

ROUTES

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



DOSSIER

D'un point de vue environnemental, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ? (3^e et dernière partie)

INNOVATION

Le béton désactivé brossé à sec : un moyen simple de supprimer les eaux de lavage et les résidus

CONCOURS

Palmarès 2011 - Bétons décoratifs et d'aménagements

2 ÉDITORIAL

3-6 INNOVATION

**Le béton désactivé
brossé à sec**
Un moyen simple
de supprimer les eaux
de lavage et les résidus



7-10 CONSTRUCTION DURABLE

Autoroute A6a
Après 17 années de lourd
trafic, la chaussée béton
est toujours en parfait
état !



11-16 DOSSIER

**D'un point de vue
environnemental,
faut-il augmenter
la capacité des
infrastructures
routières ?**



17-19 CONCOURS

Palmarès 2011
Bétons décoratifs et
d'aménagements



20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : vue générale, en 1994, du tronçon de l'autoroute A6a entre la sortie de Paris et l'échangeur avec l'A10, réalisé en béton armé continu de 22 cm (avant d'être revêtu d'un béton bitumineux drainant de 4 cm).



Pour résorber la congestion routière, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?

Tout le monde s'accorde aujourd'hui à dire que les systèmes de transport vont devoir relever un défi majeur au cours des prochaines décennies pour assurer durablement la mobilité et les déplacements des personnes. En effet, si la moitié de la population mondiale (7 milliards) habite désormais en ville, les prévisions annoncent qu'en 2050 plus des 2/3 de la population mondiale (9 milliards) résideront en ville. Il est donc impératif aujourd'hui que les infrastructures de transport prennent définitivement le virage de la construction durable et soient moins coûteuses en énergie et moins polluantes.

Pour y parvenir, les avis divergent et on peut, sans trop de difficultés, affirmer qu'il existe au moins deux lignes de pensée.

La première ligne de pensée affirme que la route est une source importante de nuisances et, en particulier, d'impacts sur l'environnement : il convient, dès lors, de freiner l'expansion du réseau routier au profit d'autres modes de transport. Une solution intéressante, mais à courte vue car statique et de surcroît dangereuse : elle engendre en effet, eu égard à l'image négative de la route qu'elle véhicule, une sorte d'abandon du patrimoine routier.

La deuxième ligne de pensée affirme que la route est indispensable dans tout système de transport fiable et efficace. Elle se propose de trouver la meilleure stratégie pour rendre le schéma organisationnel de toutes les infrastructures de transport fiable, souple et optimisé. Une solution rationnelle et dynamique, mais nécessitant une planification claire, des moyens importants et une rigueur sans faille.

Mais, quelle que soit la ligne de pensée qui sera finalement adoptée, une question demeure posée : comment résoudre le problème de la congestion du trafic routier ?

Adopter une politique conforme à la première ligne de pensée ne peut au mieux que maintenir l'état de congestion. Pire, elle peut entraîner son aggravation, surtout quand on prend en compte les prévisions en matière d'évolution de la démographie et de l'étalement urbain. Une politique à l'encontre de l'expansion du réseau routier pourrait entraîner des coûts plus importants qu'une politique prônant de construire intelligemment de nouvelles routes pour délester le trafic.

Les dossiers, publiés dans la revue *Routes* N°116, N°117 et dans le présent numéro, soulignent l'état alarmant de la congestion du réseau routier et quantifient le coût économique, sociétal et environnemental qu'un tel état engendre.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les calculs montrent que - pour décongestionner les routes tout en faisant faire des économies à la communauté, en réduisant en même temps la gêne aux usagers et aux riverains, ainsi qu'en minimisant les impacts sur l'environnement - la solution passe par la construction de nouvelles infrastructures routières.

Car, finalement, quand on y réfléchit bien, ce n'est pas la construction des infrastructures routières qui impacte le plus, mais plutôt l'utilisation de celles-ci.

Dans ce numéro de *Routes*, on apporte la preuve que "construire de nouvelles infrastructures routières" est aussi rentable sur le plan environnemental.

Bonne lecture.

Joseph ABDO - Cimbéton

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

Email : centrinfo@cimbeton.net
Site Internet : www.infociments.fr

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

Directeur de la publication : Anne Bernard-Gély
Directeur de la rédaction, coordinateur des reportages et rédacteur de la rubrique *Remue-ménages* : Joseph Abdo - Reportages, rédaction et photos : Joseph Abdo, Philippe Antoine, Ludovic Baroin, Marc Deléage, Romualda Holak - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr - Direction artistique : Arnaud Gautelier - Maquette : Dorothee Picard - Dépôt légal : 4^e trimestre 2011 - ISSN 1161 - 2053 1994



Plus besoin d'utiliser de l'eau pour désactiver le béton : il suffit désormais d'employer un désactivant éliminable tout simplement par brosse à sec de la surface du béton.

Le béton désactivé brossé à sec : un moyen simple de supprimer les eaux de lavage et les résidus

Au lieu de désactiver le béton à l'eau haute pression, il existe aujourd'hui une alternative qui consiste à le brosser à sec, au moyen d'une machine brosseuse performante et efficace. Cette innovation de poids répond à une attente et à une pression constante de la part des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre auprès des acteurs du marché de la voirie béton désactivé.

Au fil du temps, de plus en plus de maîtres d'ouvrage imposent aux applicateurs de béton désactivé le captage, la neutralisation et le traitement des eaux de lavage générées par la désactivation du béton, afin de protéger à la fois les réseaux d'assainissements et les

milieux naturels. C'est le cas de la Direction de l'assainissement de la Communauté d'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe (CREA). Afin de répondre à ces exigences, l'entreprise Mineral Service a voulu trouver une alternative à la récupération des eaux de lavage des chantiers.

Lors de la réalisation du chantier des voiries béton du Technopôle du Madrillet, situé au sud de La CREA sur la commune de Saint-Etienne-du-Rouvray (Seine-Maritime), l'entreprise Mineral Service, spécialisée dans les sols bétons décoratifs et implantée en région rouennaise, à rechercher une solution innovante en matière de gestion des déchets. Pour cela, Mineral Service s'est appuyée sur son fournisseur de désactivant, la société CHRYSO, leader du marché français de

l'adjuvantation : ensemble, elles ont recherché une solution satisfaisante.

Le béton désactivé : un marché en pleine expansion

Le marché des sols bétons décoratifs en France présente une spécificité que l'on retrouve peu dans d'autres pays et que l'on a souvent soulignée dans la revue *Routes* : celle de faire la part belle au béton prêt à l'emploi, coulé en place et désactivé.

Aujourd'hui, il n'est plus de petites communes rurales, ou de grands espaces urbains, que l'on traverse sans rencontrer ce revêtement à la fois minéral, décoratif et durable. Estimé à près de 7 millions de m² coulés chaque année, on peut affirmer que ce marché est désormais mature.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Chantier du Madrillet (Seine-Maritime)

Maîtrise d'ouvrage : Rouen Seine Aménagement (RSA)

Maîtrise d'œuvre : Arc en Terre

Entreprise : Mineral Service

Concepteur et fournisseur du désactivant à brosser : CHRYSO

Fournisseur du béton : Unibéton

Fournisseur du ciment :
Ciments Calcia

La problématique du rejet direct des eaux de lavage des bétons désactivés

La nécessité de consommer de l'eau pour désactiver le béton et le rejet direct des eaux de lavage des bétons désactivés pose, en effet, un triple problème aux maîtres d'ouvrage tels que la Direction de l'assainissement de La CREA :

- Le risque de colmatage, par la prise du ciment retardé, des réseaux de collecte des eaux pluviales lorsque les eaux de lavage du béton désactivé sont envoyées, sans aucune précaution, dans les réseaux d'assainissement,
- Le pH élevé des laitances de béton, compris entre 11 et 13, interdisant tout rejet dans les réseaux et le milieu naturel (noues,...),
- La nécessité de consommer de l'eau pour laver le béton désactivé, alors que l'eau devient une ressource naturelle épuisable qu'il faut absolument préserver.

Ce dernier point allait d'ailleurs devenir critique, au printemps 2011, dans plusieurs régions où bon nombre de communes françaises imposaient des restrictions d'usage de l'eau pour cause de sécheresse.

Face à cette demande précise du marché, deux axes principaux de travail se dégagent :

- Capturer les eaux de lavage au point bas du chantier et effectuer un traitement de décantation et de neutralisation avant rejet,



La désactivation à sec de la partie coulée la veille autorise simultanément la poursuite du bétonnage.



Application, sur le béton prêt à l'emploi, du désactivant à brosser.

- Ou renoncer à utiliser de l'eau pour désactiver le béton en mettant au point un désactivant, éliminable par brossage à sec, et en proposant simultanément aux applicateurs une machine de brossage performante et efficace.

Pour Philippe Pucel, responsable Développement Bétons Esthétiques CHRYSO sur l'Ouest de la France : *"Cette seconde solution était, de loin, la plus séduisante car elle intégrait, non seulement, des réponses concrètes à la triple problématique de la Direction de l'assainissement de La CREA, mais elle permettrait par ailleurs une parfaite intégration des bétons désactivés sur les chantiers HQE ou dans les différentes stratégies Développement Durable des entreprises"*.

Le béton désactivé brossé : une innovation majeure

CHRYSO a alors travaillé à la mise au point d'un produit évitant le lavage à haute pression et a proposé une solution qui autorise la désactivation à sec par brossage. Il restait à trouver une bonne machine de brossage.

Motivé par le caractère novateur de la démarche CHRYSO, Olivier de Poulpique, PDG de Mineral Service, s'engageait dans la démarche R&D aux côtés de CHRYSO, mettant ses équipes à disposition durant plusieurs mois pour mener à bien les différents essais. Sophie Lachenaud, chef de marché Bétons Esthétiques chez CHRYSO, concluait : *"On était là dans un véritable cas d'école Marketing où une demande, clairement formulée par nos clients prescripteurs et utilisateurs agissant sur un marché parfaitement établi, allait se traduire par la mise au point et la commercialisation d'une solution radicalement innovante : le béton désactivé, non plus lavé à haute pression, mais brossé à sec"*.

Pour Samuel Béard, directeur d'exploitation chez Mineral Service : *"Notre entreprise est un acteur majeur du marché des bétons décoratifs en aménagement urbain. Le problème posé pouvait donc remettre en cause le développement de la technique des bétons désactivés et, si nous n'y apportions pas de solutions concrètes à court terme, nous risquions de voir se détourner bon nombre de maîtres*



Grâce au brossage à sec le lendemain du coulage, le béton traité avec l'émulsion désactivante CHRYSO® Déco Brush se révèle d'un aspect parfait et la totalité des résidus peut ainsi être récupérée.

d'ouvrage de ce procédé pourtant si populaire en France".

La première vraie question était la pollution des réseaux et du milieu naturel, consécutive au rejet de laitance de béton désactivé à pH élevé.

La deuxième question était le risque de colmatage des collecteurs et des regards par re-durcissement du ciment retardé, ce qui a pu générer de véritables sinistres en milieu urbain.

La troisième question était le gaspillage de l'eau, qui posait de plus en plus d'interrogations chez les défenseurs de l'environnement, suite aux sécheresses à répétition. Dans ce cas, comment autoriser, à la vue de tous, ces lavages des sols au surpresseur, alors qu'on interdit l'arrosage des jardins potagers ?

Des chantiers assurés désormais d'une meilleure gestion des déchets

Quelques chiffres pour illustrer les enjeux : 2 à 3 m³ d'eau sont nécessaires pour désactiver, de façon traditionnelle, 100 m² de sol béton. Cette même quantité d'eau se retrouve dans les réseaux et le milieu naturel, chargée d'environ 120 kg (toujours pour 100 m²) de résidus de désactivation : ciment retardé, sable, petits graviers et restes de désactivant.

Ces derniers peuvent, à eux seuls, représenter de 10 à 20 % de la masse sèche totale. Un désactivant pour béton s'applique, en effet, à raison de 250 g/m² en moyenne avec un extrait sec, variant de 40 % pour un produit en phase aqueuse à plus de 90 % pour un



La phase de brossage est suivie de la récupération, au moyen d'un aspirateur, de tous les résidus.

L'EXPÉRIENCE DU CHANTIER DU MADRILLET



Ingrid IOANNIDIS



Jean-Sylvain VANNIER

Au sein de la Direction Assainissement de la CREA, Ingrid Ioannidis est responsable Sécurité Environnement et Jean-Sylvain Vannier est responsable de la surveillance des ouvrages appartenant à la Direction Assainissement, dans le cadre de la réalisation des travaux de voirie par les communes. À ce titre, ils exercent une étroite surveillance sur tout ce qui est rejeté dans les canalisations, que ce soit dans les collecteurs d'eaux pluviales ou d'eaux usées. Certifiée ISO 14001 depuis 2000, la Direction de l'assainissement de la CREA doit, à ce titre, redoubler de vigilance. "Je mets un point d'honneur à relever tout dysfonctionnement rencontré dans le cadre de nos activités, en collaboration avec les équipes Terrain, afin d'apporter ensemble des solutions techniques efficaces et durables pour préserver l'environnement" déclare Ingrid Ioannidis. Depuis plusieurs années, Jean-Sylvain Vannier intervient régulièrement sur ce type de problématique au niveau des chantiers utilisant le béton désactivé. Lors de la réalisation des voiries béton du Technopôle du Madrillet situé au sud de la CREA sur la commune de Saint-Etienne-du-

La Communauté d'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe (CREA) a été instituée le 1^{er} janvier 2010 lors de la fusion de 4 communautés d'agglomération préexistantes. Elle regroupe aujourd'hui 71 communes de la périphérie de Rouen, soit environ 500 000 habitants.

Rouvray (76), Jean-Sylvain Vannier est intervenu : "Nous étions en zone particulièrement sensible sur le plan environnemental et de nombreuses noues hydromorphes et végétalisées devaient être protégées. Lorsque j'ai mesuré un pH de plus de 11 dans l'une d'elles et un début de colmatage du fond par des résidus du chantier, j'ai fait stopper le chantier, ballonner l'exutoire des noues et répercuter les coûts à l'entreprise Mineral Service".

Cette dernière a alors immédiatement mené une réflexion de fond, puis a contacté CHRYSO : c'est le point de départ de cette solution innovante. La seconde tranche du chantier du Madrillet, réalisée au printemps 2011, allait adopter cette innovation qualifiée de majeure puisqu'elle assurait les gestionnaires de réseaux d'une garantie totale de résultats. Brosse à sec, le béton traité avec le nouveau désactivant se révélait d'un aspect parfait et la totalité des résidus, un mélange de sable, de ciment et de désactivant, était récupérée. "C'est toute l'équipe de la Direction Assainissement de La CREA qui approuve ce progrès et je ne doute pas que, dans l'avenir, cette technique, économe en eau et sans rejets, se développera pour le bien de l'environnement" conclut Jean-Sylvain Vannier.

produit en phase huileuse. La quantité appliquée, qui subsiste jusqu'au lavage, est donc comprise entre 10 et 22 kg, toujours pour 100 m² ! Avec le béton brossé à sec, les chantiers sont assurés désormais d'une meilleure gestion des déchets puisque tout se passe sans eau et sans ruissellement, et que l'ensemble est minutieusement récupéré. La technique de coulage est, par ailleurs,

strictement identique à celle d'un béton désactivé classique jusqu'à la pulvérisation du désactivant.

Même si les désactivants à broser et à laver se ressemblent dans leur présentation, leurs formulations diffèrent car il faut, cette fois-ci, assurer la brossabilité à sec (désactivant à broser) et non plus un lavage à l'eau surpressée (désactivant à laver). Le nouveau désactivant à broser, nommé CHRYSO®



Les résidus - un mélange de sable, de ciment et de désactivant - sont récupérés puis stockés automatiquement en sacs.

Déco Brush, se présente sous forme d'émulsion aqueuse, non inflammable et non émettrice de composés organiques volatiles (COV). Il doit, en même temps, assurer une cure parfaite et "poudrer" après durcissement du béton. Il doit, en outre, résister à la pluie et aux fortes chaleurs. Enfin, il doit se brosser facilement le lendemain du coulage.

Quel matériel utiliser pour le brossage à sec ?

La partie mécanique du brossage a été particulièrement étudiée, dans la période de mise au point, par un second partenaire de Mineral Service : la société Blastrac, installée à Poitiers et spécialisée dans les machines de traitement mécanique des bétons, qui a su concevoir et adapter sur l'une de ses machines des brosses spéciales "Béton Brosé".

En effet, après de nombreux essais sur des balayeuses ou des brosseuses industrielles, le choix s'est arrêté sur une machine polyvalente que possèdent bien souvent les applicateurs : les bouchardeuses et les polisseuses mécaniques, pour lesquelles des brosses spécifiques ont été conçues, remplaçant les têtes de bouchardage ou



Les brosses, spécialement conçues pour cette application, assurent un brossage régulier sans arrachement des gravillons intermédiaires.

de polissage et assurant un brossage bien régulier, sans aucun arrachement des gravillons intermédiaires. À noter que les recherches pour la mise au point d'une machine encore plus performante et efficace se poursuivent.

La phase de brossage est ensuite suivie, en continu, d'une aspiration des résidus qui se retrouvent alors récupérés et stockés automatiquement

en sacs. Le fait de ne plus avoir d'eau et de déchets laisse un chantier et un environnement parfaitement propres. Qui plus est, les applicateurs y voient un moyen de valoriser leur matériel de bouchardage et de polissage à travers un nouveau type de béton d'environnement (et c'est bien le terme qui lui convient !) : le béton brossé à sec. ■

LE POINT DE VUE DE L'APPLICATEUR



Olivier de POULPIQUET

« CHRYSO a mis aussitôt son département R&D sur cette question »

Pour Olivier de Poulpiquet, PDG de l'entreprise Mineral Service, le chantier du Technopôle du Madrillet s'annonçait très classiquement : "Nous avons pris l'habitude de capter nos eaux de lavage en installant des polyanes le long de la voirie et des géotextiles pour protéger les noues. La contrainte et le coût étaient énormes car il fallait ensuite pomper ces effluents et les renvoyer en station : mais, du fait de notre engagement qualité, nous en faisons notre affaire". Tout cela pour un résultat cependant forcément approximatif, car loin du

rejet zéro.

Olivier de Poulpiquet, désireux d'éviter tout problème qui risquerait de surgir dans ces zones sensibles, demande alors à son fournisseur de désactivant de trouver une solution : "Nous avons été tout de suite entendus par CHRYSO qui, ayant bien compris les enjeux, a mis aussitôt son département R&D sur cette question. Nous avons fait évoluer le projet, main dans la main, jusqu'à la mise en œuvre finale sur le chantier du Technopôle, à la grande satisfaction de La CREA et de toutes mes équipes, pas peu fières d'avoir fait faire un grand pas à la technique. La solution de béton brossé est finalement le fruit d'une collaboration efficace entre notre entreprise, la Direction de l'assainissement de La CREA, CHRYSO qui a créé le nouveau désactivant et Blastrac qui a su concevoir et adapter, sur l'une de ses machines, des brosses spéciales "Béton Brosé". Un point reste encore à améliorer : pouvoir travailler sous la pluie car, vous le savez, nous sommes en Normandie...".



Technopôle du Madrillet : vue rasante du béton désactivé, après application d'un désactivant à brosser, sans lavage, et aspiration de tous les résidus.



Vue générale, en 2011, du tronçon de l'A6a en béton armé continu de 22 cm, revêtu d'un béton bitumineux drainant de 4 cm : 17 ans après sa réalisation, la chaussée béton est toujours en parfait état.

Autoroute A6a : après 17 années de lourd trafic, la chaussée béton est toujours en parfait état !

Ludovic Baroin a dirigé chez Gailledrat (société intégrée, depuis, au sein d'Eiffage Travaux Publics) les chantiers de rechargement en béton armé continu (BAC) de l'A6a, respectivement en août 1994 pour le sens Province/Paris et août 1995 pour celui Paris/Province. Il nous retrace les différentes étapes de cette importante opération et fait le point sur l'état de la chaussée en 2011.

“**A**oût 2011 : que devient l'autoroute A6a ? Une question sans grand intérêt pour le commun des mortels, mais qui trouve chez moi une forte résonance. Également une question qu'il y a tout

lieu de se poser dans le domaine des chaussées en béton, 17 ans après les travaux, pour lesquelles la durabilité et le faible entretien ont toujours été au premier rang des arguments de promotion.

En prenant la plume pour écrire cet article, ce sont d'abord des souvenirs personnels qui remontent à la surface : j'ai, en effet, eu le privilège et, accessoirement, la lourde tâche de diriger ces travaux de rechargement en béton armé continu (BAC), respectivement en août 1994 pour le sens Province/Paris et août 1995 pour celui Paris/Province.

Deux opérations commando réalisées aux portes de la capitale qui me vaudront l'insigne honneur d'en faire une présentation devant la fine fleur des spécialistes mondiaux des

chaussées en béton au congrès mondial AIPCR de Montréal en septembre 1995 !

Deux opérations symétriques, mais un chantier sorti aux fourches en 1994 alors que celui de 1995 devait se dérouler “dans un fauteuil”, le planning prévisionnel et celui des travaux s'étant confondus à l'heure près !

Rappel de l'historique des chantiers

Juin 1994 - Le groupement Gailledrat/TSS/CBC est déclaré adjudicataire des travaux de rechargement de l'autoroute A6a entre la sortie de Paris et l'échangeur avec A10, dans le sens Province/Paris. Il était bien prévu que la Circulaire DRCR N°89/46 du 8 août 1989, relative à l'application du coût

PRINCIPAUX INTERVENANTS

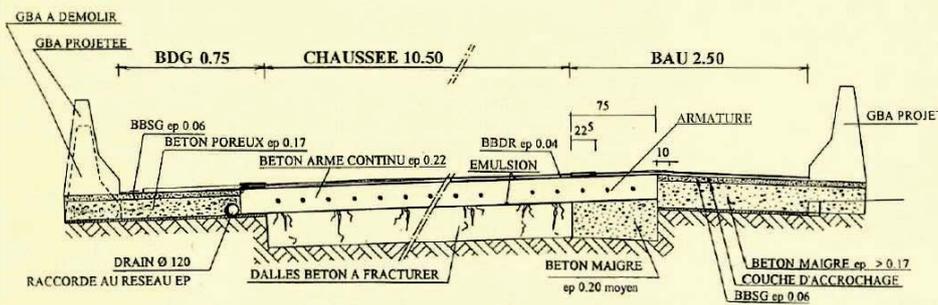
Maîtrise d'ouvrage : Ministère de l'Équipement – Direction des Routes

Maîtrise d'œuvre : DDE du Val-de-Marne (94) – Appui technique : SETRA

Entreprises : Gailledrat (pilote et mandataire)/TSS/CMR/Cochery Bourdin Chaussé

Fournisseurs du ciment : Ciments Calcia (voie Province/Paris), Ciments Origny, devenue aujourd'hui Holcim Ciments (voie Paris/Province)

COUPE TYPE RECHARGEMENT BÉTON ARMÉ CONTINU



Armatures :

Barres d'acier HA : longueur 18 m
diamètre 16 mm
classe FeE 500

Assemblage : recouvrement et ligature

Espacement : 13 cm

Taux d'acier (section transversale) : 0,67 %

global, soit utilisée mais cela n'a finalement pas été nécessaire car la solution béton était déjà la moins disante au premier investissement, donc sans tenir compte des scénarios d'entretien.

La structure retenue, au-dessus des anciennes dalles californiennes fragmentées, est constituée d'un BAC de 22 cm revêtu d'un béton bitumineux drainant (BBDr) de 4 cm. Le choix, imposé par le client, de faire reposer la nappe d'armatures du BAC sur des distanciers contraindra à réaliser la mise en œuvre en demi-chaussée. Le BBDr de surface sera retenu, en particulier, pour ses propriétés d'absorption acoustique. L'entreprise Calcia a été retenue comme fournisseur du ciment.

Juillet 1994 - Ma préoccupation du moment est stratégique pour la réalisation de ces travaux. Comment trouver 2 hectares de terrain pour y installer 2 centrales à béton et la quasi-totalité des matériaux nécessaires avant le démarrage dans cet environnement fortement urbanisé ? Après plusieurs passages au cadastre de la mairie de Wissous et après avoir arpenté les champs situés près du seul accès de service, je finis par dénicher la perle

rare. La négociation avec le propriétaire du terrain s'avérera rude - et l'indemnisation que nous lui verserons devra certainement lui permettre d'arrêter de cultiver du maïs pendant au moins 17 ans ! -, mais le nœud gordien de ce chantier est tranché : le reste ne sera que littérature.

Août 1994 - Le chantier a démarré depuis seulement 48 heures quand nous recevons la visite du directeur des routes et de tout un aréopage ! La machine à coffrage glissant de 8 m de large tourne depuis 5 ou 6 heures à peine. Un orage menace. Pour autant, la visite se déroule parfaitement et tout ce beau monde peut se retrouver au cocktail donné dans les locaux de la subdivision de Chevilly-Larue. À peine la première bouteille de champagne a-t-elle été débouchée que l'orage se déchaîne ! Je me précipite sur le chantier : il n'y aura pas trop de dégâts car le béton a été bûché et les bords de dalles coffrés rapidement. Pour ce qui est du léger délavement d'une partie de la surface du béton, il remplacera avantageusement le grenailage prévu avant la mise en œuvre du BBDr !

Août 1994 - Trois semaines après le démarrage, le chantier est livré dans les temps. Heureusement, car les

pénalités de retard étaient plus que conséquentes. Nous aurons dû, pour ce faire, travailler en postes H24 et même le 15 août.

Août 1995 - Un an après, on prend quasiment les mêmes : la société CMR s'est jointe au groupement de 1994. L'entreprise Origny, devenue aujourd'hui Holcim Ciments, a été retenue comme fournisseur du ciment. Et on recommence dans le sens Paris/Province.

Une opération-commando sur 15 jours !

Un chantier commando de ce type se singularise sur au moins 4 points :

- Le chantier est réussi ou raté avant même d'avoir commencé : en effet, il n'y a quasiment aucune marge d'adaptation, quelles que soient les découvertes faites lors de la réalisation des travaux,
- Les moyens humains et matériels doivent être largement surdimensionnés,
- Le planning au démarrage doit être environ 25 à 30 % plus court que le délai octroyé pour gérer quelques aléas et, en particulier, la météo,
- La quasi-totalité des sables et granulats doit avoir été approvisionnée avant le démarrage.

Pour ce chantier ont été mobilisés sur 15 jours :

- 2 centrales à béton de capacité effective de 200 m³/h,
- 2 machines à coffrage glissant et 2 alimentateurs pour la chaussée BAC,
- 1 machine à coffrage glissant et 1 alimentateur pour la bande dérasée de gauche (BDG) en béton maigre,
- 1 Road Widener pour le béton poreux de la bande d'arrêt d'urgence (BAU),



Chargés à 25 tonnes, les camions se succèdent pour approvisionner l'alimentateur.

FORMULATION DU BÉTON ARMÉ CONTINU (POUR 1 M³)

Ciment CEM II/A32,5 R : 330 kg

Granulats 5/10 (ryolithe de Sainte-Magnance) : 440 kg

Granulats 10/20 (calcaire dur CCM) : 565 kg

Sable 0/5 (GSM) : 820 kg

Plastifiant : 1,65 kg

Entraîneur d'air : 0,06 kg

Eau : 160 litres

- 3 machines à coffrage glissant pour les glissières en béton adhérent (GBA),
- 3 laboratoires du CETE (Autun pour le contrôle intérieur de l'entreprise ; LREP + LROP pour le contrôle extérieur de la maîtrise d'œuvre),
- Environ 200 personnes (100 par poste de 12 h).

Le bilan, 17 ans après

Force est de constater, après m'être rendu sur place, que les chaussées BBDr/BAC ont bien vieilli, en particulier au niveau des points sensibles que sont les joints. Les groupements avaient consenti des délais de garantie de 9 ans et n'ont pas eu à intervenir dans ces périodes. Au-delà, aucun entretien n'a été réalisé sur ces sections, sauf interventions ponctuelles consécutives à des accidents.

Le trafic comptabilisé en 2009 était de 59 000 véhicules par jour et par sens, dont environ 3 400 PL. Il est donc légèrement inférieur aux prévisions de 10 % de PL, mais plus important depuis la fermeture de nuit d'A6b démarrée en mars 2010 pour les travaux de couverture car le trafic d'A6b est dévié sur A6a.

Le comportement du BAC est excellent, ainsi que celui du BBDr, moins poreux que prévu initialement et plus proche de 5 cm que des 4 théoriques.

Il est intéressant de noter que la qualité et le dosage de la couche d'accrochage du BBDr jouent un rôle essentiel dans

INTERVIEW



Patrick MONNERAYE

« L'état actuel de la chaussée est encore très bon ! »

Patrick Monneraye, chef de l'Arrondissement de Gestion et d'Exploitation et de la Route Sud (AGER-S) à la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement Île-de-France (DIRA IDF), connaît bien l'aspect technique relatif aux chaussées. S'il a aujourd'hui la responsabilité de gérer les autoroutes du Sud de l'Île-de-France, cet ancien du LROP en connaît long sur leurs structures. « Je n'ai pas participé aux chantiers de réfection d'A6a en 1994 et 1995. Mais ce que je peux dire aujourd'hui, c'est que le coût d'entretien hors accidents se révèle nul. Et l'état actuel de la chaussée est

encore très bon, comme le relève un rapport du LROP établi début 2011. Il est vrai que le trafic PL réel est légèrement inférieur aux prévisions, sauf depuis que nous dévions A6b sur A6a la nuit pour gérer les travaux de couverture d'A6b en provenance et en direction de la porte d'Italie. En tant que technicien, ce qui m'impressionne le plus est la durabilité du BBDr, même s'il est probablement moins drainant aujourd'hui qu'aux premiers jours. Bien sûr, la rigidité du BAC contribue à sa bonne tenue, mais je suis convaincu que les choix techniques retenus à l'époque étaient optimaux : ouverture du BAC au trafic pendant 6 mois, grenailage, qualité et dosage de la couche d'accrochage. Le seul léger entretien à l'étude, en ce moment, concerne les joints de dilatation d'extrémité de BAC. L'Indice de Qualité des Routes Nationales (IQRN) ne place pas les chaussées béton à leur véritable rang : elles devraient être mieux classées si la base de données accordait plus de poids à des opérations récentes, telles que celle de l'autoroute A6a, et moins de place aux très anciennes chaussées non entretenues ».

les deux cas, en étanchant la surface du BAC et en optimisant le collage des couches. Je précise que le BAC a été circulé pendant 6 mois et grenailé avant la mise en œuvre du BBDr.

On notera également que la qualité des dispositifs de drainage, incluant la BAU en béton poreux, a certainement contribué à la bonne tenue de la structure.



Vue générale des ateliers de traitement de surface et de protection du béton.



Le balayage superficiel transversal confère à la chaussée une rugosité suffisante pour une couche de roulement provisoire.



La surface du béton armé continu est lissée par une taloche de grande dimension.

Pour ce qui concerne le rôle des distanciers, je ne pense pas que nous disposions d'éléments factuels conduisant à penser qu'ils aient contribué de manière significative à la bonne tenue du BAC.

Conclusions et perspectives

La question m'a été posée de savoir, dans l'hypothèse d'un renouvellement de ce type d'opérations, ce qu'il conviendrait d'améliorer ou, en tout cas, ce qui serait envisageable. Je laisserai la réponse aux jeunes générations. Bien sûr, supprimer les distanciers et travailler en pleine largeur "avec trompettes" permettrait de réduire, quelque peu, les délais. Mais ce point est discutable.

Réaliser un béton à dalles goujonnées, moins onéreux, pourrait être aussi étudié en lieu et place du BAC, en rapprochant avantages économiques et risques techniques.

La réalité est plutôt de penser qu'un chantier avec ce type de structure ne peut se renouveler en Ile-de-France que si une déviation du trafic est possible. En effet, si l'autoroute A6a a pu se réaliser, c'est qu'en termes d'exploitation il y avait A6b en parallèle pour dévier le trafic. Les autres chantiers de rechargement de dalles californiennes, réalisés sur A6 au-delà du nœud avec A10 et jusqu'à la Francilienne (Corbeil), l'ont été en enrobés (travaux de nuit avec biseau pour remise en circulation le matin). Et ceux qui sont programmés entre la Francilienne et la bretelle de Fontainebleau (réseau APRR) le seront sur le même principe.

Bien sûr, la durée de vie de ces rechargements sera probablement

INTERVIEW

« Même les joints de dilatation n'ont nécessité aucun entretien en 17 ans ! »

Marie-Thérèse GOUX

C'est à double titre que Marie-Thérèse Goux est concernée par ces chantiers. En effet, elle est adjointe au chef du SAR (Service de l'Aménagement du Réseau), chargée de l'ingénierie, au sein de la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement Île-de-France, dans laquelle s'inscrit l'A6a. Mais c'est également elle qui avait eu la charge, lorsqu'elle était au SETRA, de gérer l'appui technique auprès de la maîtrise d'œuvre de la DDE 94 lors des travaux. Elle avait donc participé à la préparation et à la réalisation de ces derniers en 1994 et 1995.

"Ces travaux étaient un challenge pour les services routiers de l'État : à la fois sur le plan technique puisque le béton armé continu était mis en oeuvre à grande échelle pour la première fois sur le réseau routier géré par l'État (conception, spécifications, définition des contrôles qualité, qu'ils soient intérieurs ou extérieurs...) et parce que des principes d'exploitation sous chantier, liés à l'immobilisation de plusieurs voies sur l'autoroute la plus circulée de France, devaient être définis et expérimentés avec un objectif de moindre nuisance sur les usagers et les riverains.

Dans ces deux domaines, la première année a été déterminante car tout était à définir ou à caler à la réalité du chantier, alors que la seconde année peut être considérée comme une répétition de la première.

Les décisions essentielles avaient été prises en 1994 : choix de pose des aciers longitudinaux sur supports

distanciers transversaux, modalités de fracturation des anciennes dalles béton californiennes conservées comme support, modalités de décaissement et reconstitution de la chaussée en béton compacté aux abords des passages inférieurs et sous les passages supérieurs, définition des joints de dilatation d'extrémité de BAC, choix et validation des formules de béton, performances, formulation et accrochage du béton bitumineux drainant.

Aujourd'hui, en tenant compte du comportement actuel de la chaussée, ces choix peuvent être considérés comme efficaces : la structure, la couche de surface et même les joints de dilatation n'ont nécessité aucun entretien en 17 ans.

Avec le recul, quelques choix techniques auraient sans doute pu être optimisés, tout en assurant un excellent comportement à long terme. Ce qui a été réalisé sur ce chantier de l'autoroute A6a peut être techniquement reproduit sur d'autres projets routiers, à condition d'avoir des solutions d'exploitation pour dévier une partie du trafic pendant la durée des travaux.

Reste la question du choix économique. Les réflexions internationales sur les chaussées à longue durée de vie, concernant la diminution des coûts d'exploitation (y compris les coûts à l'usager) et des coûts des travaux générés pas les entretiens périodiques, pourraient remettre le BAC dans la liste des techniques « efficaces »."

inférieure mais c'est l'immédiat de l'exploitation qui conditionne en premier lieu le choix de la technique. La zone de l'autoroute A1, au niveau de Roissy, pourrait se prêter à une opération similaire.

Pour autant, il existe en France de nombreuses sections autoroutières qui pourraient bénéficier de ce type de

structures qui, grâce à leur durabilité éprouvée, permettraient de ne pas multiplier les travaux – une opération lourde tous les 30 ans, au lieu d'une opération tous les 7 ans en moyenne pour les enrobés – et, par conséquent, de diminuer la gêne aux usagers qui en résulte".

Ludovic BAROIN (VIABÉTON Consult)

D'un point de vue environnemental, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?

Cet article fait suite aux deux dossiers "La congestion du trafic routier est-elle une fatalité ?", paru dans la revue *Routes* N° 116 de juin 2011 et "D'un point de vue économique et sociétal, faut-il augmenter la capacité des infrastructures routières ?", paru dans la revue *Routes* N° 117 de septembre 2011.

Son objectif est de prouver que, du point de vue environnemental, il est aussi rentable de construire de nouvelles infrastructures routières pour fluidifier la circulation routière.

Il est vrai que la construction et l'entretien de nouvelles routes engendrent des impacts sur l'environnement. Ces impacts qu'on saura décrire avec précision, et qu'on peut facilement évaluer, seront générés uniquement durant la période d'exécution des travaux de construction et d'entretien (une durée limitée : de quelques jours à quelques mois).

Mais il ne faut pas oublier que la mise en service de ces nouvelles infrastructures routières, en fluidifiant le trafic, vont réduire à néant la part des impacts imputables à la congestion du trafic, et ceci durant toute la période de service des infrastructures routières (une durée longue : de quelques années à quelques décennies). Pour répondre à la question "Faut-il alors augmenter la capacité des infrastructures routières ?", il est judicieux de procéder à un vrai bilan environnemental.

LE BILAN ENVIRONNEMENTAL

Il consiste à comparer :

- D'une part, l'impact global généré par une nouvelle infrastructure routière qui est la somme arithmétique des impacts générés par les travaux de construction et par les travaux d'entretien effectués durant la période de service. À cela, il convient d'ajouter les impacts dus à la surconsommation de carburant, générés par la congestion du trafic imputable aux travaux de construction et d'entretien.
- D'autre part, les impacts dus à la surconsommation de carburant (véhicules légers et poids lourds), générés par la circulation en situation de congestion durant toute la période de service prévue ou, ce qui revient au même, les impacts épargnés du fait de la fluidification du trafic.

L'impact global généré par une nouvelle infrastructure routière

C'est la somme arithmétique des impacts "I_c" émis durant les travaux de construction, des impacts "I_e" générés durant les opérations d'entretien effectués pendant une période de service donnée et des impacts "I_s" dus à la surconsommation de carburant, générés par la congestion du trafic causée par

les travaux de construction et d'entretien.

L'expression de l'impact global "I_t" s'écrit alors :

$$I_t = I_c + I_e + I_s \quad (1)$$

Expression des impacts générés par la phase construction : I_c

La méthode consiste à additionner les impacts générés pendant les phases de construction de l'infrastructure. Ces impacts sont évalués de façon rigoureuse à l'aide de la méthode d'analyse de cycle de vie ACV. Elle consiste à comptabiliser les flux de matières et d'énergie ainsi que les impacts environnementaux liés à l'ensemble des processus associés à la réalisation de l'infrastructure routière. I_c inclut toutes les étapes, de l'extraction des matières premières jusqu'à la mise en service de la route, en passant par les phases de transport, de fabrication des matériaux et leur mise en œuvre.

$$I_c = I_{emp} + I_{tmp} + I_f + I_{tm} + I_{mo} \quad (2)$$

Avec :

I_{emp} : impacts générés par l'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication des matériaux routiers,

I_{tmp} : impacts générés par le transport des matières premières des sites d'extraction jusqu'à la centrale de fabrication des matériaux routiers,

I_f : impacts générés par la fabrication des matériaux routiers,

I_{tm} : impacts générés par le transport des matériaux routiers de la centrale de fabrication jusqu'au chantier,

I_{mo} : impacts générés par la mise en œuvre des matériaux routiers.

Expression des impacts générés par les entretiens de la route : I_e

La méthode consiste à additionner les impacts générés pendant les phases d'entretien de l'infrastructure. Ces impacts sont évalués de façon rigoureuse à l'aide de la méthode d'analyse de cycle de vie ACV. Elle consiste à comptabiliser les flux de matières et d'énergie ainsi que les impacts environnementaux liés à l'ensemble des processus associés à la réalisation des travaux d'entretien de l'infrastructure routière durant la période de service prévue. "I_e" inclut toutes les étapes, de l'extraction des matières premières jusqu'à la remise en service de la route, en passant par les phases de transport, de fabrication des matériaux et leur mise en œuvre.

$$I_e = I_{e1} + I_{e2} + \dots + I_{ej} \quad (3)$$

Avec : e₁, e₂, ..., e_j : impacts générés par les travaux d'entretien successifs de la route.

Expression des impacts dus à la surconsommation des véhicules, générés par la congestion du trafic causée par les travaux de construction et d'entretien : I_s

Connaissant le trafic journalier (véhicules légers T_{vlj} , poids lourds T_{plj}), la durée journalière des travaux h , la durée des travaux de construction J_c et les durées des différents travaux d'entretien $J_{e1}, J_{e2}, \dots, J_{ej}$, les surconsommations des véhicules légers ($C'_{vc} - C'_{vf}$) et des poids lourds ($C_{vc} - C_{vf}$) causées par la congestion et l'inventaire de cycle de vie du fioul (ICV fioul), on peut évaluer les impacts sur l'environnement " I_s " dus à la surconsommation des véhicules légers et des poids lourds, générés par la congestion du trafic durant toutes les périodes de travaux de construction et d'entretien, par l'intermédiaire de l'expression (4) :

$$I_s = [T_{plj} \cdot (C_{vc} - C_{vf}) + T_{vlj} \cdot (C'_{vc} - C'_{vf})] \cdot h / 24 \cdot (J_c + J_{e1} + J_{e2} + \dots + J_{ej}) \cdot (ICV)_{fioul} \quad (4)$$

Avec :

C_{vc} : consommation au km d'un poids lourd en situation d'un trafic congestionné,

C_{vf} : consommation au km d'un poids lourd en situation d'un trafic fluide,

C'_{vc} : consommation au km d'un véhicule léger en situation d'un trafic congestionné,

C'_{vf} : consommation au km d'un véhicule léger en situation d'un trafic fluide.

Les impacts dus à la surconsommation de carburant (véhicules légers et poids lourds)

Les impacts, dus à la surconsommation de carburant, générés par la circulation en situation de congestion ou, ce qui revient au même, la diminution des impacts engendrés par les véhicules du fait de la fluidification du trafic, ont un caractère permanent et durent tant que la route est en service et que les conditions de fluidité du trafic existent. Ils s'accumulent année après année, tout au long de la période de service choisie pour la route.

Somme des impacts dus à la surconsommation de carburant I_{sc}

Comme les impacts, dus à la surconsommation de carburant, générés par la circulation en situation de congestion sont engendrés de façon permanente, il est, dès lors, judicieux de déterminer les impacts réalisés chaque année ($I_{sc}i$) $i = 1, \dots, n$ et de procéder ensuite à l'évaluation de l'impact global ($I_{sc}g$) pour une période de service " n ", moyennant l'expression (5) :

$$I_{sc}g = I_{sc}1 + I_{sc}2 + \dots + I_{sc}n \quad (5)$$

Toutefois, on peut supposer que les impacts sur l'environnement dus à la surconsommation de carburant sont constants d'une année sur l'autre (I_{sc}). On peut donc simplifier l'équation (5) comme suit :

$$I_{sc}g = n \cdot I_{sc} \quad (6)$$

Avec :

n : période de service,

(I_{sc}) : impacts annuels sur l'environnement dus à la surconsommation de carburant.

Connaissant le nombre de véhicules légers N_{VL} et celui de poids lourds N_{PL} par kilomètre de voie en situation de congestion, la durée de chaque congestion " h ", le nombre de congestion par jour " c ", la vitesse moyenne des véhicules en situation de congestion " V_c ", le nombre de jours de congestion par an " j ", les surconsommations au km des véhicules légers ($C'_{vc} - C'_{vf}$) et des poids lourds ($C_{vc} - C_{vf}$) causées par la congestion et l'inventaire de cycle de vie du fioul " ICV_{fioul} ", on peut évaluer les impacts sur l'environnement " I_{sc} " dus à la surconsommation des véhicules légers et des poids lourds, générés par la congestion du trafic durant une année, par l'intermédiaire de l'expression (7) :

$$I_{sc} = [(C'_{vc} - C'_{vf}) \cdot N_{VL} + (C_{vc} - C_{vf}) \cdot N_{PL}] \cdot h \cdot c \cdot V_c \cdot j \cdot (ICV)_{fioul} \quad (7)$$

Les expressions (6) et (7) permettent de déterminer les impacts globaux " $I_{sc}g$ " dus à la surconsommation des véhicules sur une période de service " n ", moyennant l'expression (8) :

$$I_{sc}g = n \cdot [(C'_{vc} - C'_{vf}) \cdot N_{VL} + (C_{vc} - C_{vf}) \cdot N_{PL}] \cdot h \cdot c \cdot V_c \cdot j \cdot (ICV)_{fioul} \quad (8)$$

ÉVALUATION DU BILAN ENVIRONNEMENTAL

Les hypothèses de calcul

Les données géométriques, structurelles et les scénarios d'entretien

Dans le but de comparer les impacts environnementaux, une analyse détaillée a été menée avec les mêmes hypothèses de calcul (données géométriques, structures, scénarios d'entretien) que dans le bilan économique et sociétal (cf. dossier Routes N°117).

Le recyclage en fin de vie

En fin de vie, on fait l'hypothèse que, après démolition, tous les matériaux constitutifs sont transportés sur 20 km afin d'être recyclés en totalité pour d'autres ouvrages.

Les données environnementales de l'étude

Les inventaires de fabrication des constituants de base

Ils sont issus de différentes sources ou bases de données et sont présentés dans le tableau 1.

Les inventaires de fabrication des mélanges

Les consommations de fioul par les centrales de fabrication des mélanges sont données dans le tableau 2.

Les inventaires de fabrication des mélanges, correspondant aux huit indicateurs environnementaux, sont donnés dans le tableau 3.

Les constituants de base sont mélangés dans une centrale de

Tableau 1 : ICV des constituants élémentaires

Indicateur	Ciment CEM II/A-L 30% ATILH 2009 (kg)	Bitume Eurobitume 2001 (kg)	Granulat UNPG 2000 (kg)	Eau Ecoinvent (kg)	Goujons/Armatures Ecoinvent (kg)	Fioul Ecoinvent (litre)
Energie (MJ)	4,3954E+00	4,3420E+01	5,7980E-02	2,5900E-02	3,5280E+01	3,5420E+01
Eau (kg)	1,1257E+00	1,2390E+00	1,9192E-01	1,0090E+00	2,0800E+01	3,3264E+00
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	1,5939E-03	2,1312E-02	1,2900E-05	2,7600E-05	7,8355E-03	1,6559E-02
Déchets (kg)	2,6821E-02	7,8402E-02	5,8987E-04	7,7000E-06	1,3010E-03	1,0034E-02
Déchets radioactifs (kg)	1,9400E-05	5,4523E-04	7,3737E-04	8,3800E-08	4,0600E-05	5,4266E-02
GES (kg CO ₂)	6,4825E-01	2,7700E-01	2,1132E-03	8,7000E-06	1,7100E+00	2,6353E+00
Acidification (kg SO ₂)	1,8032E-03	5,3300E-03	1,5172E-05	8,5300E-08	4,3400E-03	5,1686E-03
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	2,8600E-04	7,2700E-03	2,4975E-06	5,6800E-09	4,5670E-04	3,5857E-04

Tableau 2 : Consommation de fioul
par les centrales de malaxage

TYPE DE CENTRALE	CONSOMMATION DE CARBURANT (litre fioul / kg de produit fabriqué)
Centrale à béton	0,001
Centrale d'enrobage	0,007

malaxage, dont la consommation est donnée dans le tableau 2. Les indicateurs, correspondant à l'utilisation du diesel, sont obtenus de la base Ecoinvent.

À partir de ces données, les impacts de chaque mélange sont évalués pour une quantité correspondant à 1 m² de chaussée, en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base.

Tableau 3 : ICV centrales de malaxage

Indicateur	Centrale à Béton	Centrale d'enrobage
Energie (MJ)	3,5420E-02	2,4794E-01
Eau (kg)	3,3264E-03	2,3285E-02
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	1,6559E-05	1,1591E-04
Déchets (kg)	1,0034E-05	7,0238E-05
Déchets radioactifs (kg)	5,4266E-05	3,7986E-04
GES (kg CO ₂)	2,6353E-03	1,8447E-02
Acidification (kg SO ₂)	5,1686E-06	3,6180E-05
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	3,5857E-07	2,5100E-06

Les inventaires de transport des constituants et des mélanges

Les distances de transport, considérées dans la présente étude, pour les constituants de base et les mélanges sont données dans le tableau 4.

On fait l'hypothèse que les constituants de base et les mélanges sont transportés par camion de 40 tonnes.

Pour obtenir les impacts correspondant au transport des constituants de base et des mélanges (Béton maigre BC3, Béton de Ciment à joints goujonnés BC5g, Béton Armé Continu BAC et Grave Bitume GB3), on a retenu les hypothèses suivantes :

- Les constituants de base (granulats, ciment, eau, goujons ou armatures, bitume) sont transportés de leurs lieux de

Tableau 4 : Distances de transport
des constituants et des mélanges

TRAJET	DISTANCE
Raffinerie-centrale (bitume)	300 km
Cimenterie-centrale (ciment)	150 km
Carrière-centrale (granulats)	100 km
Acierie-chantier (goujons et armatures)	500 km
Eau	0 km
Centrale-chantier (béton prêt à l'emploi et matériaux bitumineux)	20 km
Fin de vie (tous les matériaux)	20 km

production jusqu'à la centrale de malaxage, sur des distances évaluées et fournies dans le tableau 4.

- Les mélanges sont transportés de la centrale (centrale d'enrobage, centrale à béton) jusqu'au chantier, sur une distance moyenne, évaluée à 20 km,
- Le transport s'effectue en camion de 40 tonnes, dont la charge utile est de 25 t et dont la consommation s'élève à 39 litres de fuel aux 100 km. Les indicateurs correspondant à la consommation du fuel sont obtenus de la base Ecoinvent. On considère un pouvoir calorifique de 42,8 MJ/kg et une masse volumique de 0,84 kg/l.

À partir de ces données, les impacts générés par le transport, des constituants élémentaires et des mélanges nécessaires à la réalisation d'un m² de chaussée, sont évalués (y compris l'armature pour le BAC ou le goujon pour le BC5g), en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base et selon le pourcentage en masse du béton et de l'acier.

Les inventaires de mise en œuvre

Les consommations de combustibles pour les différentes machines utilisées durant le chantier sont données dans le tableau 5. À partir de ces données, les inventaires de cycle de vie des quatre structures retenues sont évalués pour 1 m² de chaussée.

Les inventaires de la construction

À partir des inventaires de fabrication, de transport, de mise en œuvre, on peut évaluer l'impact construction pour 1 m² et

Tableau 5 : ICV des machines de mise en œuvre et d'entretien

TYPE DE MACHINE	CONSOMMATION (PAR JOUR)	RENDEMENT (PAR JOUR)
Pelle ou chargeur	75 litres fioul	5 000 m ²
BRH	75 litres fioul	5 000 m ²
Camion 40 t	39 litres fioul	100 km
Coffrage glissant voies	75 litres fioul	BC3 : 4 000 m ² BC5g : 3 000 m ² BAC : 2 500 m ²
Finisseur grave-bitume	82 litres fioul	1 500 m ²
Compacteur grave-bitume	64 litres fioul	1 000 m ²
Pose goujons ou armatures acier	0,58 litres fioul	2 000 ml
Guillotine pour fragmenter les dalles béton	75 litres fioul	5 000 m ²
Machine de grenailage	275 litres fioul	13 000 m ²
Machine de rabotage	75 litres fioul	5 000 m ²
Entretien des joints	75 litres fioul	300 ml
	0,05 litres bitume/m ² de chaussée	

pour les 4 structures envisagées.

En outre, à partir des ICV des machines d'entretien et de fin de vie, on peut évaluer les impacts entretien et fin de vie pour 1 m² et pour les 4 structures envisagées.

Le tableau 6 donne l'ACV cycle construction, entretien, fin de vie pour 1 m² de chaussée et pour les 4 structures envisagées.

Évaluation du bilan environnemental

Il s'agit de comparer :

- D'une part, l'impact global de l'infrastructure routière qui est la somme arithmétique des impacts générés lors des travaux de construction et des travaux d'entretien, effectués durant la période de service ainsi que les impacts dus à la surconsommation des véhicules générés par la congestion du trafic causée par les travaux de construction et d'entretien,
- D'autre part, les impacts dus à la surconsommation de carburant (véhicules légers et poids lourds), générés par la circulation en situation de congestion ou épargnés du fait de la fluidification du trafic.

À partir des données relatives aux impacts générés durant la phase de construction et d'entretien des chaussées, le tableau 7 donne l'évaluation des impacts globaux sur 30 ans d'une voie routière de longueur 1 km et de largeur 4 m, pour les quatre structures de chaussées sélectionnées pour cette étude. Les impacts globaux comprennent les impacts engendrés durant les phases de construction de la chaussée, des terrassements, de la signalisation, les impacts provoqués par les travaux d'entretien de la chaussée sur la période de service de 30 ans ainsi que les impacts générés par les travaux de déconstruction en fin de vie de la structure.

En outre, à partir de données relatives aux gênes causées par les travaux de construction et d'entretien de l'infrastructure, le tableau 8 donne l'évaluation des impacts dus à la surconsommation des véhicules générés par la congestion du trafic causée par les travaux de construction et d'entretien.

Tableau 6 : ACV cycle construction + Entretien + Fin de vie - 1 m²

Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	6,6333E+02	9,1767E+02	9,1481E+02	1,1351E+03
Eau (kg)	3,5395E+02	2,7041E+02	5,0679E+02	4,0363E+02
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	2,3728E-01	3,8720E-01	2,8532E-01	4,2763E-01
Déchets (kg)	3,1790E+00	2,7808E+00	2,9689E+00	2,5698E+00
Déchets radioactifs (kg)	6,7258E-01	6,4042E-01	6,2521E-01	5,9319E-01
GES (kg CO ₂)	7,8281E+01	5,7118E+01	8,7465E+01	6,4644E+01
Acidification (kg SO ₂)	2,1773E-01	1,9840E-01	2,3945E-01	2,1593E-01
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	3,3471E-02	9,0354E-02	3,4433E-02	9,0877E-02

Tableau 7 : ACV cycle construction + Entretien + Fin de vie - 1 km de voie de 4 m de large

Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	2,6533E+06	3,6707E+06	3,6592E+06	4,5404E+06
Eau (kg)	1,4158E+06	1,0816E+06	2,0272E+06	1,6145E+06
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	9,4911E+02	1,5488E+03	1,1413E+03	1,7105E+03
Déchets (kg)	1,2716E+04	1,1123E+04	1,1875E+04	1,0279E+04
Déchets radioactifs (kg)	2,6903E+03	2,5617E+03	2,5008E+03	2,3728E+03
GES (kg CO ₂)	3,1312E+05	2,2847E+05	3,4986E+05	2,5858E+05
Acidification (kg SO ₂)	8,7094E+02	7,9362E+02	9,5781E+02	8,6373E+02
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	1,3388E+02	3,6142E+02	1,3773E+02	3,6351E+02

**Tableau 8 : ICV congestion trafic durant travaux de construction et d'entretien sur 30 ans
- Pour 1 km de voie**

Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	4,28E+05	3,6896E+05	4,5751E+05	3,8372E+05
Eau (kg)	4,02E+04	3,4650E+04	4,2966E+04	3,6036E+04
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	2,00E+02	1,7249E+02	2,1389E+02	1,7939E+02
Déchets (kg)	1,21E+02	1,0452E+02	1,2961E+02	1,0870E+02
Déchets radioactifs (kg)	6,56E+02	5,6527E+02	7,0094E+02	5,8788E+02
GES (kg CO ₂)	3,18E+04	2,7451E+04	3,4039E+04	2,8549E+04
Acidification (kg SO ₂)	6,25E+01	5,3840E+01	6,6761E+01	5,5993E+01
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	4,33E+00	3,7351E+00	4,6315E+00	3,8845E+00

Tableau 9 : ICV total sur 30 ans d'une voie de 1 km de longueur et de 4 m de largeur

Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	3,08E+06	4,0396E+06	4,1168E+06	4,9241E+06
Eau (kg)	1,46E+06	1,1163E+06	2,0701E+06	1,6506E+06
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	1,15E+03	1,7213E+03	1,3552E+03	1,8899E+03
Déchets (kg)	1,28E+04	1,1228E+04	1,2005E+04	1,0388E+04
Déchets radioactifs (kg)	3,35E+03	3,1270E+03	3,2018E+03	2,9606E+03
GES (kg CO ₂)	3,45E+05	2,5592E+05	3,8390E+05	2,8712E+05
Acidification (kg SO ₂)	9,33E+02	8,4745E+02	1,0246E+03	9,1972E+02
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	1,38E+02	3,6515E+02	1,4236E+02	3,6739E+02

Tableau 10 : ICV de la circulation en situation de congestion - Pour 1 km de voie de 4 m de large

Indicateur	Surconsommation Véhicules légers /30 ans	Surconsommation Poids Lourds / 30 ans	Total
Energie (MJ)	1,72E+08	6,6944E+07	2,39E+08
Eau (kg)	1,62E+07	6,2869E+06	2,25E+07
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	8,05E+04	3,1297E+04	1,12E+05
Déchets (kg)	4,88E+04	1,8964E+04	6,77E+04
Déchets radioactifs (kg)	2,64E+05	1,0256E+05	3,66E+05
GES (kg CO ₂)	1,28E+07	4,9807E+06	1,78E+07
Acidification (kg SO ₂)	2,51E+04	9,7687E+03	3,49E+04
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	1,74E+03	6,7770E+02	2,42E+03

Tableau 11 : Bilan environnemental pour 1km de voie et pour une période de service de 30 ans

Indicateur	Moyenne des 4 structures Béton	Surconsommation des véhicules sur 30 ans	Surconsommation véhicules sur 30 ans Moyenne 4 structures Béton
Energie (MJ)	4,04E+06	2,39E+08	59,17
Eau (kg)	1,57E+06	2,25E+07	14,27
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	1,53E+03	1,12E+05	73,11
Déchets (kg)	1,16E+04	6,77E+04	5,83
Déchets radioactifs (kg)	3,16E+03	3,66E+05	115,96
GES (kg CO ₂)	3,18E+05	1,78E+07	55,94
Acidification (kg SO ₂)	9,31E+02	3,49E+04	37,46
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	2,53E+02	2,42E+03	9,56

Tableau 12 : Linéaire de voies constructibles par an à impacts équivalents à 1 000 km de voies congestionnées

Indicateur	ACV d'un km de voie sur un cycle complet - Moyenne des 4 structures Béton	Surconsommation des véhicules pour 1 000 km de voies et sur 30 ans	Longueur de voies à construire par an pour des impacts équivalents (km)
Energie (MJ)	4,04E+06	2,39E+11	1,97E+03
Eau (kg)	1,57E+06	2,25E+10	4,76E+02
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	1,53E+03	1,12E+08	2,44E+03
Déchets (kg)	1,16E+04	6,77E+07	1,94E+02
Déchets radioactifs (kg)	3,16E+03	3,66E+08	3,87E+03
GES (kg CO ₂)	3,18E+05	1,78E+10	1,86E+03
Acidification (kg SO ₂)	9,31E+02	3,49E+07	1,25E+03
Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻)	2,53E+02	2,42E+06	3,19E+02

Enfin, le tableau 9, somme des résultats des tableaux 7 et 8, donne les impacts totaux sur 30 ans générés lors des travaux de construction, d'entretien, fin de vie et congestion par une voie de route de longueur 1 km et de largeur 4 m.

D'autre part, à partir des données relatives à la circulation routière et aux données environnementales, le tableau 10 donne l'évaluation des impacts de la circulation routière en situation de congestion, pour 1 km de voie de largeur 4 m. Plus précisément, le tableau 10 donne sur une période de 30 ans :

- Les impacts de la surconsommation des Poids Lourds sur 30 ans,
- Les impacts de la surconsommation des Véhicules Légers sur 30 ans,
- Les impacts totaux des véhicules sur 30 ans.

En examinant les tableaux 9 et 10, on constate que le bilan environnemental est largement favorable à une politique d'augmentation de la capacité des infrastructures routières, quelle que soit la structure de chaussée envisagée (voir tableau 11).

Les enjeux de ce bilan environnemental

À en croire les informations sur le trafic qui annoncent, matin et soir, 1 000 km de voies en état de congestion sur l'ensemble de la France, le bilan environnemental pour 1 km de voie qu'on vient d'établir se traduirait par des impacts très importants sur l'environnement, durant une période de 30 ans. Les impacts,

générés par 1 000 km de voies congestionnées sur 30 ans et présentés dans le tableau 12, compenseraient largement les impacts générés par la création de plusieurs centaines (voire plusieurs milliers) de km de nouvelles infrastructures routières par an, en fonction de l'indicateur environnemental visé.

Facteurs favorables au béton, non pris en compte dans le bilan

Ce bilan environnemental a été mené en considérant un certain nombre d'hypothèses relatives à la circulation routière, aux structures de chaussées, aux scénarios d'entretien et aux inventaires de cycle de vie. Mais, il ne saurait être exhaustif. En effet, il n'a pas été pris en compte certains avantages spécifiques aux structures routières en béton, parfaitement opérationnelles et qui contribuent au quotidien, par leurs effets bénéfiques, à atténuer les impacts de l'activité humaine sur l'environnement. Ce sont des **solutions techniques multifonctions**, dotées de propriétés ou de fonctions agissant positivement sur l'environnement ou "**solutions compensatoires**". L'infrastructure de transport devient donc une source pour lutter contre certains problèmes tels le **réchauffement climatique (revêtement clair à fort pouvoir réfléchissant, le béton comme puits pour piéger le carbone)**, les **inondations (concept de structure réservoir en matériaux poreux)** ou la **pollution de l'air (matériaux à fonction dépolluante)**.

CONCLUSION

Le bilan environnemental, qui vient d'être évalué dans l'exemple ci-dessus, a permis de :

- Prouver qu'il est de l'intérêt de la communauté, sur le plan environnemental, d'augmenter la capacité des infrastructures routières qui se trouvent régulièrement en situation de congestion.
- Montrer que ce bilan environnemental, évalué pour 1 km de voie sur une période de 30 ans, est largement en faveur de la construction de nouvelles infrastructures routières. En effet, les impacts globaux générés durant les travaux (construction + entretiens + gênes sur 30 ans) sont largement inférieurs à

ceux générés par la surconsommation des véhicules, causée par la circulation en situation de congestion.

- Démontrer, enfin, que ce bilan environnemental est largement en faveur de la construction de nouvelles infrastructures routières, quelle que soit la structure de chaussée béton envisagée.

Ce bilan environnemental présente un écart tellement important en faveur d'une augmentation de la capacité des infrastructures routières qu'une étude de sensibilité ne paraît pas justifiée.

Joseph ABDO - Cimbéton

Palmarès du Concours 2011 Bétons décoratifs et d'aménagements

PRIX DE L'AMÉNAGEMENT GLOBAL
Centre-bourg à Saint-Germain (Aube)



PRIX DE L'INTÉGRATION ENVIRONNEMENTALE
Liaison TCSP Sénart-Corbeil (Seine-et-Marne)



PRIX DE L'ESTHÉTIQUE
Parvis du Centre Pompidou à Metz (Moselle)



PRIX SPÉCIAL DU JURY
Espace Chabran à Draguignan (Var)



La remise des prix s'est déroulée le 23 novembre 2011 dans le cadre du Salon des Maires de Paris, sous la présidence du sénateur Yves Krattinger, président de l'IDRRIM (Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) et sénateur de la Haute-Saône.

Le grand Concours 2011 "Bétons décoratifs et d'aménagements", organisé par Cimbéton, le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE), le Syndicat National du Pompage du Béton (SNPB) et le Syndicat National des Ajuvants pour Bétons et Mortiers (SYNAD), vient de décerner ses Prix.

Le Comité de Sélection, réuni le 19 septembre 2011, a désigné 3 réalisations pour chacune des 3 catégories en lice (Aménagement global - Intégration environnementale - Esthétique), ainsi qu'une proposition de Prix spécial du Jury, parmi les 49 projets présentés.

Les lauréats, choisis par le Jury le 4 octobre, ont été conviés à la remise des prix qui s'est déroulée le 23 novembre sous la présidence du sénateur Yves Krattinger, président de l'IDRRIM et sénateur de la Haute-Saône.



Yves Krattinger, président de l'IDRRIM et sénateur de la Haute-Saône

PRIX DE L'AMÉNAGEMENT GLOBAL

Saint-Germain (Aube) : remise en valeur du centre-bourg à proximité de commerces et de l'église

Pour bien valoriser le centre-bourg de cette commune de 2 300 habitants ont été réalisés une voirie, des trottoirs et des pistes cyclables, avec la mise en œuvre de bétons désactivés et de sables stabilisés.

L'intégration environnementale a été optimisée grâce à l'utilisation de



granulats clairs "comblanchiens" (calcaires de teinte beige et de dureté comparable à celle du marbre) rappelant la façade de l'église et grâce à la réalisation d'un calepinage en briques rouges, identiques à celles des murs de l'église.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Conception : Egis France

Entreprise : Roussey (Eurovia) à Saint-André-les-Vergers (Aube)

Producteur de BPE : Holcim Bétons (France) - Région Centre-Est

PRIX DE L'INTÉGRATION ENVIRONNEMENTALE

Liaison Sénart-Corbeil (Seine-et-Marne) : voie de transport en commun en site propre (TCSP)

Il s'agit de la première connexion transversale de la grande couronne, au moyen du bus à haut niveau de service nommé "TZen", circulant sur une longueur de voie de 14,7 km, dont 9,6 km en site propre.

La plateforme a été mise en œuvre en BAC (béton armé continu) avec un béton XF2. Principaux constituants : un ciment très clair (pour une meilleure intégration environnementale), un sable de Seine, des graviers de Voutré et un colorant jaune.

Sur cette réalisation a été utilisée la technique innovante de l'hydrodécapage de la couche de roulement en béton,



effectué à l'aide d'une machine à haute pression (1 litre d'eau/m²) qui permet de faire apparaître les granulats sombres tout en améliorant l'adhérence.

(Voir article dans la revue Routes n°116).

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Conception :

- Maître d'ouvrage : EPA Sénart
- Maître d'œuvre : Architectes du STIF

Entreprises :

- Infrastructures : Jean Lefebvre IDF - Eurovia IDF - TP Goulard - STRF - SRBG - Vinci Construction Terrassement - Signature (ex-Eurovia Béton)
- Hydrodécapage : Via Pontis

Producteur de BPE :

BGIE Bétons Vicat (unité de production de Moissy-Cramayel)

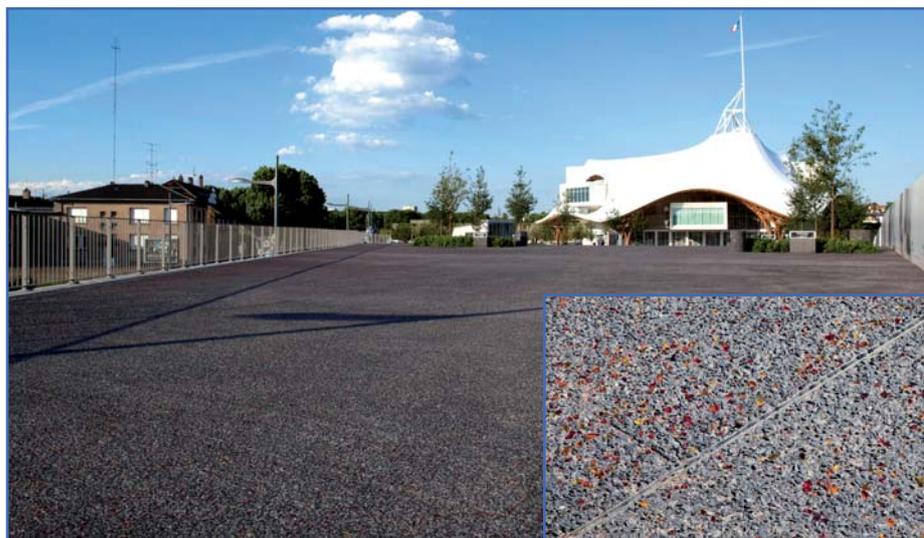


PRIX DE L'ESTHÉTIQUE

Centre Pompidou à Metz (Moselle) : parvis, accès de parking et liaison à la gare

L'aménagement de l'esplanade a été réalisé à l'aide d'un béton désactivé BPS NF EN 206-1 C25/30 – CEM II/B 32.5 - S3 - XF2, formulé avec des granulats 6/10 noirs et un colorant noir. L'innovation a consisté à insérer des

morceaux de verre recyclé de différentes couleurs (rouge, jaune et orange). Un dégradé de couleur noire, entre le parking et le dallage intérieur du bâtiment, permet une parfaite intégration environnementale de l'esplanade, qui fait partie du projet d'aménagement global urbain de la ZAC Pompidou.



PRINCIPAUX INTERVENANTS

Conception : Agence Nicolas Michelin (ANMA)

Entreprise : Jean Lefebvre Lorraine à Woippy (Moselle)

Contrôle : Communauté d'Agglomération Metz Métropole

Producteur de BPE : Holcim Bétons (France) - Région Est

PRIX SPÉCIAL DU JURY

Espace Chabran à Draguignan (Var)

Réaménagement urbain par réhabilitation de casernes militaires au moyen d'un parc paysager de 28 500 m², avec création de logements, bâtiments administratifs et amphithéâtre, et restructuration complète des espaces extérieurs en espaces publics.

Un axe piétonnier, servant de trame centrale traversante, a été réalisé en béton désactivé, avec l'utilisation de trois types différents de granulats locaux (6/14 concassé gris, 6/14 concassé plus colorant jaune, 4/8 roulé gris) permettant de valoriser l'esthétique et d'assurer un usage piétonnier confortable.



PRINCIPAUX INTERVENANTS

Conception :

- Architecte-paysagiste : Vincent Guillermin (Saint-Raphaël)
- Architecte-urbaniste : Alain Amédéo (Tangram Architecture à Marseille)

Maître d'ouvrage : Communauté d'Agglomération dracénoise (Var)

Maître d'ouvrage délégué : SAIEM à Draguignan

Entreprises : Colas Midi/Méditerranée
RBTP (Saint-Raphaël)
SATV (La Farlède)

Producteur de BPE : Cemex Bétons Sud-Est



Remue-méninges

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

Course entre deux avions

Deux avions A et B sont animés d'un mouvement rectiligne uniforme et se déplacent respectivement aux vitesses V_a et V_b et à deux altitudes différentes L_a et L_b . À l'instant $t = 0$, les deux avions se trouvent à une distance l'un de l'autre $D_{ab} = 200$ km. Une heure plus tard, leur distance est de 300 km. Deux heures plus tard, elle est de 600 km. À quel moment leur distance sera-t-elle minimale ? Quelle sera cette distance minimale ?

Solution du Remue-méninges de *Routes* N°117 : La profondeur d'un puits

Rappel du problème posé : Vous êtes à côté d'un puits et vous vous interrogez sur la profondeur à laquelle se trouve l'eau au fond du puits. Ne disposant d'aucun outil de mesure à part un chronomètre, une feuille de papier, un stylo et éventuellement une calculatrice, est-il possible d'imaginer une méthode permettant d'évaluer, avec une bonne précision, la profondeur du puits ? Décrivez cette méthode, puis donnez une application numérique.

Solution : soit "x" la profondeur à laquelle se trouve l'eau au fond du puits. En mettant le chronomètre en marche, je laisse tomber un caillou dans le puits en veillant au respect des deux conditions suivantes :

- Le caillou est positionné au-dessus du puits, au niveau du sol,
- Le caillou est lâché sans vitesse initiale.

J'arrête le chronomètre lorsque j'entends le "plouf", bruit généré par le contact du caillou avec la surface de l'eau au fond du puits. Le chronomètre indique donc le temps "t" qui s'est déroulé entre le moment où j'ai lâché le caillou et le moment où j'ai entendu le "plouf".

Le temps "t" est la somme de deux quantités :

Le temps " t_1 " de chute du caillou, lâché sans vitesse initiale et le temps " t_2 " qu'a mis le son pour acheminer le bruit "plouf" du fond du puits jusqu'à mon oreille. On peut donc écrire : $t = t_1 + t_2$ (1)

Avec : t : temps indiqué par le chronomètre, t_1 : temps de chute, sans vitesse initiale, d'un corps dans le champ de gravitation terrestre qui se calcule par la formule : $x = \frac{1}{2} g t_1^2$ ou $t_1 = \sqrt{2x/g}$ (2)

t_2 : temps de remontée du son du fond du puits jusqu'à la surface, à vitesse constante et qui se calcule par la formule : $t_2 = x/v_{son}$ (3)

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

$$x = \frac{1}{2} g t_1^2 = \frac{1}{2} g (t - t_2)^2 = \frac{1}{2} g (t - x/v_{son})^2 \quad (4)$$

L'équation (4) est une équation du second degré de "x". Elle s'écrit :

$$x = \frac{1}{2} g t^2 - (1/2 g \cdot 2t/v_{son}) \cdot x + \frac{1}{2} g (x^2/v_{son}^2)$$

$$(1/2 g/v_{son}^2) \cdot x^2 - (1/2 g \cdot 2t/v_{son}) \cdot x - x + \frac{1}{2} g t^2 = 0$$

$$(1/2 g/v_{son}^2) \cdot x^2 - (1/2 g \cdot 2t/v_{son} + 1) \cdot x + \frac{1}{2} g t^2 = 0 \quad (5)$$

En simplifiant par " $1/2 g$ ", autorisé car $1/2 g \neq 0$, l'équation (5) devient :

$$(1/v_{son}^2) \cdot x^2 - (2t/v_{son} + 2/g) \cdot x + t^2 = 0 \quad (6)$$

En simplifiant par " $1/v_{son}^2$ ", autorisé car $1/v_{son}^2 \neq 0$, l'équation (6) devient :

$$x^2 - 2v_{son} (t + 1/g v_{son}) \cdot x + v_{son}^2 t^2 = 0 \quad (7)$$

L'équation (7) est une équation du second degré dont le discriminant est :

$$\Delta = [2v_{son} (t + 1/g v_{son})]^2 - 4 \cdot v_{son}^2 t^2 = 4 \cdot v_{son}^2 t^2 + 4 \cdot v_{son}^2 [1/g v_{son}]^2 + 8 t/g v_{son}^3 - 4 \cdot v_{son}^2 t^2 = 4 \cdot v_{son}^2 [1/g v_{son}]^2 + 8 t/g v_{son}^3 = 4/g^2 \cdot v_{son}^4 [1 + 2 gt/v_{son}]$$

Δ étant positif, l'équation (7) possède donc deux racines :

$$X_1 = \frac{1}{2} [2v_{son} (t + 1/g v_{son}) + \sqrt{\Delta}] = \frac{1}{2} [2v_{son} (t + 1/g v_{son}) + 2/g v_{son}^2 \sqrt{1 + 2 gt/v_{son}}]$$

$$X_1 = v_{son} (t + v_{son}/g) + v_{son}^2/g \sqrt{1 + 2 gt/v_{son}} \quad (8)$$

$$X_2 = \frac{1}{2} [2v_{son} (t + 1/g v_{son}) - \sqrt{\Delta}]$$

$$X_2 = v_{son} (t + v_{son}/g) - v_{son}^2/g \sqrt{1 + 2 gt/v_{son}} \quad (9)$$

La solution X_1 ne convient pas, car $X_1 > v_{son} t$, ce qui est impossible.

La solution X_2 convient.

Application numérique :

$t = 4$ s ; $v_{son} = 340$ m/s ; $g = 10$ m/s². L'équation (9) donne : $X_2 = 72,46$ m



Agenda

Journées Techniques Cimbéton 2012

Voici le planning des prochaines journées techniques sur le thème "Traitement des sols et Retraitement des chaussées aux liants hydrauliques", organisées par Cimbéton :

- Limoges : jeudi 22 mars
- Laval : jeudi 24 mai
- Toulon : jeudi 28 juin
- Rouen : jeudi 27 septembre
- Troyes : jeudi 15 novembre

Invitations disponibles sur simple demande auprès de Cimbéton.

Vient de paraître

Béton et développement durable Analyse du cycle de vie de structures routières

Cet ouvrage de 66 pages, entièrement remis à jour en 2011, propose d'abord un rappel des transformations opérées par l'industrie cimentière et ses partenaires sur les outils industriels et la mise au point de produits respectueux des principes du développement durable.

Voilà pourquoi l'industrie cimentière a souhaité évaluer les impacts des ouvrages routiers sur l'environnement en effectuant un bilan environnemental par analyse de cycle de vie d'un kilomètre de route.

Cet ouvrage décrit et compare 12 impacts environnementaux de :

- 6 structures routières : quatre en béton, une composite BBTM/BAC/GB3 et une totalement bitumineuse BB/GB3/GB3,
- 2 types de dispositifs de sécurité : un séparateur en béton et une glissière en métal.

Ces indicateurs sont évalués pour les différentes phases du cycle de vie d'une route (construction, entretien, fin de vie et utilisation).

Référence : T89



Aménagements urbains et produits de voirie en béton

Conception et réalisation

Ce document de 116 pages, entièrement remis à jour en 2011, rassemble les prescriptions essentielles nécessaires à la conception et à la réalisation d'espaces urbains et de revêtements de voirie circulés, à base de produits en béton. Il complète les outils à la disposition des maîtres d'ouvrage, maîtres d'oeuvre et entrepreneurs (normes, certifications de qualité, logiciels de conception, CCTG, guides professionnels...).

Référence : T54

Ces deux documents sont disponibles gratuitement auprès de Cimbéton par téléchargement sur le site Internet : www.infociments.fr



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