

BÉTONS, MATIÈRE D'AMÉNAGEMENT URBAIN

LES VOIRIES URBAINES EN BÉTON DÉSACTIVÉ

En voirie urbaine, le béton a été longtemps utilisé dans la partie structurelle de la chaussée. Il était naturellement considéré comme le matériau par excellence pour la répartition des charges, grâce à sa rigidité propre. Il disparaissait ainsi, enfoui sous des matériaux de surface remplissant d'autres fonctions. Le béton offre aujourd'hui d'autres possibilités d'application. Sa valeur architecturale dépend essentiellement de ses possibilités au niveau des formes, des couleurs et de la texture.



Voirie en béton désactivé.

La forme ne concerne pas l'apparence du béton en tant que matériau, mais celle des éléments que sa plasticité permet de réaliser. Comme le béton est un matériau moulable, toute forme est en principe possible. Dès lors, les surfaces bétonnées peuvent non seulement être conçues en deux, mais aussi en trois dimensions. Elles deviennent alors un objet spatial comportant des retraits, des saillies, des creux, des reliefs, des arrondis, etc. Les "bétons imprimés" en sont une excellente illustration.

La couleur est apportée par les composants du béton. Gris ou blanc, le ciment, mélangé aux éléments les plus fins du sable, donne au béton brut sa teinte de fond. Celle-ci peut être modifiée par l'ajout de colorants, oxydes métalliques ou éventuellement pigments de synthèse. Dans le cas des bétons traités, c'est la couleur des plus gros éléments, les granulats, qui influencera la teinte du béton. Ils seront mis en valeur par le traitement qui, suivant son intensité, les rendra plus ou moins visibles.

Les possibilités au niveau de la texture sont également très variées. Elles vont des surfaces fermées (traitées à la toile de jute) à des surfaces rugueuses (lavées, désactivées, grenillées, bouchardées, imprimées, etc.). Suivant la nature du traitement choisi, le relief obtenu à la surface du béton sera plus ou moins accentué, faisant ainsi plus ou moins jouer la lumière. L'esthé-

tique de surface dépendra directement de la qualité du squelette pierreux du béton, laissant apparaître sa nature intrinsèque.

Les combinaisons de formes, couleurs et textures sont innombrables. Il est donc parfaitement possible d'imiter toutes sortes de pierres naturelles tout en ayant l'avantage technique de pouvoir réaliser de plus grandes surfaces et des formes très complexes.

Ces constatations essentielles, alliées au fait que les connaissances techniques au sujet de ce matériau ont fortement évolué au cours de ces dernières années, ont fait en sorte que l'utilisation du béton comme matériau urbain de surface connaît actuellement un renouveau, en particulier avec la technique du "béton désactivé".

L'objet de cette documentation technique est triple :

- examiner, tout d'abord, les enjeux et les spécificités de la voirie urbaine ainsi que les exigences auxquelles doivent répondre les matériaux de surface destinés à y être utilisés ;
- décrire ensuite, d'une façon approfondie, la technique du béton désactivé et illustrer le propos par quelques exemples de réalisations ;
- préciser, enfin, les paramètres ou les éléments à prendre en compte pour réussir un chantier de béton désactivé.



Aspect d'un béton bouchardé.



Le béton imprimé.

LA VOIRIE URBAINE : ENJEUX, SPÉCIFICITÉS, ÉVOLUTION

En France comme dans les pays industrialisés, plus des trois quarts des habitants vivent en ville, et la voirie, sous ses divers aspects, représente un capital considérable. En se limitant aux seules grandes villes de plus de quinze mille habitants, la voirie urbaine, c'est trois fois en longueur le linéaire des autoroutes et routes nationales. Dans les zones fortement urbanisées comme la région Ile-de-France, plus de la moitié

des travaux routiers est relative aux voiries des zones d'habitation et d'aménagement au sens large.

Ce qui modèle le paysage urbain, c'est que la rue dessert toutes les parcelles, abrite les déplacements et est un lieu de communication. Ces déplacements se font de multiples manières : en voiture, en transport en commun, en deux roues, à pied. Il faut faire cohabiter harmonieusement tous ces modes.

La rue est l'espace public par excellence. Elle a un rôle social : lieu de rencontres, lieu de promenades, lieu de jeux, lieu d'activités diverses. Certaines formes

Le béton désactivé pour l'aménagement d'une ville.





Voirie de lotissement en béton désactivé.

privilégient ces fonctions : places, placettes, squares, trottoirs larges mais bien plantés, rues calmes.

La rue modèle l'espace urbain par les proportions qu'elle crée entre espace bâti et espace non bâti. En termes d'aménagement, on peut rechercher des espaces rythmés, des espaces fermés, des espaces cohérents (voies de type urbain bien construites et minérales, voies de type rural sinueuses et végétales).

La rue est enfin un sujet évolutif car, outre la prise en compte des évolutions technologiques (réseaux câblés, infrastructures urbaines industrialisables), la voirie s'inscrit pleinement dans l'histoire de l'urbanisation et des formes urbaines qui se concrétisent par :

- la réhabilitation de l'ancien en centre ville,
- la multiplication des maisons individuelles et le développement des grandes surfaces à la périphérie,
- les rocades de contournement des villes,
- la reconquête des voiries de centre ville, des voiries de lotissement,
- le traitement des axes d'entrée de ville,
- le traitement des traversées de villes et villages,
- l'amélioration du cadre de vie,
- la réhabilitation de tous les modes de déplacement.

Les nouveaux concepts de trame urbaine se généralisent : trame des voies de transit, trame du réseau de desserte, trame commerçante, trame piétonne, trame verte, trame paysagère. Donner un rôle aussi exclusif à l'automobile est donc très réducteur vis-à-vis de la voirie urbaine. A l'inverse, les lieux les plus riches de la ville, les plus vivants, sont aussi ceux où de nombreuses trames se superposent. On appelle cela parfois "les hauts lieux de la ville", qui appellent à des traitements spécifiques, y compris au niveau des revêtements des voiries.

La technique des bétons de ciment a pleinement accompagné ces évolutions. Technique résistante et durable pour chaussées routières et aéronautiques à fort trafic, telle était sa réputation d'origine ; elle s'est maintenant considérablement élargie à la très grande diversité des typologies et des fonctions des voiries, le béton désactivé étant un des volets particulièrement significatifs de cette adaptation aux nouvelles préoccupations esquissées ci-dessus.



Le béton désactivé en traversée de ville.

LA CONCEPTION DES REVÊTEMENTS DES CHAUSSÉES URBAINES : LES EXIGENCES

Le choix d'un revêtement résulte toujours d'un compromis, l'exercice étant rendu plus difficile en ville, eu égard à la diversité des fonctions et à la multiplicité des acteurs. En matière de conception des structures de voirie (arrangement et architecture des couches), il y a, de manière très schématique, deux stratégies :

- La stratégie classique, dans laquelle une voirie est avant tout une chaussée avec ses composants : sol, trafic, matériaux, plate-forme, corps de chaussée. Dans la nomenclature classique, on finit la conception par un revêtement dans un esprit d'optimum économique de la structure.
- L'approche de l'aménageur, dans laquelle la voirie est conçue en tant que module d'un parti d'aménagement qui est l'axe de réflexion majeur. Dans ce cas, on choisit un revêtement ou une composition de revêtement, le problème étant ensuite le choix de l'assise adaptée à ce revêtement.

Cette dernière approche correspond beaucoup mieux à la conception moderne de la ville et se développe bien plus rapidement que la première.

Dans ce contexte, les exigences des maîtres d'ouvrage et des usagers peuvent être classées en six familles dont le descriptif rapide permet déjà d'esquisser l'adéquation presque parfaite avec les bétons désactivés.

Exigences d'intégration au site, de participation à un parti d'aménagement

Ces considérations d'ordre esthétique et visuel peuvent prendre des formes très variées : cela peut aller depuis une exigence des matériaux naturels pour ne pas dénaturer un site ou un monument historique jusqu'à la recherche de couleurs ou de délimitations très particulières pour échapper à la lecture d'une route ou rue classique pour l'automobiliste. La rue doit avoir l'air de ce à quoi elle sert.

Exigences de résistance aux sollicitations

Un des rôles premiers de la couche de roulement, c'est de protéger les assises de la chaussée ou des aires urbaines, de participer à la résistance globale de la structure en vue d'apporter les qualités de surface nécessaires au confort et à la sécurité des usagers. Par rapport à cette exigence générale, valable pour tous les revêtements, les revêtements urbains doivent avoir des qualités complémentaires, par exemple pour résister à la canalisation des charges très accentuées et très agressives lorsqu'il y a des voies de bus, aux efforts de cisaillement importants dans les carrefours, zones de freinage, etc.

Stabilité, résistance à la déformation, résistance au poinçonnement, à l'orniérage, résistance mécanique, seront les critères privilégiés pour satisfaire à cette exigence.

L'agression, c'est celle de la charge, que ce soit la roue de camion ou le talon aiguille des passantes, mais c'est aussi le climat, les précipitations, le gel, les pollutions, les hydrocarbures, etc.

Exigences en matière de caractéristiques superficielles

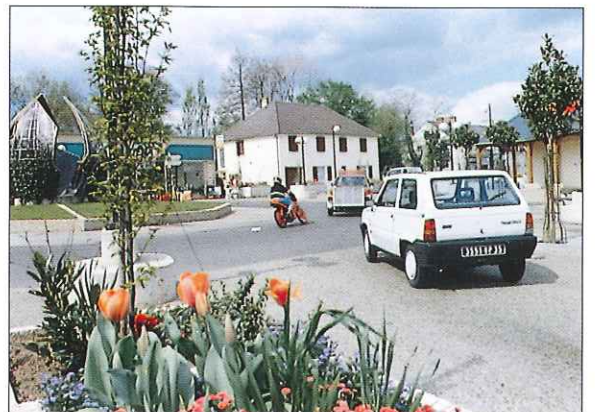
Le revêtement doit présenter un uni longitudinal et transversal convenable. Là encore, c'est nettement plus difficile en ville qu'en rase campagne car de nombreux événements ponctuent et perturbent les profils : carrefours, raccordements, regards, bouches à clés, tranchées. Il doit aussi présenter des caractéristiques d'adhérence adaptées à la vitesse des véhicules. Certes, les vitesses en ville devraient être limitées mais les occasions de déclencher les freinages ou la décélération des véhicules sont plus nombreuses. La circulation de nuit et les nombreux points de convergence aux carrefours nécessitent la prise en compte des critères spécifiques à la glissance.



Le béton désactivé pour l'aménagement d'un centre ville.



Le béton désactivé pour résister à la canalisation des charges.



Le béton désactivé pour la sécurité aux carrefours.

Exigences sur la mise en œuvre

L'exiguïté des emprises disponibles, les phasages des travaux, les contraintes de respect des profils et des raccordements (seuils, bordures, caniveaux, avaloirs, etc.), le franchissement des carrefours, impliquent l'emploi de techniques souples, au sens figuré, qui s'accommodent de mise en œuvre mécanique et manuelle à la fois.



Le béton désactivé pour la qualité du profil et de la finition.

A cet égard, on est beaucoup plus exigeant que pour les routes de rase campagne sur les critères d'adaptabilité aux variations d'épaisseur et de maniabilité, c'est-à-dire à la faculté de travail en petites quantités et par intervention manuelle.

Exigences en matière d'entretien et d'exploitation

La "réparabilité" des couches de roulement est un point très important pour les chaussées urbaines qui font continuellement l'objet de travaux divers liés à la présence de réseaux enterrés. L'utilisation de bandes pavées au-dessus des réseaux permet d'y accéder facilement lors des opérations d'entretien.

Les exigences sont donc nombreuses et parfois dépendantes les unes des autres. Pour assurer la satisfaction des habitants, il faut satisfaire les exigences d'intégration au site, de nuisance minimale en matière de mise en œuvre, d'entretien et d'exploitation. Il faut, de plus, que les caractéristiques superficielles soient satisfaisantes et durables, ce qui implique que la résistance aux sollicitations soit correcte.

Face à cette palette d'exigences très large, la panoplie des techniques disponibles ne l'est pas moins. On distingue, en général, quatre familles de produits : les pierres naturelles, les terres cuites et les grès cérames, les produits hydrocarbonés et les produits en béton. Le béton désactivé appartient à la famille des produits en béton et élargit celle-ci vers des domaines d'emploi couverts plus traditionnellement par d'autres catégories de produits comme les pierres naturelles, les terres cuites et grès cérames ou encore certains produits hydrocarbonés colorés de haut de gamme.

Ces interventions, qui sont toujours des blessures faites dans les corps de chaussées et les revêtements, doivent être commodes : facilité et durée des opérations d'ouverture et de remise en état, disponibilité du matériau en faible quantité, et l'aspect ou la tenue des réfections doit être bonne dans le temps.

On doit aussi se poser la question de comment on réparera ou entretiendra le revêtement à la fin de sa période de service : démontage, rabotage, recharge-



Le mariage "béton désactivé-pavés" pour faciliter les accès aux réseaux enterrés.

ment. Il faut aussi penser aux aptitudes du revêtement à recevoir une signalisation horizontale durable, ainsi qu'à la "nettoyabilité" avec les techniques et les matériels dont disposent les collectivités.

Exigences d'ordre économique

Le revêtement doit être économique au sens du coût global, qui est la somme arithmétique du coût d'investissement et des dépenses d'entretien actualisées sur une période de service bien définie.

Il importe en fait au concepteur d'arriver à un compromis, afin de trouver un matériau qui satisfasse au maximum aux préoccupations que l'on vient de citer en fonction du budget disponible.

Là encore, l'analyse est plus complexe en milieu urbain qu'en rase campagne, car dans cette analyse technico-économique interviendront non seulement le coût de premier investissement et les coûts d'entretien mais aussi la notion de garantie de durabilité de l'ouvrage, ainsi que l'impact de la réalisation des travaux sur la vie locale (circulation, activité, gêne).



Voirie de lotissement en béton désactivé.

LA RÉALISATION DE VOIRIE URBAINE EN BÉTON DÉSACTIVÉ

C'est une technique dérivée de celle du dénudage chimique, mise au point en Belgique par l'entreprise Robuco. Elle consiste à pulvériser à la surface du béton frais un produit retardateur de prise de surface, qui s'oppose à la prise superficielle du mortier durant un délai déterminé.

Après un délai de plusieurs heures, qui est fonction des conditions atmosphériques régnant au moment de l'exécution des travaux, on dénude la tête des granulats rentrant dans la composition du béton par lavage au jet d'eau haute pression et/ou par brossage, au moyen d'une brosse à poils durs.

Cette technique, utilisée en France depuis 1986 sur plusieurs sections autoroutières, procure à la chaussée plusieurs avantages :

- une bonne adhérence,
- un aspect de surface esthétique et s'intégrant à l'environnement,
- une faible émission sonore,
- une atténuation des projections d'eau.

La technique du dénudage chimique a été transposée aux routes à faible trafic, à partir de 1988, sous le nom de "béton désactivé" et elle connaît aujourd'hui en France un développement important (croissance annuelle de l'ordre de 25 %).

Composition des bétons désactivés

La composition est un facteur essentiel de la qualité et du comportement, à terme, des bétons désactivés.

Bien que des résultats intéressants puissent être obtenus à partir d'un béton routier courant, il peut y avoir lieu de mettre en œuvre un béton de composition particulière suivant l'aspect recherché et les granulats disponibles.

● les ciments

De manière générale, le béton désactivé ne requiert pas de ciments spéciaux. On utilise habituellement tous les ciments normalisés de classes 45 et 55, à raison de 300 à 350 kg de ciment par mètre cube de béton.

Le choix entre le ciment blanc et le ciment gris n'est pas toujours évident. S'il est indiscutable qu'un béton blanc suppose un ciment blanc, il n'en va pas de même pour les bétons dont l'aspect dépend surtout de la teinte des granulats : ils peuvent être réalisés avec du ciment gris comme avec du ciment blanc, en fonction de l'effet recherché. Le problème est analogue dans le cas des bétons colorés aux pigments minéraux, pour lesquels le ciment gris influence peu les teintes foncées.



Béton désactivé avec granulats roulés.



Béton désactivé avec granulats concassés.

● les sables

Ce sont les éléments les plus fins, c'est-à-dire essentiellement les sables d'un diamètre inférieur à 1 mm, et le ciment lui-même, qui déterminent la teinte de fond des bétons désactivés. C'est ce fond qui met en valeur les gros granulats lorsqu'ils sont dégagés par un traitement de surface.

La granulométrie des sables doit être continue pour garantir une bonne homogénéité au mortier de surface. L'utilisation d'éléments naturels, dont la granulométrie n'est pas obligatoirement continue, peut nécessiter une correction par apport de fines. En outre, un léger excédent d'éléments très fins améliore l'aspect final.

Les sables peuvent être calcaires ou siliceux. Mais l'utilisation d'un sable siliceux a montré, en général, une meilleure durabilité de la texture de surface. Par contre, ils peuvent contenir parfois une faible proportion de particules métalliques, suffisant cependant à provoquer une oxydation, à terme, entraînant des taches sombres à la surface du béton.

Enfin, les sables doivent être propres, sans traces de matières argileuses préjudiciables à l'adhérence, ou de matières organiques. Ces dernières, provenant de terres arables, peuvent bloquer les réactions d'hydratation du ciment.

● les granulats

Le béton désactivé s'accommode assez bien de différents types de granulats, pour autant que ces matériaux répondent à certains critères techniques concernant, notamment, la granularité, la forme et la propreté.

Pour la voirie à faible trafic, les qualités des granulats sont moins contraignantes que pour les routes très fréquentées. On peut admettre tous les matériaux non gélifs et de dureté suffisante (coefficient Los Angeles L.A. ≤ 40).

On peut utiliser indifféremment, en fonction des disponibilités et de l'aspect recherché, les granulats roulés ou concassés. Ils devront cependant avoir un coefficient de forme convenable : éviter les granulats en plaquettes ou en aiguilles. Il est préférable d'utiliser des granulats de dimensions pratiquement constantes afin de rendre l'aspect et la teinte finaux très homogènes. La dimension maximale des granulats doit être de préférence limitée à 20 mm, voire même 14 mm.

Les granulats peuvent être d'origines diverses : calcaires, siliceux ou de préférence éruptifs ou métamorphiques (basaltes, granits, diorites, porphyres, etc.) à cause de leur grande variété de coloration.

Enfin, les soins à apporter à la propreté des granulats sont les mêmes que pour les sables.

● l'eau

Le rôle de l'eau est d'hydrater le ciment et de procurer au béton une ouvrabilité suffisante pour sa mise en place.

Son dosage, qui doit rester constant d'une gâchée à une autre, a une influence sur la teinte finale du béton. En outre, tout excès d'eau aura pour effets une augmentation du retrait et une diminution des résistances mécaniques. Il faut donc limiter la teneur en eau du béton au minimum compatible avec sa bonne mise en œuvre et l'obtention de bonnes performances mécaniques. Le dosage en eau d'un béton routier est évalué par le rapport eau/ciment noté E/C. Pour un béton désactivé, le rapport E/C se situe généralement entre 0,40 et 0,50.

Enfin, l'eau de gâchage doit être propre et conforme à la norme NF P 98 100.

● les colorants

La coloration du béton peut-être obtenue en ajoutant des pigments au mortier (ciment + sable). Cette coloration doit se combiner avec les couleurs naturelles qu'apportent les granulats dénudés par désactivation.

Il s'agit soit d'oxydes métalliques "naturels" (fer, chrome, titane, cobalt, manganèse), soit de pigments de synthèse fabriqués par voie chimique. En fonction de leur granulométrie, les pigments de teintes identiques ont des pouvoirs colorants différents. Il convient d'en tenir compte pour leur dosage. Il est conseillé de ne pas dépasser 3 % du poids de ciment.

Le comportement dans le temps est très variable suivant la nature des pigments utilisés. Les colorants naturels apportent une variété de teintes subtiles et assurent un bon vieillissement.

● les adjuvants

Incorporés à la masse du béton au moment du malaxage, les adjuvants ont pour rôle d'améliorer les caractéristiques des bétons ou de faciliter leur mise en œuvre.

En plus des adjuvants qui sont normalement prescrits pour les bétons routiers et qui sont :

- obligatoirement, des entraîneurs d'air pour améliorer la résistance du béton au gel et aux sels de déverglaçage. La teneur en air occlus doit être comprise entre 3 et 6 %,

- fréquemment, des plastifiants réducteurs d'eau pour améliorer, à teneur en eau constante, la mise en œuvre du béton,

- parfois, des retardateurs de prise en cas de bétonnage par temps chaud, ou des accélérateurs de prise en cas de bétonnage par temps froid,

il est parfois intéressant, pour des raisons pratiques et esthétiques, d'incorporer dans le béton un adjuvant colorant multifonctionnel (Chromofibre, fabriquée et commercialisée par la société Pieri) qui permet, grâce aux fibres polypropylène qu'il contient, d'augmenter la capacité du béton vis-à-vis des diverses sollicitations (trafic, gradient thermique, retrait...).

● formulation du béton

Bien que des résultats intéressants puissent être obtenus à partir d'un béton de formulation courante, il peut y avoir lieu de mettre en œuvre un béton de composition particulière, suivant l'aspect recherché et les granulats disponibles ; en particulier, le dosage en granulats sera de 1 200, voire 1 350 kg/m³ (soit 2/3 granulats, 1/3 sable).

L'étude de formulation dépend du volume du chantier à réaliser. Dans le cas de petites voiries à faible trafic, l'étude peut-être limitée à la vérification des caractéristiques mécaniques du béton en laboratoire et à la vérification de l'aspect de surface du béton par exécution de planches d'essais.

Pour assurer une grande homogénéité de teinte des bétons désactivés, il est conseillé de faire des mélanges des différentes granulométries provenant, par concassage, d'un même gisement, et d'employer les sables résiduels.

Il est à noter que la plupart des centrales BPE ont étudié des compositions de bétons routiers, conformes aux réglementations, adaptés à la technique du béton désactivé, suivant l'aspect recherché et les granulats disponibles.



Béton désactivé en centre ville.



Parking en béton désactivé.



Mise en œuvre au vibro-finisser.



Mise en œuvre à la règle vibrante.

Mise en œuvre

● le bétonnage

La mise en œuvre a une grande importance sur le résultat final. Différents procédés de mise en œuvre existent. Le choix de l'un ou l'autre de ces procédés se fait en tenant compte du type de chantier à réaliser, de la nature du trafic prévu et de la consistance du béton utilisé.

Les bétons à consistance courante

● Pour les chaussées subissant un trafic, il est nécessaire de vibrer pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques. Deux cas se présentent :

- si le béton est plastique ($\text{slump} > 5$), on vibrera une première couche égale aux $2/3$ de l'épaisseur totale. On limitera la vibration sur le tiers supérieur pour éviter la ségrégation et la remontée excessive de laitance qui est néfaste pour la désactivation ;

- si le béton est ferme ($\text{slump} < 5$), la vibration se fera sur toute l'épaisseur de la couche de béton.

● Pour les trottoirs ou les aménagements urbains sans trafic, l'emploi d'un matériel vibrant peut-être évité, à condition de veiller à incorporer dans le béton un plastifiant facilitant sa mise en œuvre et de prendre en compte, dans le dimensionnement, de la perte de résistance occasionnée par le manque de pervibration.

Les bétons à consistance fluide, apportée par l'utilisation d'un fluidifiant ou d'un superplastifiant, recevront une légère pervibration.

● la finition

Après le coulage du béton, la voirie doit présenter une surface bien lisse, exempte de cavités apparentes et de vagues ; un lissage à l'aide d'une taloche ou d'une lisseuse montée sur manche est fortement recommandé.

● l'application du désactivant

Le désactivant doit ensuite être pulvérisé en surface à raison d'un litre pour 4 m^2 , immédiatement s'il n'y a pas de ressurgement d'eau en surface ; le cas échéant, attendre une demi-heure environ pour que la surface devienne mate. Pendant cette opération, le béton ne doit surtout pas avoir commencé sa prise. Pour faciliter la pulvérisation, il est nécessaire d'utiliser une buse suffisamment grosse.

● le lavage

Dans un délai compris entre 8 et 24 heures, l'enlèvement de la laitance superficielle se fera à l'aide d'une machine à pression d'eau. Par temps chaud, il est préférable d'effectuer cette opération soit dès que le



Le talochage manuel.



L'application du désactivant.



Le lavage au "karcher".

béton devient porteur, soit au bout de huit heures minimum. Le lavage doit être poursuivi jusqu'à élimination totale de la laitance non durcie (rinçage sans pression).

CONCLUSION

Le descriptif sommaire de la technique du béton désactivé et les quelques exemples illustrés présentés dans cette documentation sont à replacer face à l'ensemble des spécificités des voiries urbaines et des exigences dévolues aux revêtements, dans une approche moderne de l'aménagement intégrant, bien plus que par le passé, l'ensemble des fonctions, cadres et usages de la voirie.

Le développement très important de cette technique depuis plusieurs années est un des signes concrets qui traduit bien cette prise de conscience vers une recherche d'organisation de l'espace urbain, autant qualitative que quantitative.

Extrait de Routes n° 42 - juin 1992

CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS
7, place de la Défense - LA DÉFENSE 4
92974 Paris-la-Défense Cedex

Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10