

ROUTES

CIMENTS ≡ LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS ≡ BÉTONS

Travaux et équipements routiers • Terrassements • Aménagements urbains • Aéroports



// CHANTIER

Du béton 100 % à base de granulats de béton recyclé pour le Champ de la Confluence à Lyon

// RÉFÉRENCE

Vernon : un béton désactivé de sable pour redécouvrir le charme des rives de la Seine

// CHANTIER

Un retraitement au LHR « zéro déchet » pour la RD7



// CHANTIER
BLANZAY-BRUX (86)

Un retraitement au LHR
« zéro déchet » pour la RD7



// CHANTIER
LYON (69)

Du béton 100 % à base de
granulats de béton recyclé
pour le Champ de la Confluence



// RÉFÉRENCE
VERNON (27)

Un béton désactivé de sable
pour redécouvrir le charme
des rives de la Seine



// CHANTIER
RENNES (35)

Un retraitement en place au LHR
en voirie urbaine polluée aux HAP,
qui préserve l'environnement



// LE SAVIEZ-VOUS ?

Remue-ménages
Agenda
Vient de paraître



PHOTO DE COUVERTURE // Vernon
(Eure) : anciens chemins de
halage transformés en espace
convivial grâce à un béton
désactivé fourni par Cemex à base
de ciment Calcia et mis en œuvre
par Surfabéton pour Eurovia.

CRÉDITS PHOTOS // Une : Ville de Vernon - p. 3 : CIMbéton/Fouez Khéribet -
p. 4 à p. 6 : CIMbéton/Charles Desjardins - p. 7 : Lyon Confluence/Vurpas
Architectes - p. 8 et p. 9 : Lyon Confluence, Vicat et agence Base -
p. 10 : Sols Confluence - p. 11 : Lyon Confluence/Vurpas Architectes -
p. 12 : Ville de Vernon - p. 13 et p. 14 : Cemex et Agence Topo - p. 15 :
Cemex et CIMbéton/Fabrice Trognon - p. 16 à p. 18 : Eiffage Routes Ouest
et EQIOM.

LE RECYCLAGE DU BÉTON ÉTAT DES LIEUX

Comme il est de plus en plus difficile d'exploiter de nouvelles carrières de granulats, les rebuts de construction comme les bétons issus des chantiers de déconstruction sont deux ressources potentielles de granulats pour le secteur de la construction.

80 % des bétons de déconstruction déjà valorisés

L'engagement constant de la filière béton a fait évoluer le contexte normatif aboutissant aux normes granulats NF EN 12620 et NF P18-545, qui spécifient les caractéristiques et les propriétés des granulats recyclés, et à la norme béton NF EN 206-1/CN, qui autorise l'utilisation de granulats recyclés pour la fabrication de bétons (aujourd'hui jusqu'à 20 %). Cela a engendré plusieurs débouchés pour les bétons issus de la déconstruction des ouvrages et bâtiments. Ils sont recyclés après traitement (concassage, criblage, tri complémentaire, etc.), puis valorisés soit dans diverses applications routières en tant que matériaux granulaires, soit dans la fabrication de nouveaux bétons (jusqu'à 20 %). L'ensemble de ces valorisations représente un marché de 14,5 Mt, soit 80 % des tonnages de béton déconstruit triés, et économise ainsi le même tonnage de ressources naturelles. Les 20 % restants sont aujourd'hui dirigés vers des installations de stockage de déchets inertes (ISDI).

Les rebuts de construction, matériaux ne nécessitant pas de tri

Les déchets de béton générés par la fabrication ont plusieurs origines : déchets de béton frais, déchets de béton durci, rebuts de fabrication et retours de chantiers. Ils peuvent être réintégrés *in situ* (usine de préfabrication ou unité de production de béton prêt à l'emploi) pour la fabrication de nouveaux produits ou recyclés une fois durcis, sans nécessité de tri complémentaire, dans des installations de concassage.

Accroître le recyclage des bétons dans de nouveaux bétons

Mais l'objectif de la filière béton est d'aller plus loin. Elle participe activement au projet national Recybéton, qui réunit une cinquantaine d'acteurs et étudie la possibilité de valoriser l'intégralité des matériaux issus des bétons de déconstruction ou des rebuts de construction dans de nouveaux bétons.

Le recyclage des bétons dans des bétons routiers est déjà une réalité !

Plusieurs chantiers routiers, faisant appel au recyclage du béton dans de nouveaux bétons (jusqu'à 100 % de granulats recyclés), ont été réalisés avec succès ces dernières années. Le lecteur découvrira dans ce numéro un nouveau chantier où l'aménagement urbain, dans le quartier Confluence à Lyon, a fait appel à un béton formulé avec des granulats recyclés provenant des rebuts de construction.

Bonne lecture !

Joseph ABDO

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, place de la Défense
92974 Paris-la-Défense Cedex
Tél. : 01 55 23 01 00 / Fax : 01 55 23 01 10
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 : 2^e trimestre 2019 - ISSN 1161 - 2053 1994

UN RETRAITEMENT AU LHR « ZÉRO DÉCHET » pour la RD7

En septembre 2018, à Blanzay et à Brux, le département de la Vienne a procédé à la rénovation de deux tronçons de la RD7 en ayant recours à la technique du retraitement en place à froid au liant hydraulique routier (mis en œuvre par Colas avec du Rolac® Premier 635 de LafargeHolcim). Un choix mûrement réfléchi, guidé par des préoccupations environnementales très actuelles à l'heure de la mobilisation mondiale pour le climat.



Les tronçons rénovés de la RD7 ont reçu un nouveau tapis d'enrobés (BBSG 0,10 sur 6 cm d'épaisseur), avant d'être rouverts à la circulation le 28 septembre 2018.

PRINCIPAUX INTERVENANTS



Maîtrise d'ouvrage

Département de la Vienne

Maîtrise d'œuvre

Département de la Vienne

Entreprise

Colas

Fournisseur du liant hydraulique routier

LafargeHolcim (Rolac® Premier 635)

À une soixantaine de kilomètres au nord d'Angoulême et à une quarantaine au sud de Poitiers, les communes de Blanzay et de Brux (Vienne) se trouvent sur le trajet de RD7. Celle-ci fait la liaison entre Civray et Couhé, permettant ensuite de rejoindre Poitiers *via* la RN10. Civray se situe également sur un large arc de circulation qui relie Niort à l'ouest et Montluçon à l'est, en empruntant plusieurs autres départementales (RD948, RD148, RD951), puis la N145 et la E62.

Itinéraire alternatif, la RD7 a également la particularité de desservir de nombreuses entreprises locales, très actives en termes de logistique : des carrières, des laiteries, des coopératives agricoles... À certaines périodes de l'année, notamment en été, la voie est également empruntée par les nombreux touristes qui viennent goûter aux charmes du Poitou. Revers de la médaille : avec un trafic de plus en plus important, la RD7 a enregistré, ces dernières années, plusieurs accidents, dont certains mortels.

Ces raisons ont amené les élus du département à envisager des travaux dans le cadre du schéma routier départemental 2016-2021, en rénovant des sections aux accotements dégradés par les

UNE JOURNÉE TECHNIQUE TRÈS RÉUSSIE

Le 4 septembre 2018, à Blanzay, CIMbéton a organisé une journée technique avec le concours des mairies intéressées par les travaux. Animée par Joseph Abdo, directeur délégué Routes, et par Fouez Khéribet, ingénieur prescripteur, elle s'adressait à tous les acteurs concernés par la construction et par l'entretien des routes : élus, services techniques, bureaux d'études et professionnels de la route. Gilbert Beaujaneau, vice-président du département de la Vienne en charge des routes, Lydie Noirault et Jean-Olivier Geoffroy, conseillers départementaux du canton de Civray, l'ont honorée de leur présence. L'assistance était nombreuse, signe de l'intérêt suscité par la technique du retraitement à froid au liant hydraulique routier dans le département de la Vienne et dans la région de la Nouvelle-Aquitaine. Cette journée a été l'occasion de visiter le chantier d'entretien structurel de la RD7, grâce au concours de Colas et de LafargeHolcim.



Épandage du liant hydraulique routier Rolac® Premier 635 de LafargeHolcim sur le fraisat de l'ancienne chaussée préalablement défragmentée.

fréquents croisements de poids lourds ou en élargissant des sections étroites, notamment.

Plusieurs tronçons correspondant à ces critères ont été repérés par la direction des routes de la Vienne et ses subdivisions. Ils ont fait l'objet d'études, en tenant compte de l'évolution future du trafic, notamment de celui des poids lourds, pour anticiper les contraintes.

En 2018, la RD7 enregistrait déjà le passage de 1 870 véhicules par jour avec 8 % de poids lourds, soit environ 150 quotidiennement. Avec la création envisagée d'un futur barreau entre la RD7 et RN10, ce pourcentage ne pourrait qu'augmenter...

« Le repérage des points sensibles répondant à ces différents critères nous a permis d'identifier deux sections d'un kilomètre et demi, avec des largeurs allant de 5,20 à 5,40 m, voire 5,60 m, explique Xavier Sironneau, responsable du bureau d'études de la subdivision des routes de L'Isle-Jourdain (sud de la Vienne). C'est sur ces deux tronçons que nous avons décidé d'intervenir. »

■ ÉLARGISSEMENT À 6 M ET MAINTIEN DANS L'EMPRISE

Décision est prise d'élargir la voie à 6 m sur les sections concernées, avec une contrainte : la difficulté de recourir à des acquisitions foncières impose que ce recalibrage s'effectue avec un strict maintien dans l'emprise (12 m).

■ L'HYPOTHÈSE MACES

« Nous avons commencé par réfléchir à une solution mettant en œuvre des poutres de rives en Macés (matériaux autocompactants essorables de structure), indique Ludovic Padeloup, du bureau d'études de la subdivision des routes. Nous avons déjà de l'expérience dans ce domaine. Problème : cette solution nécessitait de terrasser le bord de la chaussée, d'évacuer le matériau, de le mettre en décharge, de reconstruire et de tenir compte du délai de mûrissement... Bref, un ensemble de contraintes difficilement compatibles avec les impératifs de respect de l'environnement – notamment à cause des

allées et venues de camions – et de remise en circulation rapide des tronçons rénovés. »

■ LE CHOIX DU RETRAITEMENT EN PLACE À FROID AU LHR

« Pour alimenter notre réflexion sur ce chantier, poursuit Ludovic Padeloup, nous avons rencontré le 20 octobre des représentants du Centre d'information sur le ciment et ses applications (CIMbéton), notamment Joseph Abdo, directeur délégué Routes et Fouez Khéribet, ingénieur prescripteur. Ils nous ont présenté l'état de l'art de la technique du retraitement en place à froid au liant hydraulique routier. Cette solution nous a paru receler de nombreux avantages dans notre cas de figure. »

Michel Pasquet, chef de la subdivision, précise que cette technique a déjà été mise en œuvre dans la Vienne en mars 2011. Elle concernait la RD9, sur le territoire de la commune de Paizay-le-Sec. Les décideurs locaux ont pu constater par eux-mêmes le « très bon comportement » de la voie retraitée près d'une décennie après.

Le choix définitif se porte sur un retraitement en place à froid au liant hydraulique routier, confié à Colas (agence de Poitiers). « Si nous avions eu recours à la technique des poutres de rives Macés, détaille encore Ludovic Padeloup, nous aurions dû évacuer environ 2 000 m³ de terre, puis apporter de nouveaux matériaux. Ce sont plusieurs centaines de poids lourds qui auraient dû être utilisés. En plus des nuisances et de la pollution, cela aurait eu pour conséquence de "casser" la route de part et d'autre des zones de chantier, compte tenu des sollicitations intenses. Avec le retraitement en place à froid au liant hydraulique routier, le bilan environnemental est nettement plus positif. Nous sommes en accord avec la convention d'engagement volontaire (CEV) pour les infrastructures routières signée en mars 2009 (dans le cadre du Grenelle de l'environnement). » Par ailleurs, les spécialistes soulignent qu'une rénovation limitée aux rives (2 m) pour une départementale de 5,40 m de large soulève une question d'homogénéité. « L'idéal serait de toujours pouvoir réaliser une rénovation globale,



Une Wirtgen 2400 intervient pour mélanger le matériau de l'ancienne chaussée avec le liant sur une épaisseur de 35 cm.

sur toute la largeur, afin d'obtenir le résultat le plus cohérent possible », résume Ludovic Padeloup. C'est le cas avec le retraitement en place au LHR.

ÉTUDES ET PRÉLÈVEMENTS

Parallèlement, des études ont permis de valider la faisabilité d'un retraitement en place au liant hydraulique routier. Ludovic Padeloup poursuit : « À l'origine, nous avons envisagé une formule avec apport de matériaux. Après le résultat des études, nous avons pu constater qu'aucun apport ne serait nécessaire. De même, nous n'avons pas établi la présence d'amiante ou d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les matériaux. Des carottages ont été effectués pour vérifier l'homogénéité de la structure sur l'ensemble des deux sections, complétés d'un test d'aptitude au retraitement de la plate-forme au liant hydraulique routier. »

Colas poursuit les prélèvements jusqu'en juillet 2018, pour une bonne « reconnaissance du support » et pour affiner les dosages en liant hydraulique routier.

« Nous avons déjà des sondages réalisés par le département, indique-t-on chez Colas. Nous en avons réalisé de nouveaux, tous les 300 mètres, y compris sur les accotements, à 35, 40 et 50 cm de profondeur. Les résultats nous ont confirmé une régularité de la composition : 10 cm d'enrobé, 20 cm de calcaire et 5 cm d'argile. Cela nous a permis de doser uniformément le liant. »

MISE EN ŒUVRE

// Le choix de la date du chantier

Initialement, le Département souhaitait que les travaux soient réalisés en juin 2018. En mars, une réunion organisée avec les agriculteurs riverains du chantier change la donne.

« Dans notre département, rappelle Michel Pasquet, chef de la subdivision, les moissons débutent en juin. Et le Tour cycliste du Poitou-Charentes, qui se déroule en août, emprunte aussi la RD7. Finalement, nous avons décidé de reporter les travaux à fin août-début septembre. »

Agriculteurs-éleveurs à Blanzay, également élus à Blanzay

et à Brux, Jean-Claude Provost et Louis-Marie Grollier se félicitent de cette décision : « La communication a été bien faite et il y a eu une bonne coordination. Tout le monde souhaitait que la route soit mieux sécurisée. Mais il fallait trouver le bon créneau pour fixer la date d'intervention et définir les itinéraires de substitution et pour que cela occasionne le moins de gêne possible, notamment pour nous, les agriculteurs. » Même son de cloche chez tous les intervenants : « Plus on communique en amont, mieux cela se passe. »

Les travaux débutent le 27 août 2018, après la mise en place des déviations. Les deux tronçons de la RD7 qui font l'objet du retraitement (longs de 1,5 km chacun) se situent à la limite nord du territoire de la commune de Blanzay et à la limite est de la commune de Brux, de part et d'autre du château d'Épanvilliers. Les moyens techniques engagés par Colas (notamment l'atelier de retraitement) ont été dépêchés de Vendée. Le magazine Routes se rend sur place le 4 septembre, à l'occasion de la journée technique organisée sur place par CIMbéton, en présence de Gilbert Beaujaneau, vice-président du département en charge des routes, de Lydie Noirault et de Jean-Olivier Geoffroy, conseillers départementaux du canton de Civray, ainsi que de Michel Pasquet, chef de subdivision (voir encadré p. 4).

// Décapage

Les accotements sont décapés pour construire la nouvelle plate-forme, d'une largeur égale à 6,50 m, en restant dans l'emprise foncière.

La terre végétale ainsi décapée sera utilisée ultérieurement pour la constitution des talus des banquettes et des accotements, et pour le modelage des fossés.

// Fragmentation

L'ancienne voie existante est décohesionnée sur une profondeur de 15 cm, permettant le mélange entre l'ancienne couche de surface bitumineuse et les premiers niveaux de la couche granulaire située juste en dessous, ce qui facilitera le malaxage ultérieur. Le matériau ainsi



Le réglage s'effectue selon le profil prévu.

.....

décohésionné est régalé sur toute la largeur de la nouvelle plate-forme (6,50 m) afin qu'elle soit « bien épaulée ». À cette fin, une raboteuse a été utilisée pour le fraisage de la chaussée, complétée d'un ripper afin de garantir une répartition homogène et uniforme des granulats issus de la fragmentation. Le chantier ne génère aucun déchet. La teneur en eau est vérifiée et, le cas échéant, améliorée par apport complémentaire.

// Épandage du liant

Le liant hydraulique routier retenu pour le retraitement est du Rolac® Premier 635 de LafargeHolcim. L'opération est menée soigneusement afin d'épandre sur le chantier la quantité exacte de liant définie par l'étude du laboratoire (en kg/m²). Elle est réalisée à l'aide d'un épandeur doté d'un système de dosage volumétrique asservi à la vitesse d'avancement. Le liant est ainsi épandu uniformément sur toute la surface de la voie selon un débit proportionnel à l'avancement de l'épandeur pour respecter le dosage de 4 %. L'uniformité de l'épandage est vérifiée par des tests « à la bêche ». Quatre porteurs se succèdent pour délivrer au total 124 tonnes de liant par section à retraiter, soit 30 kg/m².

// Malaxage

Le liant et les anciens matériaux sont malaxés avec une Wirtgen 2400, sur une profondeur de 35 cm. Ce malaxage consiste à mélanger intimement le liant hydraulique routier avec le matériau en place à l'aide d'un matériel spécifique (pulvimixeur), pour obtenir un matériau homogène.

Le malaxage du matériau est réalisé sur une profondeur telle que, une fois le matériau compacté, on obtient l'épaisseur déterminée par le dimensionnement.

À l'issue du traitement, chaque soir, un enduit bitumineux gravillonné (« enduit garni ») protège le nouveau mélange et assure la cure.

En effet, cet enduit permet notamment :

- d'assurer la protection de la plate-forme retraitée contre les intempéries ;
- de maintenir le niveau d'hygrométrie requis du sol support ;
- d'homogénéiser la prise du liant hydraulique routier.



L'atelier de compactage entre en action avec l'intervention d'un rouleau vibrant.

.....

Les mêmes opérations sont reproduites sur le second tronçon de la RD7 à retraiter.

// Réglage et compactage

Il est procédé au réglage selon le profil prévu, avant l'intervention finale des compacteurs.

Sur le poste de compactage, un compacteur à billes de type VT2 a densifié le matériau, puis un compacteur à pneus, lesté à 3 tonnes par roue, en a assuré la bonne fermeture en surface ainsi que la bonne finition.

// Réouverture à la circulation

À l'issue de la semaine de travaux prévue – la météo ayant été favorable – et de quatre semaines de mûrissement, les deux tronçons retraités reçoivent leur tapis d'enrobés (BBSG 0,10 sur 6 cm d'épaisseur). Après remise en place de la signalisation, ils sont rouverts à la circulation le vendredi 28 septembre au soir, conformément au planning initial, après réalisation du marquage axial sur chacune des sections.

Parfaitement réalisée et respectueuse des objectifs environnementaux, cette nouvelle expérience de retraitement à froid au liant hydraulique routier sur la RD7 devrait être suivie par d'autres sections sur ce même axe ainsi que par d'autres chantiers dans le département de la Vienne. « Il ne s'agit que d'une première tranche, confirment les différents représentants de la direction des routes. Il y en aura sans doute d'autres, car nous devons entretenir et rénover notre réseau, tout en tenant compte de l'évolution du trafic. »

« Cette opération nous a pleinement satisfaits, résume Lydie Noirault, conseillère départementale du canton de Civray et maire de Joussé, commune située à une vingtaine de kilomètres. Nous devons améliorer et faciliter la mobilité dans notre département, notamment sur ce tronçon de la RD7. Ce chantier d'élargissement et de rénovation de la route, utilisant des techniques efficaces et rapidement mises en œuvre, nous y aide ! »

DU BÉTON 100 % À BASE DE GRANULATS DE BÉTON RECYCLÉ pour le Champ de la Confluence

Pour réaliser les espaces publics du Champ, ultime extension du centre-ville vert de la « capitale des Gaules », la SPL Lyon Confluence a choisi un béton de revêtement 100 % à base de granulats de béton recyclé, élaboré par Vicat en collaboration avec l'agence Base. Sa mise en œuvre par Sols Confluence est une première en France. Elle en annonce d'autres, sans aucun doute !

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage

SPL Lyon Confluence

Maîtrise d'œuvre

// Espaces publics du Champ :

Base (paysagiste mandataire),
Arcadis, Bruit du frigo, On, EODD

// Espaces publics du quartier
du Marché : Atelier Ruelle, Artelia

Mise en œuvre du béton recyclé

Sols Confluence

Fournisseur du béton

Béton Vicat

Fournisseur des granulats

Granulats Vicat

Fournisseur du ciment

Ciment Vicat

Dernier secteur d'aménagement du nouveau quartier Confluence, le Champ marque une étape importante dans l'un des plus vastes projets urbains d'extension de centre-ville en Europe. Lancée en 1998, l'opération consiste à reconverter 150 hectares de friches urbaines et industrielles, situées dans le prolongement du cœur de Lyon, derrière Perrache (II^e arrondissement), entre Rhône et Saône.

Ambition affichée : doubler le centre de l'agglomération – avec une superficie bâtie à terme de 1 million de mètres carrés et plus de 30 000 habitants ou actifs supplémentaires d'ici à 2025 –, tout en réalisant une véritable révolution environnementale.

Vitrine de la ville de demain, Lyon Confluence se veut « intelligente » et « durable », avec des partis pris architecturaux forts, mais aussi lieu de mixité sociale et de nouvelles mobilités. Ce quartier vert sera notamment « marchable » et accueillant pour les piétons, en application du plan de déplacements urbains (PDU) du Grand Lyon, qui limite la place de la voiture.

Les chantiers de dépollution, menés à grande échelle, constituent également la marque du nouveau territoire. Pour la première phase des réalisations, pas moins de 250 000 tonnes de terre ont été extraites et dépolluées dans un centre de traitement. Choisi pour réaliser les espaces publics du Champ, le béton y joue un rôle bien spécifique, au diapason des exigences environnementales.

LE CHAMP, UN LABORATOIRE D'EXPÉRIMENTATIONS

Le Champ (5,5 ha) a pour particularité d'« inscrire un espace boisé constituant une continuité végétale entre les espaces publics et les parcelles privées », explique-t-on à la société publique locale (SPL) Lyon Confluence. Voué à l'accueil d'industries ou d'activités nouvelles, dont H7



© VURPAS ARCHITECTES

H7, qui héberge Lyon French Tech, se veut un « lieu totem » : avec ses 3 000 m² consacrés à l'« accélération des start-up du numérique », il accueillera jusqu'à 40 projets à fort potentiel de développement.

qui accueille Lyon French Tech, le nouvel incubateur de start-up, il a vocation à se démarquer par la dimension fortement créative des projets qui y sont développés.

Il s'agit d'un « espace d'expérimentations et d'innovation » dont le chantier est conduit par la SPL Lyon Confluence et par l'équipe de maîtrise d'œuvre (composée de l'agence Base, Arcadis, On, EODD et Bruit du frigo), en collaboration avec les services techniques de la ville de Lyon et de la métropole. Axes privilégiés : les démarches innovantes en lien avec le paysage, la biodiversité et les aménagements urbains.

Chargée d'en concevoir le « paysage pionnier », l'agence Base a proposé une « approche naturaliste, inspirée des logiques et des mouvements des rivières dans cette zone, pendant des milliers d'années », explique Jeanne Souvent, paysagiste chez Base. Ainsi, la première parcelle végétalisée est conçue à la manière d'un « laboratoire d'expérimentations ». Ce lieu, baptisé Station Mue, est propice à l'imagination collective ; il fédère des initiatives populaires afin d'accompagner de nouveaux usages de l'espace public et de préfigurer la ville de demain.

≡ LE CHOIX DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Se plaçant dans les objectifs de développement durable poursuivis sur le territoire de Lyon Confluence et afin de conduire une démarche d'économie circulaire, la SPL Lyon Confluence et la métropole de Lyon ont souhaité expérimenter la mise en œuvre d'un béton recyclé sur les allées publiques du Champ. La métropole de Lyon multiplie les actions auprès des habitants et des entreprises pour réduire les déchets produits sur son territoire, promouvoir le recyclage et le réemploi des biens et des matériaux. « Des démolitions avaient lieu autour du site du Champ. L'idée de départ était de recréer la ville en réutilisant les matériaux du site », explique-t-on à la SPL Lyon Confluence. « La commande de la maîtrise d'ouvrage était d'être vertueux, confirme Jeanne Souvent. Nous envisagions

de changer l'image d'un territoire marqué par l'industrialisation, les cycles éphémères de construction et de démolition. Nous voulions la remplacer par la vision d'un développement durable solide et affirmé. Donc, l'idée d'utiliser du matériau recyclé était logique. Elle s'est imposée comme une évidence. Pour les revêtements, je voulais un sol qui raconte cette histoire. De plus, refaire du béton avec du béton recyclé, cela allège son bilan carbone. »

Même préoccupation chez l'Atelier Ruelle, qui assure la maîtrise d'œuvre urbaine pour la première tranche de la ZAC 2 et qui a pour mission de livrer les premiers espaces publics de la deuxième tranche. « Nous nous sommes évidemment orientés vers du durable, avec l'idée de recourir le plus possible à des matériaux recyclés, résume Olivier Delbano, ingénieur paysagiste à l'Atelier Ruelle. La démarche environnementale est la plus poussée qui soit. C'est aussi le cas de la gestion des eaux ou des plantations, par exemple. »

≡ 100 % DE GRANULATS DE BÉTON RECYCLÉ

Sollicitée pour réaliser un béton 100 % à base de granulats de béton recyclé, Vicat propose de recourir à une ressource innovante et méconnue : les « retours de toupie ». « Il s'agit de bétons fabriqués, mais qui n'ont pas été mis en œuvre, explique Nicolas Brasier, responsable prescription chez Vicat. Ces "surplus" qui nous reviennent sont traités sur un site de stockage dédié. L'intérêt, c'est que la composition de ces bétons nous est parfaitement connue. Nous savons qu'ils ne contiennent aucun matériau qui réagisse mal dans le béton (plâtres, sulfates, etc.). C'est un matériau fiable, que nous pouvons donc recycler dans de bonnes conditions, en toute connaissance de cause. »

Le principe ? Préparés par Granulats Vicat, les « retours de toupie » sont concassés en fraction 0/16, ce qui permet d'obtenir des granulats. Puis on ajoute du ciment et de l'eau.

« Utiliser 100 % de granulats issus du recyclage est une excellente



Le nouveau quartier Confluence se situe dans le prolongement du cœur de Lyon, derrière Perrache (II^e arrondissement), entre Rhône et Saône.



La talochage des premières planches d'essais s'est effectué manuellement, sans difficulté.



Préparation des tests de performances mécaniques et de tenue dans le temps.



chose, s'enthousiasme Jeanne Souvent. *Cela limite les extractions. Et cela fait moins de camions sur les routes.* »

En juin 2018, les premières planches d'essais, mises en œuvre par Sols Confluence, sont coulées sur les allées piétonnes situées à l'entrée du parc de la Station Mue. But : en valider les performances techniques avec la direction de la voirie de la métropole, dans la perspective d'un déploiement ultérieur sur d'autres aménagements. « *Nous avons commencé par faire des petites planches, puis, de fil en aiguille, des planches de plus en plus grandes,* poursuit Nicolas Brasier (Vicat). *Finalement, nous avons atteint les objectifs : créer un nouveau béton à partir de rebuts de béton.* »

Les premiers tests s'étant révélés concluants, Vicat, Sols Confluence et l'agence Base ont uni leurs efforts pour finaliser et améliorer le premier prototype de béton 100 % à base de granulats de béton recyclé. Objectif du maître d'ouvrage : qu'il soit mis en œuvre autour de la nouvelle halle Girard, rebaptisée H7, qui abrite Lyon French Tech, l'incubateur de start-up de la Cité des gones, dont l'ouverture est prévue en ce printemps 2019. Son parvis compose l'un des espaces publics du Champ. « *Nous voulons être démonstratifs et aller le plus loin possible dans la démarche* », explique-t-on à la SPL Lyon Confluence.

RENDU ESTHÉTIQUE « NEUTRE » ET ÉCONOMIES DE MATÉRIEAUX

Quel est le rendu esthétique de ce « béton de béton » ? « *Il est d'apparence assez classique, de couleur grise, avec un aspect neutre et très simple,* explique Jeanne Souvent. *On peut y distinguer les granulats roulés recyclés. Esthétiquement, le résultat obtenu a dépassé nos attentes. De plus, ce béton recyclé permet de réaliser toutes sortes de finitions. On peut notamment mélanger les granulats recyclés avec des granulats naturels. Exemple : 50 % de granulats recyclés et 50 % de granulats de basalte ou calcaires... Ça marche très bien !* »

Chargée de concevoir les futurs cheminements du Champ de la Confluence, Jeanne Souvent s'est livrée à un calcul sur les économies potentielles (voir schéma p. 11). « *À terme, près d'un hectare de cheminements sera réalisé, soit 10 000 m². Cela devrait nécessiter la mise en œuvre d'environ 1 500 m³ de béton. J'ai estimé les économies réalisables à 1 900 tonnes de graviers et à quelque 600 tonnes de sable. C'est loin d'être négligeable et, en plus, on valorise des déchets !* »

Nicolas Brasier (Vicat) précise : « *Jusqu'à présent, la norme de béton prêt à l'emploi EN 206/CN n'autorise que 20 % de granulats recyclés pour la réalisation de nouveau béton. Nous avons donc travaillé en étroite collaboration avec le laboratoire "voirie" du Grand Lyon et nous avons soumis notre béton avec 100 % de granulats recyclés à toute une série de tests, notamment en ce qui concerne les performances mécaniques et la tenue dans le temps. Un peu comme si nous souhaitions lancer un nouveau produit sur le marché...* »

POLLUTECH 2018

Cette démarche innovante et bien dans l'air du temps n'est pas passée inaperçue. Fin 2018, Pollutech, le salon international des acteurs de l'environnement et de l'énergie, qui se déroule à Lyon tous les deux ans, a invité Jeanne Souvent (agence Base) et Nicolas Brasier (Vicat) à présenter leur démarche et leurs expériences.

« *Nous sommes intervenus en introduction de la présentation du programme Recybéton (voir encadré), un projet de recherche et de développement collaboratif lancé en 2012. À cette occasion, nous nous sommes aperçus que beaucoup de gens travaillaient sur ce sujet du point de vue théorique, mais aussi pratique.* »

MISE EN ŒUVRE

En novembre 2018, la première mise en œuvre du béton 100 % à base de granulats recyclés a été réalisée par Sols Confluence sur les abords



En juin 2018, les premières planches d'essais sont coulées à l'entrée du parc de la Station Mue. « *Nous avons commencé par faire de petites planches, puis, de fil en aiguille, des planches de plus en plus grandes,* poursuit Nicolas Brasier (Vicat). *Finalement, nous avons atteint les objectifs : créer un nouveau béton à partir de rebuts de béton.* »



LE PROJET NATIONAL RECYBÉTON

La France produit chaque année environ 260 millions de tonnes de déchets du BTP. La part de granulats recyclés est estimée à 10 % de la production nationale totale. C'est de ce constat qu'est né, en 2012, le projet national Recybéton, inspiré par des travaux de recherche. Six ans après son démarrage, il est arrivé à son terme en novembre 2018, en formulant plusieurs recommandations lors du salon Pollutech de Lyon. Celles-ci ouvrent la voie à l'évolution des Eurocodes, les normes européennes du bâtiment et du génie civil, et de la norme EN 206/CN : 2014, qui régit les bétons structuraux de bâtiments et d'ouvrages. Exemple : à l'avenir, pour les bétons courants, Recybéton préconise l'utilisation de 50 % de gravillons recyclés (contre 30 % actuellement) et de 20 à 30 % de sables recyclés (contre 20 % actuellement).

de la nouvelle halle Girard, alias H7. Il s'agit d'un premier chantier de 100 m³ de béton recyclé pour réaliser un revêtement décoratif d'une superficie de 1 500 m² sur une épaisseur de 15 cm.

// Couche de forme

« Elle est constituée de 45 cm de GNT 0/80 surmontée d'une couche de réglage fin de 5 cm de GNT 0/31.5. Elle permet d'obtenir une plate-forme support de portance PF2 », précise Sébastien Thiercé, le dirigeant de Sols Confluence.

// Mise en œuvre du béton

Elle a eu lieu à partir du 14 novembre 2018, en cinq jours de coulage, à raison de 20 à 30 m³ quotidiens pour une équipe de 3 à 5 personnes. « Nous avons coulé directement à la toupie et au dumper », précise Sébastien Thiercé (Sols Confluence). « Le béton recyclé a été légèrement surdosé, détaille de son côté Nicolas Brasier (Vicat). Ainsi, nous avons atteint la classe d'exposition XF2 (exposition moyenne au gel avec agents antigel) en introduisant un entraîneur d'air. La classe de résistance de notre béton recyclé est C25/30, adaptée à la réalisation d'une dalle extérieure classique ou d'un dallage sur terre-plein, sans contraintes particulières. Il contient beaucoup de fines, ce qui lui donne de la rapidité et de la nervosité. »

// Finitions

Plusieurs types de finitions ont été testés pour les planches d'essais réalisées à la Station Mue : « sablé fin », « sablé fortement » ou désactivé...

Pour les abords de la nouvelle halle Girard, l'agence Base a choisi la finition sablée pour son « aspect rustique ». « Quarante-huit heures après la mise en œuvre, un atelier d'hydrosablage par voie humide est intervenu pour retirer la peau du béton et faire apparaître les granulats, sans trop les dénuder », précise Sébastien Thiercé, le dirigeant de Sols Confluence.

Résultat : « Un revêtement d'apparence assez brute, de couleur grise,

avec des agrégats roulés visibles, allant de l'ocre au noir, qui assure un bon confort de marche et une bonne adhérence. » Nicolas Brasier (Vicat) précise de son côté que « la longévité visée est celle d'un béton normal en revêtement de sol, soit vingt ans au minimum ».

// Joints

Des traits de scie ont été pratiqués « tous les 3 mètres, précise Sébastien Thiercé (Sols Confluence). Nous n'avons pas eu besoin de recourir à des joints de dilatation, compte tenu des arrêts de coulage fréquents. »

« Il s'agit d'une première en France, concluent avec satisfaction Jeanne Souvent (agence Base), Nicolas Brasier (Vicat) et Sébastien Thiercé (Sols Confluence). Le nouveau quartier de Lyon Confluence est le lieu idéal pour mener ce type d'expérimentation et pour ouvrir la voie à un béton recyclé aisément utilisable en revêtement de sol, tout en gardant un caractère et une qualité esthétique indéniables. Nous sommes certains que c'est l'avenir ! » ■

CONFLUENCE, PREMIER QUARTIER DURABLE WWF EN FRANCE

Confluence est le premier quartier durable labellisé WWF de France, une distinction fondée sur la qualité de vie et la réduction de l'empreinte écologique. Pour asseoir et renforcer cette exemplarité, le Grand Lyon et Lyon Confluence ont signé, en 2010, une convention sur cinq ans avec l'ONG WWF (Fonds mondial pour la nature) afin de transformer les objectifs en actions au moyen d'un plan d'action durabilité (PAD). Il s'agit d'une méthodologie qui s'appuie sur dix principes communs internationaux déclinés localement : zéro carbone, zéro déchet, mobilité durable, matériaux locaux et durables, alimentation locale et durable, gestion durable de l'eau, habitats naturels et biodiversité, culture et patrimoine local, équité et développement économique, qualité de vie et bien-être.



La première mise en œuvre du béton 100 % à base de granulats recyclés a été réalisée par Sols Confluence sur les abords de la nouvelle halle Girard, alias H7-Lyon French Tech. Elle a eu lieu à partir du 14 novembre 2018, en cinq jours de coulage, à raison de 20 à 30 m³ quotidiens pour une équipe de 3 à 5 personnes, « directement à la toupie et au dumper ».



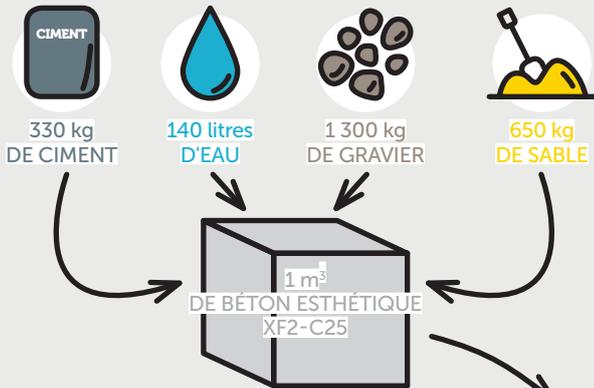
Quarante-huit heures après la mise en œuvre, un atelier d'hydrosablage par voie humide est intervenu pour retirer la peau du béton et faire apparaître les granulats.



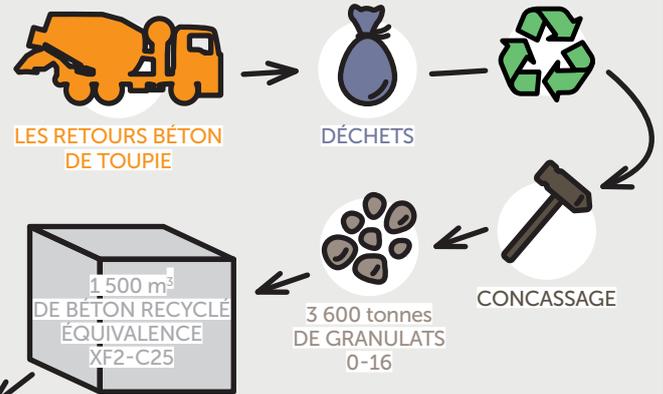
Le nouveau revêtement a une « apparence assez brute, de couleur grise, avec des agrégats roulés visibles, allant de l'ocre au noir. Il assure un bon confort de marche et une bonne adhérence. »

UN NOUVEAU SOL EN BÉTON RECYCLÉ

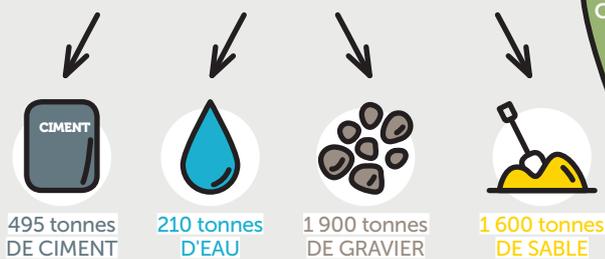
MÉTHODE TRADITIONNELLE



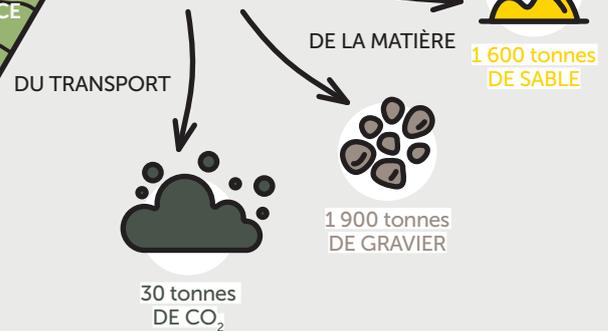
MÉTHODE AVEC GRANULATS RECYLÉS



POUR L'ESPACE PUBLIC DU CHAMP (10 000 m²), IL FAUT 1 500 m³ DE BÉTON TRADITIONNEL, SOIT :



EN RECYCLANT, ON ÉCONOMISE :



Les abords de la nouvelle halle Girard, alias H7. Au printemps, les derniers aménagements ont été achevés en vue de l'inauguration, prévue en ce mois d'avril 2019.

UN « LIEU TOTEM »

La métropole de Lyon dispose d'un incubateur sur mesure pour les start-up du numérique. Baptisé H7 et installé dans l'ancienne halle Girard, une ex-chaudronnerie construite en 1857, le nouvel établissement accueillera la pépinière d'entreprises Lyon French Tech. Situé à la pointe de Confluence, le nouveau quartier « durable » de Lyon, le lieu sera officiellement inauguré au mois d'avril de cette année. H7-Lyon French Tech se veut un « lieu totem ». Avec ses 3 000 m² consacrés à « l'accélération des start-up du numérique », il accueillera jusqu'à 40 projets à fort potentiel de développement. Sélectionnés

sur dossier, les « jeunes pousses » seront hébergées pour une durée de douze à dix-huit mois. Plate-forme de travail et de rencontres, H7 organisera des événements (conférences, salons, rencontres, petits déjeuners), tout en étant un lieu d'accueil et de coworking. L'espace événementiel pourra recevoir jusqu'à 1 800 personnes pour des workshops, des soirées d'entreprise ou des concerts...



Un béton désactivé de sable pour redécouvrir le charme des rives de la Seine

Comment transformer d'anciens « chemins de halage » en lieux de promenade, de détente et de convivialité urbaine ? Située sur les deux rives de la Seine, Vernon (Eure) redécouvre ses berges... Grâce au béton, la métamorphose a commencé par une première tranche très esthétique.



Grâce au béton, la ville de Vernon se réapproprie son fleuve. Après une première tranche très esthétique, une deuxième tranche sera réalisée d'ici 2020.

.....

PRINCIPAUX INTERVENANTS



Maîtrise d'ouvrage

Ville de Vernon

Maîtrise d'ouvrage déléguée

SPL Normandie Axe-Seine

Maîtrise d'œuvre

Agence Topo, cotraitant VRD :

ViaMap

Entreprise

Eurovia (sous-traitant béton :
Surfabéton)

Fournisseur du béton

Cemex (Saint-Marcel)

Fournisseur du ciment

Ciments Calcia

Paris à 72 km, Rouen à 56 km et Évreux à 32 km. Située dans le département de l'Eure, la ville de Vernon est implantée au carrefour de deux routes historiques : celle qui relie Paris à Rouen par la vallée de la Seine et celle qui va d'Évreux à Beauvais. Voisine de Giverny, célèbre pour abriter la maison du peintre Claude Monet, la commune (25 000 habitants) s'étend sur les deux rives de la Seine.

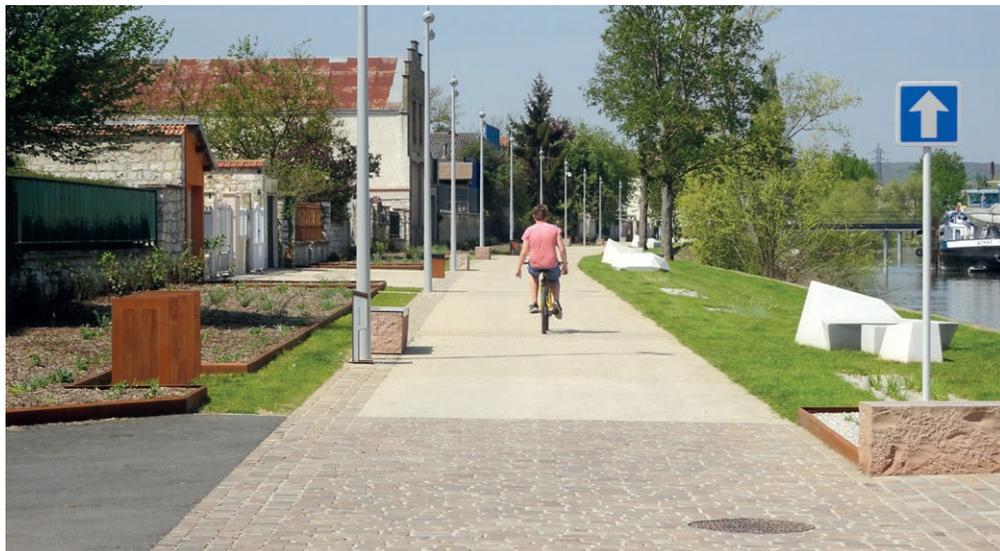
Sur la rive droite, le campus technologique du plateau de l'Espace accueille, dans un cadre verdoyant, le fleuron européen de la propulsion de fusées et d'aéronefs. C'est ici, chez ArianeGroup (ex-Snecma), qu'ont été mis au point tous les moteurs du fameux lanceur européen. Un propulseur de nouvelle génération, baptisé Vinci, est en cours d'étude. Il équipera l'étage supérieur de la future Ariane 6, prévue pour décoller en juillet 2020. À l'initiative de la municipalité, le plateau de l'Espace est désormais aussi une vitrine de l'innovation et de la formation en Normandie, avec une école d'ingénieurs inaugurée l'an dernier, qui accueille 250 élèves.

LA GENÈSE D'UNE « VOIE VERTE »

De l'autre côté de la Seine, la rive gauche est plus urbanisée. À partir du pont Clemenceau, qui relie les deux parties de la ville, en direction du nord-ouest, le quai Garnuchot puis le quai de Seine sont bordés d'immeubles d'habitation ou de maisons particulières. Malgré la présence du fleuve, le potentiel environnemental et récréatif des lieux est resté longtemps en jachère. Depuis 2014, l'équipe municipale fait en sorte que la ville se réapproprie son fleuve, au bord duquel elle



Avant. L'ancien chemin au début des travaux.



Après. Objectif du projet : transformer d'anciens « chemins de halage » en espace partagé, convivial, récréatif, accueillant et mettant en valeur le patrimoine.

est née et autour duquel elle s'est construite. Mûrement réfléchi, un projet a vu le jour, dans lequel le béton a su répondre à plusieurs problématiques : valorisation du patrimoine naturel ; dimension récréative ; création d'une « voie verte » avec circulation multimodale et protection de l'environnement.

Lancée à partir de 2014, la réflexion municipale sur les rives de Seine s'accompagne notamment de l'initiative « Cœur de Seine 2020 », dont l'ambition est de donner un nouveau visage à la ville de Vernon. Elle vise notamment à reconverter les friches laissées par la fermeture de plusieurs entreprises emblématiques de la commune (notamment la Fonderie et la Papeterie), mais aussi l'ancienne caserne Fieschi.

Sur le quai Garnuchot et le quai de Seine, les espaces à requalifier étaient les héritiers d'anciens « chemins de halage », peu empruntés hormis par les riverains, avec un tissu urbain discontinu ne tirant aucun avantage esthétique de l'environnement. Objectif : transformer cette zone en espace partagé, convivial, récréatif et accueillant, en mettant en valeur le patrimoine et, par la même occasion, en dynamisant tout le quartier.

Nouvellement élu, le maire de l'époque, Sébastien Lecornu (aujourd'hui ministre chargé des Collectivités territoriales dans le gouvernement d'Édouard Philippe), précisait la finalité de son « projet phare » : « Nous souhaitons que les berges de la Seine remplacent le parc ou le grand jardin public qu'il manque à Vernon. » Pour l'édile, ce futur espace, propice aux balades et aux pique-niques, a pour vocation d'accueillir autant les Vernonnais que les touristes.

LE CHOIX QUALITATIF DU BÉTON

Fin 2015, c'est l'agence havraise d'architectes-paysagistes Topo, en liaison avec le bureau d'études techniques normand Viamap, qui remporte l'appel d'offres. « Le premier comité de pilotage s'est déroulé en mars 2016, avec un

avant-projet finalisé en juin 2016 et le lancement de la procédure de marché en novembre 2016 », commente Florent Morcamp, paysagiste-concepteur de l'agence Topo. Première réunion de chantier : en janvier 2017.

Maître d'œuvre, l'agence Topo propose de faire des berges, larges d'environ 10 m, un trait d'union entre la ville et le fleuve. Son projet prévoit une voie de circulation mixte (3,50 m de large) courant le long de la berge et soulignée, côté habitations, par une bande structurante en pavés (grès). Des parterres végétalisés, délimités par des lames d'acier Corten, encadrent le cheminement qui s'ouvre régulièrement, côté Seine, sur des aménagements – façon belvédères – avec points de vue avancés sur le fleuve. Du mobilier urbain associant minéral et métal (bancs, chaises, luminaires, porte-vélos) ainsi que le rocher Stone (le « rocher à facettes en béton » emblématique de l'agence Topo) agrémentent l'ensemble.

Recourir au béton décoratif, pour mettre en œuvre le traitement esthétiquement « qualitatif » souhaité par la municipalité, fait rapidement consensus. « À l'agence Topo, poursuit Florent Morcamp, nous voulions utiliser le matériau le plus naturel, le moins chimique, sans colorant, avec le grain le plus fin possible pour le confort des piétons et le moins bruyant au passage des véhicules. »

PHASAGE

« À l'origine, poursuit Florent Morcamp, le projet englobait l'ensemble des berges de la rive gauche sur une longueur de 5 km. Finalement, les travaux ont été phasés. Pour commencer, il a été décidé de réaliser une première tranche de 900 m. »

ASSAINISSEMENT

Préalablement au chantier confié à Eurovia, d'importants travaux d'assainissement avaient été réalisés sur



Le mobilier urbain (bancs, chaises, luminaires, porte-vélos) associe minéral, bois et métal.

la rive concernée à l'initiative de la communauté d'agglomération des Portes de l'Eure (CAPE), avec mise en œuvre d'un minitunnelier et remplacement d'anciennes canalisations. « *Nous avons pu travailler sur une structure viable* », se félicite Alexandre Le Goff, de la société publique locale Normandie Axe-Seine (ex-Senovea), assurant la maîtrise d'ouvrage déléguée. Hugues Beurin, conducteur de travaux pour Eurovia, confirme ses dires.

■ PLATE-FORME SUPPORT

Les travaux débutent en mars 2017.

Multimodale, capable de permettre la cohabitation « *de rollers, de trottinettes, de skate-boards, de gyropodes* », avec des « *personnes à mobilité réduite (PMR) (mamans avec poussettes ou fauteuils roulants)* », la nouvelle « *voie verte* » se devait également d'être d'une portance suffisante pour permettre le passage des engins de pompiers et pour assurer la desserte des riverains (seuls autorisés à circuler en voiture) et le ramassage des ordures ménagères par benne à raison de « *deux fois par semaine* ».

« *Sur la suggestion d'Eurovia*, poursuit Alexandre Le Goff, *une couche de forme de 35 cm d'épaisseur a été réalisée pour conforter la portance de la plate-forme support. Près de 1 200 m³ de grave naturelle 0/31.5 ont été utilisés en provenance de la carrière de Chailloué (Orne). Une imprégnation à l'émulsion de bitume et gravillons 4/6 a ensuite été mise en œuvre, avant la pose d'un film de polyane pour éviter la migration de l'eau et le développement de fissures lors de la phase de prise du béton. Puis l'installation d'un ferrailage a précédé le coulage.* »

■ « BÉTON DÉSACTIVÉ DE SABLE » OU G/S INVERSÉ

La réalisation de la bande de circulation en béton est sous-traitée à Surfabéton, un applicateur local, basé à Saint-Ouen-de-Thouberville, près de Rouen.

Esthétique, minéral, plus lisse qu'un désactivé traditionnel, produit localement... Le choix s'est porté sur un G/S inversé (« *béton désactivé de sable* ») produit par la centrale BPE Cemex de Saint-Marcel, près de Vernon, sur la base d'un ciment Calcia.

Sur une plate-forme support de portance PF2 (EV2 compris en 50 et 120 MPa) et pour supporter un trafic estimé T5 (inférieur ou égal à 25 PL/jour), le béton, réglé et compacté, a été coulé sur une épaisseur de 18 cm.

Autre touche « *locale* » : les granulats utilisés proviennent du site Cemex de Bouafles (Eure), situé à une quinzaine de kilomètres. Avec une particularité propre au pays des impressionnistes : si un seul type de béton est retenu, sa teinte, elle, varie en fonction de la luminosité, si particulière, de la Normandie : « *Tirant sur le jaune lorsqu'il fait beau, plus gris lorsqu'il fait sombre* », précise Florent Morcamp.

■ UN COULAGE À LA POMPE EN TROIS PHASES

Au plus fort de l'activité, 25 à 30 ouvriers œuvrent quotidiennement sur le chantier. Le coulage du béton s'effectue en trois phases d'une semaine chacune, en juin, juillet et septembre 2018.

L'accès direct à la zone de coulage étant impossible pour les toupies, la mise en œuvre s'effectue à la pompe. « *Le pavage ayant été posé en premier lieu, il a également fait fonction de coffrage* », précise Hugues Beurin, le conducteur de travaux d'Eurovia.

« *Pour cette réalisation, près de 700 m³ de béton micro-désactivé de formulation G/S inversé ont été livrés par notre unité de production de Vernon*, précise Cemex. *Au total, quelque 4 000 m² sont mis en œuvre.* »

La configuration des lieux intégrait une pente de 2 % latéralement et de 0,5 % longitudinalement. Celle-ci est préservée afin de permettre l'écoulement des eaux vers le fleuve.

Les joints de dilatation ont été réalisés en acier. Une fois légèrement oxydés et patinés, ils sont en harmonie avec la couleur rouille du mobilier urbain, dont une partie intègre de l'acier Corten (acier autopatiné à corrosion superficielle forcée).



Le cheminement s'ouvre régulièrement, côté fluvial, sur des aménagements – façon belvédères – avec points de vue avancés sur la Seine (en arrière-plan). Au premier plan et en médaillon, un joint de dilatation.

DES JOINTS COULEUR ROUILLE

Des joints de retrait ont été réalisés tous les 4 mètres. « Sur ce projet, nous avons choisi des joints de dilatation en acier qui, une fois légèrement oxydés et patinés, sont en harmonie avec la couleur rouille du mobilier urbain, dont une partie intègre de l'acier Corten (acier autopatiné à corrosion superficielle forcée). Cela ne se remarque pas forcément, mais c'est le signe de la précision du travail que nous souhaitions apporter à ce projet, se réjouit Florent Morcamp, de l'agence Topo. Cela donne une touche particulière à l'aménagement. » Des mâts d'éclairage et des bornes wifi, qui permettront aux visiteurs de rester connectés, complètent le tableau.

Mettre en œuvre du béton sur des voies circulées dans une zone résidentielle nécessite de prendre certaines précautions. C'était particulièrement le cas pour cette première phase de travaux, qui a concerné une cinquantaine de foyers vernonnais. « De ce point de vue, le chantier s'est très bien passé », confirment tous les intervenants.

Première priorité : maintenir l'accessibilité.

Afin de laisser un accès aux riverains par l'un ou l'autre côté du chantier, les travaux de terrassement ont été organisés en plusieurs phases sur quatre mois.

Deuxième priorité : informer régulièrement les riverains des restrictions de circulation et de leur durée. « Pour Eurovia, la même équipe a été présente d'un bout à l'autre du chantier. Elle s'est même chargée de déplacer les poubelles des résidents pour faciliter les collectes de déchets ménagers, souligne Florent Morcamp. Les responsables ont fait un super boulot de concertation et de médiation avec mailing de présentation, porte-à-porte des élus municipaux, lettres d'information personnalisées régulières, etc. »

Troisième priorité : maîtriser le planning. « Cela aurait pu durer beaucoup plus longtemps. Nous avons fait le

maximum pour toujours respecter les plannings. Mais nous avons été aidés. De part et d'autre, il y avait la volonté de faire quelque chose de sympa ! Il y avait une vraie dynamique ! » confirment les différents intervenants.

DES TEMPÉRATURES CANICULAIRES

Comme classiquement, la météo était l'inconnue du chantier. Contre toute attente dans ce département normand, ce sont les températures caniculaires de l'été 2017 qui ont perturbé le chantier. « Nous avons eu fréquemment des températures supérieures à 30 °C. Et des pointes à 40-45 °C. » Conséquence : une gestion complexe de la cure et des fissures générant quelques désagréments esthétiques, vite rectifiés. « Tout est rentré dans l'ordre », confirme Hugues Beaurin, le conducteur de travaux d'Eurovia. La réception des travaux a eu lieu en janvier 2018. L'agence Topo suivra le parfait achèvement des travaux jusqu'à fin 2019 ainsi que le confortement des plantations jusqu'en 2020.

UN NOUVEAU TRONÇON DE 2,3 KM

Samedi 21 avril 2018, à 12 heures. Les élus de Vernon inaugurent la première tranche. Sébastien Lecornu, l'ancien maire de Vernon, désormais membre du gouvernement, et François Ouzilleau, le maire de Vernon, évoquent « un moment de convivialité » sur le thème des moyens de mobilité écologiques. Sur place et pour l'occasion, des ateliers permettent aux Vernonnais de découvrir différents modèles de gyropodes, les transporteurs électriques monoplaces à la mode.

Satisfaite des résultats de ce premier chantier, la municipalité de Vernon a prévu de réaliser, d'ici à 2020, une deuxième tranche sur la rive gauche, depuis « le silo [et] jusqu'à la limite communale », soit un tronçon de 2,3 km de long. Vernon la fluviale a bel et bien redécouvert ses berges de Seine grâce au béton. Et elle y prend goût !

Un retraitement en place au LHR en voirie urbaine polluée aux HAP, qui préserve l'environnement

Le retraitement en place à froid au liant hydraulique routier des anciennes chaussées est réalisable en zone urbaine pour limiter les nuisances de transports, qu'ils soient destinés à l'apport ou à l'évacuation de matériaux. Cette solution de rénovation « zéro déchet » se révèle particulièrement adaptée en cas de présence de polluants du type « hydrocarbures aromatiques polycycliques » (HAP). Exemple avec la création de couloirs de bus à Rennes.



L'ARC 1000® mélange les matériaux en place (matériaux blancs et bitumineux) et le liant hydraulique routier. L'homogénéité transversale et verticale du résultat est optimale (valeur 3 pour le paramètre H du coefficient HEPIL).

PRINCIPAUX INTERVENANTS



Maîtrise d'ouvrage

Rennes Métropole

Maîtrise d'œuvre

Rennes Métropole

Entreprise

Eiffage Route Ouest

Fournisseur du liant hydraulique routier

EQIOM (ROC VDS)

Située dans le nord-est de Rennes, l'avenue Gros-Malhon relie le rond-point de Rennes au pont Saint-Martin, non loin du CHU. Elle est longue de 1,8 km. Ouverte en 1856 sur l'emplacement d'une ancienne ruelle, elle doit son nom à une ferme qui existait encore à la fin du XIX^e siècle.

L'avenue Gros-Malhon est bordée, dans sa partie nord, de zones d'activité à vocation commerciale. Pour favoriser les déplacements – en transport collectif ou en modes actifs (vélos et piétons) – et soutenir l'activité économique, Rennes Métropole a décidé d'y créer des couloirs de bus, de part et d'autre de l'avenue, sur une distance de 600 m. Démarrés en 2017, les travaux se sont achevés l'an dernier.

CHOIX DE RETRAITEMENT EN PLACE AU LHR

« Sur une partie de la voie de bus, la structure était à reconstituer. La solution de base consistait à démolir entièrement l'existant, à mettre en décharge les matériaux pollués, puis à reconstruire une chaussée avec une technique classique : couche de forme en matériaux



En plus de son rotor de 2 m de largeur avec 224 dents, l'ARC 1000® est équipé d'une lame flottante pour assurer le nivellement du fond de forme, d'un malaxeur, d'une vis de répartition et d'une lame de répandage. Outre la précision des dosages, l'homogénéité transversale et verticale du traitement est assurée par un malaxeur de centrale puissant.

COEFFICIENT HEPIL

H : homogénéité du produit élaboré	3
E : épaisseur = maîtrise et respect	3
P : puissance de fraisage	3
I : injection de liquide dans la cloche de malaxage	3
L : dosage de liant sous forme d'émulsion	3

granulaires, puis structure bitumineuse, détaille Cédric Girault, responsable technique Eiffage Route, régions Île-de-France-Centre-Ouest. La métropole de Rennes ayant ouvert la consultation à variantes, nous avons proposé une solution différente : celle du retraitement de chaussée en place au liant hydraulique. C'est finalement cette solution variante qui a été choisie par Rennes Métropole, en tant que maître d'ouvrage et maître d'œuvre. »

Les sondages effectués ont confirmé la faisabilité d'une telle intervention. Mais ils ont également fait apparaître une autre problématique, qui a conforté le choix de la technique de retraitement.

■ PRÉSENCE DE HAP

La présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la chaussée de l'avenue Gros-Malhon était connue. Ces polluants sont le produit d'une combustion incomplète de carburants fossiles (pétrole, charbon, notamment). Une des options envisageables était leur évacuation par la mise en décharge. Mais le coût économique et les contraintes environnementales de cette évacuation par camion se sont révélés dissuasifs.

« La construction routière a longtemps eu recours à la mise en œuvre de goudrons, issus de la distillation de la houille (cf. encadré), explique Cédric Girault. Ces goudrons contiennent des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en quantité importante et sont, de ce fait, identifiés aujourd'hui comme des produits dangereux pour la santé. Excepté si l'on utilise le retraitement en place, ils doivent faire l'objet, lors de travaux d'entretien des chaussées, d'une évacuation en centre de stockage adapté à leur accueil. Cette sujétion représente potentiellement une problématique considérable, tant en termes économiques pour le maître d'ouvrage qu'en termes de capacité d'accueil dans les centres de stockage.

En effet, ces surcoûts peuvent, dans certains cas, retarder ou annuler des opérations d'entretien programmées de longue date. Dans le dossier de l'aménagement de l'avenue Gros-Malhon à Rennes, de forts taux de COT (carbone organique total) ont été également détectés. »

■ RECYCLEAN® : LE PROCÉDÉ D'ENCAPSULAGE DES HAP

Il poursuit : « L'idée a consisté à mettre au point – en liaison avec les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Dreal) et le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) de Rouen – un procédé d'encapsulation de ces substances HAP et COT. Baptisé Recyclean®, ce procédé présente des performances conformes aux normes et aux guides en vigueur. »

Particularité : à température ambiante, les HAP ne présentent pas de risque particulier en termes sanitaires ou environnementaux. Le danger n'existe qu'en cas de réchauffage. Procédé à froid, Recyclean® permet d'encapsuler sur site les matériaux contenant ces substances polluantes, qui ont la particularité d'être très hydrophobes.

Concrètement, devant l'atelier de retraitement, un système de brumisation humidifie légèrement la veine de liant répandue sur le sol. La machine de retraitement, proprement dite (dans ce cas précis, l'ARC 1000®), est protégée par un voile d'aspersion périphérique, retenant les poussières et les vapeurs émises dans l'enceinte des carters. Le risque de dissémination de la pollution dans l'emprise du chantier est maîtrisé. Le procédé peut ainsi être mis en œuvre dans un environnement urbain. Exemple : à Rouen en 2016 (cf. Routes n° 135).

« Le procédé a été associé à des mesures sanitaires d'émissivité sur deux chantiers en Seine-Maritime,

LES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)

Les HAP sont des composés organiques constitués de deux ou de plusieurs noyaux benzéniques. Du fait de leur tension de vapeur, ils peuvent se trouver dans l'air ambiant sous forme gazeuse ou particulaire. Issus de la distillation de la houille, les goudrons et dérivés ont été largement utilisés dans les revêtements routiers jusqu'à la fin des années 1990.

Ils peuvent contenir de 10 à 50 % en poids de composés hydrocarbonés aromatiques polycycliques.

Plusieurs d'entre eux, comme le benzo[a]pyrène, sont cancérogènes.



Réglage après malaxage, selon le profil déterminé. Devant la niveleuse, une citerne a pour fonction de maintenir la teneur en eau du mélange.



démontrant l'efficacité de la méthode et la bonne protection des salariés, des intervenants et des riverains évoluant autour de l'atelier, précise encore le responsable technique d'Eiffage Route, régions Île-de-France-Centre-Ouest. Cette proposition de traitement des chaussées contenant des HAP s'inscrit dans la démarche de développement durable engagée par Eiffage Route, qui prend en compte les aspects environnementaux, économiques et sociétaux, tout en protégeant les salariés du point de vue sanitaire. Notre solution technique a permis de proposer un retraitement des matériaux en place au liant hydraulique routier ROC VDS d'EQIOM pour constituer la couche d'assise de la chaussée et ainsi valoriser l'ensemble des matériaux en place, même ceux pollués. »

Les premières expériences rouennaises de Recyclean ont permis à Eiffage Route d'assurer un développement national du procédé et de le présenter au concours national du Comité d'innovation routes et rues de l'IDRRIM.

Recyclean a été déclaré lauréat du concours du CIRR 2015 et fait, à ce titre, l'objet de suivis expérimentaux par le Cerema sur divers chantiers instrumentés pour vérifier la parfaite maîtrise de la problématique HAP.

■ MISE EN ŒUVRE

La réalisation de l'avenue Gros-Malhon s'est effectuée en deux étapes, en 2017 et en 2018, pour maintenir la circulation pendant toute la durée des travaux.

■ DÉFRAGMENTATION

L'ARC 1000® d'Eiffage Route, spécialement conçu pour ce type de travaux, permet, de par sa conception, l'obtention d'une qualité de retraitement de type « couche d'assise » (fondation ou base) : sa puissance de 1 000 CV assure

un décohéssionnement complet de la chaussée en place avant retraitement et une homogénéité optimale au premier passage.

■ ÉPANDAGE DU LIANT

Cette opération doit être menée soigneusement afin d'épandre sur le chantier la quantité exacte de liant définie par l'étude du laboratoire (kg/m²). Elle est réalisée à l'aide d'un épandeur doté d'un système de dosage volumétrique, asservi à la vitesse d'avancement, d'une très grande précision. Ouvrant la voie à l'atelier de retraitement, un semi-remorque (appelé ARC® Dosage) qui comprend un réservoir d'eau (10 m³) et un silo de liant hydraulique (20 m³) opère. Liant utilisé : le ROC VDS d'EQIOM. Quantité délivrée au total : 300 tonnes.

« Le liant ROC VDS a été produit pour l'essentiel à notre usine de La Rochelle, explique Marc Chignon, responsable de marché chez EQIOM. Il propose un bon compromis entre les qualités de ses deux principaux constituants : celles du clinker (montée en résistance rapide, prise au jeune âge) et celles du laitier de haut-fourneau (la souplesse, la montée en résistance sur le moyen et le long terme). La composition de notre liant permet une maniabilité sur un temps suffisamment long lors du chantier : de l'ordre de quatre à six heures à 20 °C. »

■ MALAXAGE

Contrairement aux matériels de type « pulvimixeur », équipés d'un simple rotor transversal, les machines de retraitement ARC 1000® sont dotées d'un malaxeur longitudinal, identique à celui d'une centrale de malaxage fixe. Elles permettent ainsi l'obtention d'une homogénéité optimale du matériau sur l'ensemble du profil en travers de la chaussée. L'ARC 1000® découpe la chaussée sur une largeur de 2 mètres et sur l'épaisseur choisie (ici 35 cm)



Le matériau obtenu est réglé selon le profil déterminé à l'aide d'une niveleuse guidée par GPS.



Au premier plan, un PATA (point à temps automatique, épandeur de liant et gravillonneur sur le même châssis) suivi d'un atelier de compactage.

et ramène le volume de matériau dans le malaxeur de 0,90 m de large qui homogénéise intimement le liant routier, l'eau et le matériau.

Derrière l'ARC Dosage qui alimente l'atelier, la machine de retraitement ARC 1000® d'Eiffage Route malaxe les matériaux en place (mélange de matériaux blancs et bitumineux) et le liant hydraulique routier sur une épaisseur définie par rapport au dimensionnement de la chaussée, dans notre cas 35 cm. Un voile d'humidité plaque les poussières et les vapeurs émises dans l'enceinte des carters de la machine. « Les performances visées étaient un matériau de type M1 au sens du guide 2003 – Retraitement en place à froid des anciennes chaussées : $\sigma_6 = 0,7 \text{ MPa}$; Module E = 20 000 MPa, précise Cédric Girault. Outre le fait de réutiliser les matériaux en place, l'intervention de l'ARC 1000® pour la réalisation du traitement a permis d'améliorer le rendement du chantier avec des nuisances moindres (moins de camions, moins de matériaux neufs issus des carrières, mise en service plus rapide) pour le maître d'œuvre et les riverains. »

Le matériel Eiffage Route ARC 1000® est aujourd'hui le seul matériel de retraitement en France ayant un coefficient HEPIL = 33333. Ce sont les seules machines qui possèdent un vrai malaxeur associé et qui ont donc reçu la note 3 au paramètre H du coefficient HEPIL. Celui-ci valide l'homogénéité transversale, qui est un paramètre primordial pour la garantie de performances mécaniques homogènes.

L'ARC 1000® est constitué d'un bâti sur chenilles qui comprend un rotor de 2 m de largeur, équipé de 224 dents, une lame flottante pour assurer le nivellement du fond de forme, un malaxeur, une vis de répartition et une lame de répandage. En plus de la précision des dosages, l'homogénéité transversale et verticale du traitement est assurée par un malaxeur de centrale puissant.

REGLAGE ET COMPACTAGE

Le matériau obtenu est réglé selon le profil déterminé à l'aide d'une niveleuse guidée par GPS, puis compacté notamment à l'aide d'un compacteur de type V5 pour atteindre les performances de compactage q1, comme le précise le guide de retraitement. Une couche de cure à l'émulsion de bitume est ensuite réalisée à chaque fin de journée de mise en œuvre afin de conserver l'humidité nécessaire pour la bonne prise hydraulique du mélange. Le trafic étant dense sur cet ouvrage, une couche de base en enrobé à module élevé a été mise en œuvre, puis une couche de roulement en béton bitumineux à module élevé afin de répondre aux sollicitations du trafic qui est essentiellement composé de bus de Rennes Métropole.

Conclusion commune des responsables d'EQIOM, Jaouad Nadah, responsable du support technique client, et Marc Chignon, responsable de marché : « Ce chantier de retraitement exemplaire confirme l'avenir de cette technique, y compris en environnement urbain » (où la présence d'ouvrages types regards, bouches à clé, chambres, réseaux souples sous voirie, qu'il faut abaisser et remettre ensuite à la cote, est à prendre en compte, indique Rennes Métropole).

« La souplesse des ateliers ARC Dosage et ARC 1000® d'Eiffage Route permet de traiter la chaussée à des profondeurs comprises entre 5 cm et 42 cm en fonction de l'étendue et de la nature de la pollution ainsi que des performances mécaniques recherchées, insiste de son côté Cédric Girault, responsable technique Eiffage Route régions Île-de-France-Centre-Ouest. Recyclean® est une solution économique pour la réalisation des couches d'assise y compris en ville et pour des trafics importants. »



// REMUE-MÉNINGES

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

PROBLÈME N°147

Les trois petits chiffres

À l'aide de trois chiffres identiques, sans utiliser les signes d'opérations mathématiques, écrire le plus grand nombre possible.

SOLUTION DU REMUE-MÉNINGES DE ROUTES N°146

RAPPEL DU PROBLÈME POSÉ

Les caprices d'une star

Une star souhaite construire une piscine carrée dans son jardin, dont aucune dimension n'excède 25 m. Elle demande à son architecte de paver le fond de la piscine avec des dalles (de dimensions 1 m x 1 m) bleues et jaunes, en respectant les consignes suivantes :

- les dalles bleues doivent être utilisées pour paver le carré central de la piscine ;
- les dalles jaunes seront utilisées pour paver le contour du carré central, d'un mètre de large.

Alors que les dalles sont déjà livrées, la star décide de modifier le pavage du fond de la piscine comme suit :

- les dalles jaunes seront utilisées pour paver le carré central ;
- les dalles bleues seront réservées pour paver le contour du carré central.

L'architecte reprend la conception du projet de piscine carrée en respectant les vœux de la star et en utilisant toutes les dalles (sans les couper).

Mais il a été forcé d'augmenter la largeur du contour du carré central.

Quelles sont alors les dimensions de la piscine ?

SOLUTION

Considérons, tout d'abord, la conception initiale du projet de pavage proposée par l'architecte et désignons par « a » le côté du carré central de la piscine, destiné à être pavé avec des dalles bleues. La piscine, de forme carrée, aura alors un côté de longueur « a + 2 » conformément au dessin de la figure 1. On peut alors calculer les surfaces des dalles bleues et jaunes nécessaires au pavage du fond de la piscine.

- Surface des dalles bleues = a^2 (1)
- Surface des dalles jaunes = $4(a + 1)$ (2)

Considérons maintenant la conception modifiée du projet de pavage prenant en compte les vœux de la star et désignons par « x » l'augmentation de la largeur du contour du carré central.

Le carré central aura alors pour côté « a - 2.x », conformément au dessin de la figure 2. On peut alors calculer les surfaces des dalles bleues et jaunes nécessaires au pavage du fond de la piscine.

- Surface des dalles bleues = $4[(1 + x)(a - 2.x) + (1 + x)^2]$ (3)
- Surface des dalles jaunes = $(a - 2.x)^2$ (4)

Comme le nouveau projet utilise aussi l'ensemble des dalles bleues et jaunes sans les couper, il est alors possible de trouver la solution du problème de deux manières, soit en égalisant les relations (1) et (3), soit en égalisant les relations (2) et (4). Ce qui donne :

$$a^2 = 4[(1 + x)(a - 2.x) + (1 + x)^2] \quad (5)$$

$$\text{ou } 4(a + 1) = (a - 2.x)^2 \quad (6)$$

Le développement de l'une ou l'autre des deux équations (5) et (6) donnera la relation (7) :

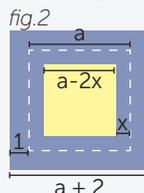
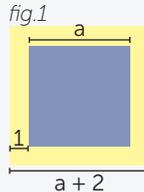
$$4.x^2 - 4.a.x + a^2 - 4.a - 4 = 0 \quad (7)$$

(7) est une équation du second degré, dont la résolution donne plusieurs solutions en « x » et « a ». Mais, compte tenu des données du problème, à savoir que la piscine ne doit pas excéder 25 mètres de côté, et compte tenu du fait que « a » et « x » ne peuvent avoir que des valeurs entières et positives, l'équation (7) donne comme unique solution : a = 8 et x = 1

La piscine est donc un carré de côté égal à 10 mètres.

Le nombre de dalles jaunes = $(a - 2.x)^2 = 36$

Le nombre de dalles bleues = $a^2 = 64$



// AGENDA 2019

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

Compiègne : 21 mai • Avignon : 15 octobre • Anney : 19 novembre • Agen : 3 décembre

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



// VIENT DE PARAÎTRE

GUIDE « Voiries et aménagements urbains en béton. Tome 1 : Conception et dimensionnement », Collection technique CIMbéton, édition 2019.



Ce guide vient d'être réédité dans la Collection technique CIMbéton.

Cette nouvelle version a été élaborée pour :

- // Prendre en compte les nouvelles règles en matière de conception et de dimensionnement des chaussées, définies en particulier dans la norme NF P 98 086 « Chaussées, terrassements. Dimensionnement et terminologie. Dimensionnement structural des chaussées neuves », dans la norme NF P 98 170 « Chaussées en béton de ciment. Exécution et contrôle » et dans la norme NF EN 206/CN « Béton. Spécification, performance, production et conformité » ;

// Se mettre en harmonie avec le nouveau guide de dimensionnement des chaussées à faible trafic, édité par l'IDRRIM en 2019.

Ce guide a pour objectif de réunir l'ensemble des renseignements nécessaires aux praticiens afin de leur épargner de multiples et laborieuses recherches dans des ouvrages disparates. Il est conçu en 8 chapitres traitant tous les aspects de la conception et du dimensionnement des voiries en béton.

Il est disponible sur le site www.infociments.fr ou sur simple demande.



7, place de la Défense - 92974 Paris-la-Défense Cedex

Tél. : 01 55 23 01 00

Fax : 01 55 23 01 10

Email : centrinfo@cimbeton.net

Site Internet : www.infociments.fr

Site dédié à la valorisation des matériaux aux liants hydrauliques : lhr.cimbeton.net