfin, pour assurer le bon fonctionnement de ces solutions dans le temps, ce guide rappelle aux maîtres d'ouvrage et aux exploitants la nécessité de mener une politique de suivi et d'entretien de ces ouvrages, s'articulant autour de la limitation du colmatage, de la gestion des polluants, de la gestion hivernale et des réparations. Ce guide, rédigé par un groupe de travail représentant toute la filière béton, est édité dans la collection technique CIMbéton. Il est **disponible sur simple demande**.

