

ROUTES

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



CHANTIER

Lycée Caraminot à Egletons (Corrèze) : un chantier-école pour la reconstruction d'un ouvrage hydraulique en béton

LE POINT SUR

À Marseille, le nouveau tramway roule sur 100 000 m³ de béton

DOCUMENTATION TECHNIQUE

Analyse du cycle de vie de structures routières



2 ÉDITORIAL

3-5 LE POINT SUR



Tramway Marseille
À Marseille, le nouveau tramway roule sur 100 000 m³ de béton

6-13 DOCUMENTATION TECHNIQUE



Béton et développement durable : analyse du cycle de vie de structures routières

14-15 CHANTIER



Alsace
À Duppigheim, une piste d'essais en béton armé continu (BAC)

16-17 CHANTIER



Corrèze
Un chantier-école pour la reconstruction d'un ouvrage hydraulique en béton

18-19 RÉFÉRENCE



Haut-Rhin
Au Bioscope d'Ungersheim, le béton participe aussi à l'animation

20 LE SAVIEZ-VOUS ?

En couverture : à Marseille, le revêtement de la voie du tramway a été réalisé en béton désactivé (sur la photo, le tram à la station St Pierre).

© Service communication Bec Frères
Photo Jean-Luc Girod

Avec ce numéro 101, découvrez le nouveau ROUTES !

J'ai le plaisir de vous présenter la nouvelle formule de la revue ROUTES, éditée par CIMBÉTON.

Pourquoi une nouvelle maquette ? Deux raisons à cela :

- **La première** : il est de coutume de faire une refonte de la maquette tous les 5 ans en moyenne. Le précédent "relookage" remontant à mars 2002 (ROUTES N°79), une nouvelle maquette s'imposait tout naturellement en 2007,
- **La seconde** : nous commençons un nouveau cycle qui fait suite à celui qui vient de s'achever au mois de juin 2007, avec le 25^e anniversaire de la revue et ses 100 numéros.

Ce nouveau ROUTES ne marque cependant pas de rupture avec le passé, mais reste, au contraire, dans la continuité logique de l'édition précédente.

En ce qui concerne la couverture, le rouge et le blanc demeurent les couleurs dominantes. Seuls le graphisme du titre ROUTES et la typographie ont été changés.

Quant aux pages intérieures, nous avons souhaité améliorer la lisibilité en plaçant le titre de chaque article dans un bandeau de couleur, en intégrant les visuels et leurs légendes dans des encadrés et en séparant les colonnes de textes par des filets de couleur.

J'espère que cette nouvelle formule répondra encore mieux à vos attentes.

Merci pour votre fidélité.

Joseph ABDO
Cimbéton

CIM *Béton*

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 : Marc Deléage, Romualda Holak, Yann Kerveno, Michel Levron, Jacques Mandorla - Réalisation : Ilot Trésor, 83 rue Chardon Lagache, 75016 Paris - Email : mandorla@club-internet.fr - Direction artistique : Arnaud Gautelier - Maquette : Dorothee Picard - Dépôt légal : 3^e trimestre 2007 - ISSN 1161 - 2053 1994



Marseille : le premier lot du tramway a été mis en service et inauguré officiellement le 3 juillet 2007 par le Président de la République (sur la photo, la Station Bel Air, avec gabions et béton désactivé).

À Marseille, le nouveau tramway roule sur **100 000 m³ de béton**

Sur les 11 km de la voie du tramway moderne, le béton a trouvé, en plate-forme de fondation et en surface, une large place sur les trois lots réalisés et mis en service lors de l'été 2007.

Marseille n'est pas la ville éternelle, mais elle peut se prévaloir déjà de 2 600 ans d'existence. Cadenassée entre les collines arides souvent la proie du feu et sa baie scintillante, la ville est un mélange complexe de villages anciens, autrefois isolés, mais rattrapés avec le XX^e siècle par l'urbanisation galopante. Son centre-ville est une trame complexe d'avenues surgissant sur les plans, de ruelles et de quartiers anciens tortueux et pentus. Déjà bénéficiaire de deux lignes de métro, Marseille est en train de se doter, depuis deux ans, d'un réseau de trois lignes de tramway, transport de surface en site propre, devant répondre aux impératifs de la vie moderne.

"L'objectif principal, qui préside au développement de cette infrastructure en plein cœur de la cité, est de rendre pleinement la ville à sa population. Au-delà de la simple construction d'un

mode de transport en surface, nous en profitons pour requalifier et recalibrer toutes les voies empruntées par le tramway, y compris les rues adjacentes, pour conserver une certaine homogénéité de traitement. Et parfois assez profondément dans les quartiers" détaille Jean-Michel Kuntzer, chef de la mission "Grands projets Métro-Tramway".



Les coffrages sont mis en place directement entre les rails, afin de délimiter la portion de dalle à couler.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage : Marseille Provence Métropole, représentée par la Mission Grands Projets Métro-Tramway

Maîtrise d'œuvre : Groupement SMM/Semaly, Beterem Infra, Ingerop, Stoa, Alfred Peter, Corinne Vezzoni et associés, CCD architecture

Entreprises :

Lot 1 : Groupement Bec Frères, Razel, Appia 13, Gagneraud construction

Lot 2 : Eurovia Méditerranée (mandataire)

Lot 3 : Groupement Colas, Sacer Sud-Est, Screg Sud-Est, Guintoli, Guigues TP canalisations, EHTP

Sous-traitant béton décoratif : Provence Impressions

Fournisseurs béton : Groupement Bronzo Perasso et Béton Chantier Provence (Lafarge)



Les rails posés et fixés, les ferrailages sont alors mis en place.

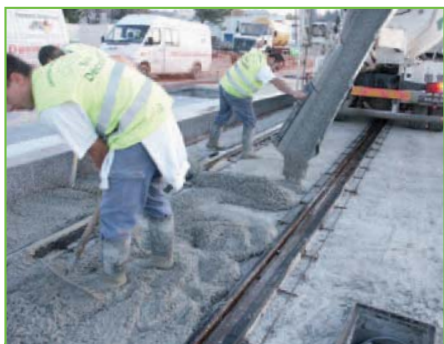
La Communauté Urbaine de Marseille et l'exploitant ont pensé le parcours du tramway et la réorganisation du maillage des bus en même temps, de façon à ce que 90 % des usagers soient situés à moins de 250 mètres d'un arrêt de n'importe lequel des transports en commun : tramway, bus ou métro.

Et qu'il n'y ait pas plus d'un changement de mode de transport entre les quartiers les plus éloignés et l'hyper centre de la ville.

Deux formulations différentes de bétons en surface : un BC5 et un BC6

Entamés débuts 2005, les travaux ont perturbé la vie quotidienne dans la métropole phocéenne, comme tous les travaux menés dans les hyper centres, mais le calvaire prend fin, peu à peu.

Et l'espoir renaît : "Nous tablons sur une fréquentation consolidée de 60 000 personnes par jour pour fin 2008, en souhaitant que le transfert modal, c'est-à-dire le changement du véhicule



Le béton prêt à l'emploi a été livré directement par les toupies jusqu'au cœur des voies.

individuel pour les transports en commun, augmente de 20 à 30 %" précise Jean-Michel Kuntzer.

Découpé en trois lots distincts, le chantier du tramway a largement fait appel au béton en général et au béton désactivé en particulier.

"Nous avons travaillé très en amont du chantier" explique Armand Joly, gérant de l'entreprise Provence Impressions qui a traité les 16 000 m² de revêtement en béton désactivé sur deux des trois lots du chantier. Seul l'hyper centre-ville a été traité en pierres.

Le profil de la chaussée comporte trois couches de bétons distincts posées les unes sur les autres, sans ancrage : un béton BC3, d'épaisseur 19 cm ou 29 cm selon la portance du sol, pour la couche de fondation, puis un béton BC5, d'épaisseur 24 cm ou 28 cm, et un béton BC6, d'épaisseur 6 à 8 cm.



Le désactivant est appliqué sur la dalle dès qu'elle a été tirée.

"Le BC5 est un béton spécial, type C30/37, dosé à 350 kilos. Par contre, le BC6 est plus spécial dans la mesure où il a été retenu pour les endroits où la circulation automobile coupe des voies, mais aussi parce qu'était réclamée une mise en service au bout de quatre jours seulement. Le BC6 a donc été dosé entre 400 et 410 kilos de ciment. Par ailleurs, les granulats employés varient selon le tracé. Ainsi, en centre-ville, un désactivé très rustique a été mis en œuvre avec un gros granulat 20-40 de couleur pierre, provenant de la carrière de l'Escargot à Aubagne, auquel a été ajouté un sable de la carrière Sainte-Marthe de Marseille" ajoute Armand Joly.

Une grande facilité de mise en œuvre

Dans les zones où le patrimoine est moins sensible, c'est une combinaison de granulats roulés concassés 6/10 de la Durance, qui a été retenue avec un sable de la carrière de Saint-Tronc à Marseille.

Pour Thierry Ciccione, de l'Agence Stoa Architecture : "Nous avons porté notre choix sur le béton désactivé car c'est le matériau qui répond le mieux aux sollicitations liées au trafic des tramways, mais aussi à celui des véhicules pouvant être amenés à rouler sur la plateforme. Il est, en effet, plus pérenne qu'un matériau souple, qui risquerait de se déformer dans le temps".

L'architecte poursuit en expliquant le parti pris de faire réaliser différents bétons selon le parcours : "Sur le boulevard Longchamp, en plein cœur de la ville, nous avons voulu retrouver une continuité avec le Palais et Jardin Longchamp, c'est-à-dire une avenue cavalière en terre battue, comme dans le parc. C'est pour cette raison que notre choix s'est porté sur un béton désactivé à base de gros granulats".

Quant au reste, nous l'avons vu, le traitement fut plus traditionnel. "L'important, dans ce genre de réalisation, ne réside pas seulement dans le produit : il convient de trouver aussi les entreprises qui savent le mettre en œuvre à la perfection" ajoute l'architecte, qui a travaillé de longues semaines en amont avec les



Une fois la prise réalisée, le béton est lavé au jet à haute pression pour faire apparaître les granulats.

entreprises, pour déterminer la composition exacte du béton désactivé à utiliser selon les emplacements.

■ Difficultés d'accès

Apporter les bétons à désactiver jusqu'au cœur du chantier ne fut pas toujours une mince affaire, de l'aveu même d'Armand Joly qui, devant l'impossibilité, en certains endroits, de pomper avec des granulats aussi importants, dut se résoudre à utiliser deux *mini-dumpers* pour faire la navette entre les camions-malaxeurs et le chantier proprement dit.

Pour Bertrand Jamot, directeur des travaux du troisième lot chez Colas : *"Le boulevard Longchamp est emblématique des difficultés que nous avons pu rencontrer : en effet, il mesure 20 mètres de large, compte une rangée d'arbres de part et d'autre de la plateforme et il fallait y faire passer non seulement le tramway, mais aussi de larges trottoirs et bandes cyclables"*.

Pour Éliane Pelletier, qui a dirigé les travaux du premier lot pour l'entreprise Bec Frères (Groupe Fayat) : *"La configuration était toute différente puisque située dans un tissu urbain plus relâché, qui faisait ressembler le chantier à une infrastructure ferroviaire, plus qu'à une ligne de tramway"*.

Le recours au gazon et au revêtement ballasté fut notamment plus important. Moins urbain, ce lot a posé moins de difficultés d'accès aux entreprises que ceux du centre-ville, pour la plateforme et les huit stations proprement dites.



Les granulats utilisés dans le béton désactivé sont tous originaires des carrières de Marseille.



La journée d'essai du tronçon Cinq Avenue - Blancarde a eu lieu le 23 janvier 2007 : au premier plan, l'équipe de maîtres d'œuvre (Semaly, Stoa-Architecture, Beterem Infra).

Par contre, le béton s'est révélé indispensable pour réaliser les voies projetées selon les profils en long définis et les emprises disponibles.

"Ainsi, il avait été prévu que la ligne se glisse dans une tranchée comptant jusqu'à sept mètres de profondeur, soutenues par des murs type "gabion". Si nous avions dû réaliser ces murs uniquement en gabions, leur base eut été bien restreinte pour trouver place dans l'espace assigné. Nous avons donc construit un mur-poids en béton, habillé par des gabions, un peu comme on le ferait avec des "legos", en posant des poutres préfabriquées habillées de gabions, puis en coulant le béton à l'arrière des murs. Au final, le résultat est excellent puisque le mur est beaucoup plus régulier. Et, en plus c'est très joli !" commente Éliane Pelletier.

Marseille se trouve donc aujourd'hui équipée d'un tramway moderne dont le rôle principal sera de créer une vie nouvelle dans ses abords, mais aussi de drainer différemment les flots de circulation à l'intérieur même de la ville. C'est donc aux habitudes des Marseillais que les rames vont s'attaquer, tâche ardue qui s'inscrit nécessairement dans le temps.

La robustesse des bétons désactivés et leur pérennité sur le long terme en font donc le partenaire idéal du tramway de Marseille. ■

FORMULATION DU BÉTON (POUR UN M³)

BC5

Béton spécial revêtement type C30/37 avec flexions à 28 jours > 4,5 Mpa et fendage à 28 jours > 2,7 Mpa

Ciment CEM 2PM : 350 kg

Granulats Durance 6/10 silico : 1 300 kg

Sable SSP St Tronc 0/4 : 660 kg

Eau : 180 litres

Plastifiant + entraîneur d'air + fibres : 900 g

BC6

Béton spécial carrefour, armé haute résistance type C40/45 pour remise en service rapide, avec compressions > 25 Mpa à 7 jours et 40 Mpa à 28 jours, puis fendage > 1,8 Mpa à 7 jours et 3,3 Mpa à 28 jours

Ciment CEM 52,5PM : 410 kg

Granulats La Mole 6/14 : 1 300 kg

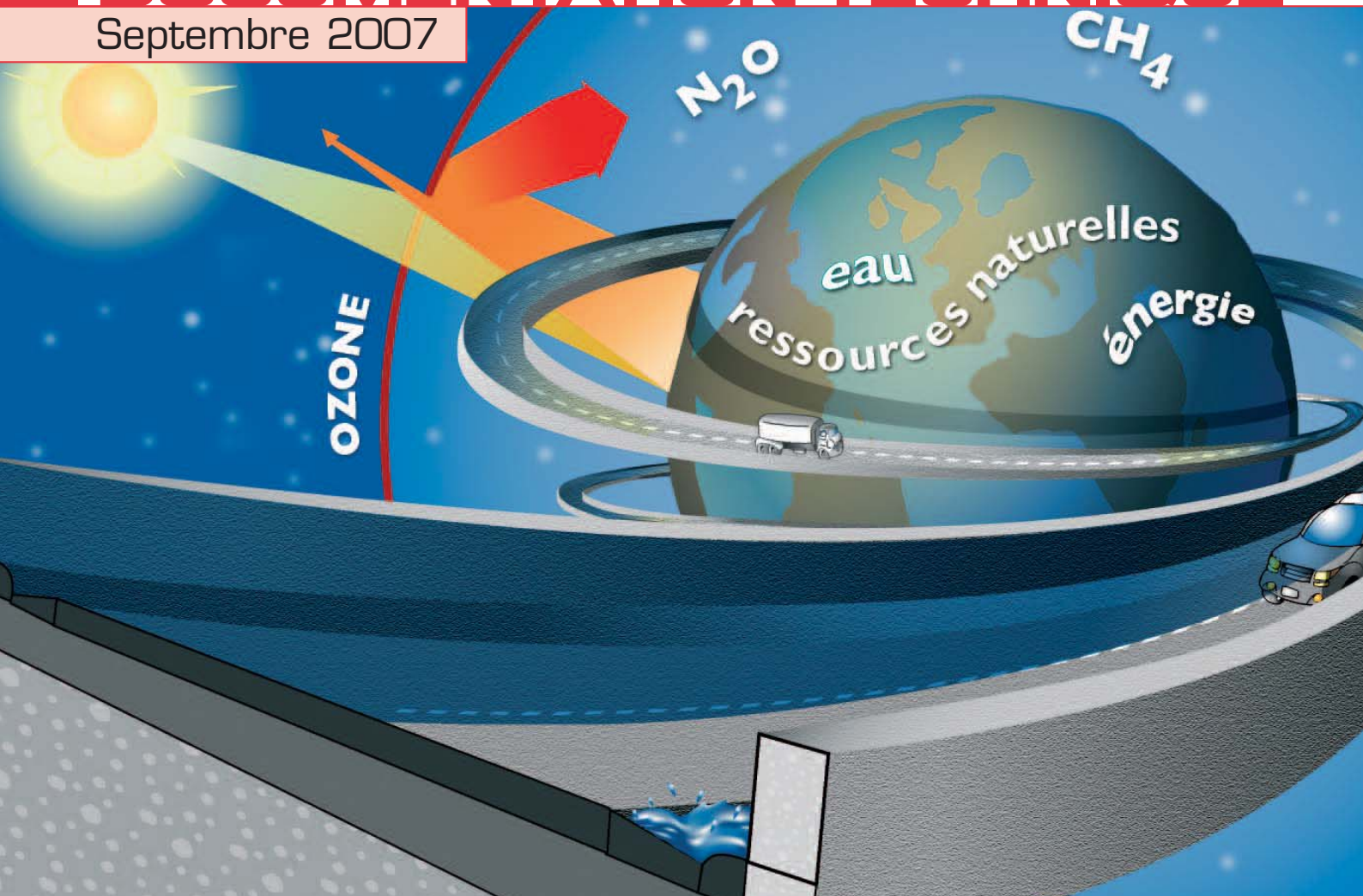
Sable SSP St Tronc 0/4 : 650 kg

Eau : 180 litres

Superplastifiant Glénium 27 Pieri : 0,50 %

Micro air : 0,10 %

Fibres synthétiques : 900 g



Béton et développement durable : analyse du cycle de vie de structures routières

L'application des principes du développement durable a tendance à se généraliser dans les différents secteurs économiques et, en particulier, dans la construction routière. En effet :

- des acteurs industriels importants mettent en œuvre des systèmes de management environnemental, conformément à la série de normes ISO 14 000 ;
- les décideurs expriment une demande croissante en matière de qualité environnementale des produits ;
- un processus d'information sur la qualité environnementale des produits de construction est proposé par l'AFNOR dans la norme NF P01-010 "Qualité environnementale des produits de construction – Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction".

La route est un moyen de communication nécessaire au développement. Sa construction nécessite beaucoup de matériaux :

- des matériaux non liés comme la grave non traitée GNT,
- des matériaux traités avec un liant qui peut être, soit du bitume pour faire des graves-bitume, soit du ciment pour faire des graves-ciment ou du béton.

Aussi, construire une route suppose de mobiliser sur des kilomètres, et sur une épaisseur pouvant atteindre un mètre, un volume considérable de granulats. Ainsi, en France, pour entretenir et étendre le réseau routier, 200 millions de tonnes de granulats sont puisées annuellement dans les ressources naturelles, soit un volume de 100 millions de mètres cubes par an. Ceci se traduit par des impacts importants sur le milieu

naturel : perturbation ou disparition des écosystèmes des rivières dans lesquelles sont dragués les matériaux (ballastières), extension des carrières à ciel ouvert, etc. Qui plus est, beaucoup de maîtres d'œuvre et d'entreprises sont confrontés à des **pénuries de granulats** consécutives à la surexploitation des ressources.

En outre, **extraire et fabriquer** les constituants élémentaires (granulats et liants), **transporter** ces constituants élémentaires jusqu'au lieu de fabrication, **fabriquer** les matériaux élaborés ou les mélanges et les **transporter** de la centrale de fabrication au chantier, et enfin mettre en œuvre ces matériaux pour la construction de la route, sont des opérations qui engendrent des impacts non négligeables sur l'environnement. Il en est de même pour les **opérations d'entretien et de réhabilitation** des chaussées en fin de vie.

Enfin, dans sa **phase d'utilisation**, la route qui traverse des paysages exerce une pression énorme sur la faune et la flore, de par la barrière parfois infranchissable qu'elle constitue, mais aussi par des rejets de métaux lourds, des débris en tout genre (pneus, plastique, etc.) et autres polluants engendrés par le trafic des automobiles et des poids lourds, sans parler de l'énorme quantité d'énergie consommée par les véhicules.

L'**Industrie cimentière et ses partenaires**, conscients de l'enjeu stratégique et universel du développement durable, veulent contribuer à leur niveau et avec leur compétence à cet effort collectif, bien qu'un nombre élevé de mesures ait été déjà prises au cours des deux dernières décennies.

≡ Cimenterie : des impacts minimisés

Produit industriellement à partir de **ressources naturelles abondantes**, l'argile (20 %) et le calcaire (80 %) cuits dans un four à très haute température (1 450°C), le ciment nécessite beaucoup d'énergie pour sa fabrication. Pour minimiser les émissions de gaz à effet de serre, l'industrie cimentière a été parmi les premières à mettre en œuvre, au niveau national, un **engagement volontaire** de réduction des émissions, et poursuit son action à travers l'AERES (Association d'Entreprises pour la Réduction de l'Effet de Serre) fondée en octobre 2002.

Pour la période 1990-2000, l'industrie cimentière s'est engagée à réduire de 10 % les émissions de CO₂ à la tonne de ciment et de 25 % les émissions totales de CO₂ liées à la consommation de combustibles fossiles. Cet objectif a été largement dépassé : plus de 20 % pour le premier objectif et environ 40 % pour le second.

Pour y parvenir, les gestionnaires de sites recourent de plus en plus massivement à des **combustibles de substitution**, déchets d'autres industries qui auraient été éliminés de toute façon sans être valorisés : pneus, huiles usagées, solvants, matières plastiques, cartons, boues d'épuration, farines

animales... Moyennant des adaptations très coûteuses, comme les **filtres** disposés sur les cheminées retenant les **poussières et les polluants** résiduels qui n'auraient pas été éliminés par la chaleur du four. L'**efficacité énergétique des installations** a également été améliorée (dispositif d'injection des combustibles plus performants, systèmes de régulation améliorant le rendement de la cuisson, préchauffage des matières premières avec les gaz de combustion).

Une autre contribution à un développement durable, et en particulier son volet **social**, est la mise en place au niveau des cimenteries de commissions de **concertation avec les riverains, les élus, les associations**, pour répondre aux interrogations, recueillir les requêtes et trouver des solutions pour y remédier. Ces structures de concertation sont devenues indispensables pour accompagner, le mieux possible et dans la transparence vis-à-vis des populations, les projets d'extension ainsi que de **réhabilitation paysagère d'anciennes carrières**.

Ces dossiers gagnent en pertinence avec l'intervention d'associations spécialistes de la faune et de la flore. L'information du public et la concertation avec les riverains sur les choix industriels illustrent la **politique de transparence de l'industrie cimentière**.



Les sociétés cimentières mettent tout en œuvre pour limiter les nuisances liées à l'extraction des matières premières...



... et aussi lors de la fabrication du ciment et des liants hydrauliques routiers.

≡ Mettre à profit les matériaux en place pour construire ou entretenir des routes

Au lieu d'exploiter des matériaux, au prix de nombreux impacts environnementaux et des nuisances générées par leur transport (pollutions, bruit, risque d'accidents, dégradation du réseau routier, etc.), l'approche proposée est d'exploiter le gisement constitué par les matériaux présents naturellement sur le site.

Grâce à la technique du **traitement des sols** aux liants hydrauliques routiers ou au ciment, il est possible de stabiliser **argiles, limons, sables, marnes, chailles...** Cette technique est de plus en plus utilisée pour les **terrassements routiers**, mais aussi pour la réalisation des **assises de chaussées** dont l'étanchéité est assurée par une couche de surface en béton bitumineux.



La technique du traitement des sols à la chaux, au ciment et aux liants hydrauliques routiers est de plus en plus utilisée pour les terrassements, mais aussi pour la réalisation des couches d'assises de chaussées.

L'approche du développement durable peut aussi s'appliquer à l'**entretien de chaussées** existantes. Plutôt que de fraiser et d'évacuer les matériaux en décharge, pour introduire des matériaux neufs, mieux vaut **mettre à profit le gisement**



Le retraitement des chaussées en place au ciment ou aux liants hydrauliques routiers épargne les ressources en granulats et supprime les nuisances dues à leur transport.

propre de la route. Là aussi, la technique du **retraitement au ciment et aux liants hydrauliques routiers** est parfaitement adaptée. Généralement, le seul matériau apporté est le liant, d'où un impact bien moindre sur l'environnement.

≡ Des centrales à béton au diapason

Moins étendues que les cimenteries, les centrales de Béton Prêt à l'Emploi n'en sont pas moins soumises aux mêmes contraintes. Ces installations sont de plus en plus souvent installées dans des bâtiments de type industriel, afin de limiter les nuisances sonores pour le voisinage et améliorer l'insertion dans le paysage, objectif qui motive parfois la plantation d'arbres.



Insonorisation, traitement paysager, maîtrise des rejets et recyclage des matériaux sont une réalité pour les centrales de Béton Prêt à l'Emploi.

Sur le plan de la maîtrise des rejets, les centrales de béton s'inscrivent pleinement dans une logique "**zéro déchet**". Les excédents de béton frais sont récupérés pour en extraire les granulats qui, après lavage, pourront resservir ultérieurement, de même que les eaux chargées en laitance, recueillies et réinjectées dans le circuit de fabrication comme apport de fines. Sur le plan énergétique, l'atout du béton est son mode de **fabrication à froid**, par simple mélange des constituants de base. Cela se traduit par une consommation électrique limitée et l'absence d'émissions directes de gaz à effet de serre ou de tout autre composé portant potentiellement atteinte à la santé et à l'environnement.

Ce tableau serait incomplet si l'on omettait de souligner l'excellente couverture du territoire français par les centrales à béton. Grâce à la **densité de ce maillage**, l'impact du transport est limité. Le ciment est acheminé en priorité par **voie fluviale ou ferroviaire**, et le béton prêt à l'emploi est disponible en tout point à moins d'une heure de route. Cette présence au plus près des besoins se double d'un recours privilégié à une **main d'œuvre locale** et constitue l'une des composantes de la **contribution sociale** de l'industrie du béton



Le béton peut aussi être formulé à partir du sable présent localement, comme sur cette route expérimentale en béton de sable, à la dune du Pyla (Landes).

Le béton pour répondre aux exigences de la loi sur l'eau

Grâce aux **ouvrages hydrauliques en béton**, les concepteurs peuvent protéger l'environnement en canalisant les eaux de ruissellement polluées (caniveaux, cunettes, tuyau...), puis en les filtrant (bassins de décantation) avant de les rejeter dans la nature, en accord avec les exigences de la loi sur l'eau.



Les ouvrages hydrauliques en béton permettent de respecter la loi sur l'eau et son obligation de recueillir, puis de filtrer les eaux de ruissellement avant de les rejeter dans l'environnement.

Ce rapide tour d'horizon des enjeux du développement durable, des contributions de l'industrie cimentière et de ses partenaires à sa mise en œuvre ne saurait être exhaustif. Mais, beaucoup de choses restent encore à accomplir et le travail est loin d'être achevé.

Dans ce contexte, **CIMBÉTON** et le **SNBPE** (Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi) dans le but de mettre, à la disposition des décideurs, des éléments d'aide au choix des structures routières respectueuses des principes du développement durable, ont confié au **Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris** une étude d'analyse du cycle de vie d'un kilomètre de route.

Ces analyses, menées conformément à la **méthode EQUER**, ont évalué les impacts environnementaux de plusieurs **structures routières en béton** et en **bitume** les plus couramment utilisés sur le réseau routier français.

Pourquoi cette étude ?

Cette étude a été motivée par un certain nombre d'éléments :

- Les données environnementales constitueront, dans un proche avenir, un outil d'aide au choix des structures routières, à l'instar des critères techniques et économiques. Les résultats de l'analyse de cycle de vie d'un kilomètre de route constitueront une base de données au service des décideurs,
- La route impacte l'environnement dans sa phase de construction mais aussi dans sa phase d'utilisation. Connaître les contributions relatives des phases de construction, d'entretien, de fin de vie et d'utilisation permet de mieux cibler les actions destinées à diminuer les impacts environnementaux,
- Les études américaines, canadiennes, indiennes et suédoises, établies à partir d'essais en vraie grandeur, concluent toutes que la consommation en carburant des véhicules est moindre sur une chaussée béton que sur une chaussée bitumineuse, l'écart variant entre 8 et 15 % selon les cas. Sachant que la consommation d'énergie engendrée par l'utilisation de la route est considérablement supérieure à celles des phases de construction et d'entretien, une réduction de la consommation des véhicules peut se traduire par une réduction importante des impacts sur l'environnement, en particulier une réduction de la consommation d'énergie et une diminution de l'émission des gaz à effet de serre.

Pourquoi le Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris ?

Par souci d'objectivité, l'analyse du cycle de vie d'un kilomètre de route a été confiée au Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris. Ce choix offre un bon nombre d'avantages :

- c'est un centre spécialisé disposant d'une méthodologie de calcul EQUER éprouvée ;
- il utilise une base de données suisse (OEKOINVENTARE, École Polytechnique Fédérale de Zurich) et Allemande

(Université de Karlsruhe, OEKOINSTITUT de WEIMAR) qui assurent une cohérence globale quant à la manière de définir et de quantifier les données des inventaires. En outre cette base de données va au-delà de la norme NF P01-010 quant à la manière d'agrèger les flux élémentaires ;

- la méthodologie EQUER permet d'évaluer d'une façon assez complète les impacts d'un ouvrage sous forme de douze indicateurs environnementaux.

Le contenu de l'étude

Après 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, l'étude décrit et compare douze impacts environnementaux de six structures routières équivalentes (quatre structures en béton, une structure composite BBTM/BAC/GB3 et une structure totalement bitumineuse BB/GB3/GB3) et de deux types de dispositifs de sécurité (séparateur en béton et 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).

Les structures de chaussées réalisées par traitement des sols (ou matériaux) en place aux ciments ou aux liants hydrauliques routiers, connues et reconnues comme étant (et de loin) les meilleures structures en matière d'impact sur l'environnement, ne sont pas concernées par cette étude.

L'étude complète (brochure T 89)

Cette documentation technique est une synthèse de l'étude complète de 50 pages publiée par Cimbéton sous la référence T 89.

Ce document est disponible gratuitement auprès de Cimbéton, soit par fax au 01 55 23 01 10, soit par email : centrinfo@cimbeton.net



LES CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE

Présentation comparative des résultats

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué sur une portion de route d'un kilomètre de longueur, représentative

d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus d'une base de données suisse (Oekoinventare, École polytechnique fédérale de Zürich), et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

Les résultats de ce bilan sont présentés sous forme d'un diagramme constitué de douze axes correspondant aux douze indicateurs environnementaux sélectionnés pour cette étude. Chaque axe porte une unité de mesure spécifique à l'indicateur étudié, permettant ainsi de comparer visuellement les écarts relatifs entre les différentes techniques.

Ainsi, plus le point visualisant l'indicateur étudié est proche de 0, plus l'impact environnemental de la structure est faible. Les principales conclusions sont exposées dans les pages qui suivent.

Conclusion n°1

Les armatures en acier handicapent l'ACV des bétons routiers

- Comparaison des structures routières en béton sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure 1 "dalle goudonnée" et la structure 4 "dalle épaisse" sont visiblement plus favorables que les structures 2 et 3 en béton armé continu pour les indicateurs Énergie, Eau, Ressources, Déchets radioactifs, Eutrophisation et Toxicité humaine.

Elles sont légèrement moins favorables pour les indicateurs Déchets, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 1).

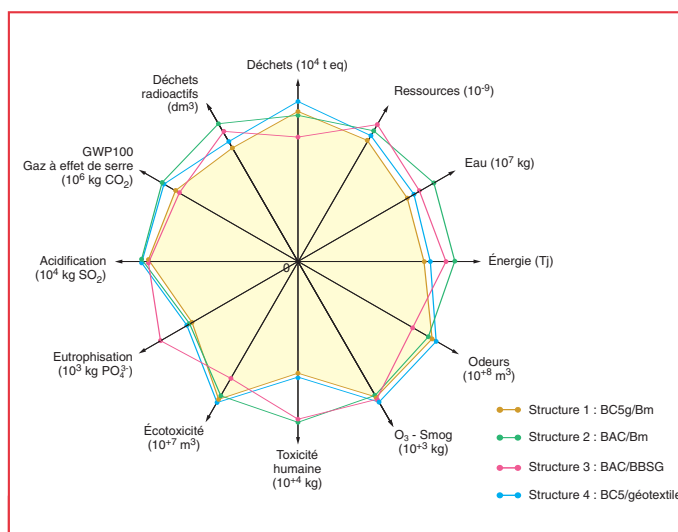


Figure 1 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton - phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

Conclusion n°2

Des structures optimisées par l'association des matériaux : béton-bitume-acier

- Comparaison des structures routières en béton et de la structure composite sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure 5 "structure composite" est plus favorable que les structures en béton 1 à 4 pour les indicateurs Eau, Déchets, Gaz à effet de serre, Écotoxicité et Odeurs.

Elle est moins favorable pour les indicateurs Ressources, Eutrophisation et Smog (voir la figure 2).

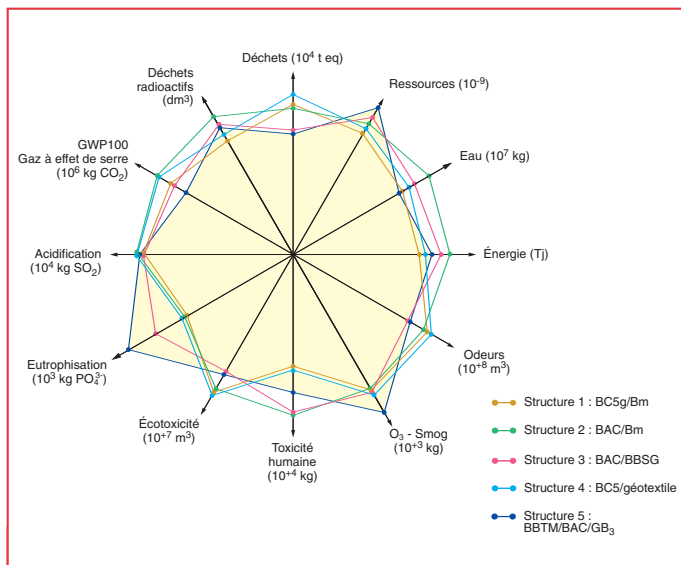


Figure 2 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton et de la structure composite – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

Conclusions n°3 et 4

Oekoinventare ou eurobitume : les structures en béton sont globalement plus favorables

- Comparaison des structures béton et de la structure bitumineuse (source Oekoinventare) sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure bitumineuse (Oekoinventare) est plus favorable, que les structures béton 1 à 4, pour les indicateurs Déchets solides, Gaz à effet de serre, Eutrophisation et Toxicité humaine.

En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Énergie, Eau, Ressources, Déchets radioactifs, Acidification, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 3).

- Comparaison des structures béton et de la structure bitumineuse (source Eurobitume) sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure bitumineuse (Eurobitume) est plus favorable, que les structures béton 1 à 4 et la structure composite, pour les indicateurs Déchets, Gaz à effet de serre et Toxicité humaine. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Eau, Ressources, Acidification, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 3).

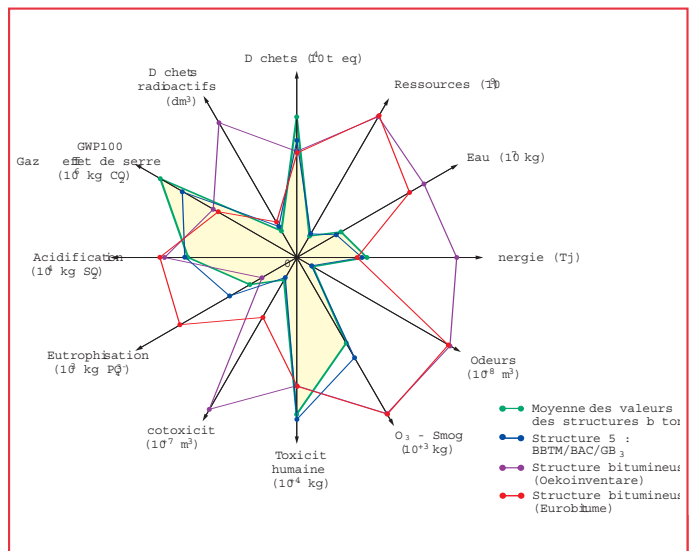


Figure 3 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des structures en béton et de la structure bitumineuse – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

Conclusion n°5

Les revêtements en béton, source d'économie durant la phase d'utilisation

- Comparaison des structures sur le cycle de vie complet
 - Les impacts liés à la circulation des véhicules sont très importants par rapport aux impacts liés à la construction, l'entretien et fin de vie de la chaussée (voir la figure 4). De ce fait, toute économie durant la phase d'utilisation prend toute sa signification. La prise en compte de l'influence du revêtement routier sur la consommation des véhicules se trouve donc pleinement justifiée dans cette analyse.

Si une consommation égale est considérée pour les véhicules quel que soit le revêtement, les solutions bitumineuses sont un peu plus favorables par rapport aux déchets solides inertes (la quantité de matériau utilisée est moindre et le recyclage est possible en fin de vie) et les variantes béton sont mieux placées sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs.

Si une réduction de 10 % de la consommation des véhicules est considérée pour les revêtements béton, sur les 10 premières années, et de 5 %, les années suivantes, les impacts sont réduits pour les variantes béton.

La réduction est encore plus élevée si la réduction de 10 % est appliquée sur les 30 ans de durée de vie de l'ouvrage. Dans ce dernier cas tous les indicateurs environnementaux, à l'exception de l'indicateur Déchets, deviennent favorables aux structures béton (voir la figure 4).

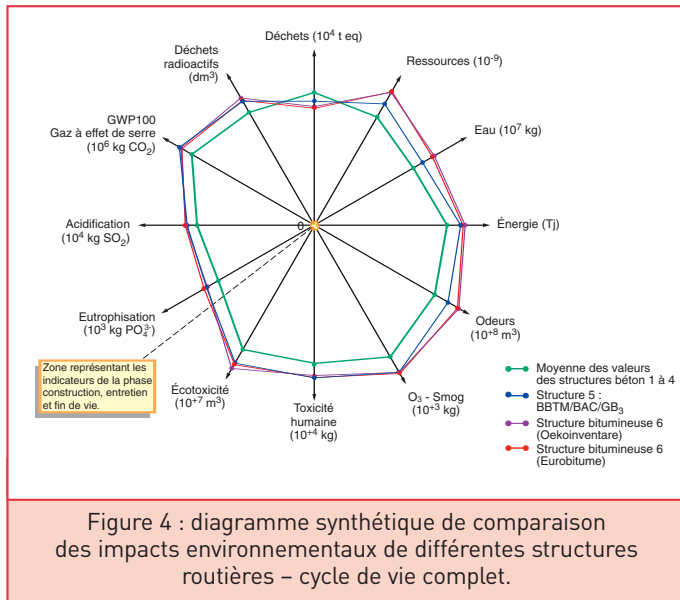


Figure 4 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux de différentes structures routières – cycle de vie complet.

Conclusion n°6

Les séparateurs en béton : tous les avantages en matière d'ACV

Dans le domaine des dispositifs de sécurité, le séparateur béton présente, pour tous les indicateurs environnementaux, un avantage sur la glissière métal, sauf pour l'indicateur Déchets (voir la figure 5).

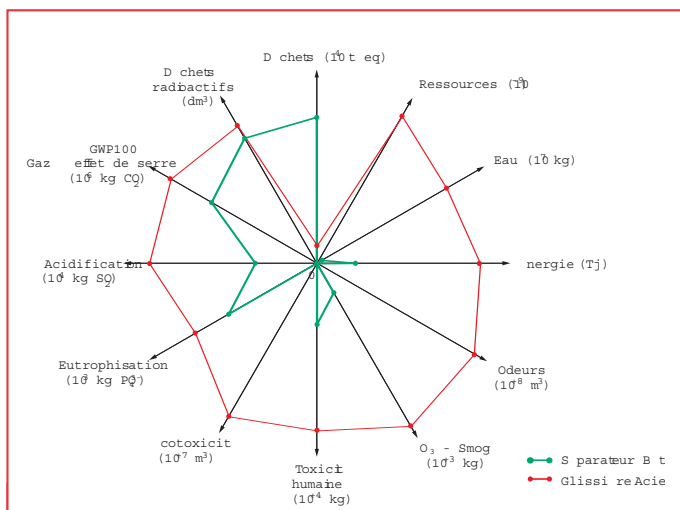


Figure 5 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux de deux dispositifs de sécurité – phase de construction, d'entretien et fin de vie.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué sur une portion de route d'un km de longueur, représentative d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus d'une base de données suisse (Oekoinventare, École polytechnique fédérale de Zürich), et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

- Pour tous les indicateurs, excepté l'indicateur Déchets, la contribution de la phase de construction est faible par rapport à l'utilisation de la route (circulation des camions et des voitures). Tous les efforts à consentir pour réduire les impacts doivent être portés sur la phase d'utilisation de la route, la phase de construction n'ayant qu'un impact minime, de l'ordre de 1 à 7 %.

- Sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie, la structure bitumineuse génère légèrement moins de déchets solides et d'émission de gaz à effet de serre que les structures béton. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs. En outre, si l'on restreint la comparaison aux quatre structures béton, la structure 1 "dalle goujonnée" présente le meilleur bilan en matière d'analyse de cycle de vie.

- Sur le cycle de vie complet, incluant la phase d'utilisation, les impacts liés à la circulation des véhicules sont très importants et les hypothèses en matière de consommation de carburant pour les véhicules peuvent influencer les résultats.

- Si une consommation égale est considérée pour les véhicules quel que soit le revêtement, les solutions bitumineuses sont un peu plus favorables par rapport aux Déchets solides inertes (la quantité de matériau utilisée est moindre et le recyclage est possible en fin de vie), les Gaz à effet de serre et les variantes béton sont mieux placés sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs.

- Si une réduction de 10 % de la consommation des véhicules est considérée pour les revêtements béton, sur les 10 premières années, et de 5 %, les années suivantes, les impacts sont réduits pour les variantes béton. La réduction est encore plus élevée si la réduction de 10 % est appliquée sur les 30 ans de durée de vie de l'ouvrage.

La prise en compte d'une réduction de la consommation des véhicules quand ils roulent sur un revêtement en béton se traduit par une réduction très importante des impacts

environnementaux compensant ainsi largement les impacts engendrés lors de la phase de construction, entretien et fin de vie. Pour l'ensemble des indicateurs présentés dans ce document, une hypothèse de réduction de la consommation des véhicules circulant sur une chaussée en béton d'environ 3% aurait suffi à compenser les impacts générés durant la phase construction, entretien et fin de vie. Compte tenu de cet avantage, il serait judicieux qu'une campagne d'essais soit réalisée en France pour confirmer les conclusions des études internationales.

• Dans le domaine des dispositifs de sécurité, le séparateur béton présente un avantage sur la glissière métal, pour tous les indicateurs environnementaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. Projet européen EASE (Education of architects on solar energy and environment), rapport final du projet ALTENER n°4.1030/Z/98-340, Commission européenne, DG TREN, août 2000.
2. Club Bâtiville, Construire: quelques enjeux de demain, Cahiers du CSTB n° 3179, décembre 1999.
3. AFNOR, norme X30-300 "Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principe et cadre", mars 1994, 19 p.
4. Bernd Polster, Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, thèse de doctorat, École des Mines de Paris, 1995, 268 p.
5. Bruno Peupartier et Isabelle Blanc-Sommereux, Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings, International Journal of Solar Energy, 1990 vol. 8 pp 109-120.
6. Bo-Christer Björk et Jeff Wix, An introduction to STEP, VTT (Technical research centre of Finland) and Wix McLelland Ltd, 1991, 47 p.
7. Patrice Poyet et Jean-Luc Monceyron, Les classes d'objets IFCs, finalités et mode d'emploi, Les Cahiers du CSTB, n° 2986, octobre 1997, Paris, 19 p.
8. Bruno Peupartier, Bernd Polster and Isabelle Blanc-Sommereux, Development of an object oriented model for the assessment of the environmental quality of buildings, First International Conference Buildings and the environment, CIB, Watford, may 1994, 8 p.
9. R. Frischknecht et al., Ökoinventare für Energie systeme, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1995, 1817 p.
10. EPFL-LESO/IFIB (Université de Karlsruhe), Energie und Stofffluß-bilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer, Ifib – Karlsruhe, juin 1994, 221 p.
11. R. Heijungs, Environmental life cycle assessment of products, Centre of environmental science (CML), Leiden, 1992, 96 p.
12. S. Ahbe, A. Braunschweig et R. Müller-Wenk, Methodik für Oekobilanzen auf der Basis Ökologischer Optimierung, BUWAL, Bern, 1990.
13. Mark Goedkoop, Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale, NOVEM, Utrecht, 1995.
14. Scientific assessment working group of IPCC, Radiative forcing of climate change, World meteorological organization and United nations environment programme, 1994, 28 p.
15. RIALHE A. et NIBEL S., Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments, Ed. Plan Urbanisme Construction et Architecture, 1999.
16. Bruno Peupartier, Niklaus Kohler and Chiel Boonstra, European project REGENER, life cycle analysis of buildings, 2nd International Conference "Buildings and the environment", Paris, june 1997, pp 33-40.
17. Amory et Hunter Lovins, Ernst Von Weizacker, Facteur 4, Ed. Terre Vivante, 1997.
18. Étude américaine: Vehicle operating costs, fuel consumption, and pavement type and condition factors, Final Report, Texas Research and Development Foundation, Austin, TX Jun 82.
19. Étude canadienne: Effect of pavement structure on truck fuel consumption – phase 1 and 2, Conseil national de recherches Canada, Rapport technique contrôlé CSTT-HWv-CTR-041, août 2000. Project team: Gordon Taylor, P. Eng., M. Eng. - Philip Marsh, P. Eng. - Eric Oxelgren.
20. Étude indienne: Fuel savings on cement concrete pavement, by DR. L.R. Kadiyali & Associates in collaboration with Central Road Research Institute, 2000.
21. Étude suédoise: Benefit of reduced fuel consumption from economic and environmental perspectives. A novel approach, Robert Larsson et Ronny Andersson. Exposé au Symposium Cembureau à Istanbul, avril 2004.
22. T89 - Béton et Développement Durable - Analyse du Cycle de Vie de structures routières. Collection Technique CIMBETON, février 2005.

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



Duppigheim (Bas-Rhin) : pour finaliser le développement du transport modulaire sur pneumatiques Neoval, la société Lohr Industrie a fait construire une piste d'essais en béton armé continu (BAC).

À Duppigheim, une piste d'essais en béton armé continu (BAC)

Destiné aux navettes d'aéroport et aux réseaux de métro automatiques, le transport modulaire sur pneumatiques Neoval est conçu pour circuler sur son infrastructure spécifique. Pour finaliser son développement, Lohr Industrie associé à Siemens Transportation Systems a fait construire une piste d'essais en béton armé continu à Duppigheim (Bas-Rhin).

Les deux sociétés Siemens Transportation Systems (STS) et Lohr Industrie se sont associées pour développer un nouveau système de transport de passagers modulaire sur pneumatiques et automatique sans conducteur, appelé Neoval. Ce programme bénéficie des aides de l'Agence pour l'Innovation Industrielle (A.I.I.). Le véhicule se caractérise par son système roulant et de freinage issu du monde routier, complété par un guidage par rail central.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre : : Lohr Industrie / Siemens Transportation Systems (STS)

Entreprises : Appia Grands Travaux et Transroutes

Fourniture du ciment : Holcim Ciments

Fourniture du béton : Holcim Bétons

"L'approche d'un système complet et intégré, développée par Siemens Transportation Systems sur le VAL, a été poursuivie ici, et le programme Neoval inclut le développement d'une chaussée spécifique en site propre pour optimiser leur circulation. L'idée fondamentale est de proposer à nos clients une solution complète, associant véhicules et infrastructure : d'où la nécessité de



Alimentation en béton, par tapis, à l'avant de la machine à coffrage glissant.

construire une piste d'essais pour finaliser le développement de ce Neoval" explique Martin Klotz, responsable méthodes de Lohr Industrie.

Différentes hypothèses de chargement

Lohr Industrie a confié à Transroutes la réalisation de ce chantier et l'entreprise Appia Grands Travaux s'est chargée de la construction de la piste en béton du NeoVal.

"Différentes hypothèses de chargements de chaussée et d'intensités de trafic ont été envisagées pour le dimensionnement. Le logiciel Alizé du LCPC nous a permis de calculer les épaisseurs de la couche de fondation (18 cm) et de la couche de roulement en BAC (24 cm). Quant au ferrailage, il varie selon les zones de la couche de roulement : 8 fers HA14 espacés de 15 cm pour la partie centrale

en creux et 9 fers HA 14 espacés de 9,22 cm dans chacune des deux parties bordant la zone centrale” explique Luc Riottot, conducteur de travaux d’Appia Grands Travaux.



Une fois la couche de fondation réalisée, les fers continus sont disposés sur le BAC selon un espacement régulier.

La société Transroutes s’est chargée de l’implantation du chantier, du pilotage du projet et du choix de la forme de chaussée. Elle joue ainsi le rôle d’un bureau d’études dans cette opération assez particulière. Après le décapage du sol naturel, elle a procédé à la mise en œuvre de 30 cm de grave du Rhin non traitée (granulométrie 0-31,5) compactée pour créer une plate-forme de portance PF2 (50 MPa).

Utilisation de deux machines à coffrage glissant

Comme les deux couches de béton ont des caractéristiques géométriques différentes, Appia a employé deux machines à coffrage glissant sur ce chantier. “La Gunter Zimmermann MSP 50 nous a permis de réaliser la couche de béton maigre de 3,25 m de large sur une épaisseur de 15 cm. La Gomaco Commander III a servi pour la couche de béton de roulement en BAC, large de 2,86 m et épaisse de 24 cm. Auparavant, nous avons soudé en atelier une fourrure en tôle sous la table de la machine afin de réaliser la forme en U de la chaussée. Elle dessine ainsi dans le béton un large sillon de 120 cm de large et 10 cm de profondeur, entouré de part et d’autre d’une sorte de trottoir de 80 cm de large” précise Luc Riottot.

Positionnés avant le passage de cette machine, les aciers continus s’insèrent dans la fibre neutre du béton pour reprendre sa fissuration naturelle, ce qui évite la mise en place de joints de retrait, améliorant ainsi grandement le

confort de roulement de ce véhicule sur pneumatiques.

La couche de roulement était censée être d’un seul tenant, mais il fallait assurer les reprises de bétonnage d’un jour sur l’autre. “D’où un arrêt droit en fin de journée avec la mise en place de bastaings, sous et sur les aciers, pour coffrer le béton. Un rail de polystyrène de 2 cm d’épaisseur, planté dans les aciers, sert à créer un joint net. Après le bétonnage de la parcelle suivante, nous procédons au dégarnissage du joint, de part et d’autre, avant la mise en place d’un mastic étanche” commente Luc Riottot. Signalons également qu’un des atouts du béton est sa facilité à résoudre certaines difficultés comme la réalisation d’un virage avec un profil en travers avec un dévers de 12% : pour cela, il suffit d’employer un béton suffisamment ferme qui restera parfaitement en place après le passage de la machine.

Deux zones distinctes d’expérimentation

La surface du BAC est ensuite unifiée et rendue légèrement rugueuse par le passage d’une toile de jute, avant l’application d’un produit de cure en phase aqueuse Antisol TP 42 (Sika) qui laisse, après séchage, une pellicule protégeant le béton de la dessiccation et évitant ainsi des fissurations de peau.

Sur la piste d’essais longue de 650 m, deux zones expérimentales ont été créées : l’une de 50 m, sur laquelle le passage de la toile de jute est remplacé par un balayage fin au balai en fibres naturelles. L’objectif étant de tester un autre type de rugosité de surface, en termes de résistance à l’abrasion et



Pulvérisation sur le béton armé continu d’un produit de cure anti-dessiccation.

FORMULATION DU BAC (POUR 1 M³)

Béton Routroc C30/37 - CEM II/A 42,5 N CE CP2 NF : 350 kg
Sable Lingolsheim roulé 0/4 : 710 kg
Grave Lingolsheim roulée : 4/8 (210 kg), 8/16 (300 kg) et 16/22 (635 kg)
Eau naturelle : 126 litres
Entraîneur d’air Resi Air 200 : 0,18 %
Plastifiant / réducteur d’eau Resi Reducto : 0,50 %

d’adhérence des pneumatiques en cas de pluie. L’autre de 90 m en fin de piste, où les aciers longitudinaux sont remplacés par un mélange de fibres, afin d’essayer une technique de mise en œuvre plus rapide.

“Pour réaliser cette partie en béton fibré, nous avons utilisé un complexe de trois fibres : deux fibres en acier fraisé Mac Mc1 pour renforcer le béton et une fibre polypropylène multifilamentaire Fibromac 12 pour maîtriser le retrait. Pour leur dosage, nous avons suivi la note de calcul transmise par Maccaferri, leur fabricant. Le mélange s’effectue à sec en centrale avec les autres composants du béton pour une homogénéité optimale” explique Luc Riottot.

Des contrôles qualité très rigoureux

Le planning du chantier était clair : une semaine pour réaliser la couche de structure en béton maigre, une semaine pour mettre en place les aciers continus et une semaine pour la couche de roulement. “Le planning prévisionnel de coulage indiquant les quantités et qualités souhaitées, validé au fur et à mesure par télécopie, a été parfaitement respecté” commente Jean-Philippe Dann, chef de secteur de Holcim Bétons.

Pour ce type de chantier expérimental, les contrôles qualité sont nombreux, notamment en ce qui concerne le béton fibré : contrôles en sortie de malaxeur et contrôles sur site au moment du coulage (plasticité, éprouvettes, affaissement au cône d’Abrams...). “La plupart ont été réalisés par le laboratoire du groupe Holcim” conclut Jean-Philippe Dann. ■



Egletons : c'est le 7 novembre 2006 que la mise en eau du nouvel ouvrage hydraulique en béton a été effectuée par les étudiants et leurs enseignants.

Un chantier-école pour la reconstruction d'un ouvrage hydraulique en béton

Pour les jeunes qui se préparent aux métiers du génie civil, rien n'est plus formateur que l'expérience d'un chantier-école. Les enseignants du lycée Caraminot d'Egletons l'ont compris depuis longtemps. Exemple récent : la reconstruction, par une Section Techniciens Supérieurs Travaux Publics (STS TP), d'un ouvrage hydraulique en béton à Champagnac-la-Noaille.

Fin 2005, la Communauté de communes de Ventadour décide de confier un chantier-école aux étudiants de STS TP du lycée Pierre Caraminot d'Egletons. Objectif : reconstruire un ouvrage hydraulique sur la "Femme morte", un ruisseau situé sur la commune de Champagnac-la-Noaille, à 20 km d'Egletons. Pour Jean Boinet, président de la Communauté de communes de Ventadour et maître d'ouvrage du projet : *"Il était urgent d'intervenir. C'est pourquoi, il fallait d'abord reconstruire le pont qui supporte la voie communale, puis l'aval de l'ouvrage, très endommagé par les crues, ce qui créait des difficultés pour la migration des poissons, alors que le ruisseau est classé reproducteur de la truite sauvage. Enfin, le dimensionnement de l'ouvrage existant était insuffisant, les crues annuelles provoquant de fréquentes inondations des prairies situées en amont"*.

Le cahier des charges était le suivant : dimensionner l'ouvrage, élaborer les relevés et les plans, rédiger les pièces pour l'appel d'offres, organiser les travaux, réaliser l'ouvrage et les travaux connexes.

Un dossier entièrement monté par les étudiants

Après étude du dossier, 30 étudiants, pilotés par leurs enseignants Claude Genier et Alain Meilhac, ont proposé :

- Le redimensionnement de l'ouvrage en béton avec un pont-cadre (radier, piédroits et traverse) de 1,80 m de haut, 1,50 m de large et 22,5 m de long. Objectif : assurer une crue de fréquence centennale (7 m³/s).
- La création de deux pré-bassins en aval (4,80 m de long chacun) pour réduire les chutes d'eau.
- L'aménagement de l'intérieur de

l'ouvrage pour permettre la remontée des poissons en période d'étiage.

- L'enrochement pour réduire l'érosion des berges amont et aval.

L'ensemble du projet a été divisé en trois lots : démolitions, terrassements, pré-bassins (lot 1) ; construction de l'ouvrage (lot 2) ; réfection de la chaussée de la voie communale (lot 3). Pour des raisons de responsabilité (volet délicat pour un chantier-école), les travaux des lots 1 et 3 ont fait l'objet d'appels d'offres, le lycée montant le dossier.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Communauté de communes de Ventadour

Entreprise : Jean Marut

Fournisseur du béton : Etablissements Bredèche

Fournisseur du ciment : VICAT Usine de Créchy (Allier)



Montage à blanc du coffrage du radier.

La réalisation du Lot 2 opérée en trois phases

Pour Alain Meilhac, "ce chantier s'est déroulé sur les deux ans de formation. De janvier à juin, puis de septembre à novembre 2006, les étudiants ont travaillé en trois phases qui correspondent aux moments clés d'un chantier : la conception, les méthodes, la réalisation".

- **Phase 1 "Conception"** (janvier - mars). Les étudiants ont effectué les relevés de l'ouvrage existant, le dimensionnement hydraulique du nouvel ouvrage, la rédaction des pièces techniques et l'élaboration des plans. En mars, ils ont présenté le projet aux partenaires (représentants du Conseil Supérieur de la Pêche, maître d'ouvrage,...) et, après intégration des modifications, il a été adopté.
- **Phase 2 "Méthodes"** (avril - mai). Les étudiants ont élaboré les méthodes de réalisation de l'ouvrage : plan des coffrages, choix des fournisseurs, location des matériels... Ils ont également rédigé les documents servant au chantier (contrôle, suivi...). En juin, les lots 1 et 3 ont été attribués à l'entreprise Marut qui a garanti l'ensemble du projet.
- **Phase 3 "Réalisation"** (septembre - novembre). Pendant six semaines, les 30 étudiants ont travaillé sur le chantier par demi-classes (pendant que l'autre demi-classe était en cours). Les 15 étudiants sur chantier étaient organisés en quatre équipes, chacune ayant à tour de rôle un chef d'équipe. Le ciment, fourni par l'usine VICAT de Créchy (Allier), a permis à la centrale BPE des Etablissements Bredèche de réaliser 45 m³ de béton de classe C30/37, avec un ciment CEM II / A - LL 42,5 R CE NF.



Pose des éléments préfabriqués en béton, à l'aide d'un engin de levage loué.

Des techniques aux prolongements pédagogiques

"Outre l'intérêt de passer de la théorie à la pratique, ce qui est essentiel pour les jeunes d'aujourd'hui, ce type de chantier-école permet une validation grande nature de notre enseignement théorique", se félicite Claude Genier. De fait, les techniques constructives retenues pour le radier, les piédroits et la traverse supérieure ont été choisies pour leurs prolongements pédagogiques.

- **Radier.** Après conception en salle, des coffrages en bois ont été fabriqués dans l'atelier et le ferrailage a été assemblé, par tronçons, sur l'aire du chantier.
- **Piédroits.** L'utilisation de banches manportables a permis une mise en place manuelle. En partie supérieure, le piédroit est terminé par un becquet d'une épaisseur maximale de 7 cm pour assurer la mise en place des pré-dalles.
- **Traverse supérieure.** Elle a été réalisée avec des pré-dalles et acrotères préfabriqués dans l'atelier du lycée, ce qui a permis aux élèves une étude de conception de moule en bois et sa réalisation. Puis les étudiants ont choisi l'engin permettant de soulever les pré-dalles



Bétonnage de la traverse supérieure.

(700 kg), prévu sa position, coordonné la livraison des éléments préfabriqués avec le chargement pour réexpédier les banches chez le fournisseur.

Pour Alain Meilhac, "ce moment d'un chantier-école est particulièrement utile aux étudiants. Très souvent ils ont du mal à se projeter dans la vie du chantier et de ses contraintes : profil du terrain, encombrement des engins, position pendant la manutention... En vivant ces difficultés, ils en tirent des leçons".

Prévention des risques et environnement

Pour respecter les normes, la conception et la préparation du chantier ont intégré la prévention des risques et la protection de l'environnement.

Concernant la prévention, outre les mesures obligatoires (port du casque, gants, garde-corps...), les accès aux postes de travail ont été étudiés pour prévenir les chutes (escaliers, plateformes de circulation en bois...).

En matière d'environnement, la préoccupation majeure a été d'éviter la pollution du ruisseau. Les étudiants ont proposé de revêtir la dérivation d'un géotextile. Ils ont utilisé un ancien bras mort du ruisseau comme fosse de décantation. Et Alain Meilhac de conclure : "Les entreprises attendent de nous des jeunes motivés et solides. L'expérience d'un chantier-école va dans ce sens. Nous tenons donc à en organiser un pour chaque promotion de STS TP".

Un effort reconnu par la Profession : l'ouvrage de la "Femme morte" a reçu le 4 mai 2007 un prix dans le cadre des Trophées du Bâtiment, décernés par Sogea Sud-Ouest (Groupe Vinci).



Aménagement intérieur de l'ouvrage hydraulique avec des galets.



Ungersheim (Haut-Rhin) : le Bioscope propose une série d'animations autour du thème de l'environnement. Le béton coloré, préfabriqué et prêt à l'emploi, y a donc trouvé tout naturellement sa place. Ici, l'anneau central du parc en désactivé, point de départ de la visite.

Au Bioscope d'Ungersheim, le béton participe aussi à l'animation

Au cœur du Bioscope, parc de loisirs consacré à la défense de l'environnement, le béton s'impose comme le matériau de valorisation esthétique du projet : en dalles polygonales préfabriquées ou en béton prêt à l'emploi désactivé, il met sa couleur au service du site.

Le Bioscope est un parc de loisirs peu banal, tant dans sa forme que dans son contenu. Situé dans la plaine d'Alsace, sur la commune d'Ungersheim, célèbre pour abriter un des premiers écomusées de France, il a ouvert ses portes il y a deux ans et propose une série d'animations autour de l'environnement, pour sensibiliser le public à ces questions brûlantes d'actualité.

Plus fascinants encore sont les revêtements en béton, choisis pour réaliser l'ensemble des cheminements et du parvis du parc. Le ton est donné

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maître d'ouvrage : Bioscope

Maître d'œuvre : U. Kurz/pasoDoble

Entreprise : Eurovia

Fournisseur du béton : Entreprise Michel (Kingersheim)

Fournisseurs du ciment : HOLCIM et VICAT

dès le parking, dont le bitume est rythmé de béton désactivé. Puis, le vaste parvis qui conduit à la billetterie et l'entrée du parc proprement dite sont faits de dalles en béton aux formes polygonales, de couleur grès rouge sombre. Une fois à l'intérieur du parc, béton désactivé et pavés bétons autobloquants prennent le relais sur l'ensemble des surfaces piétonnes, dont le total représente 20 000 m².

Ursula Kurz, architecte-paysagiste qui a dessiné et conçu l'ensemble du programme paysager, est une fervente partisane du béton employé en voirie : "J'ai eu l'occasion d'utiliser ce type de matériau depuis longtemps, notamment sur le chantier du parc de la Villette à Paris, lorsque je travaillais chez Bernard Tschumi. Sur le Bioscope, le béton nous offre une grande souplesse de dessin et reste compétitif, budgétairement parlant. De plus, le désactivé nous permet de jouer sur les granulats, la texture et la couleur : c'est pourquoi, compte tenu du budget

global de la construction du parc, il était tout indiqué".

Une fois passée la billetterie, le visiteur accède à l'espace central, un cratère légèrement fumant, symbole de la chute d'une météorite survenue dans une commune voisine en 1492. L'histoire du plan du parc mérite d'être contée par Ursula Kurz, à l'aide d'une anecdote savoureuse : "J'avais eu l'idée d'un cratère de météorite pour encaisser légèrement le parc de loisirs dans la plaine d'Alsace, en



Malgré la difficulté technique due au tracé des différentes courbes, le béton a su se jouer de tous les pièges.



Les cheminements intérieurs en béton participent à la création d'un paysage aux atours naturels et féériques.

dessinant un plan basé sur les ondes qu'aurait pu produire un tel projectile. Or, ce n'est qu'après avoir commencé à travailler que j'ai appris qu'une météorite était réellement tombée dans la région !"

Un chantier complexe agrémenté de courbes

La structure retenue par l'architecte-paysagiste a imposé de mettre au point des cheminements tout en rondeurs qui n'ont pas été sans poser de grandes questions lors de la mise en œuvre. Thibault Alex, alors directeur de l'agence Eurovia de Mulhouse, entreprise qui a réalisé toutes les voiries, se souvient : *"Le travail de coffrage des allées a été rendu très complexe par le fait que les courbes n'avaient pas un rayon constant, comme c'est fait d'habitude pour les trottoirs. Nous avons donc été contraints de réaliser plusieurs essais avant de trouver la solution, qui a consisté à coffrer avec une double rangée de voliges, au lieu d'une seule, pour nous permettre d'obtenir une courbe correcte, sans ruptures"*.

Et Thibault Alex d'ajouter : *"Les délais impartis pour réaliser ce chantier important, la nature même du plan fonctionnant de manière concentrique, la météo et le gel ont été des éléments dont nous avons dû nous*

FORMULATION DU BÉTON (POUR 1 M³)

Béton XF2, environnement extérieur, gel et dégel

Ciment : 350 kg

Sables 0/2 : 600 kg

Granulats 6,3/10 ou 10/14 : 1 200 kg

Eau : 165 litres

Fibres polypropylènes : 900 g/m³

Plastifiant et entraîneur d'air



20 000 m² de béton prêt à l'emploi désactivé et de béton préfabriqué ont été mis en œuvre sur l'ensemble du parc.

affranchir par un phasage extrêmement précis des opérations".

Certaines zones ont même nécessité la mise en œuvre de moyens lourds, comme pour l'anneau central du parc, qui sert de point de départ aux explorations des visiteurs : *"À cause des bassins qui s'insèrent un peu partout sur la zone, nous avons dû couler cet anneau avec une pompe à béton. Tout le phasage a ensuite été réalisé concentriquement, à partir de cet anneau, véritable cœur du parc, un peu à la manière d'un cercle qu'on aurait agrandi à mesure"* précise Thibault Alex.

Des dalles polygonales en béton préfabriqué

Les granulats multicolores retenus pour la réalisation des désactivés ont une provenance locale puisqu'ils ont été extraits du Rhin tout proche.

Les dalles en béton ont été fabriquées sur la base d'un dessin d'Ursula Kurz. De grande taille et relativement lourdes, elles ont nécessité des trésors d'ingéniosité pour leur mise en œuvre, comme le recours à des minipelles et à des pompes à vide. Le défi était de parvenir à calepiner correctement. *"Ursula Kurz a dessiné deux dalles, une droite et une gauche, qu'il nous a fallu assembler en tenant compte des contraintes de raccordement"* raconte encore Thibault Alex.

Détails intéressants : certaines dalles ont été surélevées de 40 centimètres pour faire office de protection antibélier et surtout pour composer des bancs très originaux, permettant aux visiteurs de prendre un peu de repos. Et à l'intérieur du site, des pavés viennent, de temps à autre, rythmer les cheminements pour les piétons.

AU SERVICE DE L'HOMME ET DE SON ENVIRONNEMENT

Directeur du parc, conçu et géré en délégation de service public par la Compagnie des Alpes, Christian Douchement insiste sur l'intégration du béton dans les espaces naturels recréés dans l'enceinte du complexe de loisirs : *"La végétation, qui a énormément poussé depuis l'ouverture du parc, donne un contraste intéressant. Et les voiries sont bien intégrées dans le paysage, ce qui nous permet de rester dans la thématique choisie : l'homme et son environnement. En effet, 350 000 plantes vivaces et 600 arbres ont été plantés, qui vont prendre plus d'ampleur dans le futur, et réaliser un écrin pour les voiries en béton et les 300 à 400 000 visiteurs attendus"*.



Le parvis de dalles en béton, dessinées par Ursula Kurz et dont certaines ont été surélevées pour faire office de bancs.

La justesse des choix techniques liés au béton

Depuis l'ouverture du parc, on a pu vérifier la justesse des choix techniques liés au béton, comme le révèle Thibault Alex : *"Certaines voies en béton désactivé ont été réalisées pour supporter un trafic de véhicules légers, mais il est arrivé que des poids lourds soient parfois obligés d'emprunter ces voies : cela fut fait sans dommages"*.

Ouvert au public depuis deux ans, le parc semble être posé dans la plaine d'Alsace depuis toujours. La végétation bien installée répond à la modernité du béton qui structure l'ensemble des voies, jusqu'à devenir plus qu'un simple support des déplacements : un véritable acteur du paysage. ■



Remue-méninges

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

À vos montres !

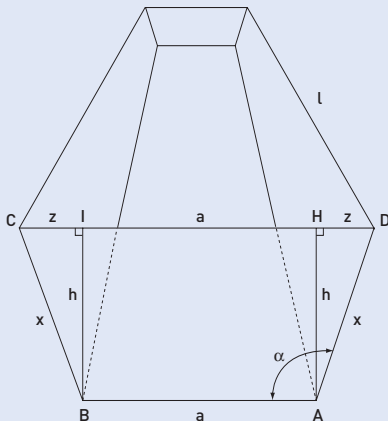
Question : Est-il possible, en intervertissant les positions des aiguilles d'une montre en parfait état de marche, d'obtenir une indication exacte de la montre ?

Si oui, quel est le nombre de solutions où l'interversion des aiguilles est possible ?



Solution du Remue-méninges de Routes n°100 : Cunette en béton de section maximale

Rappel du problème posé : avec un volume donné de béton, il est demandé de réaliser une cunette (longueur donnée, épaisseur des parois donnée) dont la section a la forme d'un trapèze isocèle. Quels doivent être la largeur des parois inclinées et l'angle qu'elles forment avec la petite base du trapèze pour que la section de la cunette soit maximale ?



Solution : Considérons les paramètres essentiels de la cunette : "a" la petite base du trapèze, "a + 2z" sa grande base, "l" sa longueur supposée constante, "e" l'épaisseur supposée constante des parois de la cunette, "h" sa hauteur, "x" la largeur des parois et "α" l'angle formé entre les parois inclinées et la petite base du trapèze.

Soit V le volume donné du béton (V = constante).

$$V = (2x + a) e \cdot l = \text{constante}$$

$$\text{D'où : } 2x + a = V/(e \cdot l) = \text{constante.}$$

$$\text{Donc : } 2x + a = K \quad (1)$$

Soit S la surface de la section de la cunette.

$$S = [a + (a + 2z)] h/2$$

$$S = (2a + 2z) h/2 = (a + z) h$$

$$\text{Or : } h = \sqrt{x^2 - z^2}$$

$$\text{D'où : } S = (a + z) \sqrt{x^2 - z^2}$$

$$\text{Donc : } S^2 = (a + z)^2 (x^2 - z^2)$$

$$S^2 = (a + z) (a + z) (x - z) (x + z)$$

$$\text{ou encore : } 3S^2 = (a + z) (a + z) (3x - 3z) (x + z)$$

S est maximal si S^2 ou $3S^2$ est maximal.

$$\text{Or la somme des 4 facteurs de } 3S^2 \text{ est :} \\ (a + z) + (a + z) + (3x - 3z) + (x + z) \\ = 2a + 4x = 2(2x + a) = 2K, \text{ d'après (1).}$$

$3S^2$ est un produit de 4 facteurs dont la somme est constante. $3S^2$ est maximal quand les 4 facteurs sont égaux (voir le Remue-méninges paru dans le N°99 de la revue ROUTES), donc quand :

$$(a + z) = (a + z) = (3x - 3z) = (x + z)$$

$$\text{D'une part, } (a + z) = (x + z)$$

$$\text{donc } a = x$$

$$\text{D'autre part, } (a + z) = (3x - 3z) \text{ et } a = x$$

$$\text{donc } x + z = 3x - 3z$$

$$\text{soit } 4z - 2x = 0$$

$$\mathbf{z = x/2 = a/2}$$

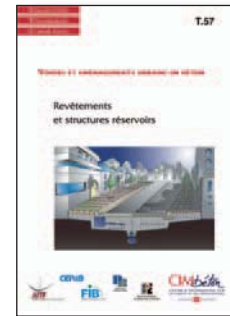
Dans le triangle rectangle AHD, on a :

$$z = x/2 \Leftrightarrow HD = AD/2$$

$$\text{Donc l'angle } \widehat{HAD} = 30^\circ \Rightarrow \text{l'angle } \widehat{DAB} = 120^\circ.$$

La section de la cunette est donc maximale quand $x = a$ (les parois inclinées sont de même largeur que le fond de la cunette) et quand $\alpha = 120^\circ$.

Vient de paraître



Vivieries et aménagements urbains en béton - Revêtements et structures réservoirs

Cette nouvelle édition de 180 pages traite des rubriques suivantes : Les spécificités des voiries urbaines - Le cycle de l'eau dans les infrastructures urbaines - Les concepts et atouts des revêtements et structures réservoirs - Les constituants - Les dimensionnements hydraulique, mécanique et géométrique - La mise en œuvre - La qualité, les contrôles et la maintenance - Le développement prospectif : les chaussées de demain.

Édition 2007 - Référence : T 57

Ce document est disponible gratuitement auprès de CIMBÉTON, soit par fax au 01 55 23 01 10, soit par email : centrinfo@cimbeton.net



Agenda

20, 21 et 22 novembre 2007
Salon des Maires et des Collectivités Locales (Paris)

CIMBÉTON sera présent (Hall 3 - Stand E60) au prochain Salon des Maires et des Collectivités Locales qui se tiendra Porte de Versailles à Paris. Ce stand est animé en partenariat avec le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE) et le Syndicat national du pompage à béton (SNPB).

Thème exposé : "Les ciments et les bétons au cœur de l'environnement".

salon des maires et des Collectivités locales

20, 21, 22 novembre 2007 - Porte de Versailles, Paris
Inscription, badge et renseignements : www.salondesmaires.com

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