

ROUTES

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



CHANTIER

Metz (Moselle) :
la plate-forme en béton
du TCSP METTIS associe
circulations douces et
espace urbain

CHANTIER

Verdun (Meuse) : renforcer
et sécuriser la RD 603
grâce au retraitement
au LHR

RÉFÉRENCE

Du béton poli blanc pour le terminal
T1 de l'aéroport Roissy-Charles de
Gaulle

2 TRIBUNE LIBRE

3-6 RÉFÉRENCE



Hérault

Tram de Montpellier : les bétons désactivés et bouchardés, matériaux incontournables des lignes 3 et 4 du tramway

7-9 RÉFÉRENCE



Roissy-CDG

Du béton poli blanc pour le terminal T1 de l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle

10-13 CHANTIER



Moselle

Metz : la plate-forme intégralement en béton du TCSP METTIS associe circulations douces et espace urbain

14-17 CHANTIER



Meuse

Verdun : renforcer et sécuriser la RD 603 grâce au retraitement au liant hydraulique routier

18-19 CHANTIER



Aube

Du béton pour la route d'accès à la carrière de Bayel, ou comment mettre à mal des idées reçues

20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : pour valoriser les principaux espaces piétons bordant le terminal T1 de l'aéroport Roissy-CDG, un béton très clair habille l'esplanade et les trottoirs.

L'IDRRIM s'ouvre à vous !

Trois ans après sa création, l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM) s'est peu à peu installé dans le paysage français des infrastructures de mobilité, devenant l'institut partenarial public-privé de référence dans le domaine.

Sa mission consiste à répondre de manière homogène à des problématiques techniques et stratégiques partagées, liées à la conception mais aussi à la gestion d'infrastructures de transport et d'espaces publics de mobilité.

Pour l'accomplir, l'IDRRIM s'appuie sur l'expertise de ses membres et la mobilisation permanente de plus de 200 personnes au sein de ses 9 comités opérationnels (Avis, Méthodologie, Qualification-Certification, Ingénierie, Prospective, Coordination-Coopération, Rue et Espace urbain, Formation-Recherche-Innovation, Génie civil) et ses 14 groupes de travail nationaux qui permettent de produire, de manière partenariale, près de 20 publications par an.

Par exemple, dans le domaine du béton, le Comité «Méthodologie» va labelliser et publier le guide «Giratoires en béton» proposé par le SPECBEA, pour une utilisation optimale de toutes les techniques routières.

Cette dynamique de travail se poursuit et s'amplifie, comme en témoigne la création récente d'un 9^e comité opérationnel : le comité « Génie civil ». Créé à la demande de plusieurs membres de l'IDRRIM qui souhaitaient que l'Institut intègre dans ses travaux les ouvrages de génie civil, ce comité concentrera ses travaux sur les problématiques liées à la gestion, l'optimisation de l'entretien et la réparation des ouvrages d'art. Figurent ainsi au programme de sa feuille de route 2013-2014 les actions prioritaires suivantes :

- la rédaction d'un cahier des charges pour la commande d'une inspection d'ouvrage d'art,
- la rédaction d'un cahier des charges pour la définition d'une «qualification minimale» d'inspecteurs d'ouvrages d'art,
- l'élaboration d'une méthode pour un recensement macro des patrimoines d'ouvrages y compris communaux,
- la labellisation IDRRIM du guide du STRRES (Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et de renforcement des structures) sur la réparation des ouvrages d'art en maçonnerie et la rédaction d'une note d'accompagnement pour son utilisation pratique.

La production de ces outils et référentiels communs est essentielle, mais ne vaut que si elle est partagée et utilisée par l'ensemble des acteurs. Il s'agit là d'une priorité pour l'IDRRIM et ses membres : diffuser ce corpus technique de référence au plus grand nombre d'acteurs des infrastructures et espaces urbains, être présent au cœur de chaque métier et au plus près des territoires.

L'ouverture de l'IDRRIM aux adhésions individuelles représente à cet égard une nouvelle étape. En effet, depuis mars 2013, chaque collectivité, entreprise, société d'ingénierie et ingénieur qui le souhaite peut désormais adhérer à l'IDRRIM à titre individuel, afin de contribuer aux actions de l'Institut et de bénéficier de ses travaux.

L'IDRRIM s'ouvre à vous ! N'hésitez pas à rejoindre ses travaux, à consulter les nombreuses publications et informations disponibles sur son site Internet (www.idrrim.com), et à vous abonner à sa lettre d'information mensuelle.



Marc Tassone
Directeur général de l'IDRRIM



CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense

92974 Paris-la-Défense cedex

Tél. : 0155230100

Fax : 0155230110

Email : centrinfo@cimbeton.net

Site Internet : www.infociments.fr

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

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la rubrique *Remue-ménages* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Joseph Abdo, Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Levron, Jacques Mandorla - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr - Direction artistique : Arnaud Gautelier - Maquette : soa-crea.fr - Dépôt légal : 2^{ème} trimestre 2013 - ISSN 1161 - 2053 1994



Montpellier (Hérault) : la ligne 3 du tramway relie le nord au sud, en traversant notamment le nouveau quartier de la mairie, édifice construit par Jean Nouvel.

Tram de Montpellier : les bétons désactivés et bouchardés, matériaux incontournables des lignes 3 et 4

À Montpellier, le tramway étend son réseau depuis une décennie. Il a transformé la ville de fond en comble et le béton y a joué un rôle primordial. Deux nouvelles lignes ont été ouvertes en 2012 : la ligne 3 dessert l'agglomération de Montpellier du nord au sud sur 19,8 km et la ligne 4 fait le tour du centre-ville sur plus de 8 km.

En dix ans, Montpellier a profondément changé. En effet, parmi les grands projets urbains structurants de la fin du XX^e siècle, le tramway est probablement le plus marquant.

L'arrivée du tramway dans Montpellier est un juste retour de l'histoire puisque la cité a compté cinq lignes de tramway électriques, pour 12 kilomètres desservis, de la fin du XIX^e siècle jusqu'en 1949 lorsque le bus prit le dessus.

La première ligne du XXI^e siècle,

fortement sujette à discussions, fut mise en service en l'an 2000 et la seconde en 2006. Les lignes 3 et 4, ouvertes en 2012, rapprochent un peu plus le centre-ville de la mer et des plages.

La ligne 3 relie Juvignac à Pérols, en passant par Montpellier et Lattes, fait 19,8 km de long et comporte 27 stations. Elle est empruntée par 19 rames Citadis 402 Alstom. De son côté, la ligne 4, appelée « La Circulade », relie la place Saint-Denis à la place Albert 1^{er} sur 8,2 km et 17 stations. Elle utilise 10 rames Citadis 302 Alstom.

Une vraie révolution sociologique

« Le concept du réseau, c'est bien le maire, Georges Frêche, qui l'a imaginé » tient d'emblée à préciser Robert Subra, vice-président de l'agglomération de Montpellier et président de la société des transports de l'agglomération (TAM). « Cela a permis à des quartiers un peu éloignés, comme La Paillade ou La Mosson par exemple, et aussi les quartiers dans lesquels nous avons mené des

opérations de rénovations urbaines, d'avoir accès au centre-ville en quelques minutes. La première ligne n'a pas été simple à faire accepter en centre-ville, puisque nous amenions les quartiers périphériques jusque sur la place de la Comédie : il s'agit d'une vraie révolution sociologique. C'est pourquoi, pour en arriver là, il fallait une décision politique forte ».

Les avantages du béton : durabilité, esthétique et souplesse

Le béton est un matériau très présent sur le trajet des lignes 3 et 4. Le chantier a duré trois ans, ce qui explique la différence de patine, selon les lieux et les expositions, que l'on constate lorsqu'on longe le tracé. Deux aspects ont été déployés en bordure de ligne : l'un minéral dans l'hyper-centre et l'autre végétal dès que le tissu urbain est moins dense.

« La raison du choix du béton est simple : ce matériau a de nombreuses qualités » explique Karim Ounoughi, de la Direction Infrastructures Déplacement de l'agglomération. « Je pense notamment à sa durabilité. Ensuite, il vieillit très bien et possède des qualités esthétiques. Enfin, il dispose d'une souplesse incomparable : il se plie, en effet, à tous les traitements et on peut jouer sur les granulats, les teintes, les finitions. C'est très utile quand il s'agit, par exemple, de bien organiser l'espace public en séparant les circulations entre piétons et voitures ».

La structure de la voie se compose d'une première couche de BC3, coulée sur un fond de forme de



La ligne 4 du tramway, appelée « La Circulade » et longue de 8,2 km, fait le tour du centre-ville en reliant Saint-Denis à la Place Albert 1er. Elle est entourée, sur les passages piétonniers, de larges surfaces en béton désactivé de différentes couleurs.

19 cm d'épaisseur. Sur cette couche de structure sont posés les supports de rail en béton préfabriqué qui sont ensuite noyés dans la deuxième dalle, un peu plus épaisse, qui vient fixer la voie proprement dite. Puis, pour terminer la plateforme, est coulée une dernière couche en béton qui bénéficie d'une désactivation.

La partie supérieure de la voie est réalisée avec un béton classique, un BC5 de 20 cm d'épaisseur, parce qu'il est impératif que le béton vienne enrober les traverses et les rails pour unifier et rigidifier l'ensemble. Une telle solidité est nécessaire, notamment à cause des contraintes qui sont imposées aux voies, que ce soit en termes de circulation, de freinage ou de reprises d'efforts.

« On respecte la règle d'or de la mise en œuvre : moins on met d'eau, meilleure est la qualité du béton » justifie Karim Ounoughi, « C'est donc cette méthode du "béton sec" qui a été retenue pour la première couche de la structure

de la voie. Un béton mis en place au rouleau et non par vibration. Avec cette technique, on obtient en effet une très bonne qualité structurelle et une excellente compacité. Sans compter des rendements potentiellement beaucoup plus importants : jusqu'à deux à trois fois plus rapides que pour du béton vibré. Autre avantage : dès que la dalle est compactée, les équipes peuvent très vite revenir travailler dessus, notamment pour poser les traverses en béton ».

Jouer sur la combinaison couleur - granulométrie

Outre ces fonctions structurelles, le béton a aussi rempli une fonction esthétique puisqu'il a été utilisé sous forme de pavés ou encore coulé en place pour parfaire l'intégration des lignes dans le tissu urbain.

Le béton bouchardé a été utilisé sur les quais des stations et le béton désactivé sur les trottoirs longeant



Les concepteurs du tramway ont créé des bétons désactivés dont l'aspect et la granulométrie des granulats ont été choisis en fonction des usages : un gris très clair et une granulométrie moyenne pour les îlots piétons (à gauche), un gris clair à faible granulométrie pour les trottoirs (au centre) et un gris moyen et une granulométrie fine pour la plateforme (à droite).



Les quais des stations ont été réalisés en béton bouchardé, de manière à rappeler l'aspect de la pierre naturelle qui fait le charme des vieux quartiers de Montpellier.



La piste cyclable en béton désactivé (à droite) longe la voie de circulation routière (au centre) et le tracé de la ligne du tramway (à gauche).



Sur le trajet qui mène aux plages de la Méditerranée, de larges espaces piétonniers en béton désactivé longent la voie du tramway.

les lignes du tramway, sur les pistes cyclables et sur les parvis.

Les différents types de béton désactivés mis en œuvre ont été définis en fonction des usages auxquels étaient destinés les espaces qu'ils allaient recouvrir et en jouant sur la combinaison couleurs – granulométrie des granulats.

« Pour la plateforme, nous avons choisi un gris moyen et une granulométrie fine. Pour les pistes cyclables, un gris soutenu et une granulométrie fine. Pour les îlots piétons, une couleur plus claire, en réponse aux façades de la ville, et une granulométrie plus prononcée. Pour les trottoirs, un gris clair à faible granulométrie. Enfin, pour les quais des stations, on a réalisé du béton bouchardé, de manière à se rapprocher au plus près de l'aspect de la pierre naturelle qui fait le charme de la vieille ville » conclut Karim Ounoughi.

Désormais, avec ses 4 lignes de tramway et ses 56 km de voies, le réseau dessert 8 communes de l'agglomération au moyen de 84 stations. Il transporte 280 000 voyageurs par jour : 130 000 sur la ligne 1, 60 000 sur la ligne 2, 75 000 sur la ligne 3 et 15 000 sur la ligne 4.

La mise en circulation de la future ligne 5, qui reliera sur 17,5 km Clapiers à Lavérune, est prévue pour fin 2017. ■

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage :
Communauté d'Agglomération de Montpellier

Maîtrise d'œuvre :
Egis (pilote du groupement),
Antoine Garcia-Diaz (architecte),
Alfred Peter (paysagiste-urbaniste)

Fabricant des rames Citadis :
Alstom Transport France

Entreprises :
Groupement Eurovia (membre du SPECBEA),
Bec Razel Mallet, TSO, ETF, Colas (membre du SPECBEA),
Valerian, Fondeville, Demathieu et Bard, Cari, Eiffage, Dumez

Fournisseurs du béton :
Lafarge Bétons, Cemex,
Montpellier Béton, Mialanes Béton

Fournisseur du ciment :
Lafarge Ciments

INTERVIEW



« Pour décorer les rames, nous avons fait appel à de grands designers »

Robert Subra
Président de la société des transports
de l'agglomération de Montpellier (TAM)

En quoi vos rames sont-elles originales ?

Nos tramways se singularisent par leur livrée colorée, quelle que soit la ligne. Leur design a été une question importante. Pour les deux premières lignes, ouvertes respectivement en 2000 et 2006, nous avons fait appel aux designers Elisabeth Garouste et Mattia Bonetti. Plusieurs dessins ont été proposés mais, au bout du compte, c'est le maire Georges Frêche qui décidait.

Quels habillages avez-vous retenus ?

Pour orner les rames, de couleur bleue de la ligne 1, on a choisi des hirondelles blanches, symbole du printemps et du renouveau des transports en commun dans l'agglomération. Pour la ligne 2, également confiée au même duo de designers, nous avons choisi une décoration de fleurs, afin de suggérer la beauté estivale des paysages.

Comment Christian Lacroix a-t-il été sélectionné ?

Pour les lignes 3 et 4, nous avons lancé un appel d'offres européen auquel a participé le couturier Christian Lacroix. Il a été retenu à l'issue de cette consultation.

Que vous a-t-il proposé ?

Il a conçu la ligne 3 sous le signe de l'eau, afin de rappeler le caractère marin des alentours de la ville : les rames sont naturellement ornées de poissons qui font écho aux hirondelles de la ligne 1.

Pour la ligne 4, essentiellement intra-urbaine, Christian Lacroix a choisi le thème du feu en s'inspirant de gravures anciennes qui renvoient à des motifs de broderie et de bijoux du 18^e siècle, ainsi qu'à des monuments emblématiques, comme le château d'eau du Peyrou ou les trois grâces surplombant la fontaine de la place de la Comédie.

Comment allez-vous procéder pour la ligne 5 ?

Pour cette ligne, qui ouvrira fin 2017, nous avons toujours la même ambition d'habiller nos rames avec un design créatif et innovant. La procédure de consultation, pour retenir le concepteur du futur design de la ligne 5, a été engagée en janvier 2013. Le lauréat sera connu en septembre prochain.



Les designers Garouste et Bonetti ont habillé la ligne 1 d'hirondelles blanches, symbole du printemps et du renouveau des transports en commun dans l'agglomération, et la ligne 2 de fleurs suggérant la beauté estivale des paysages (à gauche). Le couturier Christian Lacroix, pour sa part, a conçu les livrées des rames de la ligne 3 sous le signe de l'eau, afin de rappeler le caractère marin des alentours de la ville (au centre). Et il s'est inspiré, pour la ligne 4, de gravures anciennes renvoyant à l'architecture montpelliéraine et à quelques-uns des monuments emblématiques de la ville (à droite).



Aéroport Roissy Charles-de-Gaulle : sur le terminal T1, l'esplanade et les trottoirs ont été réalisés en béton poli blanc.

Du béton poli blanc pour le terminal T1 de l'aéroport Roissy-CDG

Pour mieux valoriser les principaux espaces piétons bordant le terminal T1 de l'aéroport Roissy-CDG, un béton très clair habille l'esplanade et les trottoirs menant aux arrêts de bus et de taxis, ainsi qu'aux zones de dépose-minute. Le polissage de sa surface a été étudié de près et réalisé avec soin pour offrir le meilleur compromis entre un aspect très lisse et une bonne adhérence.

Construit en 1974, le terminal T1 de l'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle a commencé à être progressivement réhabilité à partir de l'an 2000, en commençant par l'intérieur du bâtiment pour finir par l'extérieur.

« Les mentalités ont changé au fil du temps : la priorité est maintenant donnée aux piétons plutôt qu'aux voitures. C'est la raison pour laquelle cette rénovation a suivi une démarche de requalification urbaine. En déplaçant de quelques mètres les arrêts de bus, la station de taxis et la zone de dépose-minute, nous avons pu créer une plate-forme piétonnière élargie au droit de l'aérogare. Large d'une

quinzaine de mètres, cette esplanade urbaine constitue un espace sécurisé pour les passagers, améliorant ainsi leur confort. Leur sécurité est aussi privilégiée par un cheminement qui se poursuit au niveau des zones de circulation par des passages-piétons protégés, de type urbain » explique Nabil Bouras, de la Direction de l'Ingénierie et de l'Architecture chez Aéroports de Paris (ADP).

Au niveau des matériaux, un revêtement granit aurait été trop classique et des dalles préfabriquées ne convenaient pas à la géométrie du bâtiment... « D'où le choix d'un revêtement en béton poli blanc qui apporte, en plus, luminosité et clarté à

ces espaces. Esthétique, robuste, facile à entretenir et à réparer, résistant aux cycles gel/dégel, supportant le passage de véhicules de secours, il convenait bien à notre projet » ajoute Nabil Bouras.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre : Aéroports de Paris

Entreprise : ISO CMC (sous-traitant de Wiame TP)

Fournisseur du béton : Holcim Bétons (France) - Région Ile-de-France/Normandie (centrale de Saint-Soupplets)

Fournisseur du ciment : Holcim Ciments

Un compromis entre adhérence et esthétique

Un projet pas si simple finalement car il a dû mûrir pendant trois ans. Cette durée a été mise à profit pour collecter diverses informations auprès d'organismes confrontés aux mêmes types de besoins (RATP, SNCF...) et pour réaliser des études et essais sur différents types d'échantillons.

Une des principales difficultés est, en effet, d'obtenir une surface à la fois suffisamment lisse et brillante par son polissage, tout en n'étant pas trop glissante afin de garantir la sécurité de déplacement des usagers.

« C'est un sujet très complexe car de nombreux paramètres entrent en ligne de compte : la nature et l'état du support, l'humidité, l'environnement, la pollution, le type de semelle, le type de pneumatique... Il s'agit, le plus souvent, d'un compromis, donc d'une fourchette de valeurs. Des références à la glissance des sols sont présentes dans différentes normes, dont une qui classe les locaux vis-à-vis du glissement. Elle se base toutefois sur un essai utilisable uniquement en laboratoire et qui n'est pas corrélé par des essais sur site. En complément de nos recherches bibliographiques, les données recueillies auprès du SETRA et du LCPC, ainsi que les échanges d'informations avec des maîtres d'ouvrage tels que la RATP ou la Ville de Paris, il en est ressorti que l'essai d'adhérence au pendule SRT (Skid Resistance Tester) était une bonne base de travail » signale Jean-François Bindel, chef de la Section Bâtiments/Ouvrages d'art du laboratoire d'ADP.

« Bien qu'il n'existe pas actuellement de valeur-seuil imposée par un texte normatif, il est couramment admis qu'un sol peut être considéré comme non glissant lorsque le coefficient de frottement longitudinal, évalué au moyen de cet appareil, est au moins égal à 0,40 » ajoute Nabil Bouras.

Une étroite collaboration tri-partite

Le succès de cette opération résulte d'une étroite collaboration entre le maître d'ouvrage, le fournisseur du béton et l'entreprise chargée de sa



La double nappe de treillis métallique et les joints sont posés avant le coulage du béton, mis en œuvre à la pompe.

mise en œuvre.

« ADP nous a demandé de mettre au point un revêtement qui n'avait encore jamais été utilisé : un béton urbain de couleur claire, ne s'encrassant pas, ne générant pas de bruit sous les roulettes des valises et ne glissant pas, une fois poli. Une fois choisis le type et la taille des granulats, nous avons testé différentes formulations établies à partir de ciment blanc, de granulats de quartz, de sable blanc et de sablon blanc » signale Christophe Vaissier, animateur-coordonateur Produits spéciaux chez Holcim Bétons (France) - Région Ile-de-France/Normandie. « Il fallait ensuite adapter cette formulation au temps de polissage de l'applicateur, susceptible d'intervenir au bout de dix jours seulement. Le béton devait donc acquérir une résistance d'au moins 20 MPa assez rapidement. Il fallait trouver la juste dureté pour éviter le déchaussement de l'agrégat (si matériau trop tendre) sans avoir à utiliser trop de consommable (si

matériau trop dur). La formule devait ensuite être ajustée pour rendre le béton pompable ».

Ce que confirme Nabil Bouras : « De nombreuses planches d'essais ont été réalisées pour valider aussi bien la formule béton que le protocole de ponçage, afin d'obtenir l'effet visuel souhaité et le coefficient d'adhérence visé. Ensuite, nous avons aussi testé différents produits anti-taches, bouche-pores, minéralisants... ».

Eviter tout risque de pollution du béton blanc

Totalisant 10 000 m², ce chantier a duré 17 mois, toujours avec la même équipe pour garantir la régularité du résultat obtenu. « Un chantier sous exploitation, avec un déroulement en quatre phases, côté arrivées, et trois phases, côté départs » précise Nabil Bouras.

« Nous sommes intervenus après



Le dressage du béton est réalisé à la règle pour les petites surfaces (à gauche) et au rouleau hydraulique pour les grandes surfaces (à droite).



Le béton noir est coulé en premier entre deux joints, pour éviter toute pollution du béton clair qui est coulé le lendemain.

l'entreprise Wiame TP, dont nous sommes le sous-traitant, pour préparer le support sur une longueur de 17 mètres avec une pente de 15 cm, mettre en place les deux nappes de ferrailage ST 25 et les joints aluminium pour dessiner des carrés de 5 m de côté environ » explique Francisco Domingùes, gérant de l'entreprise ISO CMC.

Le béton blanc était mis en œuvre à la pompe car le camion-toupie restait le plus souvent à l'extérieur. « Au niveau de la centrale de BPE, notre service qualité a contrôlé chaque camion à son départ. Il fallait à chaque étape du process, éviter tout risque de pollution par des agrégats ocre ou noir. Cela sous-entend, au préalable, un sérieux travail de nettoyage du malaxeur et des toupies » confie Christophe Vaissier. Une fois mis en place sur 15 cm d'épaisseur, le béton est tiré à la règle

puis uniformisé à l'aide d'un imposant rouleau hydraulique non vibrant. « Ce matériel qui existe aux USA, nous l'avons découvert chez un fournisseur en France et immédiatement adopté. Il permet d'avoir un résultat très droit sur 6 m de large, en dépensant moins d'énergie. Une à trois heures plus tard, un lissage complémentaire à l'hélicoptère. Enfin, la pulvérisation d'un enduit de cure protège le béton de la dessiccation » précise Francisco Domingùes. La cadence moyenne est de l'ordre de 30 m²/jour.

Le béton noir est coulé en premier entre deux joints pour éviter toute pollution du béton clair qui est coulé, le plus souvent, le lendemain.

Polir puis durablement protéger le béton poli

Huit à dix jours après le coulage d'une zone, ISO CMC vient polir le béton à l'aide de deux ponceuses de sol télécommandées. « Quatre passages successifs, avec des disques aux diamants de plus en plus fins viennent progressivement abraser les 2 à 3 mm superficiels. Une des difficultés est de conserver une grande surface parfaitement plane » précise Francisco Domingùes. Ce polissage s'effectue à sec, sans dégagement de poussières puisqu'elles sont aspirées en continu à la source. Les 300 m³ de poussières ainsi collectés sont évacués, à raison d'une benne tous les deux jours.

Avant la dernière étape de polissage, on effectue un mastiquage à base de ciment blanc et de polymère. Cette étape est réalisée par des moyens mécaniques. La coupe du mastic se fait à la fin du polissage, qui précède le traitement.

« Après un temps de séchage de 24 heures, le processus de protection de la surface du béton poli se termine par l'application d'un minéralisant par imprégnation. L'Arti Silicium pénètre par capillarité dans la structure du matériau où il cristallise les chaux et se transforme en silice pour obturer les pores. Son application s'effectue au pulvérisateur à saturation, à raison d'une à deux couches de produit à 2 h d'intervalle. Il faut laisser boire le support pendant 10 minutes, puis étaler l'excédent du produit à l'aide d'une raclette. Un quart d'heure plus tard environ, l'excès de produit est éliminé par un rinçage léger à l'eau de l'ensemble de la surface traitée » précise Christophe Vaissier.

La remise en circulation est possible au bout de 24 heures, une fois la surface totalement sèche. Un protocole de nettoyage a aussi été instauré avec un lavage quotidien du béton avec une solution Arti Clean.

En raison des excellents retours des usagers, notamment professionnels, les projets de rénovation des modules B et D de l'aérogare 2 pourraient s'inspirer, dans l'avenir, de cette première expérience positive. ■



La formulation du béton clair a été élaborée avec du ciment blanc, des granulats de quartz blanc, du sable blanc et du sablon blanc.

CARACTÉRISTIQUES DES BÉTONS

Ciment :
CEM II/B-LL 42,5 R CE CP2 NF SB

Dmax : 14 mm (béton blanc)
ou 20 mm (béton noir)

Classe d'exposition : XF2

Classe de résistance : C30/37

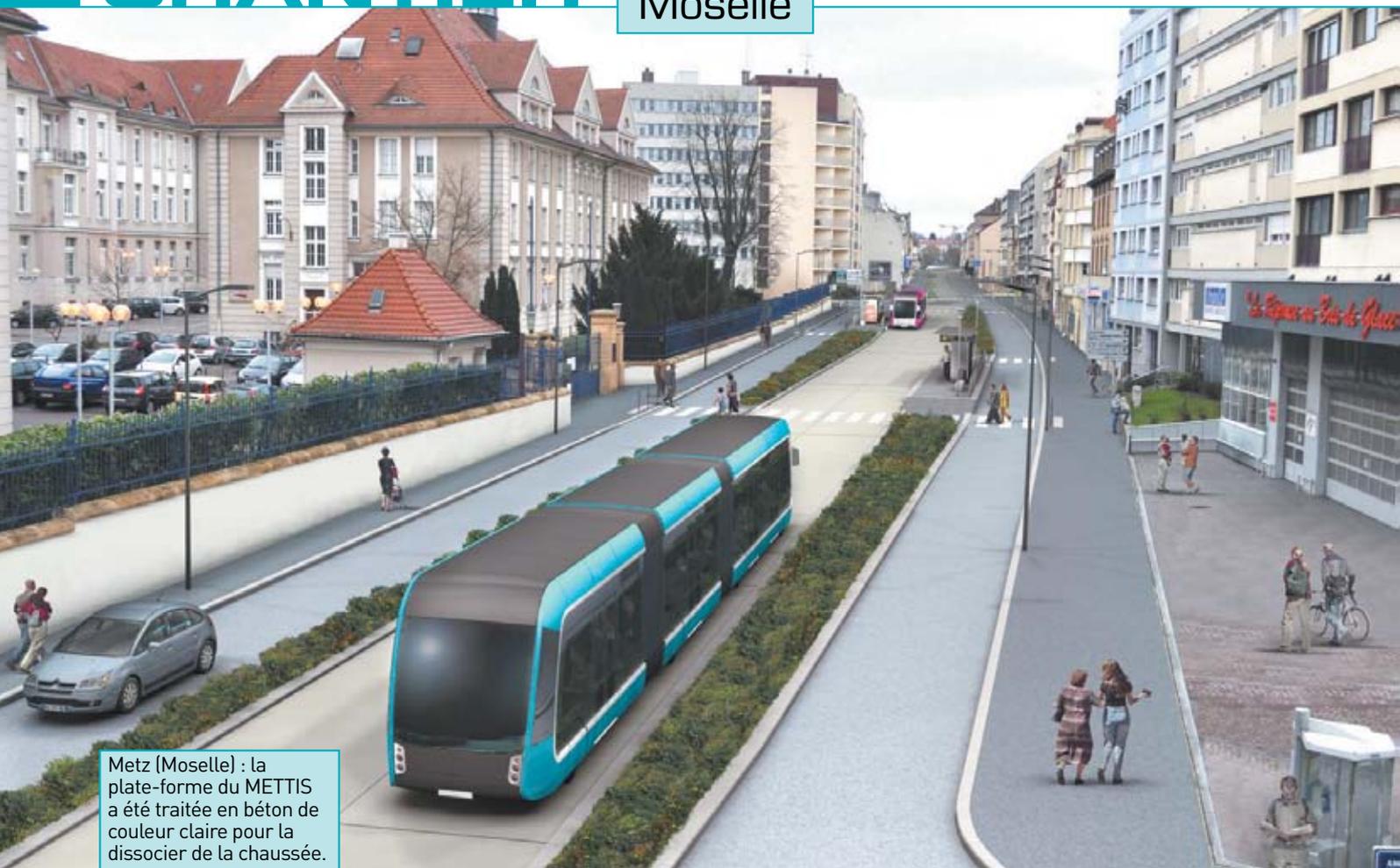
Consistance : S4

Fibres : micro-fibre synthétique mono-filamentaire 12 mm (Chryso)

Granulats : quartz blanc (béton clair) ou calcaire noir (béton noir)

Formulation pompable

Pour le béton noir : ajout d'un colorant Holcim noir ébène, dosé à 3 % du poids de ciment



Metz (Moselle) : la plate-forme du METTIS a été traitée en béton de couleur claire pour la dissocier de la chaussée.

TCSP METTIS de Metz : une plate-forme intégralement en béton qui associe les circulations douces à l'espace urbain

À compter du 5 octobre prochain, les Messins pourront profiter du METTIS pour se déplacer. Ce bus à haut niveau de service (BHNS) roulera en site propre sur près de 18 km. Sa large plate-forme en béton de différentes couleurs selon le tissu urbain traversé va changer l'image de la ville. La voirie devenant un grand espace public.

Toutes les villes concernées le savent : outre l'objectif d'améliorer la mobilité des personnes (bus, tram...), la réalisation d'un transport en commun en site propre (TCSP) et de sa plate-forme dédiée est l'occasion de réaménager l'ensemble de la voirie. Souvent réalisé de façade à façade, cet aménagement porte, bien sûr, sur le « visible » (nouvelle chaussée, élargissement des trottoirs, création de pistes cyclables, nouveaux mobiliers urbains...) mais aussi sur « l'invisible » avec le dévoiement et la rénovation des réseaux souterrains (eau, électricité, gaz, télécommunications, évacuation

des eaux usées...) pour que les concessionnaires puissent intervenir rapidement en cas de besoin. C'est ce moment capital pour une ville que vit la Communauté d'agglomération de Metz avec la réalisation de son TCSP sur lequel roulera le METTIS.

Intérêts divergents sur le traitement de la plate-forme

Point culminant du chantier du METTIS : le traitement de la plate-forme du BHNS, un long ruban de 6,50 m de large qui traverse toute l'agglomération du nord au sud. « Notre expérience en la matière est claire :

le choix du matériau est toujours âprement discuté par les différents acteurs », explique Yves Couloume, gérant d'Attica Urbanisme, l'agence d'architecture chargée de la conception. « D'un côté, les architectes pensent en termes de qualité de cadre de vie et privilégient souvent l'aspect esthétique ; de l'autre, les gestionnaires de la voirie mettent en avant la facilité d'entretien ; enfin, l'investisseur raisonne en terme de pérennité. Il faut donc croiser tous ces éléments. De plus, s'ajoute un poids culturel propre à la France puisque, chez nous, l'essentiel des chaussées est traité en enrobé ».



Coffrage longitudinal en attente de la mise en œuvre manuelle du béton.



Pour des raisons d'accessibilité, la majeure partie (70%) du lot METTIS Sud 2 a dû être réalisée manuellement par demi-chaussée (3 mètres), voire quart de chaussée, avec alimentation par toupie.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage :

Communauté d'agglomération de Metz Métropole

Assistance à maîtrise d'ouvrage :

Transamo/Algoe

Maîtrise d'œuvre :

Systra (mandataire) - Attica urbanisme et paysage - Iris Conseil (BET secteur Sud) - Saunier & Associés (BET secteur Nord)

Entreprises :

Eurovia-Entreprise Jean Lefebvre Lorraine (membre du SPECBEA) ; Muller TP-NGE (membre du SPECBEA) ; Colas-Screg (membre du SPECBEA) ; Eiffage/Lingeheld

Fournisseur des granulats :

Holcim Granulats France (sablère de Vandières, Meurthe-et-Moselle)

Fournisseurs du béton :

centrales de Metz-Borny et Hatriz pour Holcim Bétons (France)-Région Est et centrale du Port de Metz pour BGIE (Béton Granulats Ile-de-France Est, groupe Vicat)

Fournisseurs du ciment :

Holcim Ciments (usine de Héming) et Vicat Ciment (usine de Xeulley)

■ Du béton pour répondre aux problèmes d'orniérage

Il reste que, pour ce type de plate-forme, les couches de roulement en « produits noirs » souffrent très vite d'orniérage et d'arrachement qui nécessitent de fréquentes réparations et perturbent la qualité du service.

« C'est une réalité bien connue dont nous avons tenu compte lors des études, surtout pour un véhicule comme le METTIS qui a 24 mètres de long et pèse 22 750 kg à vide » précise Hervé Chabert, directeur de la mission TSCP METTIS créée au sein de Metz Métropole, maître d'ouvrage. « En raison du freinage, ces problèmes d'orniérage sont d'autant plus importants à l'arrivée aux stations. Dès l'origine du projet, il a donc été décidé de traiter leur plate-forme en béton. Et puis, compte tenu de la longueur de ces stations (les abris pouvant aller de 12 à 18 mètres) et du peu de distance qui les sépare (de 400 à 500 mètres), j'ai proposé que ce soit l'intégralité de la plate-forme qui soit en béton sur tout son tracé. Et c'est cette solution qui a été retenue, seuls quelques carrefours ayant été traités en enrobé, en raison de l'impossibilité de neutraliser la circulation pendant la période de séchage du béton ».

■ La volonté de différencier visuellement le site propre

Autre argument, cette fois esthétique, qui a plaidé pour la solution tout béton : la volonté de différencier site propre et chaussée réservée aux voitures qui, elle, est traitée en enrobé.

« En termes de qualité d'espace, le béton offre un plus indéniable », précise Yves Couloume. « En traitant la plate-forme en béton de couleur claire, on la dissocie de la chaussée. Visuellement c'est plus agréable, mais de plus cela a un impact très fort sur la compréhension de l'usage de l'espace. La voirie devient alors un grand espace public qui associe le TSCP aux circulations douces (piétons, rollers, vélos...). Bien sûr, un BHNS change la mobilité dans la ville, mais cela va plus loin. Au lieu d'être au cœur de la voirie, la voiture en est alors presque exclue ».

■ Trois types de colorations

D'une épaisseur de 87 cm, la structure type de la plate-forme béton est la suivante. Couche de forme (GNT) : 50 cm ; couche de fondation (béton de ciment de classe 2) : 15 cm ; couche de roulement (béton de ciment de classe 5) : 22 cm.

Selon le tissu urbain, la couche de roulement a trois types de couleur :

- Le béton des tronçons situés à la périphérie nord et sud de la ville (là où sont les nouveaux quartiers) est de couleur grise naturelle.
- Aux traversées de carrefours où règne la voiture, il a été souhaité que la plate-forme ne tranche pas visuellement avec le reste de la voirie. La couche de roulement a donc été traitée en béton de basalte (granulats noirs) pour qu'elle se fonde avec l'enrobé.
- Pour les sections du centre-ville qui sont les plus longues, maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre ont voulu que la plate-forme soit en harmonie avec les bâtiments anciens souvent construits en pierres de Jaumont. Le béton est alors de couleur ocre-jaune teinté dans la masse.

Autre particularité de la plate-forme, voulue par l'Architecte des Bâtiments de France (ABF), dans le secteur sauvegardé de Metz qui pourrait être inscrit au patrimoine mondial de l'humanité (Unesco) : la couche de fondation est toujours en béton, mais la couche de roulement est en pierres naturelles (pavés de granit).

Pour obtenir la rugosité et l'adhérence nécessaires, l'ensemble de la plate-forme est traité par hydrodécapage (préféré à l'hydrosablage et au grenailage). Une technique qui consiste à projeter de l'eau à très haute pression (2 500 bars) de manière à supprimer en surface la couche de laitance.

Outre son volet technique, ce traitement a un intérêt esthétique par un rendu qui rappelle le sablage et adoucit, par son « velouté », la dureté du béton.

DEUX LIGNES DE PRÈS DE 18 KM

METTIS est un projet de création de deux lignes de bus à haut niveau de service (BHNS) à Metz et son agglomération, accompagné d'une totale restructuration de la voirie existante. D'une longueur de 17,8 km, son inauguration est prévue le 5 octobre 2013, à l'occasion de la Nuit Blanche.

Les BHNS circuleront en « site propre » (d'où le nom de TSCP) avec priorité aux feux. Les deux lignes auront un tronçon commun de 10 stations (5,4 km) dans le centre de Metz (gare ; Centre Pompidou-Metz...).

La ligne A reliera Woippy, au nord, au quartier de Borny, à l'est (26 stations dont 10 en tronçon commun). La ligne B effectuera le trajet de l'île du Saulcy à l'hôpital de Mercy du CHR Metz-Thionville au sud-est (21 stations dont 10 en tronçon commun).

La fréquence de passage des véhicules sera de 10 minutes sur chaque ligne aux heures de pointe, ce qui donnera sur le tronçon commun une fréquence de 5 minutes entre chaque bus.

Trois parkings relais (dénommés P+R) gratuits pour les usagers du bus sont prévus le long des lignes A et B. Gardés, ils permettront aux automobilistes de stationner en toute sécurité. Ces P+R seront situés : au terminus de Woippy (station Woippy de la ligne A) ; à la sortie d'autoroute Metz-Nord (station Rochambeau de la ligne A) ; à la Foire Internationale de Metz (station Foire Expos de la ligne B).

Un centre de maintenance de 8 hectares pour l'ensemble du parc du réseau est également prévu sur le site de l'ancien dépôt des essences de l'armée (station Intendants Joba sur la ligne A).

Le projet METTIS bénéficie du soutien financier de l'État (subventions Grenelle de l'environnement et restructurations militaires), de la Région Lorraine, du Département de la Moselle, du FEDER - Fonds européen de développement régional - et de la Ville de Metz.

Le budget global est de 207,1 millions d'euros (valeur 2010), incluant les infrastructures et la plate-forme des lignes (118 millions d'euros), les systèmes, le centre de maintenance et l'acquisition des véhicules.

UN SITE PROPRE « INTÉGRAL »

Les voies à double sens réservées exclusivement aux véhicules METTIS constituent plus de 86 % des itinéraires. Elles seront isolées de la circulation générale par des séparateurs physiques.

La plate-forme peut être latérale (les deux voies du TSCP sont d'un seul côté de la rue) ou axiale (au centre de la rue, la circulation automobile se faisant de part et d'autre).

La plate-forme sera également praticable par les véhicules d'urgence en mission (police, SAMU, pompiers, ambulances). Ces voies réservées sont prioritaires aux carrefours, grâce à un système similaire à la signalisation des tramways.

Sur quelques sections, la possibilité d'utiliser la plate-forme du METTIS sera autorisée pour les véhicules des riverains. Une réglementation particulière et des dispositifs de contrôle d'accès, tels des bornes escamotables, seront mis en place à cette fin.

Enfin, certains tronçons du tracé ne permettent l'aménagement d'un site propre que pour un seul sens : en général, le sens entrant vers le cœur d'agglomération, le plus chargé en trafic.

Un seul tronçon, long de 500 mètres, n'est pas aménagé en site propre dans les deux sens.

UNE TECHNOLOGIE HYBRIDE UNIQUE



De couleur prune, le premier METTIS a été réceptionné sous la neige le 15 février 2013. Trois autres teintes seront présentées : vert, bleu et mirabelle.

Fabriqué par Van Hool, une entreprise familiale flamande, le BHNS METTIS sera propulsé grâce à une motorisation hybride, associant moteur diesel désulfuré et moteur électrique. Voici ses principales caractéristiques.

Motorisation hybride pour une consommation moindre, des rejets de gaz d'échappement réduits et un fonctionnement plus silencieux avec une traction électrique. Le moteur diesel fonctionne comme un générateur chargé d'alimenter le moteur électrique,

en complément du système de récupération d'énergie.

D'un poids à vide de 22 750 kg, ce véhicule bi-articulé de 24 m de long est très maniable grâce à deux essieux directionnels (avant et arrière) et un rayon de braquage limité (12 m).

Priorité absolue aux carrefours à feux grâce à un système de détection intégré. 155 places pour accueillir 3 000 voyageurs/heure/sens.

Design, intérieur et extérieur, réalisé par l'Agence Avant-Première.

Les rames seront habillées de quatre teintes : vert, bleu, prune ou mirabelle.

Plancher bas intégral permettant une parfaite accessibilité en station pour les personnes à mobilité réduite (PMR) et les personnes âgées.

Accès à bord par quatre larges doubles portes coulissantes qui permettent une montée et descente rapide des passagers.

Larges baies vitrées favorisant un lien direct avec la cité.

Durée de vie estimée des bus : 15 à 20 ans.

De couleur prune, le premier METTIS a été réceptionné au centre de maintenance le 15 février 2013.

Au total, 27 véhicules seront livrés avant l'été.

Avec le BHNS METTIS de Metz Métropole, Van Hool bénéficie d'une belle vitrine. Ainsi, Parme et Barcelone ont déjà acquis plusieurs exemplaires.

Une mise en œuvre à la fois mécanique et manuelle

L'ensemble du projet a été découpé en six lots. Eurovia-Entreprise Jean Lefebvre (EJL) en a obtenu deux. Muller TP deux également. Colas-

Screg un. Eiffage/Lingeheld un. Outre une zone spécifique place de la gare où la couche de roulement a été traitée en pavés naturels, Eurovia-EJL a réalisé la plus grande longueur, celle de la partie sud de la ligne B qui fait 5 km (lot METTIS Sud 2).



La machine à coffrage glissant travaille en pleine largeur (6,50 mètres) avec guidage au fil.



À l'origine du projet, seule la plate-forme des stations avait été prévue en béton, puis il a été décidé d'utiliser ce matériau sur toute la longueur du tracé.



Moment important de la mise en œuvre du béton : le sciage de la dalle en béton, avec un joint de retrait transversal tous les 4 mètres.

« Sur cette section, il y avait des zones urbanisées où la voirie existait et des zones rurales à l'extrémité de la ligne où la plate-forme a été réalisée... dans les champs », informe Mathieu Wallez, directeur technique pour la région Est de la France chez Eurovia-EJL. « Sur les grandes longueurs, la mise en œuvre a pu se faire à la machine à coffrage glissant travaillant en pleine largeur (6,50 mètres) avec guidage au fil. En revanche, pour des raisons d'accessibilité, la majeure partie (70%) a dû être faite manuellement par demi-chaussée (3 mètres), voire quart de chaussée, avec coffrage longitudinal ».

Et Jérémy Geoffroy, directeur de travaux, de préciser : « La mise en œuvre manuelle est moins lourde à gérer en termes d'organisation mais plus contraignante pour ce qui concerne le planning. Ainsi, dans le même temps, on traite quatre fois moins de volume à la main qu'à la machine. Avec toujours la nécessité de scier la dalle au moment juste, avec un joint tous les 4 mètres ».

Le béton a été fabriqué par Holcim Bétons et par BGIE (Béton Granulats Ile-de-France Est, groupe Vicat), les granulats (22 mm) provenant de la Sablière Holcim Granulats de Vandières (Meurthe-et-Moselle) et le ciment (CEM II/B 42,5) des cimenteries Holcim de Héming et Vicat de Xeuilley. Holcim Bétons et BGIE le livraient soit par camions bennes (7 m³) pour la mise en œuvre mécanique, soit par toupies (7,5 m³) pour la partie manuelle.

« Pour notre société, c'est un chantier exceptionnel, tant par la quantité des volumes fournis (plus de 30 000 m³) que par la nature de ce superbe ouvrage. Croyez-moi, on se souviendra longtemps de cette réalisation » se félicite Vincent Fischer, chef de secteur chez Holcim Bétons (France)-Région Est.

Et Yves Couloume de conclure : « Pour le concepteur d'ouvrages de sol que nous sommes, le béton offre de multiples possibilités selon les granulats, les pigmentations, les finitions... C'est un très bon matériau d'adaptation à l'environnement. Mais j'ai une demande : que les professionnels nous épaulent encore mieux, en nous fournissant davantage d'échantillons, en amont des travaux pour contribuer aux décisions des maîtres d'ouvrage ». ■



Verdun (Meuse) : ce chantier de la RD 603 a vu la première apparition du nouvel atelier de retraitement de chaussées ARC 1000, mis au point par Eiffage Travaux Publics.

Verdun : renforcer et sécuriser la RD 603 grâce au **retraitement au LHR**

Deux fois deux voies simplement séparées par une simple ligne continue, des bretelles d'accès et de sortie ne répondant pas aux normes routières actuelles, une chaussée détériorée au niveau des voies lentes empruntées par les poids lourds : la réfection au liant hydraulique routier (LHR) et la sécurisation du tronçon de la RD 603 situé entre la sortie Sud de Verdun et le giratoire de la Voie Sacrée s'imposaient.

« Depuis Verdun, cette route permet d'accéder à Sainte-Menehould, Châlons-en-Champagne, mais aussi à la gare Meuse-TGV. Son trafic cumulé est de l'ordre de 8 à 9 000 véhicules/jour dont environ 900 poids lourds, car elle dessert également les zones industrielles de Baleycourt et Regret » explique Daniel Palin, conducteur d'opération du Service Projets routiers de la Direction du patrimoine bâti et routier du Conseil Général de la Meuse.

Pour sécuriser ce tronçon, large de 14 mètres (4 x 3,50 m), l'idée est de mieux séparer les flux des voies Bar-le-Duc/Verdun et Verdun/Bar-le-Duc

par la matérialisation d'un îlot central. Cette séparation des flux passe donc par la mise en place d'un marquage au sol central plus prononcé, large de 80 cm. Il se compose de deux bandes continues sonores VNTP (visibles de nuit par temps de pluie) de 15 cm de large, encadrant une bande de résine ocre, large de 30 cm. Les nouvelles « voies lentes » conservent leur largeur initiale de 3,50 m, tandis que les « voies rapides » voient leur largeur réduite à 3 mètres.

En contrepartie, la suppression de deux îlots centraux permet d'augmenter la capacité de dépassement d'environ

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage :
Service Projets Routiers – Direction du patrimoine bâti et routier – Conseil Général de la Meuse

Maîtrise d'œuvre :
Agence départementale d'aménagement de Verdun – Conseil Général de la Meuse

Entreprise :
Eiffage Travaux Publics

Laboratoire :
Ginger CEBTP

Fournisseur du liant hydraulique routier :
Ciments Calcia (usine de Rombas)



Installé à l'arrière d'un camion-citerne, un système de dosage automatisé déverse le liant hydraulique routier avec précision et régularité.

500 m dans le sens Verdun - Bar-le-Duc. La mise en conformité des bretelles d'accès et de sortie aux normes routières, actuellement en vigueur, passe aussi par l'installation de musoirs aux séparations entrantes. Mais il est évident que tous ces travaux de sécurisation ne peuvent s'envisager qu'après la réfection de la chaussée proprement dite...

Retraiter en place plutôt que recharger

Force était de constater que, dans chaque sens de circulation, la chaussée se détériorait surtout au niveau de la voie lente, utilisée par les poids lourds.

« La réparation régulière des voies avec des graves aux liants hydrocarbonés ne donnait pas pleine satisfaction, en



Le liant hydraulique routier a été appliqué sur la chaussée, préalablement scarifiée à la fraiseuse sur 28 cm d'épaisseur, juste avant le passage de l'ARC 1000.

raison de leur forte tendance au fluage. Au départ, nous avons envisagé de réparer ces voies lentes en les rabotant sur 20 cm d'épaisseur pour ensuite les recharger, puis revêtir la totalité de la chaussée par une couche de roulement uniforme de 3 cm. Après réflexion, nous avons privilégié une autre solution, dont le résultat sera sûrement plus pérenne : après le rabotage de la couche de roulement sur 5 à 10 cm, nous avons réalisé un retraitement des matériaux en place au liant hydraulique routier (LHR) sur 32 cm d'épaisseur. De plus, cette technique permet de recalibrer le profil en travers de la chaussée et de le mettre en conformité avec les recommandations du « Guide technique pour l'aménagement des routes principales », édité par le SETRA. Sans oublier qu'il s'agit d'une bonne solution au niveau environnemental - grâce à une moindre consommation des ressources naturelles - mais aussi au niveau du bilan carbone - nettement moins de transports de matériaux en camions. Cette opération s'inscrit dans la convention d'engagement volontaire de développement durable, signée par le Département de la Meuse » précise Daniel Palin.

Cette opération a également été supervisée par Joël Guerre, directeur adjoint du Patrimoine Bâti et Routier, et par Jean Natale, responsable de l'agence départementale d'aménagement de Verdun.

Bien soigner les étapes préliminaires

Comme cette route a été retracée, il y a quelques années, pour passer de deux à quatre voies, les matériaux diffèrent parfois selon les zones.

« Globalement, la couche de fondation de cette chaussée est le plus souvent en grave-laitier, mais plusieurs couches d'enrobés peuvent être présentes sur une épaisseur de 25 cm par endroits. Il convient donc d'éliminer une partie du matériau hydrocarboné pour que sa proportion ne dépasse pas 30% du mélange, afin de garantir l'obtention des performances mécaniques requises. Mais il ne doit pas, non plus, être totalement éliminé



Le passage de la niveleuse permet d'obtenir une surface plane et de régler la couche à la hauteur définitive exigée.

car il apporte un peu de souplesse à la chaussée. Il faut toutefois bien s'assurer que ces performances mécaniques soient atteintes » signale Daniel Palin.

Alain Bartier, chef de service du laboratoire Ginger CEBTP de Béthune, témoigne : « Dès mai-juin 2010, nous avons effectué plusieurs carottages de chaussée et des mesures de déflexion au curvimètre pour identifier les matériaux en place, étudier leur répartition, caractériser la chaussée existante... Ensuite, sur quatre échantillons, après avoir éliminé les 5 cm superficiels d'enrobés, nous avons réalisé un retraitement sur les 35 cm prélevés au moyen d'une mini-raboteuse. L'objectif était d'atteindre la granulométrie la plus proche de ce qui sera obtenu sur le futur chantier. Par souci d'impartialité, l'étude initiale du retraitement s'effectue au ciment, dosé à 4%, et non avec un liant hydraulique routier spécifique pour éviter de mettre une marque en avant au niveau de l'appel d'offres. Avec le ciment, la préfissuration de la plate-forme obtenue serait indispensable en raison d'un retrait naturel plus important qu'avec un liant

hydraulique routier. En effet, plus souple, ce dernier n'impose pas de préfissuration. Les échantillons ainsi traités sont ensuite testés : mesure de traction directe, module d'élasticité, résistance à la fatigue... Modélisés grâce au logiciel Alizé, les résultats sont probants avec les quatre échantillons testés ».

Une fois les résultats de l'appel d'offres connus, une nouvelle campagne de prélèvements et d'essais en laboratoire a permis de vérifier que le liant hydraulique routier choisi correspondait bien, en termes de performance, aux attentes, et d'optimiser le dosage par une étude de variabilité.

« Il fallait attendre les résultats à 60 jours pour démarrer le chantier. Les performances sont un peu plus faibles en module qu'avec le ciment, mais meilleures en traction directe. Au final, le couple des deux convient, ce qui est l'essentiel. Une nouvelle modélisation avec le logiciel Alizé a permis de vérifier que les contraintes admissibles étaient supérieures aux contraintes demandées à la structure de

voirie » commente Alain Bartier.

Produit par l'usine Calcia de Rombas en Moselle, le liant hydraulique routier employé sur ce chantier est un HRB 30 S63, L20, K17 NF Ligex FPL1.

« Bien adapté au retraitement de chaussées en place en raison de sa rapide montée en résistance, ce liant hydraulique routier à forte teneur en laitier activé au clinker peut aussi s'employer pour le traitement des sols de type limon (après traitement à la chaux si nécessaire), aux montages de remblais... Sa résistance à la compression à 7, à 28 et à 56 jours atteint respectivement 24, 39 et 43 MPa (sur pâte pure). La durée du délai de maniabilité de la pâte pure, à 20°C, est de l'ordre de 400-450 minutes. Sur ce chantier, ce liant hydraulique routier est dosé à 3,5% » explique Christophe Poirier, responsable régional Marché routier chez Ciments Calcia (groupe Italcementi).

Les 2 000 tonnes nécessaires pour cette opération ont été livrées en deux fois : la moitié en août, l'autre fin septembre/début octobre, avec des cadences de l'ordre de 6/7 camions-citernes de 27/28 tonnes par jour.

Scarifier avant le passage des machines

Les travaux ont été réalisés en deux phases : une par sens de circulation sur le linéaire complet du chantier soit 5,3 km. Ce chantier a lieu sous circulation : sur la demi-chaussée libre, les véhicules circulent sur 2 x 1 voie. Ensuite, la circulation s'effectue sur la nouvelle demi-chaussée pour continuer les travaux dans l'autre sens. « L'une des difficultés majeures de cette opération était l'hétérogénéité de la chaussée en place. La couche d'enrobés en surface pouvait, en effet, varier de 10 à 23 cm d'épaisseur. Sous la couche de roulement, on trouvait soit une grave-laitier pouvant aller jusqu'à 47 cm d'épaisseur, soit une alternance de grave-laitier et d'enrobés en couches parfois décollées » précise Marie-Françoise Roussel, Directrice technique Région Est chez Eiffage Travaux Publics. « La parade consiste à éliminer les 5 à 10 cm superficiels d'enrobés et surtout à scarifier la



Deux phases de compactage successives (à gauche la première par compacteur vibrant, à droite la seconde par compacteur à pneus) permettent de densifier le matériau retraité.



Rechargement de l'épandeur du liant hydraulique routier.

chaussée à la fraiseuse sur 28 cm d'épaisseur, accompagnée de quelques mouvements de matériaux pour améliorer leur homogénéité ».

Ensuite, l'épandage régulier du liant hydraulique routier à hauteur de 3,5% et un apport d'eau à hauteur de 9-10% en moyenne précèdent le passage des ateliers mobiles de retraitement de chaussées qui travaillent ici à deux de front.

« L'ARC 700 et l'ARC 1000 assurent un retraitement des matériaux sur 32 cm de profondeur, ce qui permet de bien mélanger les matériaux en place. En effet, leur malaxage a lieu dans les trois directions » souligne Marie-Françoise Roussel. « Puis une niveleuse aplanit la chaussée, avant un compactage en deux temps - par compacteur vibrant, puis par compacteur à pneus - et l'application d'un enduit de cure ».

Pour conserver un résultat homogène sur tout le linéaire, la reprise de la journée précédente a lieu sur environ 4 m avec les machines de retraitement. La mise en place d'une géogrille, pour éviter d'éventuelles remontées de fissures, précède la mise en œuvre de la couche de roulement (6 cm de béton bitumineux à module élevé) et le recalage des accotements.

« Sur une opération de ce type, les points de vigilance sont nombreux, mais parfaitement maîtrisés : la profondeur de fragmentation, l'homogénéité et la régularité de la granulométrie, la teneur en eau, la profondeur du traitement, la déflexion. Ainsi, par exemple, la déflexion caractéristique était, à l'origine, de 25 à



La pulvérisation de l'enduit de cure est destinée à protéger la couche retraitée des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic.

35/100°. À la fin du chantier, elle n'est plus que de 10 à 20/100° » signale Marie-Françoise Roussel.

Et Daniel Palin de conclure : « Pour chacune des deux phases (2 fois une demi-chaussée), le découpage temporel était sensiblement le même : une semaine de préparation, huit jours ouvrés pour le retraitement à raison d'environ 5 000 m²/jour, une semaine pour le délai de cure, dix jours ouvrés pour le béton bitumineux à module

élevé et les raccordements et, enfin, une semaine pour le marquage au sol. Ces délais de réalisation s'entendent, bien entendu, hors intempéries ».

De nombreux prélèvements ont eu lieu pour vérifier la qualité et l'homogénéité du mélange. Après la fin du chantier, des carottages ont permis de vérifier la conformité de l'épaisseur traitée et d'effectuer des mesures de contrôle en laboratoire. ■

LE PREMIER CHANTIER DE L'ARC 1000

L'atelier de retraitement ARC 700 (ARC est l'acronyme de « Atelier de Retraitement de Chaussées ») est un atelier intégrant toutes les opérations et pouvant les exécuter en un passage. Déjà bien connu sur les chantiers de retraitement de matériaux de chaussée en place, il a été épaulé à Verdun par un tout nouveau modèle, l'ARC 1000, récemment mis au point par Eiffage Travaux Publics.

Tous deux ont la même largeur de traitement (2,05 m), mais la puissance de l'ARC 1000 est supérieure de 50 % à celle de l'ARC 700. Cette augmentation de puissance peut être mise à profit pour accélérer les cadences de retraitement et permet d'atteindre une profondeur de 50 cm.



Sur ce chantier, deux ateliers de retraitement de chaussées travaillent en parallèle : à gauche, le nouvel ARC 1000 et à droite, l'ARC 700.



Bayel (Aube) : la route en béton qui conduit à la carrière de calcaire à ciel ouvert est prévue pour tenir les 30 ans de la durée de l'exploitation.

Utilisation du béton pour la route d'accès à la carrière de Bayel, ou comment mettre à mal des idées reçues

Dans le cadre de la prochaine exploitation d'une carrière de calcaire à Bayel (Aube), Holcim Granulats France a réalisé une route d'accès en béton. Mais, aussi étonnant que cela puisse paraître, l'option béton ne s'est pas d'emblée imposée... Récit.

Fin 2008, la Préfecture de l'Aube a donné à Holcim Granulats France l'autorisation d'exploiter pendant 30 ans une carrière de calcaire à ciel ouvert, au lieu-dit « Champ-Carré » sur la commune de Bayel (900 habitants), connue pour sa Cristallerie Royale de Champagne créée en 1678. Cette autorisation était cependant soumise à des travaux préalables, notamment l'aménagement de l'accès au site. Premier aménagement début 2011 : la modification du croisement de la route provenant de l'installation de traitement et de la RD 396 (axe Vitry-le-François - Bourg-en-Bresse). Pour donner une meilleure visibilité aux conducteurs des camions, le virage de La Borde a été adouci, avec l'aide du Conseil général. Autre aménagement réalisé à l'extrémité de la route menant au site : le remplacement, lors de l'été 2011, d'un ancien pont sur l'Aube qui menaçait de s'écrouler. Désormais, des camions de

40 tonnes peuvent l'emprunter. Entre ces deux points - carrefour et pont - la route de 650 mètres de long descend vers Champ-Carré. Et même si ce n'était pas dans les travaux demandés par la Préfecture, Holcim Granulats France a décidé de renforcer et d'élargir cette route. Restait à savoir comment...

Une dalle ramenée de 50 à 20 cm d'épaisseur

« Travaillant depuis près de 20 ans dans des groupes cimentiers, j'en suis à ma quatrième ouverture de carrières et, à chaque fois, on a réalisé des routes d'accès en... enrobés », s'étonne, presque amusé, Joël Bildgen, responsable « Industriel et Logistique » chez Holcim Granulats France. « L'argument était toujours le même : la route en béton est trop onéreuse. Cette fois, on a voulu vérifier si c'est encore vrai : un bureau d'études techniques nous a indiqué que,

compte tenu du trafic spécifique de cette route - classe de trafic T3, soit entre 50 et 150 poids lourds par jour et par sens -, il fallait prévoir une couche de roulement en béton de... 50 cm d'épaisseur. D'où un coût effectivement prohibitif. C'est alors que les entreprises Jean Poirier, pour les

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Maîtrise d'ouvrage et d'œuvre :** Holcim Granulats France
- Travaux de terrassement :** Entreprise Jean Poirier
- Mise en œuvre du béton :** Entreprise Pass (membre du SPECBEA)
- Fournisseur des granulats :** Holcim Granulats France (carrière de Petit-Mesnil)
- Fournisseur du béton :** Holcim Bétons (France)-Région Centre Est (centrale de Bar-sur-Aube)
- Fournisseur du ciment :** Holcim Ciments (usine de Heming)

PRÈS DE 15 ANS POUR DÉMARRER L'EXPLOITATION D'UNE CARRIÈRE

Aujourd'hui, obtenir l'autorisation d'ouvrir une carrière et son installation de traitement (broyage, criblage, concassage) devient de plus en plus difficile, en raison de contraintes de toutes sortes. La preuve par l'exemple avec Holcim Granulats France. Dès l'an 2000 ont débuté une prospection foncière à proximité d'une ligne de chemin de fer et des négociations avec les propriétaires. Le dossier a finalement été déposé à la Préfecture de l'Aube en 2006. L'autorisation d'exploiter date du 20 novembre 2008 et porte sur 30 ans. La superficie totale autorisée est de 63 ha et celle de la surface exploitable est de 40 ha. Aujourd'hui la carrière est ouverte (découverte, défrichage, exploitation de matériaux de base...), la mise en route industrielle de l'installation de traitement étant prévue fin 2014. Auparavant, la Préfecture a demandé à Holcim Granulats France de réaliser des travaux préalables. De plus, il est prévu une installation terminale embranchée sur la ligne ferrée Paris-Bâle (voies de garage et de chargement des trains). Des travaux préalables qui représentent près d'un million d'euros... À terme, l'installation traitera un million de tonnes de calcaire par an, matériau qui sera utilisé pour faire du béton et dont 90% seront transportés - essentiellement par train - en région parisienne où ils serviront au marché du bâtiment. La création d'une quinzaine d'emplois est prévue.



La couche de forme de grave non traitée fait 56 cm d'épaisseur et a été réalisée avec les premiers matériaux de découverte de la carrière toute proche.

travaux de terrassement, et Pass, pour la mise en œuvre de béton, nous ont expliqué qu'ils réalisaient des ronds-points ou des routes pour agriculteurs - notamment des voiries viticoles - sans avoir besoin de couler une aussi grande épaisseur de dalle. Par calcul, on a pu démontrer que 20 cm de béton de ciment de classe 5 (BC5) étaient suffisants pour le trafic escompté et pour la plate-forme projetée de classe PF2. Cela a permis de ramener le volume de béton d'environ 3 200 m³ à seulement 1 000 m³. Résultat : le prix final de réalisation de la chaussée est sensiblement équivalent à celui de l'enrobé, soit environ 400 000 euros ».

Une couche de forme en matériaux de découverte

D'une épaisseur de 56 cm de grave non traitée, la couche de forme de classe PF2 (valeur de portance pour le dimensionnement : 50 MPa) a été réalisée par l'entreprise Jean Poirier. Pour cela, elle a utilisé les matériaux de découverte qui commencent à être extraits de la carrière toute proche. Il s'agit du haut du gisement, celui qui est le plus abîmé par le temps et l'érosion. Pour la couche de roulement de 20 cm, le béton a été fabriqué dans la centrale BPE de Holcim Bétons à Bar-sur-Aube, les granulats provenant de la carrière de Petit-Mesnil.

« La classe de résistance du béton est C35/45 XF2, permettant de résister au gel faible ou modéré et aux sels de déverglaçage », précise Patrick Bindel, chef de site chez Holcim Bétons



Initialement prévue sur 16 cm, l'épaisseur de la couche de roulement de béton BC5 a été portée à 20 cm afin de garantir une bonne tenue de la chaussée sur 30 ans.

(France)-Région Centre Est. « Malgré les intempéries du mois de novembre 2012, la cadence était d'un camion malaxeur toutes les 20/30 minutes. Le coulage du béton, entre 60 et 80 m³/jour, était fait le matin, l'après-midi étant consacrée à la mise en œuvre ».

Une chaussée comprise entre 6,40 et 10 m de large

La mise en œuvre du béton a été réalisée par l'entreprise Pass. « À l'origine, nous pensions pouvoir utiliser une machine à coffrage glissant, mais la configuration du terrain nous a contraint à une mise en œuvre manuelle : règle vibrante, lissage, balayage... », précise Michel Monteiro, son directeur général. « En effet, la route comportant des virages très serrés, Holcim Granulats France a souhaité élargir la chaussée à ces endroits pour permettre aux camions de circuler dans de bonnes conditions. Ainsi, de 6,40 m dans les sections droites, cette largeur peut aller jusqu'à 10 m dans les sections courbes. Enfin, nous avons fait la mise en œuvre par demi-chaussée dans le sens de la descente, un goujonnage raccordant les deux dalles ». Avec tous ces travaux, Holcim Granulats France apporte une valeur ajoutée à l'ensemble du site. La route en béton est prévue pour tenir 30 ans, la durée de l'exploitation de la carrière. Le groupe cimentier assurera son entretien qui portera surtout sur les joints. Voilà une réalisation qui bouscule bien des idées reçues...



Le béton a été balayé, ce qui lui assure des performances de robustesse et de durabilité, ainsi que des qualités anti-dérapantes et une facilité d'entretien.

Remue-ménages

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

Le train-train quotidien d'un couple de franciliens

Un couple a choisi d'habiter en banlieue parisienne, au plus près de l'endroit où travaille Madame, et Monsieur a accepté de faire au quotidien le trajet jusqu'à Paris où il travaille dans une succursale bancaire. Le choix de la commune de résidence a été fait afin de permettre à Madame de venir tous les jours en voiture récupérer Monsieur à la gare à 19h00 précises.

La veille d'un jour férié, Monsieur a été autorisé à quitter son bureau plus tôt que d'habitude et il décide alors de prendre le train qui l'emmène à la gare à 18h00 précises.

N'ayant pas prévenu sa femme, il décide alors de marcher à sa rencontre. Madame, qui est une femme méthodique, part donc de chez elle à la même heure que d'habitude et conduit comme à l'accoutumée à la même vitesse en direction de la gare. Quand elle rencontre son mari, elle fait immédiatement demi-tour et le couple arrive à leur domicile 10 minutes plus tôt que d'habitude.

1) Combien de temps Monsieur a-t-il marché ?

2) Si Monsieur marche à la vitesse de 4 km/h, à quelle vitesse sa femme conduit-elle ?

Solution du Remue-ménages de Routes N°123 : Le rail ou la route ?

Rappel du problème posé : une usine située dans une ville A doit expédier des marchandises vers un centre commercial situé dans une ville B. La distance séparant les deux villes est notée « x ». Le responsable des expéditions de l'usine s'est interrogé sur le moyen le plus économique pour acheminer les marchandises : le rail ou la route ? Sachant que :

- Par chemin de fer, le coût du transport est proportionnel à la distance et il vaut « a » (€/t.100 km) auquel il faut ajouter un forfait de « b » (€/t) pour le transport usine-gare marchandises et un autre forfait « c » (€/t) pour le transport gare marchandises-centre commercial.
- Par route, le coût est également proportionnel à la distance de transport entre usine et centre commercial (distance supposée égale à « x ») et il s'élève à « d » (€/t.100 km). En outre, si les camions ont du fret en retour, le coût « d » est diminué de « e.f » (e est un forfait exprimé en €/t.100 km ; f est le pourcentage de remplissage au retour). Pour permettre aux clients de calculer les prix à l'avance, les transporteurs routiers ont adopté une règle qui stipule que le pourcentage de remplissage au retour varie en sens inverse de l'éloignement de leurs bases. En d'autres termes, ils admettent qu'ils ont d'autant moins de chances de trouver du fret en retour qu'ils s'éloignent davantage de leurs bases : au voisinage de leurs bases, le pourcentage de remplissage au retour est 100% et il diminue linéairement avec la distance pour s'annuler lorsque cette distance atteint la valeur de « g ».

1. Etablir les équations exprimant les coûts de transport d'une tonne, entre l'usine et le centre commercial, par rail et par la route.
2. Déterminer pour quelle valeur de « x » le mode de transport par rail est plus économique que celui de la route, sachant que : a = 12 €/t.100 km ; b = 3 €/t ; c = 3 €/t ; d = 15 €/t.100 km ; e = 5 €/t.100 km et g = 1500 km.

Solution : 1. Etablissons tout d'abord l'équation exprimant le coût de transport par rail d'une tonne de marchandises, soit « C_{train} ».

$$C_{\text{train}} = \frac{a}{100} x + b + c \quad (1)$$

Etablissons maintenant l'équation exprimant le coût de transport par route d'une tonne de marchandises, soit « C_{troute} ».

$$C_{\text{troute}} = \frac{d - ef}{100} x \quad \text{avec } f = 100 \frac{g - x}{g}$$

$$C_{\text{troute}} = \frac{d - ef}{100} x = \frac{d - e \cdot 100 \frac{g - x}{g}}{100} x$$

$$C_{\text{troute}} = \frac{d \cdot x}{100} - ex \frac{g - x}{g}$$

$$C_{\text{troute}} = \frac{e}{g} x^2 + \left(\frac{d}{100} - e \right) x \quad (2)$$

2. Le mode de transport par rail est plus économique que celui de la route si l'équation (1) est inférieure à l'équation (2), ou C_{train} est inférieur à C_{troute}.

$$\frac{a}{100} x + b + c < \frac{e}{g} x^2 + \left(\frac{d}{100} - e \right) x$$

Soit :

$$\frac{e}{g} x^2 + \left(\frac{d}{100} - e - \frac{a}{100} \right) x - b - c > 0 \quad (3)$$

L'équation (3) est une équation du second degré en « x ».

Avec : a = 12 €/t.100 km ; b = 3 €/t ; c = 3 €/t ; d = 15 €/t.100 km ; e = 5 €/t.100 km et g = 1500 km.

L'équation (3) s'écrit alors :

$$\frac{5}{1500} x^2 + \left(\frac{15}{100} - 5 - \frac{12}{100} \right) x - 3 - 3 > 0$$

$$\frac{1}{300} x^2 + \frac{497}{100} x - 6 > 0$$

$$x^2 - 1491 \cdot x - 1800 > 0 \quad (4)$$

L'équation (4) est vraie pour les valeurs de « x » :

$$X < -1,20 \text{ km. Et } X > 1\,492,20 \text{ km}$$

On peut en conclure que le mode de transport par rail devient compétitif pour les hypothèses spécifiques retenues dans l'énoncé, dès que la distance de transport dépasse 1 492,20 km.