

ROUTES

CIMENTS ≡ LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS ≡ BÉTONS

Travaux et équipements routiers • Terrassements • Aménagements urbains • Aéroports



// ATTENTION, QUESTIONNAIRE INCLUS À REMPLIR POUR MAINTENIR VOTRE ABONNEMENT EN 2020 //

// RÉFÉRENCE

Cannes : la « cité des festivals » embellit le boulevard Gazagnaire

// CHANTIER

Parc des Chanteraines : un chantier circulaire, exemplaire pour l'avenir !

// CHANTIER

Un traitement de sol mixte chaux-LHR pour le contournement de Nogent-le-Roi



// RÉFÉRENCE
CANNES (06)

Cannes : la « cité des festivals » embellit le boulevard Gazagnaire



// CHANTIER
GENNEVILLIERS-
VILLENEUVE-LA-GARENNE (92)

Parc des Chanteraines : un chantier circulaire, exemplaire pour l'avenir !



// CHANTIER
SACLAY-ZAC DE MOULON (91)

Paris-Saclay : des trottoirs et des voiries en béton pour la « Silicon Valley » française



// CHANTIER
NOGENT-LE-ROI (28)

Un traitement de sol mixte chaux-LHR pour le contournement de Nogent-le-Roi



// LE SAVIEZ-VOUS ?

Remue-ménages
Agenda
Sur la Toile
Vient de paraître



PHOTO DE COUVERTURE // Parc des Chanteraines (92) : les nouveaux cheminements piétonniers en béton désactivé.

CRÉDITS PHOTOS // Une : CIMbéton/Charles Desjardins - p. 3 à p. 5 : CIMbéton/Charles Desjardins - p. 7 à p. 13 : CIMbéton/Joseph Abdo et Charles Desjardins - p. 14 : EPA Paris-Saclay - p. 16 : CIMbéton/Charles Desjardins et EPA Paris-Saclay - p. 17 à p. 19 : Colas (agence Centre-Ouest de Chartres).

ROUTES 2020
VERS UNE SOLUTION
« DIGITAL ET PAPIER »

Pour accompagner les évolutions technologiques et sociétales, la revue *Routes* va évoluer à partir de 2020. Comment ? Plutôt que de tout basculer vers la digitalisation, il nous a paru judicieux de combiner le papier et le digital dans une nouvelle stratégie de communication.

Ce qui a motivé ce choix est que l'édition papier et le digital ont chacun des avantages et des limites. La meilleure solution est donc de les combiner au lieu de les opposer. En effet, le format papier se conserve beaucoup plus longtemps que tout format électronique. Les données électroniques sont étroitement dépendantes des logiciels et matériels qui permettent de les lire. Elles doivent, tous les 5 à 10 ans, être changées de format de fichier pour pouvoir rester consultables par les logiciels et matériels actualisés. De plus, la facilité et le confort de lecture du papier sont bien supérieurs aux possibilités des meilleurs écrans informatiques. Enfin, le papier permet une visualisation tridimensionnelle des données, qui entraîne une meilleure représentation mentale des informations. Celles-ci sont alors plus faciles à comprendre et à manipuler.

Le numérique a lui aussi ses avantages. Il offre un énorme gain de temps dans la recherche et dans la mise à jour des ouvrages. Les ressources numériques en ligne sont disponibles n'importe où. Elles peuvent nous suivre presque partout, sans encombrer notre valise. Elles sont en effet consultables partout où existe une connexion Internet.

Digital et papier sont donc complémentaires. Avec le digital, il y a la rapidité d'accès à l'information, le flux continu, l'instantané. Et avec le papier, il y a le confort, la stabilité, la permanence, la résistance au temps qui passe.

La revue *Routes* évoluera donc en 2020. D'une revue trimestrielle en papier regroupant plusieurs reportages techniques, elle se transformera en :

- Un flux continu de reportages digitalisés, diffusés par e-mailing périodiquement, au rythme d'un ou deux articles par mois en fonction des actualités ;
- Un best of en format papier rassemblant les meilleurs articles ou reportages et qui sera adressé par voie postale, en fin d'année, à tous les abonnés.

Pour nous aider à mieux identifier les sujets à traiter et à mettre en place cette évolution, nous vous remercions de bien vouloir remplir le questionnaire joint à ce numéro et surtout de nous communiquer votre adresse e-mail pour être en mesure de vous adresser les articles et les reportages sous format digital.

Bonne lecture !
Joseph ABDO



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00
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 2019 - ISSN 1161 - 2053 1994

CANNES : la « cité des festivals » embellit le boulevard Gazagnaire

Ville balnéaire de la Côte d'Azur, Cannes est mondialement célèbre grâce à son festival du film. Pour rester à la hauteur de sa réputation de cité chic et glamour, la municipalité mène depuis plusieurs années un vaste plan de rénovation urbaine. Utilisé à bon escient, le béton y joue un rôle discret mais très esthétique ! Exemple récent : la rénovation du boulevard Eugène-Gazagnaire.



Le boulevard Eugène-Gazagnaire rénové. Derrière les barrières amovibles, la piste cyclable « réversible » et le cheminement piéton en platelage de bois.

PRINCIPAUX INTERVENANTS



Maîtrise d'ouvrage

Ville de Cannes

Maîtrise d'œuvre

Ville de Cannes

Entreprises

Groupement Sogea-Brosio

Mise en œuvre du béton décoratif

MB Constructions

Fournisseur du béton

Vicat

Fournisseur du ciment

Vicat

Soucieuse de son image de capitale du cinéma, Cannes se préoccupe aussi de sa vocation de station balnéaire. Depuis plusieurs années, la commune poursuit un ambitieux programme de travaux visant à améliorer l'attractivité de la ville de ce point de vue. Parmi les chantiers d'importance, l'embellissement et la sécurisation du boulevard Eugène-Gazagnaire, situé sur le flanc est de la Pointe Croisette, entre le rond-point Florence-Gould et la place Franklin-Roosevelt (Palm Beach).

ÉTAT DES LIEUX ET PROBLÉMATIQUE

Orienté nord-sud, bordé par la mer à l'est et long d'environ deux kilomètres, le boulevard Eugène-Gazagnaire demandait à être requalifié et rénové. Voie à double circulation avec un revêtement bitumineux en fin de vie, il offrait un stationnement très dense de chaque côté. Ses trottoirs étaient revêtus de pavés autobloquants anciens, disjoints à de nombreux endroits. Son entretien devenait problématique...

Le mobilier urbain et l'éclairage avaient également besoin d'une modernisation. À l'entrée du cœur de ville, l'aspect esthétique laissait clairement à désirer ! L'objectif était donc de redéfinir le fonctionnement du boulevard pour l'adapter aux nouvelles exigences en matière de mobilité et pour faire face à l'affluence estivale.



Une entrée de plage vue côté boulevard.



Une entrée de plage vue côté mer.



La piste cyclable.

LES SOUHAITS DE LA MAIRIE

La municipalité a souhaité procéder à une réhabilitation respectueuse du caractère naturel et de l'authenticité du site. Objectifs affichés : embellir et rendre plus fonctionnel cet axe important situé en front de mer et bordé d'immeubles résidentiels, en y créant notamment une piste cyclable. Autres priorités de la « cité du luxe » : repenser le stationnement automobile et associer étroitement les résidents à cette opération.

LE PROJET RETENU

- En avril 2018, le financement du projet (situés entre le Palm Beach et le rond-point Florence-Gould) est adopté en conseil municipal. Il comprend notamment :
- // la mise en sens unique, sur une voie, du boulevard dans le sens nord-sud, avec un beau panorama sur les îles de Lérins ;
- // la création d'une plate-forme multifonctionnelle, offrant une piste cyclable entre le rond-point Florence-Gould et le Palm Beach en basse saison et du stationnement en haute saison ;
- // le maintien du stationnement sur voirie côté habitations ;
- // la suppression du stationnement côté mer, en basse saison ;
- // l'amélioration de la desserte en transports publics (avec la création d'arrêts en bord de mer) ;
- // la modernisation de l'éclairage.

Maître d'ouvrage, la ville de Cannes assure également la maîtrise d'œuvre du chantier, qui est confié, après un appel d'offres, au

groupement Sogea-Brosio.

Une première tranche de travaux, entre la place Franklin-Roosevelt (Palm Beach) et le rond-point Paul-Harris (port du Mouré-Rouge), a été engagée en novembre 2018. Elle s'est achevée cet été 2019. La partie entre le rond-point Paul-Harris et le rond-point Florence-Gould fera l'objet d'une seconde phase ultérieure.

MISE EN ŒUVRE : PREMIÈRE PHASE (DE L'HIVER 2018 À L'ÉTÉ 2019)

- Pour des raisons pratiques liées à la circulation, la première phase a été découpée en trois tranches :
- // après un temps de préparation durant l'hiver (en novembre-décembre 2018), la première étape des travaux, à proprement parler, s'est déroulée du 8 janvier à début mars 2019.
- Elle a concerné la section située entre le rond-point Paul-Harris et la rue Saint-Jin-Jin (300 m).
- La deuxième étape de travaux s'est déroulée de début mars à fin avril 2019. Elle a concerné une section située entre l'avenue de la Reine-Astrid et la place Franklin-Roosevelt (500 m), également fermée à la circulation.
- Enfin, de fin avril à début juin 2019, une troisième section, située entre la rue Saint-Jin-Jin et l'avenue de la Reine-Astrid (500 m), a également été fermée à la circulation.

Au total, 4 000 m² de béton décoratif ont été mis en œuvre, sur trois zones différentes (piste cyclable, trottoirs, entrées de plage),

avec des équipes allant jusqu'à huit intervenants. La réalisation a été confiée à MB Constructions, membre du Specbea, basée à Gattières (près de Nice, dans les Alpes-Maritimes) et connue pour la qualité de ses réalisations. Fabriqué à base de ciment Vicat, le béton a été fourni par la centrale BPE de la Roquette-sur-Siagne, située à la sortie nord de Cannes.

« Des aléas de chantier, comme il en arrive souvent, ont décalé le planning de réalisation, commente Charles-Édouard Saman, le gérant de MB Constructions. Nous devons commencer à couler le béton entre février et mars 2019. Finalement, nous avons débuté en avril et nous avons poursuivi l'opération jusqu'en juin, suivant un tempo très soutenu. »

PLATE-FORME MULTIFONCTIONNELLE : DU BÉTON DÉACTIVÉ POUR UNE PISTE CYCLABLE « RÉVERSIBLE »

Outre les importantes opérations de requalification, le principal « fil rouge » esthétique et pratique de l'opération consistait à créer une plate-forme multifonctionnelle entre le rond-point Florence-Gould et le Palm Beach. Changement le plus visible : la création d'une piste cyclable, bordant un cheminement piéton en platelage de bois. « Réversible », elle a pour particularité de pouvoir être neutralisée lors de la saison estivale, afin d'augmenter les capacités de stationnement.

// Caractéristiques de la piste cyclable
La piste cyclable a une largeur de 3,10 ml. Longueur totale : 1 000 ml.



Les trottoirs en béton désactivé.

Le boulevard, désormais en sens unique sur une voie.

// Épaisseur

500 m³ ont été coulés sur une épaisseur de 22 cm afin d'offrir une capacité structurelle suffisante pour le stationnement des voitures.

// Formule

« Nous avons utilisé une formule de béton désactivé qui a fait ses preuves. Il s'agit d'un béton fibré, comme tous les bétons décoratifs de MB Constructions, souligne Charles-Édouard Saman. Il est confectionné avec un petit granulats (4/6) beige rosé, très homogène, et un sable de la carrière Somat à La Turbie (Alpes-Maritimes), au-dessus de Monaco. Cette formule permet une désactivation très fine, avec un confort d'utilisation adapté à une piste cyclable. »

// Coffrage et altimétrie

« La piste cyclable jouxte le cheminement piéton en platelage de bois. La mise en œuvre de ce type de revêtement en lattes de bois, posé sur un béton de propreté, n'offre pas de marge de manœuvre en termes d'altimétrie. Nous devions réaliser d'abord un coffrage très précis, puis un coulage minutieux, pour faire en sorte que le béton affleure à la même hauteur que le platelage de bois. C'était un enjeu très important. Et nous avons parfaitement réussi ! » se félicite le gérant de MB Constructions.

// Mise en œuvre

Le béton a été taloché, lissé et réglé à la main.

// Joints

« Juste avant de procéder à la désactivation, nous avons réalisé des joints de fractionnement classiques (d'une largeur

de 2 mm) tous les 4 mètres, selon les règles de l'art », détaille Charles-Édouard Saman.

// Finition

« La formule sablée du béton permettait une désactivation très fine, ce qui facilite la pratique du vélo », répète le gérant de MB Constructions. Point délicat : la proximité de la mer et le respect de l'environnement, notamment en ce qui concerne le ruissellement de l'eau sous pression utilisée pour la désactivation.

« Nous avons eu la chance de pouvoir désactiver en ayant créé au préalable une pente en direction de la chaussée qui n'était pas encore réalisée. La laitance a donc pu être canalisée, enfouie et neutralisée dans la couche de forme, sans aucun impact sur l'environnement. Un avantage très appréciable sur ce type de chantier ! »

■ TROTTOIRS : BÉTON DÉSACTIVÉ, ÉMERGENCES ET NOUVEAUX CANDÉLABRES

De l'autre côté de la chaussée, au droit des façades des immeubles résidentiels, les trottoirs ont retrouvé une nouvelle jeunesse grâce au béton désactivé.

// Formule

« Nous avons mis en œuvre le même béton désactivé que celui de la piste cyclable, très esthétique avec la même finition très fine, toujours pour des raisons de confort d'utilisation », indique le gérant de MB Constructions.

// Mise en œuvre

Le béton a été taloché, lissé et réglé à la main.

// Joints

La présence d'un grand nombre d'émergences a nécessité un fractionnement adapté du béton pour prévenir le plus efficacement possible les fissures.

// Finition

En ce qui concerne la désactivation, la laitance a également pu être canalisée, enfouie et neutralisée sous la chaussée, sans aucun impact sur l'environnement. Ainsi rénovés, les trottoirs ont reçu de nouveaux candélabres qui les mettent esthétiquement en valeur.

■ ENTRÉES DE PLAGE

Côté mer, le boulevard Eugène-Gazagnaire est bordé d'un petit muret « en pierres rouges du type Esterel », qui a fait l'objet d'une rénovation. Régulièrement, tous les 30 à 50 mètres, des escaliers de quelques marches donnent accès à la plage, qui a été, par ailleurs, rechargée en sable.

Pour valoriser ces entrées de plage et les démarquer des autres espaces en facilitant le repérage visuel, un autre béton désactivé a été mis en œuvre : « Il incorpore un granulats roulé de la Durance (6/14), légèrement plus grossier et épais que celui utilisé pour la piste cyclable », explique Charles-Édouard Saman.

Pour l'ensemble de ces trois ouvrages, une protection du béton a été prévue. Elle a été exécutée début septembre. Réalisation de référence pour la cité balnéaire, le nouveau boulevard Gazagnaire a été inauguré le 2 juillet 2019. ■



PARC DES CHANTERAINES : UN CHANTIER CIRCULAIRE, EXEMPLAIRE POUR L'AVENIR !

**Déconstruction, recyclage sur place,
gestion naturelle de l'eau et rénovation...**

Situé entre Gennevilliers et Villeneuve-la-Garenne, le parc départemental des Chanteraines, labellisé EVE®, possède une superficie de près de 90 hectares. Le département des Hauts-de-Seine a créé le site à partir de 1978 et il en assure la gestion depuis lors. En 2018, il lance d'importants travaux de réaménagement en adoptant une approche urbanistique et environnementale novatrice. L'exemplaire opération de rénovation en cours préfigure l'avenir : déconstruction, recyclage des matériaux en place, gestion naturelle des eaux pluviales, solutions innovantes de revêtement en béton, avec, en prime, « piégeage du CO₂ » par carbonatation. Explications et panorama des techniques mises en œuvre...

**40 ANS
DE NATURE
AU CŒUR
DE LA VILLE**

GENNEVILLIERS-VILLENEUVE-LA-GARENNE (92)

MIEUX VIVRE // MIEUX CIRCULER // MIEUX PROTÉGER LA PLANÈTE



Les nouveaux cheminements piétonniers en béton désactivé.

**PRINCIPAUX
INTERVENANTS**



Maîtrise d'ouvrage

Conseil départemental des Hauts-de-Seine

Maîtrise d'œuvre

Conseil départemental des Hauts-de-Seine (direction des parcs, des paysages et de l'environnement)

Entreprise générale

ID Verde

Sous-traitants du béton

// Béton décoratif (désactivé et bouchardé) et béton 100 % recyclé : Les Compagnons de la Marne

// Béton drainant : Val de Loire Environnement

Fournisseurs du béton et du ciment

// Béton décoratif : Cemex (centrale de Gennevilliers) – Ciment EQIOM

// Béton drainant : centrale de chantier Val de Loire Environnement – Ciments Calcia

À

quelques pas de la ville, le parc des Chanteraines, qui accueille près de deux millions de visiteurs par an, est l'un des plus vastes du nord des Hauts-de-Seine.

Il invite les citadins au dépaysement, en proposant une grande diversité d'activités de détente et de découverte de la nature : parcours ornithologique, ferme pédagogique, train touristique, centre équestre, aires de jeux et de jeux d'eau, restauration légère, théâtre de marionnettes...

Objet d'une fréquentation assidue des « petits » – sorties scolaires et centres aérés – comme des « grands » – promeneurs ou joggeurs –, l'espace vert est dédié « à la nature et au confort urbain ». Il a été labellisé « Espace végétal écologique » (EVE®) par Écocert en 2012 (voir encadré) et est Refuge Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) depuis 2004. Réserve de biodiversité, il abrite une flore et une faune particulièrement intéressantes : il est par exemple l'un des rares lieux de reproduction des sternes pierregarins, une espèce d'oiseaux nicheurs inscrite sur liste rouge et classée « vulnérable » en Île-de-France. Par temps de canicule, il joue également le rôle d'îlot de fraîcheur.

Créé sur d'anciennes friches industrielles et inauguré par tranche à partir de 1978, le parc possède des infrastructures très sollicitées. Elles demandaient à être à la fois rénovées et repensées, même si les 25 000 m² de cheminements en béton, réalisés en 1989-1990 par l'entreprise Sylvain Joyeux (voir Routes n° 33, mars 1990), ont bien résisté. « Ces allées ont joué leur rôle dans de bonnes conditions, avec un minimum d'entretien », commente Farid Chikh, chef de l'unité Chanteraines-Ferme.

RESPONSABILITÉ ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Le projet de réaménagement du parc des Chanteraines s'inscrit dans une démarche volontaire de responsabilité environnementale et d'économie circulaire. Suivant la maxime « rien ne se perd, tout se transforme », une attention particulière s'est portée, entre autres, sur le traitement et le réemploi des bétons des anciennes allées ainsi que sur la mise en œuvre de granulats recyclés.

Un constat : « Traditionnellement, de tels travaux d'aménagement sur les parcs sont réalisés sans se soucier des matériaux en place, explique Farid Chikh. Ils sont évacués et d'autres, neufs, sont apportés. Ces transports génèrent une empreinte carbone importante. Or, les matériaux en place sont une ressource noble pour les nouveaux aménagements. Les volumes générés par le recyclage de ces matériaux sont considérables. Les économies le sont tout autant. Enfin, ils offrent une réelle traçabilité, car on en connaît la provenance, le processus de recyclage et la qualité in fine. Un autre point essentiel de ce chantier est l'approche et la prise en compte de la gestion des eaux pluviales et de ruissellement du site. »

Principal défi : moderniser les infrastructures, en adoptant une démarche totalement respectueuse de l'environnement, économe en moyens et en émissions de CO₂.

« Dès l'origine du projet de rénovation, fin 2016, le pari ambitieux a été d'envisager de réemployer in situ la quasi-totalité des matériaux qui allaient être démantelés. Il s'agissait de mettre en place un processus circulaire de gestion des matériaux, en pensant autrement et

en s'inspirant d'expériences menées en Europe ou Outre-Atlantique, détaille Farid Chikh. L'autre enjeu était la désimperméabilisation partielle des surfaces minéralisées avec déconnexion du réseau d'assainissement des eaux pluviales et de ruissellement, restituées directement au sol par différentes techniques (noues, pentes, accotements perméables). »

QUATRE IDÉES DIRECTRICES

Il s'agit de mener à bien le chantier de rénovation en économie circulaire axée sur :

- // le recyclage des matériaux avec « zéro déchets », imposant la réutilisation sur place du béton des anciennes allées ;
- // la rénovation des allées avec des techniques de voirie en béton innovantes et adaptées aux différentes situations existant sur le site ;
- // la réduction maximale des transports et des impacts sur l'environnement, avec notamment une gestion écologique des eaux pluviales ;
- // le rétablissement du cycle naturel de l'eau grâce à une « désimperméabilisation » d'une partie des emprises. Les solutions proposées (le recours au béton drainant et le shuntage du réseau d'assainissement, remplacé par des noues enherbées) ont permis d'obtenir le soutien financier de deux partenaires institutionnels : l'Agence de l'eau Seine-Normandie et la région Île-de-France (1).

UN CHANTIER DE DEUX ANS

Au total, l'opération s'étendra sur deux ans, le département des Hauts-de-Seine souhaitant que



Le concasseur mobile en action.
En médaillons : les granulats obtenus par concassage.

Les différentes fractions granulaires
obtenues après criblage.

(1) 421 000 € de l'Agence de l'eau Seine-Normandie et 291 000 € de la région Île-de-France.

les travaux soient conduits « de manière à générer le moins de perturbations possible », en maintenant l'accessibilité au public de certains secteurs.

Parmi les objectifs poursuivis (créer de nouveaux espaces verts qualitatifs, installer des équipements neufs, sécuriser

les accès), le remplacement en deux phases de 25 000 m² de cheminements en béton désactivé a fait l'objet d'une préparation et d'un suivi exemplaires.

Sollicité dès l'origine, le Centre d'information sur le ciment et ses applications (CIMbéton), fidèle à sa mission (2), a mis son savoir-faire au service du projet. Le directeur délégué

Routes, Joseph Abdo, a participé à l'évaluation des meilleures « solutions techniques et durables », en conseillant notamment le Département sur l'optimisation des pratiques et la mise en œuvre des différents bétons.

LA DÉCONSTRUCTION ET LE RECYCLAGE

Comment limiter les transports ? En réutilisant sur place les gravats issus de la déconstruction. Dès le début du chantier, afin de respecter le principe de l'économie circulaire, les opérations de déconstruction, de déstructuration du béton et de recyclage ont été menées *in situ* quasi simultanément par l'entreprise ID Verde, titulaire du marché.

DÉCONSTRUCTION ET CONCASSAGE

// Installation d'un concasseur mobile

Préparés dès l'automne 2018, les travaux de déconstruction-rénovation débutent à l'hiver 2018.

Solution retenue : un concasseur mobile est installé dans

le secteur des Tilliers, près de l'aire des jeux de boules, à l'est du parc, côté Villeneuve-la-Garenne. Cette zone de 4 500 m² accueille également les aires de stockage, prévues pour toute la durée de l'intervention (deux ans). En dehors du fonctionnement du chantier, cet espace servira aussi de zone d'exposition ouverte au public et aux scolaires pour valoriser la dimension environnementale de l'opération.

Le niveau sonore, qui a été évalué, se révèle limité et compatible avec le statut d'« Espace végétal écologique ». Chaque atelier de concassage est planifié pour durer cinq jours, en coordination avec les phases de déconstruction. Plusieurs types de machines interviendront successivement au cours de la démolition, en fonction de leur disponibilité.

// Déconstruction des allées

L'ancienne structure des allées du parc des Chanteraines comprenait 15 cm de béton fibré, coloré et désactivé sur une couche de forme de 20 cm d'épaisseur en matériaux récupérés compactables (MRC), avec calepinage en pavés de granit (10 cm x 10 cm), en bandes structurantes ou le long des caniveaux.

Ces dalles sont arrachées à la pelle mécanique puis transportées par dumper jusqu'au concasseur, sur une distance allant de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

// Concassage de l'ancien béton

Alimenté en continu par une pelle sur chenilles, le concasseur broie le matériau, transformant le béton et les pavés en cailloux et les criblant en trois granulométries (0/31,5, 20/40 et 40/80). Transportés par convoyeur,

LE CONCASSEUR
BROIE LE MATÉRIAU,
TRANSFORMANT
LE BÉTON ET LES PAVÉS
EN CAILLOUX



Le coffrage des nouvelles allées, avec la sous-couche en béton concassé.



Accotements avec poutres longitudinales (0,60 ml x 0,80 ml) utilisant des granulats issus du béton concassé, de granulométrie 60/80.

(2) Le Centre d'information sur le ciment et ses applications (CIMbéton) a pour mission de faire connaître les progrès techniques des ciments et des bétons dans tous les secteurs de la construction : bâtiment, travaux publics et génie civil. Matériau de proximité, le béton apporte au territoire d'où il est issu une palette de solutions constructives innovantes et éco-performantes. En matière d'aménagement durable, le béton répond ainsi aux défis sociaux et environnementaux d'aujourd'hui. Pour en savoir plus : www.infociments.fr

les cailloux sont répartis en différents tas pour une utilisation ultérieure.

« Nous avons un doute sur la possibilité de concasser les pavés en granit avec l'ancien béton, commente Farid Chikh, chef de l'unité Chanteraines-Ferme. Après test, cela s'est avéré possible, avec une excellente qualité des granulats obtenus. »

Bilan de l'opération : pas de déchets, pas de transports, pas de nuisances, pas de mise en décharge et la préservation des ressources granulaires.

RECYCLAGE

La première phase de déconstruction des allées (15 000 m² sur un total de 25 000 m²) génère une grande quantité de béton concassable.

Sur le chantier du parc des Chanteraines, le recyclage du béton déconstruit et transformé en granulats s'opère selon plusieurs modalités. En plus d'être recyclé dans de nouveaux revêtements (voir supra), l'ancien béton est réemployé en sous-couche, en accotements et en gabions. Lors de la seconde phase du chantier, il servira également de ballast de remplacement pour le chemin de fer du parc.

// Sous-couche

Selon les prévisions, jusqu'à 2 000 m³ de béton concassé de granulométrie 0/31,5 pourront être utilisés dans les sous-couches des cheminements rénovés.

// Accotements

Afin de rétablir un cycle de l'eau plus naturel et de réduire l'imperméabilisation des sols, le projet de rénovation implique la réduction de la largeur des allées en béton désactivé. Les allées principales passent de 4,5 ml

à 3,5 ml, les voies secondaires de 3,5 ml à 2,5 ml (ou éventuellement 2 ml) et les cheminements simples sont réduits à 1,40 ml (largeur minimale pour le croisement d'un piéton et d'une personne à mobilité réduite ou en fauteuil roulant). Les allées principales doivent cependant permettre le croisement des véhicules d'entretien grâce à des tranchées latérales drainantes, comblées de béton recyclé et enherbées. Ces poutres longitudinales (0,60 ml x 0,80 ml) utiliseront 500 m³ de granulats issus de béton concassé, de granulométrie 40/80. Le phénomène de carbonatation (voir encadré) aura pour effet de « piéger » entre 100 et 120 kg de CO₂ par mètre cube.

// Gabions

Casiers en fils métalliques remplis de minéraux non gélifs, les gabions peuvent être très esthétiques. En raison de leurs caractéristiques (notamment la présence de cavités), ils offrent aussi un habitat favorable aux insectes et à la microfaune. Cet intérêt écologique a motivé la création d'un « mur » en gabions d'une longueur de 150 ml dans la zone des Hautes Bornes. Les cages métalliques seront garnies de béton concassé et de pavés (granulométrie 40/80), qui joueront également un rôle particulièrement bénéfique pour le piégeage du CO₂ par carbonatation : entre 100 et 120 kg de CO₂ seront absorbés par mètre cube.

// Ballast de voie de chemin de fer

Quatrième mode de recyclage envisagé : l'utilisation du béton concassé (granulométrie 40/80) pour recharger le ballast du chemin de fer du parc est envisagée pour l'automne 2020 ou le début de 2021. Le matériau dispose des qualités mécaniques nécessaires pour remplacer le lit

CARBONATATION ET PIÉGEAGE DU CO₂

Le béton capte le CO₂ atmosphérique tout au long de la vie d'un ouvrage et même au-delà. Le CO₂ pénètre dans le béton par la porosité de surface et diffuse vers l'intérieur pour déclencher plusieurs réactions chimiques qui entraînent le piégeage du CO₂ dans un sel insoluble, le carbonate de calcium.

Ce phénomène naturel, que l'on appelle « carbonatation du béton », permet ainsi de capter, pendant la vie de l'ouvrage, de 15 à 20 kg de CO₂ par mètre cube de béton.

Quand l'ouvrage arrive en fin de vie et qu'on le démolit, le phénomène ne s'arrête pas. Au contraire, il s'amplifie. Le concassage du béton augmente la surface et la porosité offertes au CO₂.

En exposant à l'air les granulats issus du béton pendant plusieurs années, on peut piéger jusqu'à 120 kg de CO₂ par mètre cube de béton.



Gabions garnis de béton concassé.



L'allée d'accès à la ferme pédagogique, réalisée en béton 100 % recyclé.

GENNEVILLIERS-VILLENEUVE-LA-GARENNE (92)

MIEUX VIVRE // MIEUX CIRCULER // MIEUX PROTÉGER LA PLANÈTE

de cailloux qui supporte les voies du « petit train. » Cette hypothèse consommerait 5 000 m³ de béton concassé, avec une éventuelle récupération de la sous-couche de la voie. Comme pour le cas des gabions, l'utilisation du béton dans le ballast comme « puits de CO₂ » se révélera particulièrement positive pour le bilan carbone (entre 100 et 120 kg de CO₂ absorbés par mètre cube). Et comme l'idée du recyclage fait son chemin, la question de l'utilisation de traverses préfabriquées avec du béton issu de la déconstruction de la ligne se pose également. Environ 10 000 à 15 000 traverses, de dimensions non standardisées, seront à réaliser.

// Béton 100 % à base de granulats recyclés

Preuve du caractère particulièrement innovant du chantier, le conseil départemental des Hauts-de-Seine et sa direction des parcs, des paysages et de l'environnement n'ont pas hésité à souhaiter la réalisation d'une voie de service construite avec du béton 100 % à base de granulats de béton concassés et recyclés. Située dans la zone dite des Hautes Bornes, cette allée donne accès à la ferme pédagogique. Longue de 35 mètres, elle constitue le test grandeur nature d'une technique sans aucun doute promise à un bel avenir.

Ce béton, confectionné avec 100 % de granulats recyclés, a été réalisé en suivant les recommandations du projet national Recybéton. Lancé en 2012, celui-ci vise en particulier à la réutilisation, dans de nouveaux bétons, de l'intégralité des matériaux issus des bétons déconstruits (sable et granulats).

La fabrication a été effectuée à proximité du site, à partir des anciens bétons, par une centrale BPE (béton prêt à l'emploi) de Gennevilliers. Confectionné essentiellement

avec des fractions 0/31,5, il a permis le recyclage de 700 m³ de béton concassé.

Livré par toupie, le béton a été mis en œuvre à la goulotte, avant d'être taloché et réglé manuellement. Puis il a été balayé. De l'avis des équipiers, la cinétique et la consistance de ce béton ont nécessité une exécution précise et rapide. Le résultat – de couleur claire – est esthétique. Le piégeage du CO₂ par carbonatation sera de 15 à 20 kg de CO₂ absorbés par mètre cube.

LA RÉNOVATION

Fin 2019, 15 000 m² sur un total de 25 000 m² d'allées du parc des Chanteraines avaient été rénovés.

Trois types de revêtements en béton ont été mis en œuvre : du béton 100 % recyclé, du béton drainant et du béton décoratif, avec, selon les lieux, une finition bouchardée ou désactivée. Chacune de ces techniques a été choisie pour ses qualités, en fonction des besoins : confort, esthétique, durabilité, mais aussi respect de l'environnement. « *Le béton offre une palette infinie de possibilités adaptées à toutes les situations* », souligne Joseph Abdo, le directeur délégué Routes, qui a partagé son expertise technique lors des choix.

BÉTON DRAINANT

Mis en œuvre par Val de Loire Environnement, 500 m³ de béton drainant ont été utilisés comme revêtements sur plusieurs tronçons de cheminements, situés autour de l'étang, sur la parcelle des Tilliers, côté Gennevilliers. Objectif visé : favoriser le rétablissement du cycle naturel de l'eau. Superficie mise en œuvre : 4 000 m². Ce béton drainant a pour particularité d'avoir été réalisé sur site,



Allées en béton drainant permettant l'infiltration des eaux.

En médaillon : aspect de surface du béton drainant.

dans une centrale de chantier, par Val de Loire Environnement. « Dans l'optique d'un réaménagement durable du parc, soucieux du respect des éléments naturels, la solution d'un béton drainant a été appliquée sur des zones adaptées, permettant une optimisation de la gestion des eaux pluviales », commente Farid Chikh, chef de l'unité Chanteraines-Ferme. En 2016, sur cette même aire des Tilliers, Val de Loire Environnement avait déjà réalisé deux aires de jeux, en mettant en œuvre 15 cm de béton drainant sur un fond de forme compacté (voir Routes n° 139, mars 2017).

« Le béton drainant favorise également l'évapotranspiration, précise de son côté Joseph Abdo, le directeur délégué Routes, c'est-à-dire qu'il libère dans l'atmosphère l'humidité accumulée. Il apporte également plus de confort aux usagers qui gardent les pieds au sec par temps de pluie, sans flaques, ni boue, et qui, l'été, par fortes températures, bénéficient de la capacité du béton à mieux réguler la chaleur. »

BÉTON DÉCORATIF

Deux types de bétons décoratifs ont été mis en œuvre lors de cette première phase de rénovation du parc.

// Béton bouchardé avec inclusions de spilite

D'un aspect esthétique flatteur, le béton bouchardé a été choisi comme revêtement aux entrées nord (accès de la Ferme, parcelle des Hautes Bornes, côté Villeneuve-la-Garenne) et sud (accès du parc côté RER et tramway, parcelle des Tilliers, côté Gennevilliers). Envisagé à l'origine avec une finition désactivée, il a bénéficié, grâce au travail d'accompagnement de Cemex, fournisseur du béton, d'inclusions de spilite

(un basalte riche en feldspaths sodiques) de couleur verte, répandu à sa surface pour le rendre encore plus attrayant. « Ce béton avec inclusions a été choisi pour faciliter le repérage visuel des promeneurs, détaille Farid Chikh, chef de l'unité Chanteraines-Ferme. L'aspect minéral, à la fois naturel et très attrayant, s'intègre parfaitement à l'environnement de verdure. » Les Compagnons de la Marne en ont mis en œuvre 200 m³.

// Béton désactivé

Depuis ses origines, le béton désactivé fait partie de l'identité visuelle du parc des Chanteraines. C'est lui qui donne son charme et sa personnalité à ses allées. Démolis et concassés, les anciens cheminements en béton désactivé ont été remplacés par de nouveaux, également en désactivé. Pour ce type de revêtement, les opérations de rénovation se sont concentrées sur la parcelle des Tilliers, autour de l'étang. L'objectif est le même qu'il y a trente ans : créer des allées d'aspect minéral et naturel, confortables, esthétiques (sans les pavés, remplacés par des joints de calepinage), avec la même durabilité. Volume de béton mis en œuvre : 1 500 m³ sur une épaisseur de 18 à 21 cm, selon les tronçons.

JOINTS DE RETRAIT ET DE DILATATION

Tant dans le cas du béton bouchardé que du béton désactivé, le calepinage des joints a fait l'objet d'une attention toute particulière grâce aux conseils de CIMbéton. Il a été validé et modifié en tant que de besoin avant chaque réalisation.

Comme l'exigent les règles de l'art, des joints de retrait ont été réalisés de la manière suivante :



Béton bouchardé avec inclusions de spilite.



Les nouvelles allées en béton désactivé.

GENNEVILLIERS-VILLENEUVE-LA-GARENNE (92)

MIEUX VIVRE // MIEUX CIRCULER // MIEUX PROTÉGER LA PLANÈTE

// pour les allées de largeur de 3 à 4,5 m, les joints ont été espacés de 4 m ;

// pour les allées de faible largeur (inférieures à 3 m), les joints ont été espacés de 3 m.

Ils ont été réalisés le lendemain de chaque coulage, après désactivation. Les laitances de désactivation ont été récupérées avec des géomembranes.

Les cheminements ont été également équipés de joints de dilatation, dont l'emplacement et les dimensions ont été soigneusement déterminés afin de garantir l'intégrité du revêtement tout au long de sa durée de service.

REOUVERTURE À LA CIRCULATION

La réouverture à la circulation des promeneurs et des véhicules légers s'est effectuée lorsque le béton a atteint la résistance à la compression de 14 MPa, soit deux ou trois jours après le coulage à température normale.

BILAN ET PERSPECTIVES

Dans le réaménagement exemplaire du parc des Chanteraines, les différentes solutions envisagées et mises en œuvre autour du béton, de son utilisation et de sa réutilisation, ont les mêmes objectifs : limiter les nuisances et les répercussions environnementales en optimisant la gestion de la matière première et les process dans le cadre d'une démarche globale et responsable (contribuant, à son échelle, à la réduction du réchauffement climatique).

LA COMMUNICATION AVEC LE PUBLIC

Une exposition, en cours de réalisation, sur ce chantier circulaire va être mise en place sur le site. Il s'agira d'un outil

didactique à destination du public — et particulièrement celui des collègues et des écoles — avec pour objectif de sensibiliser aux questions de gestion des ressources, qui sont un sujet pour les générations présentes et futures.

DEUX TYPES DE BÉNÉFICES

Au total, selon l'estimation réalisée par CIMbéton, l'ensemble de ces travaux impliquant la filière du béton a eu deux types de bénéfices :

Économies dans la phase de construction :

- > 293 100 € ;
- > 8 318 t de granulats (sous forme de matière première) ;
- > 58 525 l de carburant ;
- > 170 t d'émissions de CO₂ liées au transport.

Absorption de CO₂ durant la vie en œuvre :

> 900 t de CO₂.

UN CHANTIER EXEMPLAIRE TRANSPOSABLE

Farid Chikh précise : « Il est tout à fait envisageable de déployer ce type de démarche ou de chantier circulaire sur d'autres sites :

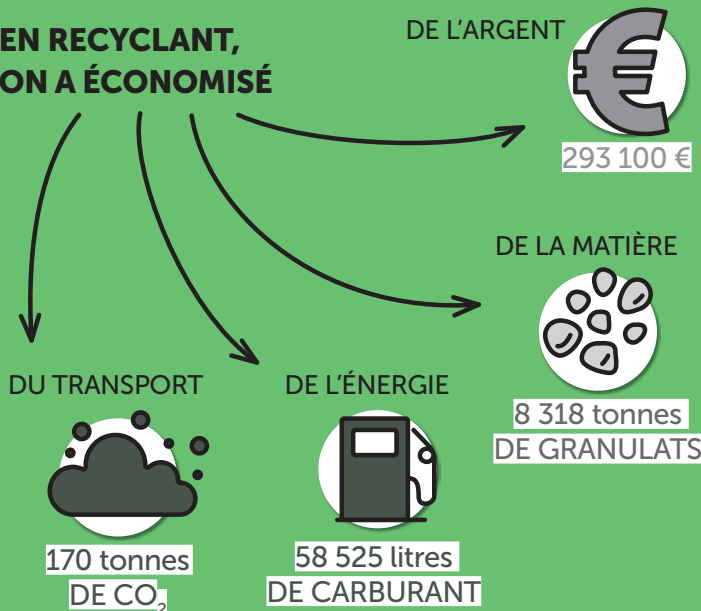
- // au cas par cas, selon la configuration des lieux ;
- // en optimisant la simultanéité des chantiers (programmation) ;
- // en organisant, selon les distances entre les sites ou les chantiers, les opérations de recyclage des matériaux. »

Conclusion commune de Farid Chikh et de Joseph Abdo : « Cette opération est un véritable cas d'école ! C'est un chantier "gagnant-gagnant" presque parfait ! »

LES BÉNÉFICES DE LA DÉMARCHE

À LA CONSTRUCTION

EN RECYCLANT, ON A ÉCONOMISÉ



DURANT LA VIE EN ŒUVRE

EN CAPTANT LE CO₂,

ON CONTRIBUE À LA RÉDUCTION DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE.

LA QUANTITÉ DE CO₂ (Q_{CO₂}) QUI SERA CAPTÉE PAR L'ENSEMBLE DES AMÉNAGEMENTS EST :

$Q_{CO_2} = 858\ 000\ \text{kg CO}_2$

soit environ :

900 tonnes de CO₂

PARIS-SACLAY : DES TROTTOIRS ET DES VOIRIES EN BÉTON POUR LA « SILICON VALLEY » FRANÇAISE

À vingt kilomètres au sud de Paris, la ZAC du quartier de Moulon (Essonne) – partie du vaste projet Paris-Saclay, la « Silicon Valley » française – va accueillir l'École normale supérieure (ENS-ex-Cachan), CentraleSupélec, des résidences universitaires, des logements et des commerces... Un projet ambitieux qui intègre à son esthétique et à sa modernité des revêtements en béton : plus de 10 000 m² y seront mis en œuvre d'ici à 2020.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

EPA Paris-Saclay

Maîtrise d'œuvre

Groupement Atelier de paysages

Bruel-Delmar (mandataire)-

Germe & JAM urbanistes-Artelia

BET VRD-Scène publique

éclairagiste

Entreprises

Groupement TERE-Colas (réseaux)-

SFRE (mandataire)

Mise en œuvre du béton décoratif

PDF Travaux publics et Sols

Confluence

Fournisseur du béton

Lafarge (centrale BPE de Wissous)

Fournisseur du ciment

Lafarge



La ZAC de Moulon, vue aérienne.

Avec plus de deux millions de mètres carrés concernés, le projet Paris-Saclay constitue le plus vaste projet urbain européen actuellement en construction. Créé sur le plateau de Saclay, au sud de l'Île-de-France, ce pôle scientifique et technologique (cluster) concentrera à terme entre 20 et 25 % de la recherche scientifique française. Il se compose de plusieurs zones d'aménagement concerté (ZAC) dans les Yvelines et en Essonne, placées sous la maîtrise d'ouvrage de l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay et destinées à permettre l'éclosion des futurs quartiers de cette « Silicon Valley » française.

LA ZAC DE MOULON, QUARTIER DU CLUSTER PARIS-SACLAY

À cheval sur trois communes (Orsay, Gif-sur-Yvette et Saint-Aubin), la ZAC du quartier de Moulon (Essonne) s'étend sur 337 ha. Elle se situe dans la partie sud du cluster Paris-Saclay. L'urbanisation du quartier est prévue jusqu'à fin 2028, mais des résidents s'installent déjà. En plus de services, de commerces et d'espaces verts (le parc

de Moulon, le Jardin argenté), le nouveau quartier qui sort de terre est le lieu d'implantation de l'École normale supérieure (ENS) Paris-Saclay (ex-Cachan) et de l'école d'ingénieurs CentraleSupélec. Il accueille l'accélérateur de particules (synchrotron) Soleil, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) ainsi que l'université Paris-Sud. Le quartier de Moulon englobe également trois parcs d'activités dédiés aux entreprises.

ARCHITECTURE CONTEMPORAINE ET PAYSAGE

Plusieurs grands noms de l'architecture contemporaine et du paysage – Michel Desvigne, Renzo Piano, OMA, Jean-Michel Wilmotte, Studio Muoto – signent les multiples bâtiments ou aménagements en cours d'achèvement.

Les travaux d'aménagement des voiries et des espaces publics avancent également à grands pas. On y note la présence très esthétique de bétons décoratifs pour le revêtement des trottoirs et de certaines voiries, une volonté de l'Atelier de paysages parisien Bruel-Delmar, qui a repris la maîtrise d'œuvre du projet en 2017.

LE CHOIX DU BÉTON

« Au préalable, il faut rappeler que le béton a été retenu pour affirmer les orientations urbaines du quartier », souligne-t-on à l'Atelier de paysages Bruel-Delmar, mandataire du groupement en charge de la maîtrise d'œuvre.

Pour les architectes, l'intention était double : « À la fois, marquer les centralités de quartier et affirmer la prédominance de la place donnée aux piétons, précisément sur le territoire de Gif-sur-Yvette. Et, parallèlement, à l'échelle de Moulon et du plateau de Saclay, souligner la grande armature nord-sud des espaces publics qui relie le plateau et la vallée de l'Yvette aux grands systèmes de parcs paysagers. Ces grandes continuités "piétons et cycles" mettent en relation les grandes centralités de quartier avec les systèmes de parcs. Le béton permet d'affirmer cette armature piétonne et de promenade. »

UN MARCHÉ À BONS DE COMMANDE

Il s'agit d'un marché à bons de commande, conclu en 2018 pour quatre ans et renouvelable en 2022. Il est réalisé par trois sociétés : la Société francilienne de routes et d'équipements (SFRE) est chargée des terrassements, tandis que la mise en œuvre des revêtements en béton a été confiée à deux spécialistes, la société essonnoise PDF TP, basée à Morangis, en association avec Sols Confluence, l'agence lyonnaise du groupe Sols. PDF TP a été l'une des toutes premières sociétés franciliennes choisie comme « applicateur » par Lafarge pour ses bétons décoratifs. Depuis deux ans, seule l'entreprise essonnoise est intervenue sur le chantier. Sols Confluence devrait le faire à l'avenir.

UNE FINITION BOUCHARDÉE

Tous les revêtements en béton sont bouchardés. Ils sont réalisés à base de ciment Lafarge dans la centrale BPE de Wissous. Dotée d'une importante capacité de production, elle est la seule habilitée à approvisionner le chantier de la ZAC de Moulon. « Les formules sont spécifiques », précise Sébastien Vermeil, le dirigeant de PDF TP. Elles ont été mises au point après plusieurs planches d'essais, en liaison étroite avec le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, pour une durée de vie estimée à trente ans. »

LES STRUCTURES RETENUES

En fonction des types de circulations, les structures retenues sont :

TROTTOIRS (exclusivement piétonniers ou à circulation occasionnelle)	VOIES "POMPIERS", VOIES D'ACCÈS, PLACES DE STATIONNEMENT	VOIES DE DISTRIBUTION LOCALE
		Couche de surface 19 cm BC5
	Couche de surface 15 cm, 18 cm (T5) ou 21 cm (T4) BC5	Couche de fondation 15 cm BC3 fibré
Couche de surface 12 cm BC5	Couche de forme 35 cm grave-ciment	Couche de forme 35 cm grave-ciment
Couche de forme 10, 20 ou 25 cm GNT		
Sol support	Sol support	Sol support

SOUS-COUCHES

// de la GNT (sur 10, 20 ou 25 cm pour les cheminements piétons) ;
// de la grave-ciment (sur 35 cm pour les voies « pompiers », les stationnements et la voirie).

REVÈTEMENT DES TROTTOIRS (CHEMINEMENTS PIÉTONS)

Au total, PDF TP et Sols Confluence couleront 10 500 m² de béton pour la réalisation des trottoirs, à raison d'environ 50 m³ par semaine.

Zone ENS : 3 500 m².

Zone O'Rizon : 7 000 m².

Le béton BC 5 (Artevia® Roche de Lafarge) est mis en œuvre sur une épaisseur de 12 cm. Il intègre un granulats Dmax 8. Son aspect de surface est agréable et il offre un excellent confort d'utilisation. La couleur, un crème légèrement ocré, a été choisie pour être en harmonie avec les tonalités des aménagements urbains de la ville voisine de Gif-sur-Yvette.

Particularité : les trottoirs de la ZAC de Moulon sont divisés en quatre zones. Après la bordure noire située le long de la voirie (largeur de 25 cm), une première zone large de 35 cm est réalisée en béton crème-ocre. « Elle permet aux automobilistes d'ouvrir leurs portières côté trottoir, sans gêner la circulation des deux-roues », explique Grégory Aissa, le conducteur de travaux de PDF TP. Puis, après une bordurette (10 cm), vient la piste cyclable, large de 1,50 m, réalisée en enrobé de couleur ocre orangé. Une troisième zone de 2 m de large, en revêtement de béton crème-ocre, permet la circulation des piétons. Enfin, au droit des immeubles, une double rangée de bordures de couleur noire (type Volvic : cailloux noirs, sable noir) permet de dissimuler les réseaux et d'en faciliter l'accès en cas de travaux.

Finition du béton : bouchardage.

REVÈTEMENT DES VOIES « POMPIERS », DES VOIES D'ACCÈS AUX PARKINGS SOUTERRAINS ET DES PLACES DE STATIONNEMENT

Il a été prévu que PDF TP et Sols Confluence en couleront au total 7 300 m².

Zone ENS : 2 900 m².

Zone O'Rizon : 4 400 m².

La largeur de ces voies varie de 5 à 8 m, selon la configuration des lieux. Le béton BC5 (Artevia® Roche de Lafarge), de couleur crème-ocre, avec un granulats Dmax 20, est mis en œuvre sur une épaisseur variable : 15 cm pour les voies « pompiers » et les places de stationnement (éventuellement 18 cm pour un trafic T5 [3 à 25 PL/j] et 21 cm pour un trafic T4 [26 à 50 PL/j]).

Finition du béton : bouchardage.

STRUCTURE DE VOIRIES

La superficie à réaliser par PDF TP et Sols Confluence est de 4 700 m².

Zone ENS : 1 200 m².

Zone O'Rizon : 3 500 m².

La couche de fondation est constituée de 15 cm de béton BC3 fibré et surmontée d'une couche de surface de 19 cm en béton BC5 (Artevia® Roche de Lafarge), crème-ocre, avec un granulats Dmax 20.

Finition du béton : bouchardage.

MISE EN ŒUVRE

Avant la mise en œuvre du béton de revêtement, PDF TP a posé 15 km de bordures de trottoirs en béton, préfabriquées par Sitinao (Bonna Sabla), de type Volvic, de couleur noire (cailloux noirs, sable noir), ainsi que des éléments préfabriqués pour l'assainissement (têtes d'aqueduc et batardeaux).



Une voirie en béton bouchardé (avec joint métallique Terrajoint de chez Peikko).



Les trottoirs en béton bouchardé intégrant une piste cyclable (en enrobé).



Vue d'artiste des aménagements qui font une large place aux piétons et aux cyclistes.

« Nous n'intervenons que pour le coulage de la couche de surface et de la couche de base, précise encore Grégory Aissa. La couche de forme est préparée par SFRE. »

Au sein de la ZAC de Moulon, PDF TP opérera, cet automne 2019, sur une zone correspondant à un quadrilatère de 500 m sur 400 m. « Pour des motifs pratiques, nous avons divisé cet ensemble en deux, en distinguant les travaux effectués autour de l'École normale supérieure (ENS), située au nord-est, et ceux réalisés dans le secteur que nous avons baptisé O'Rizon », indique le conducteur de travaux. Pour des raisons d'accessibilité mais également « par préférence », PDF TP met en œuvre le béton à la pompe. « Dès l'origine, la formule retenue pour le béton était un béton pompable, très plastique, de classe S3, avec entre 100 et 150 mm d'affaissement au cône d'Abrams, indique Grégory Aissa. Compte tenu de la présence des bordures, il y a peu ou pas de coffrage, ce qui facilite la réalisation. Nous sommes rodés à ce type de mise en œuvre qui nous permet de couler sur de grandes superficies, après une préparation minutieuse, à raison de 5 à 8 toupies par jour, soit 50 à 60 m³, jamais en dessous de 200 m² (et jusqu'à 400 ou 500 m²) en une seule intervention. » Préalable indispensable : l'utilisation de produits spécifiques (du type Protector de Grace-Pieri) pour éliminer les éclaboussures.

Une fois pompé, le béton est réglé de préférence au rouleau striker, « ce qui permet un gain de temps appréciable » et, à défaut, manuellement, à la règle. Et cela sans vibration pour éviter la ségrégation des granulats.

■ CURE

« Un produit de cure du type Easy Cure de chez Grace est pulvérisé environ une ou deux heures après le réglage, indique Grégory Aissa. Nous n'utilisons pas de film en polyane pour recouvrir le béton frais. »

■ JOINTS

// Joints de retrait

Les joints de retrait (largeur de 3 ou 4 mm) sont réalisés entre « J + 1 et J + 3 » en fonction des conditions météorologiques et du calepinage de l'architecte, selon les indications fournies par CIMbéton, à raison d'un trait de scie au minimum par 20 à 25 m² (compte tenu de l'épaisseur). Ces traits de scie sont comblés de Weber Joint Large en prévision du bouchardage et pour ne pas endommager les arêtes des sillons ainsi réalisés.

// Joints de dilatation

« Pour les trottoirs et pour les voies "pompiers", nous utilisons des joints

de dilatation classiques en aluminium. Nous les avons choisis de type Essoflor MM Alu pour les trottoirs et de type Terrajoint de chez Peikko pour la voirie. Ils sont espacés tous les 20 à 30 m, en concertation avec le cabinet Bruel-Delmar et PDF TP », détaille Grégory Aissa.

■ BOUCHARDAGE

Après test au scléromètre pour vérifier la résistance du béton, qui doit être comprise entre 12 et 15 MPa, le bouchardage peut être réalisé. Il s'effectue sur une épaisseur de 3 ou 4 mm. « Dans la mesure du possible, détaille le conducteur de travaux de PDF TP, nous utilisons des bouchardeuses télécommandées et autopropulsées, car ces machines sont lourdes et difficiles à manier. » Une fois le bouchardage effectué et après nettoyage à haute pression (qui permet également de se débarrasser des éclaboussures traitées au produit de protection), PDF TP applique un apprêt « bouche-pores » Protect Emulsion de chez Grace afin de colmater les microaspérités du béton et de le rendre moins vulnérable aux tâches. Le travail est achevé.

■ CONTRAINTES DU CHANTIER

« Nous avons commencé à mettre en œuvre les différents types de bétons quasi simultanément en septembre 2018, en fonction de l'avancée des travaux, explique Grégory Aissa. La cadence est d'environ un coulage par semaine, compte tenu notamment de la météo. L'importance du chantier rend le phasage complexe. À peine achevés, certains immeubles sont déjà habités. Nous devons donc rendre les abords circulables le plus rapidement possible. Étant donné le nombre d'intervenants, la coordination est forcément délicate et il n'est pas rare que nos réalisations aient à en souffrir, notamment à cause de la circulation prématurée d'engins lourds. C'est une contrainte à laquelle nous avons dû nous adapter et qu'il a fallu surmonter. »

■ « LE CHANTIER DE LA DÉCENNIE »

« Pour une entreprise comme PDF TP, le chantier de la ZAC de Moulon, c'est le chantier de la décennie, pour ne pas dire du siècle ! concluent ensemble Sébastien Vermeil, le dirigeant, et Grégory Aissa, le conducteur de travaux. Cette superbe opération nous offre la possibilité de mettre en œuvre notre savoir-faire béton de façon exceptionnelle, sur une longue durée. Du point de vue technique, participer à la création de la future "Silicon Valley" française, c'est extrêmement valorisant et enrichissant. Et esthétiquement, le résultat est très réussi ! » ■

Un traitement de sol mixte chaux-LHR pour le contournement de Nogent-le-Roi

Après un demi-siècle d'études et de travaux, la création du contournement de Nogent-le-Roi (Eure-et-Loir) – rendue possible notamment par la réalisation adaptée d'un traitement de sol mixte chaux-liant hydraulique routier (EQIOM ROC AS) – s'achève enfin. Retour sur un chantier d'envergure, en partie conduit par l'agence Colas-Centre-Ouest (Chartres).

L'atelier de traitement de sol de l'agence Colas-Centre-Ouest (Chartres).

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

Conseil départemental d'Eure-et-Loir

Maîtrise d'œuvre

Conseil départemental d'Eure-et-Loir

Entreprise

Colas (agence Centre-Ouest de Chartres)

Fournisseur du liant hydraulique routier

EQIOM (ROC AS)



LE CHANTIER EN CHIFFRES

- // Déblais et remblais : 160 000 m³
- // Couche de forme : 34 000 m³
- // Liant hydraulique routier : 1 200 t
- // Chaux : 700 t

À une vingtaine de kilomètres de Dreux et à une trentaine de Chartres et de Rambouillet, Nogent-le-Roi (Eure-et-Loir), située dans la vallée de l'Eure, est une charmante commune d'un peu plus de 4 000 habitants. Surplombée par son château et par l'église Saint-Sulpice, l'agglomération compte plusieurs monuments historiques, notamment d'anciennes maisons à colombages, dont certaines datent du XV^e siècle.

PROBLÉMATIQUE : LA DÉRIVATION DU TRAFIC ET LE CONTOURNEMENT DE NOGENT-LE-ROI

Le bourg est traversé par les RD929, RD983 et RD4. Depuis les années 1970, le trafic de cet itinéraire qui relie Dreux à Rambouillet via Épernon n'a cessé d'augmenter. Des cohortes de camions traversaient le centre historique de Nogent-le-Roi en frôlant les élégantes maisons d'époque Renaissance. Cette situation a imposé d'envisager, dès cette période, le contournement de la commune,

acté dans le « schéma d'aménagement de la vallée de l'Eure ». Après une longue période d'études et une déclaration d'utilité publique en 2007, les agglomérations concernées (Nogent-le-Roi, Lormaye, Coulombs et Chaudon) se sont finalement mobilisées, et les travaux du contournement de Nogent-le-Roi ont commencé.

PROJET : RELIER LES RD21, RD4, RD983 ET RD26

Le projet retenu reprend en grande partie des tracés identifiés, dès les années 1970, dans le « schéma d'aménagement de la vallée de l'Eure ». Il prévoit un contournement par l'est et doit permettre à terme de relier les RD21, RD4, RD983 et RD26.

LES ÉTAPES DE RÉALISATION

Plusieurs chantiers d'importance (1) ont été réalisés pour permettre la finalisation du projet. L'une des dernières étapes en date consistait en l'achèvement de la liaison RD307-5-RD307-4-RD4-RD116a, avant-dernière tranche avant la traversée de la vallée de l'Eure.

(1) L'étape initiale a consisté à réaliser une première déviation afin d'empêcher la traversée du village d'Ormoy par un trop grand nombre de véhicules. Elle a également permis de sécuriser cette traversée sinueuse. La réalisation de la tranche de la route de Châteauneuf-route de Vacheresses a été ensuite engagée, avec la création de deux giratoires. À cette occasion, des campagnes de fouilles archéologiques ont été menées. En octobre 2013, les travaux visant à construire deux ouvrages d'art – l'un pour le franchissement du ruisseau de Vacheresses et l'autre pour celui de Roulebois – ont été lancés. Ils sont aujourd'hui achevés. Enfin, la première tranche de la route de Vacheresses-route de Maintenon, liaison entre la RD26 à la RD983, a été achevée en 2015.

LE PROLONGEMENT DU CONTOURNEMENT JUSQU'AUX RD307-5 ET RD116A

Il ne restait plus qu'à achever le contournement en reliant la RD4 à la RD21 via la RD307-5 et la RD983.

CARACTÉRISTIQUES DE LA NOUVELLE CHAUSSÉE

À partir de la RD307-5, le tronçon du contournement est long de 750 m, d'un giratoire à l'autre. « Il s'agissait de créer un axe routier à deux voies, avec une largeur de chaussée de 13 mètres linéaires, commente Mohamed Yaou, responsable du bureau d'études de l'agence Colas-Centre-Ouest (Chartres). Le réseau d'eaux pluviales de la chaussée est composé majoritairement de fossés enherbés à ciel ouvert, aménagés de part et d'autre de la voirie. »

LE CHOIX DU TRAITEMENT DE SOL

Pour ce chantier, le conseil départemental, maître d'ouvrage et maître d'œuvre, souhaitait recourir à une solution mêlant apport granulaire et traitement de sol pour la réalisation de la couche de forme.

L'agence Colas-Centre-Ouest (Chartres), basée au Coudray, répond en proposant une autre solution.

« Dans ce cas précis, poursuit Mohamed Yaou, nous avons pu suggérer une variante qui a été retenue par le département d'Eure-et-Loir : un traitement de sol mixte (chaux-liant hydraulique routier) adapté aux objectifs de performance imposés, avec un bilan environnemental positif et compétitif en termes économiques. Notre agence a un rayonnement départemental. Sa stratégie opérationnelle l'est également. Nous effectuons tous les travaux pour lesquels nous disposons d'une expertise spécifique en interne et du matériel adéquat. Dans le cas de ce chantier, nous avons une connaissance approfondie des différents paramètres : la nature du sol, les objectifs de portance pour le traitement, etc. Nous maîtrisons aussi la fourniture (achat de liants et de chaux) ainsi que les délais de mise en œuvre. »

LA VARIANTE « ÉCO-RESPONSABLE » RETENUE

Concrètement, en ce qui concerne les travaux, Colas a proposé de « de traiter l'arase à la chaux et de remplacer la couche de forme prévue en GNT par du traitement de sol, pour des raisons à la fois économiques et environnementales. Avec nos services internes, nous avons minutieusement travaillé sur les paramètres du chantier et nous avons justifié les intérêts environnementaux de notre variante, notamment au moyen de l'éco-comparateur logiciel SEVE. Il intègre des indicateurs essentiels : les émissions de CO₂, la préservation des ressources, la gestion de l'eau, le respect

de la biodiversité ou l'énergie. »

La variante « traitement de sol », proposée par Colas, est à la fois plus simple et plus performante : « Le traitement de sol mixte (chaux-liant hydraulique routier) permet d'obtenir des portances minimales PF2, voire PF3. Il offre la possibilité de réduire l'épaisseur des couches bitumineuses, tout en procurant un gain de temps. Ainsi, nous avons pu gagner jusqu'à 11 cm d'épaisseur de matériaux bitumineux par rapport à la solution de base, pour des performances techniques identiques, grâce au traitement de l'arase et de la couche de forme, et à l'utilisation d'une grave-bitume à la formulation optimisée (Optibase® de Colas) à la place d'une grave-bitume classique. »

PARTICULARITÉ DU TRAITEMENT DE SOL

Grâce à un maillage de sondages de la zone, une cartographie précise du terrain avait été dressée. Afin de tenir compte de la composition variable des sols, des dosages adaptés ont pu être réalisés selon les zones. Autres propositions validées :

// des taux d'agrégats, incorporés dans les matériaux bitumineux, plus forts ;

// des dosages optimisés.

Très sensible aux aspects environnementaux, le conseil départemental de l'Eure-et-Loir prête attention à cette approche. Avec ses propositions « éco-responsables », c'est la variante Colas qui l'emporte.

DÉLAI

Dans le cas de cet appel d'offres, le maître d'ouvrage avait également imposé un délai de réalisation des travaux, auquel l'entreprise s'est conformée.

MISE EN ŒUVRE

Le chantier démarre le 15 octobre 2018.

DÉCAPAGE DE LA TERRE VÉGÉTALE

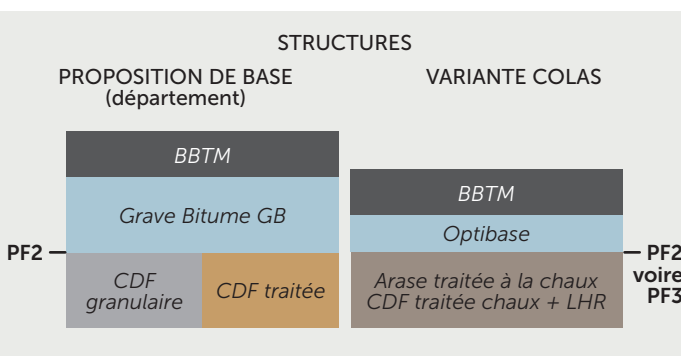
Première séquence : le décapage de 20 000 m³ de terre végétale.

DÉBLAIS ET REMBLAIS

Avant de procéder au traitement en place des matériaux mis à nu par les terrassements, des opérations de déblai, de remblai et de mise à la cote ont été réalisées.

ÉCHANTILLONNAGE

À partir d'échantillons prélevés sur le site, les dosages en chaux et en liant hydraulique routier, nécessaires au traitement de sol, ont été affinés.



DE GAUCHE À DROITE

// Épandage.

// Malaxage.

// Compactage final.

// Aspect final de l'ouvrage.



TRAITEMENT À LA CHAUX

Le terrain nécessite, au préalable, un premier traitement à la chaux pour diminuer sa teneur en eau et le rendre traficable. Outre des matériaux du type « limon argileux » et « argile à silex », Colas rencontre des matériaux du type « calcaire altéré et sables homométriques ». « De par leur nature et leur état hydrique, ils ne pouvaient en aucun cas être utilisés, en l'état, en couche de forme. À cet effet, nous les avons d'abord amendés et traités in situ, puis tassés et transportés sur les zones du chantier à remblayer », commente Mohamed Yaou, responsable du bureau d'études de l'agence Colas-Centre-Ouest (Chartres).

Avantage : le fait de réutiliser sur place les matériaux au moyen de la technique du traitement de sol permet d'optimiser le délai d'exécution du chantier et de limiter notablement les transports. Lors de cette étape, 20 000 m³ de matériaux ont été traités à la chaux sur une épaisseur de 50 cm.

TRAITEMENT AU LIANT HYDRAULIQUE

Afin d'obtenir une portance minimale PF2, le terrain est traité au liant hydraulique routier EQIOM ROC AS sur une épaisseur de 35 cm. Le traitement du sol, en lui-même, s'est effectué en plusieurs phases :

- // épandage du liant par épandeur et suivi du contrôle de la régularité de l'épandage ;
- // malaxage ;
- // compactage ;
- // réglage ;
- // compactage final.

MATÉRIEL UTILISÉ

L'atelier de traitement est composé d'un épandeur de liant, suivi d'un malaxeur puis d'une niveleuse « équipée 3D », guidée par une base radio et « pouvant travailler en autonomie ».

« Nous avons utilisé un bull avec ripper pour la scarification et le pré-réglage, précise Thierry Brossard, le conducteur de travaux de l'agence Colas-Centre-Ouest. Nous nous sommes aussi servis d'un compacteur vibrant à cylindres lisses V5 de 22 tonnes, de marque Encon, très performant. Pour le traitement à la chaux sur 50 cm d'épaisseur, ce type d'engin très puissant permet de compacter la totalité de la couche en un seul passage. »

Colas-Centre-Ouest a eu également recours à un autre compacteur vibrant à cylindres lisses V5, utilisé pour le traitement au liant hydraulique routier (passes en grande vibration et passes en petite vibration), ainsi qu'à un compacteur à pneus P3 de 23 tonnes.

« Grâce au matériel dont nous disposons à l'agence Colas-Centre-Ouest (Chartres), nous sommes en mesure de proposer des solutions de traitement de sol pertinentes par rapport à des solutions en granulaire », se félicite Mohamed Yaou.

LIANT

Le liant choisi pour le traitement de sol est le ROCAS d'EQIOM : 1200 t en ont été mises en œuvre. « Liant hydraulique routier polyvalent à base de laitier de hauts-fourneaux, le ROCAS s'est révélé, suivant les études de traitement, le liant le mieux adapté à ce terrain », rappelle le responsable du bureau d'études de l'agence Colas-Centre-Ouest.

PERFORMANCES

Performances visées par le maître d'ouvrage : PF2.
Performances mesurées après travaux : PF3.

GESTION DES EAUX ET BASSIN DE RÉTENTION

Le chantier de la nouvelle chaussée a « imperméabilisé » une superficie de 25 000 m². Compte tenu de cet état de fait et de la proximité de l'Eure, un bassin de rétention a été créé au pied de la nouvelle voie. Réalisé en béton préfabriqué, il possède une capacité de 1 850 m³.

DÉROULEMENT ET ACHÈVEMENT DU CHANTIER

À l'issue du traitement de sol, qui s'est achevé début août, un délai de trois semaines a été respecté pour permettre la prise du liant et garantir la résistance et la durabilité de la couche de forme. Après la mise en œuvre de la grave-bitume et les aménagements annexes, une couche de béton bitumineux très mince (BBTM) a été mise en place à la mi-septembre. Le chantier s'est achevé le 30 septembre dernier.

MÉTÉO

Les conditions météorologiques n'ont pas engendré de difficulté particulière, avec un temps clément durant une bonne partie du chantier.

La nouvelle voie sera en mesure d'accueillir un trafic moyen journalier annuel (TMJA) de 5 000 véhicules/jour, dont 7,5 % de poids lourds. « Ce fut un super chantier à réaliser et à finaliser ! » se félicite Thierry Brossard. La création du contournement de Nogent-le-Roi – rendue possible notamment par la réalisation d'un traitement mixte à la chaux et au liant hydraulique routier en couche de forme – peut se poursuivre...

Et envisager de s'achever. ■





// REMUE-MÉNINGES

≡ SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES DE ROUTES N°148

RAPPEL DU PROBLÈME POSÉ

Petit chiffre, grand effet !

À l'aide de quatre « 2 » et sans se servir de signes d'opérations mathématiques, écrire le plus grand nombre possible.

SOLUTION

Sans utiliser les signes d'opérations mathématiques, il y a huit combinaisons possibles :

- 1 combinaison à 1 étage : 2222 ;
- 3 combinaisons à 2 étages : $222^2 - 22^{22} - 2^{222}$;
- 3 combinaisons à 3 étages : $22^{2^2} - 2^{22^2} - 2^{2^{22}}$;
- 1 combinaison à 4 étages : $2^{2^{2^2}}$

Lequel de ces 8 nombres est le plus grand ?

Pour commencer, comparons la combinaison à 1 étage « 2222 » avec la première combinaison à 2 étages « 222^2 ».

On a : $2222 < 2500$, soit $2222 < 50^2$.

Or, $50^2 < 222^2$ car, pour un même exposant (soit 2), le facteur de 50^2 (soit 50) est plus petit que celui de 222^2 (soit 222). D'où :

$$2222 < 222^2 \quad (1)$$

Comparons ensuite les 3 combinaisons à 2 étages.

Considérons les deux premiers nombres : 222^2 et 22^{22} .

$222^2 < 256^2$. Mais $256^2 = 2^{8^2}$. Alors : $222^2 < 2^{8^2}$ et $222^2 < 2^{16}$.

$22^{22} = 22^{2^{11}} = (22^2)^{11} = 484^{11}$

222^2 est inférieur à 22^{22} car le facteur et l'exposant de 222^2 (soient 222 et 2) sont plus petits que ceux de 484^{11} (soient 484 et 11). D'où :

$$222^2 < 22^{22} \quad (2)$$

Qu'en est-il des deux combinaisons 22^{22} et 2^{222} ? Il est facile de vérifier que :

$$22^{22} < 32^{22}$$

Mais : $32 = 2^5$. Donc : $32^{22} = 2^{5 \cdot 22} = 2^{110}$.

Alors : $22^{22} < 2^{110}$.

Mais : $2^{110} < 2^{222}$ car, pour un même facteur (soit 2), l'exposant de 2^{110} (soit 110) est inférieur à celui de 2^{222} (soit 222). D'où :

$$22^{22} < 2^{222} \quad (3)$$

Les inégalités (1), (2) et (3) donnent :

$$2222 < 222^2 < 22^{22} < 2^{222} \quad (4)$$

Comparons maintenant les 3 combinaisons à 3 étages : $22^{2^2} - 2^{22^2} - 2^{2^{22}}$

$$22^{2^2} = 22^4$$

$$16^4 < 22^{2^2} < 32^4$$

$$2^4 < 22^{2^2} < 2^{5^4}$$

$$2^{16} < 22^{2^2} < 2^{20}$$

$$22^{2^2} = 2^{484}$$

$$2^{22^2} = 2^{4194304}$$

On peut facilement conclure que :

$$22^{2^2} < 2^{22^2} < 2^{2^{22}} \quad (5)$$

Examinons enfin la combinaison à 4 étages.

Il est facile de déterminer la valeur de la combinaison à 4 étages :

$$2^{2^{2^2}} = 2^{16} \quad (6)$$

Les inégalités (4), (5) et (6) donnent :

$$2222 < 222^2 < 2^{22^2} < 22^{2^2} < 22^{2^2} < 2^{22^2} < 2^{2^{22}} < 2^{2^{22}}$$

Conclusion : le plus grand nombre que l'on peut obtenir avec quatre 2 est $2^{2^{2^2}}$



// AGENDA 2020

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

Agen : 17 mars • Poitiers : 7 avril • Bourg-en-Bresse : 28 avril • Laval : 26 mai • Chartres : 6 octobre • Vesoul : 17 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



// VIENT DE PARAÎTRE

≡ GUIDE « Les bétons décoratifs : voiries et aménagements urbains – Tome 3 : les règles de l'art »



Ce guide vient d'être édité dans la collection du Specbea. Après la publication des deux premiers tomes – tome 1 « Finitions, gestes et techniques » et tome 2 « Entretien et rénovation » –, le tome 3 « Les règles de l'art » vient clore une trilogie d'ouvrages consacrée aux bétons décoratifs et réalisée par les entreprises spécialistes des bétons d'aménagement et d'environnement adhérentes au Specbea. Tout en proposant un point exhaustif sur les matériaux, techniques et savoir-faire indispensables à la qualité et la pérennité des ouvrages, ce tome 3 vient préciser les rôles et responsabilités de la maîtrise d'œuvre comme de la maîtrise d'ouvrage (octobre 2019).

Ce guide peut être commandé auprès du Specbea ou sur le site <https://www.specbea.com>.