

LES REVÊTEMENTS EN BÉTON COLORÉ LAVÉ

INFRASTRUCTURE | DÉCEMBRE 2010

	(94)	Ef2	(G5)
--	------	-----	------

BBSfB

- CONCEPTION ET EXÉCUTION
- COMPOSITION DU BÉTON
- EXEMPLES





(coverfoto's:
'Stadsplein Genk')

La Belgique est un pays où le béton a acquis une place de premier choix dans le domaine de la construction de revêtements routiers. Nous pensons avant tout aux autoroutes et autres routes régionales mais également à une partie des voiries communales et principalement aux voiries agricoles. Une longue durée de vie alliée à un entretien très restreint sont les raisons principales motivant le choix du béton. Et dans la plupart des cas, l'expérience nous a appris qu'il s'agit d'un choix judicieux.

Toutefois, dans un environnement urbain, nous retrouvons un peu moins de revêtements en béton coulé en place. Quant aux routes carrossables, celles-ci sont souvent réalisées en enrobés bitumineux. Pour les zones piétonnes, rues et places, on recourt généralement à des revêtements en éléments préfabriqués en béton ou à la pierre naturelle. C'est dans ce cadre que le marché des pavés en béton a sans cesse continué de se développer. Toutes les formes, dimensions, couleurs et finitions de surface sont à présent disponibles et offrent aux auteurs de projets toutes les possibilités créatives dont ils ont besoin.

Le béton lavé, coloré ou non, offre aux architectes et auteurs de projets une solution très intéressante pour combiner les avantages classiques du béton (durabilité, résistance, absence d'entretien) avec un aspect esthétique. Il est évident que l'image classique du béton comme revêtement de routes carrossables évolue de ce fait vers une image plus moderne du béton comme matériau pour espaces publics.

Le béton lavé se caractérise par un traitement de surface spécifique. Juste après la mise en œuvre du béton, un retardateur de prise de surface est répandu sur le béton frais. Celui-ci empêche le ciment de s'hydrater à la surface et donc le mortier superficiel de se lier. Environ 12 à 24 heures plus tard, la couche de mortier non lié est éliminée par lavage, par exemple à l'aide d'un nettoyeur à haute pression. Cela permet de mettre en valeur les formes et les couleurs des granulats présents à la surface : on parle de dénudage des granulats. Le choix judicieux du type de granulats est par conséquent crucial dans cette technique.

En outre, les couleurs naturelles des granulats peuvent être accentuées par l'incorporation d'un colorant dans la masse du béton. Dans ce cas, on parle de béton lavé coloré. Bien que la présente publication traite de revêtements en béton coulé en place, la technique du béton lavé coloré est également fréquemment utilisée pour les produits préfabriqués, tant pour les pavages que pour les éléments de façade.

Un revêtement en béton lavé coloré possède une importante fonction esthétique en plus d'une fonction structurelle. Cela signifie que les prescriptions du cahier des charges classique pour la construction de routes ne suffisent pas et que des spécifications complémentaires sont nécessaires dans les cahiers spéciaux des charges (*). Sur ce point, le concepteur doit clairement exprimer sa vision du résultat visé, ainsi que les aspects en matière de technologie du béton qui détermineront ce résultat. De plus, une autre attitude est attendue de l'entrepreneur. Il est tenu, durant l'exécution, de tenir compte à tout moment du résultat visuel à atteindre.

(*) Un fichier WORD reprenant les dispositions complémentaires des cahiers des charges types pour les trois Régions peut être téléchargé sur le site de FEBELCEM :

DOMAINES D'APPLICATION

Le béton lavé (coloré) peut s'appliquer à tous les usages possibles, des zones piétonnes légèrement sollicitées aux autoroutes à trafic lourd, tout comme les revêtements à finition classique en dalles de béton. Par commodité, nous utiliserons la répartition simplifiée suivante - voir tableau.

Nous utiliserons notamment cette répartition lorsque nous aborderons la structure du revêtement, la composition du béton et l'exécution.

Domaine d'application	Description	Applications
« Trafic lourd »	À partir de 50 camions > 3,5 tonnes par jour et par sens de circulation	Autoroutes, routes régionales, voiries de transit, voies de bus, etc.
« Trafic modéré »	Trafic de camions occasionnel à modéré, moins de 50 camions > 3,5 tonnes par jour et par sens de circulation	Rues, quartiers, places de marché, parkings, etc.
« Trafic léger »	Trafic léger occasionnel à modéré (voitures particulières)	Chemins et allées piétonnes, pistes cyclables indépendantes, etc.

STRUCTURE DE LA ROUTE

La présente publication ne couvre pas en détail le dimensionnement de la structure de la route, c'est-à-dire la détermination de l'épaisseur du revêtement en béton, et la nature et l'épaisseur des couches sous-jacentes (couche intermédiaire, fondations, sous-fondations) en fonction du support et de la charge

de la circulation. Il est recommandé de faire appel aux conseils d'un spécialiste pour la conception de la structure, en particulier pour les revêtements destinés au trafic lourd. Le tableau ci-dessous présente des structures-type en fonction du domaine d'application :

Domaine d'application	Structure	Commentaire
« Trafic lourd »		<p>Épaisseur du béton : 20 à 25 cm Longueur maximale des dalles : 5 m Épaisseur de la couche bitumeuse : 4 à 6 cm Fondation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25 cm d'empierrement lié au ciment • 20 cm de béton maigre • 15 cm de béton sec compacté <p>Sous-fondation : en fonction de la profondeur de pénétration du gel Goujons obligatoires au niveau des joints de retrait transversaux et présence de la couche intermédiaire bitumeuse afin d'obtenir un bon transfert de charges entre les dalles et d'éviter la mise en escalier des dalles au niveau des joints</p>
« Trafic modéré »		<p>Épaisseur du béton : 16 à 20 cm Longueur maximale des dalles : 4 à 5 m Fondation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25 cm d'empierrement • 20 à 25 cm d'empierrement lié au ciment • 15 à 20 cm de béton maigre <p>Sous-fondation: en fonction de la profondeur de pénétration du gel Goujons ou couche intermédiaire bitumeuse à envisager</p>
« Trafic léger »		<p>Épaisseur du béton : 12 à 16 cm Longueur maximale des dalles : 3 à 4 m Fondation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20 cm d'empierrement • 15 à 20 cm d'empierrement lié au ciment ou de béton maigre <p>Goujons non nécessaires</p>

EXIGENCES EN MATIÈRE DE COMPOSITION DU BÉTON



© Rob Geerinckx

Etant donné que le béton doit présenter un aspect extérieur bien précis, en plus de sa résistance et de sa durabilité, des prescriptions complémentaires seront nécessaires pour la composition du béton afin d'arriver au résultat global souhaité. Tous les composants influencent en effet l'aspect extérieur du revêtement, dans une mesure plus ou moins grande.

Nous allons d'abord aborder certaines exigences quant à la résistance et la durabilité, et ensuite les éléments influençant l'aspect.

SUR LE PLAN DE LA RÉSISTANCE ET DE LA DURABILITÉ

En fonction du domaine d'application, la composition du béton vise à obtenir la résistance nécessaire à la fatigue aux charges du trafic et aux sollicitations climatiques. Mais bien plus que la résistance, c'est la durabilité

visée qui déterminera la composition du béton. Pour ces raisons, les mêmes prescriptions s'appliquent au domaines d'application « Trafic léger » et « Trafic modéré ».

Compte tenu de l'inévitable utilisation d'agents de déverglaçage en période hivernale et du risque d'écaillage de la surface qui s'y rapporte, l'utilisation d'un entraîneur d'air est toujours requise. Celui-ci assure en effet une résistance accrue à l'écaillage dû aux cycles de gel/dégel, ce qui est un prérequis pour une surface conçue sur des bases esthétiques.

Le tableau ci-dessous synthétise les prescriptions générales pour la composition du béton, conformément aux cahiers des charges belges type dans les trois Régions (voir tableau ci-dessous).

Domaines d'application	Prescriptions pour la composition du béton (exécution en une seule couche)	Exigences pour le béton frais et durci
'Trafic lourd'	Min. 400 kg ciment/m ³ Rapport E/C ≤ 0,45	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur minimale en air du béton frais mesurée sur chantier = 3 % • Résistance individuelle minimale à la compression sur carotte après 90 jours d'âge = 50 MPa • Absorption d'eau maximale par immersion sur la tranche supérieure de 5 cm et déterminée à minimum 60 jours d'âge = 6,3 % en moyenne et 6,8 % en individuel
'Trafic modéré'	Min. 375 kg ciment/m ³ Rapport E/C ≤ 0,50	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur minimale en air du béton frais mesurée sur chantier = 3 % • Résistance individuelle minimale à la compression sur carotte après 90 jours d'âge = 40 MPa • Absorption d'eau maximale par immersion sur la tranche supérieure de 5 cm et déterminée après 60 jours d'âge = 6,3 % en moyenne et 6,8 % en individuel
'Trafic léger'	Identique aux prescriptions « Trafic modéré »	Identique aux prescriptions « Trafic modéré »

A noter que des compositions de bétons colorés lavés pour réparations rapides qui peuvent être mis en service après 72 voire 36 heures sont également possibles..

Par ailleurs, les exigences additionnelles suivantes sont également valables pour les constituants :

Constituants	Exigences ou recommandations	Normes
Eau	Eau de distribution ou eau d'autre origine contrôlée (cours d'eau, eau de puits, eau de recyclage, etc.)	NBN EN 1008
Ciment	Ciment Portland CEM I ou ciment de haut fourneau CEM III/A d'une classe de résistance 42,5, N (normal) ou R (rapide), et toujours LA (avec une teneur en alcalis limitée) afin d'éviter des dégâts dus à la réaction alcali-silice : CEM I 42,5 R LA ou CEM III/A 42,5 N LA Pour des réparations rapides, utilisation d'un ciment CEM I 52,5 LA	NBN EN 197-1 NBN B12-109
Sable	De préférence, gros sable de rivière ou de mer 0/2 ou 0/4 Exigences d'après les cahiers des charges-type pour : <ul style="list-style-type: none"> • la teneur en particules fines ($< 0,063$ mm) ≤ 3 % • la teneur en ions chlore $\leq 0,06$ % • la teneur en éléments coquilliers du sable de mer ≤ 10 % Faible quantité de sable pour limiter la demande en eau du béton et augmenter ainsi sa durabilité	NBN EN 12620
Gravillons	Diamètre maximal du gravillon : 31,5 mm Exigences d'après les cahiers des charges-type pour : <ul style="list-style-type: none"> • la teneur en particules fines, • la résistance à l'abrasion (coefficient Los Angeles ou LA), • la résistance à l'usure (coefficient Micro Deval en présence d'eau ou MDE), • la résistance au polissage (Polished Stone Value ou PSV), • le coefficient d'aplatissement (Flatness Index ou FI), • la teneur en ions chlore, • la teneur en coquillages, • la résistance au gel-dégel 	NBN EN 12620
Adjuvants	Plastifiant et éventuellement superplastifiant à doser en fonction de l'ouvrabilité souhaitée. Entraîneur d'air à doser en fonction d'une teneur en air occlus du béton frais de minimum 3 % sur chantier. La compatibilité des différents adjuvants doit être examinée dans l'étude du béton.	NBN EN 934-2
Colorants	Colorants minéraux (ou inorganiques), 2 à maximum 5 % de la masse du ciment afin de limiter la demande supplémentaire en eau par cette fine poudre	NBN EN 12878
Fibres en matière synthétique	Celles-ci peuvent être utilisées comme protection complémentaire contre le retrait du béton en phase plastique. Elles ne remplacent toutefois pas la cure.	

Dans certains cas, une divergence peut être observée entre les exigences mentionnées dans les cahiers des charges-type des trois régions. Ils sont en effet spécifiquement conçus pour « l'exécution standard » des routes régionales. Un bon exemple est la résistance au polissage (PSV) qui doit être supérieure ou égale à 50 conformément aux cahiers des charges-type. L'objectif en est de maintenir une surface rugueuse et sûre pendant des dizaines

d'années. Aux endroits présentant un trafic peu important (quartiers, parkings) ou aux endroits où la vitesse est faible (zones 30) et la distance de freinage est moins importante, le maître d'ouvrage peut envisager d'utiliser un granulat plus tendre, plus polissable, comme le calcaire. Ainsi, l'accent peut se déplacer sur l'aspect esthétique comme la couleur des gravillons.

SUR LE PLAN ESTHÉTIQUE

Dans le cas du béton lavé coloré, l'aspect est déterminé d'une part par les pierres dénudées à la surface et d'autre part par le mortier présent entre ces gravillons. La proportion de gravillons en surface par rapport à la quantité de mortier est fonction de la composition du béton et de la profondeur de dénudage. Le mortier se compose de sable, d'eau, de ciment et éventuellement de colorant. Ainsi, tous les constituants sont plus ou moins déterminants pour l'aspect.

Le tableau suivant analyse l'influence des différents constituants. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que les choix influenceront sur le prix. Pour cet aspect, nous renvoyons au chapitre traitant des considérations financières.

Constituant	Analyse de l'influence
Eau	Une teneur en eau plus faible entraîne une couleur plus sombre du mortier, tandis qu'une teneur plus élevée produira une couleur plus claire. De petites différences n'auront que peu d'influence et ne modifieront pas les exigences de durabilité.
Ciment gris	La couleur du ciment de haut fourneau (CEM III/A) est plus claire que celle du ciment Portland (CEM I) et produit également un mortier plus clair. Si l'on utilise des colorants, la teinte sera également plus intense avec du ciment de haut fourneau qu'avec du ciment Portland.
Ciment blanc	Le ciment blanc produit non seulement un béton blanc mais accroît aussi nettement l'intensité d'un béton coloré. Ainsi, même un béton noir aura une couleur plus accentuée avec un ciment blanc qu'avec un ciment gris. De plus, de par le pouvoir réfléchissant plus important qu'apporte un revêtement blanc, l'utilisation d'un ciment blanc augmente la visibilité et donc offre une grande sécurité pour les usagers.
Sables	Si un colorant est utilisé, l'influence du sable diminuera et il est recommandé de suivre les exigences de durabilité à la lettre (cfr pages précédentes). Sans colorant, le sable possède tout de même une influence notable sur la couleur du mortier et il est nécessaire d'adapter les exigences le cas échéant. Un sable brun clair, par exemple un sable de Meuse, produira une teinte plus beige. Pour des surfaces plus sombres, une quantité restreinte de sable de concassage calcaire peut éventuellement être utilisée. Le sable de concassage de pierres colorées peut s'employer pour atteindre l'homogénéité des pierres mêmes. Cependant, le recours au sable de concassage est déconseillé pour des raisons de durabilité (demande en eau plus élevée). La fraction entre 2 et 4 mm d'un gros sable de rivière peut parfois gêner l'aspect extérieur d'un béton coloré, en particulier s'il est dénudé sur une faible profondeur, de sorte que la fraction de mortier a une influence relativement grande par rapport aux gravillons.
Gravillons	L'influence des gravillons est d'autant plus grande lorsqu'on souhaite voir apparaître une grande quantité de grosses ou petites pierres à la surface et inversement. En fait, le rapport G/S (quantité de gravillons par rapport à la quantité de sable) ou G/G+S (quantité de gravillons par rapport à la totalité du squelette inerte du béton) est le facteur déterminant. De même, la dimension maximale des gravillons D_{max} peut être adaptée en fonction de la texture désirée. Ce point est étudié davantage dans le chapitre sur la composition des bétons. Des pierres belges « locales » (calcaire (PSV < 50 !), porphyre, gravier concassé, gravier roulé ou grès) peuvent être choisies. Toutefois, il n'est pas possible d'obtenir une teinte uniforme à base de gravier. Les couleurs varieront du blanc au noir en passant par le jaune, ocre, brun, gris, etc. Pour les gravillons présentant une couleur plus uniforme, il est principalement fait appel à des pierres importées.

Quelques exemples :

- quartz blanc ou blanc-jaune
- granite rouge-brun
- porphyre rouge à rouge-brun
- granite jaune
- basalte noir
- ...

Il convient toujours d'examiner si ces gravillons satisfont aux exigences fixées dans les cahiers des charges ou, le cas échéant, si ces exigences peuvent être adaptées quand le côté esthétique prime sur d'autres objectifs.

Adjuvants

Ceux-ci n'ont aucune influence directe sur l'apparence du béton lavé coloré.

Colorants

La coloration du mortier par l'incorporation d'un colorant est la manière la plus simple pour rompre la couleur grise du béton (2 à 3 % de colorant suffiront) ou même la remplacer par une teinte plus prononcée (4 à 5 %). Afin d'obtenir des couleurs encore plus prononcées comme le noir, il peut être nécessaire d'appliquer des pourcentages plus élevés (6 à 8 %). Mais dans ce cas, le béton requerra davantage d'eau, ce qui nuira à sa durabilité. Les pourcentages mentionnés représentent la quantité de colorant (en matière sèche) par rapport à la quantité de ciment.

Les colorants se présentent sous différentes formes :

- sous forme de poudre
 - avantage : forme la plus courante et la moins chère, nombreuses couleurs disponibles
 - inconvénient : production de poussières
- sous forme liquide
 - avantage : nombreuses couleurs disponibles, bien dosable ; simplifie le mélange ; le mélange dans le camion malaxeur est aussi possible
 - inconvénient : nécessite une pompe équipée d'un dispositif de dosage
 - 1 % de poudre = 0,6 % de colorant liquide. Si le colorant est dosé sous forme liquide, la quantité doit être 2 à 3 % supérieure à celle prescrite pour le dosage sous forme de poudre.
- sachets dissolubles dans l'eau 'Cold Water Soluble Bags'
 - avantage : facile à travailler, mélange dans le camion malaxeur possible
 - inconvénient : moins de couleurs disponibles
 - inconvénient : la quantité de colorant présente dans les sachets ne correspond pas toujours à la teneur en ciment du béton

Les colorants peuvent avoir une origine organique ou minérale (synthétique ou naturelle). Des colorants organiques requièrent une manipulation prudente. Leur coloration est moins stable qu'avec les colorants inorganiques. Ils peuvent même entraîner une perte significative de la résistance au gel du béton, même en observant le dosage très faible recommandé (maximum 1 %). Les colorants minéraux d'origine naturelle ont un pouvoir colorant moins marqué. C'est pourquoi il est recommandé de ne travailler qu'avec des pigments minéraux (ou inorganiques) synthétiques.

Les colorants synthétiques minéraux les plus fréquents sont les suivants :

- gris à noir : oxyde de fer Fe_3O_4 – magnétite
- rouge : oxyde de fer Fe_2O_3 – hématite
- blanc : oxyde de titane TiO_2
- jaune à brun : oxyde de fer hydraté $FeO(OH)$
- vert : oxyde de chrome (Cr_2O_3)
- bleu : oxyde à base de cobalt



Lanaken



Lanaken: filet d'eau central

POSE EN UNE OU DEUX COUCHES

La pose en deux couches est spécifique à la réalisation du béton lavé coloré. Comme le prix des gravillons colorés nobles ainsi que du colorant nécessaire est relativement élevé, ceux-ci ne sont prévus que dans une couche de finition de 4 à 7 cm d'épaisseur. La couche inférieure de 10 à 20 cm est appliquée à l'aide d'un béton routier classique gris, donc moins cher. Afin de garantir une bonne adhérence entre les deux couches, celles-ci doivent être appliquées frais sur frais, c'est-à-dire que la couche de finition doit être appliquée le plus rapidement possible (à savoir dans les

30 minutes) après la couche inférieure. Lors du compactage de la couche supérieure, l'entrepreneur doit agir prudemment, pour que le béton gris de la couche inférieure ne remonte pas et ne se mélange pas avec la couche de finition. C'est pourquoi il vaut mieux compacter la couche inférieure dans la masse avec des aiguilles vibrantes et la couche de finition à l'aide d'une poutre vibrante en surface.

Les avantages et inconvénients d'un système à une couche et à deux couches sont exposés ci-dessous.

Avantages et inconvénients des concepts monocouche et bicouche

p. ex. 20 cm	p. ex. couche de finition de 5 cm sur couche inférieure de 15 cm
<ul style="list-style-type: none"> + une seule composition de béton + une seule mise en œuvre + simplicité de la mise en œuvre - utilisation de matériaux plus chers sur toute l'épaisseur (colorant, ciment blanc, gravillons colorés) 	<ul style="list-style-type: none"> + matériaux plus chers uniquement dans la couche supérieure (= économies) + utilisation éventuelle de granulats recyclés nobles de bétons concassés pour la couche inférieure (= économies + meilleur score écologique) + couche supérieure caractérisée par un aspect plus homogène et plus esthétique après dénudage - 2 compositions de béton - 2 mises en œuvre - exécution plus délicate 'frais sur frais'

L'exécution plus difficile d'un revêtement bicouche, particulièrement en ce qui concerne la production, l'approvisionnement et la mise en œuvre de deux types de béton sur un chantier d'une ampleur souvent limitée, ne rend pas toujours cette solution très pratique.

C'est pourquoi une solution de substitution a été développée au travers d'une mise en œuvre en une seule couche avec une composition de béton contenant un surdosage en petites pierres (ce sujet est traité plus loin dans le chapitre traitant des compositions de béton).

POSE ENTRE COFFRAGES FIXES OU À L'AIDE D'UNE MACHINE À COFFRAGES GLISSANTS

Pour ce qui est de la mise en œuvre, il n'existe pas de différence substantielle par rapport aux prescriptions et règles de bonne pratique pour un revêtement en béton classique. Tant la pose à la machine à coffrages glissants pour de grandes surfaces qu'une pose manuelle sont possibles. Lors d'une mise en œuvre entre coffrages fixes, l'utilisation d'une poutre vibrante offre généralement un résultat plus homogène qu'un compactage à l'aide d'aiguilles vibrantes. Celles-ci peuvent, en effet, donner des différences relativement sensibles après dénudage.

Pour le domaine d'application « Trafic lourd », l'utilisation d'une machine à coffrages glissants doit s'imposer, sauf pour les faibles longueurs et surfaces de forme irrégulière comme celles à hauteur de raccords et croisements, où l'on peut travailler avec une double poutre vibrante et des aiguilles vibrantes. De même, pour les revêtements des routes à trafic modéré et léger, la machine à coffrages glissants constitue souvent la solution la plus rentable et la plus qualitative. Pour travailler avec une machine à coffrages glissants, un squelette granulométrique continu est nécessaire. Il ne subira pas de ségrégation durant la mise en œuvre et permettra de réaliser une dalle avec de beaux bords droits. Cependant, la texture souhaitée requiert parfois un squelette granulométrique discontinu avec un excès en petits ou gros gravillons. Dans ce cas, on peut uniquement travailler de manière manuelle entre des coffrages fixes. Ces compositions de béton continues ou discontinues sont décrites au chapitre traitant des compositions de béton.

Pour les places et zones piétonnes, de belles réalisations sont possibles en combinant d'autres matériaux. En France, on utilise à cet égard le mot « calepinage ». Il s'agit d'un concept où différentes dalles de béton sont bordées et séparées l'une de l'autre par des bandes d'un autre matériau. Nous pensons à de petits éléments comme les pavés en béton, les pavés en terre cuite, ou en pierres naturelles ou à des éléments linéaires en béton ou en pierre naturelle et aussi à des poutres en bois. Ces possibilités étendues de combinaisons de matériaux permettent de renforcer les contrastes entre différentes surfaces et de rompre la monotonie de surfaces trop grandes en un seul matériau. De plus, ces bandes linéaires permettent de prolonger les lignes des façades des bâtiments et peuvent relier des surfaces de texture ou couleur différente. Sur le plan technique, les phénomènes de retrait et de dilatation des surfaces en béton sont de ce fait évités.

Le calepinage est généralement placé en premier lieu, soit dans un lit de mortier ou béton riche, soit fixé solidement d'une autre manière dans le support, afin que ces matériaux puissent servir de coffrage pour le coulage du béton frais. Il est crucial de conserver une épaisseur constante de béton contre les éléments de coffrage afin d'empêcher toute fissuration. Afin de conserver les éléments de coffrage propres, ceux-ci doivent être traités avant le bétonnage à l'aide d'un produit de protection ou doivent être recouverts d'une membrane plastique.



1



2



3



4



5

1. Mise en œuvre de la couche inférieure d'un revêtement bicouche
2. Mise en œuvre de la couche de finition d'un revêtement bicouche
3. Mise en œuvre entre coffrages fixes à l'aide d'une poutre vibrante
4. Mise en œuvre à l'aide d'une machine à coffrages glissants
5. Poutres en bois comme bordure et coffrage (Étretat, France)

ARMATURES



Berceaux à goujons
© Rob Geerinckx



Fibres synthétiques remplaçant une armature en acier

En ce qui concerne les armatures, aucune différence n'est également observée par rapport aux applications classiques des revêtements en dalles de béton. Les principes de base sont brièvement abordés ci-dessous.

GOUJONS, BARRES D'ANCRAGE

Les goujons sont des barres rondes et lisses (diam. 25 mm, longueur 600 mm) posées dans les joints de retrait transversaux afin de garantir un transfert de charges entre les différentes dalles. Ils permettent d'éviter la mise en escalier des dalles à hauteur des joints. Pour les revêtements soumis à un trafic lourd, l'utilisation de goujons est une nécessité absolue. Il est possible de les poser sur des berceaux à goujons ou de les intégrer directement par vibration dans le béton frais si la machine à coffrages glissants est équipée d'un dispositif pour insérer des goujons.

Les barres d'ancrage sont des barres d'armature en acier crénelées (diam. 12 ou 16 mm, longueur 750 ou 800 mm) posées dans un joint de flexion longitudinal ou un joint de construction longitudinal afin d'empêcher l'écartement des dalles de béton l'une par rapport à l'autre.

ARMATURE EN TREILLIS

Pour les applications classiques du béton en dalles, où une bonne fondation et une épaisseur adéquate du béton sont prévues, une armature complémentaire pour reprendre les contraintes de traction par flexion n'est pas nécessaire. Les treillis peuvent être posés

comme armature de retrait lorsque des dalles de formes irrégulières sont inévitables, à hauteur des croisements entre autre. L'armature, par exemple $\otimes 10 \times \otimes 10 \times 150 \times 150$ mm, est placée dans la partie supérieure avec un enrobage de 40 mm. Le treillis doit être scié au niveau des joints de retrait transversaux afin de permettre à ceux-ci de fonctionner correctement.

FIBRES D'ACIER

Les fibres d'acier sont régulièrement utilisées dans les sols industriels et revêtements extérieurs, mais rarement dans la construction de revêtements routiers. Pour les applications esthétiques, l'utilisation de fibres d'acier est déconseillée car les fibres qui apparaissent à la surface – aussi rares qu'elles soient – sont soumises à la formation de rouille. Pour une surface lavée, les fibres d'acier ne conviennent en aucun cas.

FIBRES EN MATIÈRE SYNTHÉTIQUE

En plus des fines fibres en polypropylène qui doivent diminuer le retrait plastique, il existe aussi des fibres synthétiques plus grandes possédant un pouvoir de renforcement structurel. Elles s'avèrent utiles quand les treillis en acier ne sont pas admis en raison de leur interférence avec les systèmes de guidage ou de détection (voies de tram par exemple). De même, ces fibres en matière synthétique seront partiellement visibles à la surface et risqueront de gêner l'aspect désiré.



Joint de construction en acier Corten



Emplacement des joints



Profilé en PVC dans un joint de retrait (Abbeville, France)

JOINTS

Sur le plan fonctionnel, les exigences en matières de joints transversaux (joints de retrait, joints de construction, joints de dilatation) et longitudinaux (joints de flexion, joints de construction) ne diffèrent pas de ce qui est prévu dans les cahiers des charges- type. Au niveau esthétique, on peut

avoir d'autres attentes par rapport aux joints ou au tracé des joints. Ainsi, il convient de veiller à retirer immédiatement de la surface la laitance de béton découlant du sciage afin d'éviter toute souillure. D'autres aspects concernant les joints sont résumés dans le tableau suivant.

Aspect souhaité des joints et/ou du tracé des joints	Solution possible
Moins de joints que ce qu'il est fonctionnellement nécessaire	Augmenter la distance entre les joints entraîne des risques de fissuration indésirables. Une solution consiste à fortement armer le revêtement en béton. Avec un taux d'armature de 0,60 % dans les deux directions, il est possible de réaliser des surfaces de 20 x 20 m ² . Pour des surfaces encore plus grandes, il convient de porter ce taux d'armature à 0,80 % ou plus, afin de réaliser un béton armé continu, ce qui rendra fines et invisibles ou à peine visibles les éventuelles fissures. La conception d'un tel revêtement requiert l'assistance d'un expert.
Plus de joints que ce qu'il est fonctionnellement nécessaire	Des joints de retrait transversaux supplémentaires peuvent influencer négativement le comportement du revêtement. C'est pourquoi il est conseillé de prévoir des 'faux joints' supplémentaires entre les joints fonctionnellement nécessaires. Ceux-ci ne sont pas sciés jusqu'à 1/3 de l'épaisseur du béton mais seulement sur une profondeur de 1 à 2 cm, afin qu'ils ne jouent pas le rôle d'amorce de fissuration.
Angles aigus	En principe, les angles aigus sont absolument à éviter dans le plan des joints. Lorsqu'ils sont souhaités pour des raisons esthétiques, les mesures suivantes sont possibles : <ul style="list-style-type: none"> • placez-les si possible dans des zones non soumises à des charges ; • placez une armature de retrait au-dessus du revêtement en béton (enrobage 40 mm), minimum 0,25 % ou diamètre de 10 mm tous les 150 mm ; • réalisez un 'faux joint'.
Position	Lorsque l'emplacement des joints est motivé par des raisons esthétiques, il convient de le mentionner de manière explicite sur le plan des joints avec indication claire de leur emplacement. Ces exigences doivent être compatibles avec le plan des joints fonctionnels.
Linéarité	Lorsque la linéarité des joints joue un rôle esthétique prépondérant, le cahier spécial des charges doit mentionner les écarts maximaux autorisés, ainsi que les mesures que le maître d'ouvrage prendra en cas de divergence (amende, démolition des pièces adjacentes).
Largeur	On peut choisir soit des joints fins discrets, soit des joints larges visibles. La solution minimale se compose d'un sciage unique de 3 mm de large sans chanfrein. Ces joints ne sont généralement pas scellés. Éventuellement, ils peuvent être scellés par un mastic en polyuréthane incolore. Pour la solution large, le sciage peut être élargi à l'aide d'une gorge jusqu'à une profondeur normale de 8 à 10 mm ou jusqu'à 25 mm. Des gorges plus larges compliquent le maintien en place de la masse de scellement.
Couleur	Les produits de scellement classiques (profilés à chaud ou à froid, préformés) sont noirs. Si l'on souhaite une couleur correspondant au revêtement (jaune, brun, rouge, ou éventuellement incolore), il convient de recourir à des mastics élastiques de colmatage, principalement à base de polyuréthane (PU).
Matériau	Comme décrit ci-avant (pose entre coffrages fixes), il est possible de réaliser les joints à l'aide de différents matériaux, employés comme coffrages perdus. Il est possible d'utiliser de manière visible des pavés en béton, en pierre naturelle, des profilés en acier, des poutres en bois, etc. ou de manière discrète des profilés en PVC qui se positionneront dans les joints et ne présenteront qu'un joint fin à la surface.

DÉNUDAGE DE LA SURFACE

La technique du dénudage chimique (utilisation d'un retardateur de prise pour éliminer par la suite la couche de laitance en surface) est une technique développée en Belgique. Ce procédé est systématiquement utilisé dans notre pays comme traitement de surface sur les autoroutes et autre voies rapides, afin de réaliser un revêtement en béton plan, rugueux et silencieux et d'offrir confort et sécurité aux utilisateurs de la route. Le dénudage ou brossage de la surface s'effectue à l'aide d'une balayeuse équipée d'un système de pulvérisation d'eau et d'une brosse rotative. Il s'agit assurément de la méthode la plus rentable pour de grandes surfaces. Cependant, lors du brossage, une partie de la laitance se redépose souvent en surface du revêtement. C'est pourquoi il est absolument recommandé d'utiliser, pour des revêtements esthétiques, un nettoyeur à haute pression qui permettra d'éliminer complètement le mortier et la pâte de ciment non durcis. Combiner une balayeuse et un nettoyeur à haute pression est également possible pour concilier rendement et résultat.

Différents types de retardateurs de prise sont disponibles sur le marché, généralement classés par les producteurs en fonction de la profondeur de dénudage ou de la taille des granulats du béton. Ces données doivent cependant être interprétées avec circonspection. En effet, la profondeur de dénudage indiquée est le plus souvent inférieure à la profondeur de texture finalement atteinte. Et quand le calibre des granulats est mentionné, ce sont les pierres en surface qui sont déterminantes. Quoi qu'il en soit, il convient toujours de prévoir des planches d'essais et/ou des tronçons expérimentaux. La profondeur de dénudage n'est pas tant déterminée par la quantité de produit pulvérisée que par le type de retardateur, la température extérieure, le moment d'application et le moment du dénudage. La température ambiante est décisive pour déterminer le moment de dénudage. La consommation recommandée est de 200 à 250 g/m².

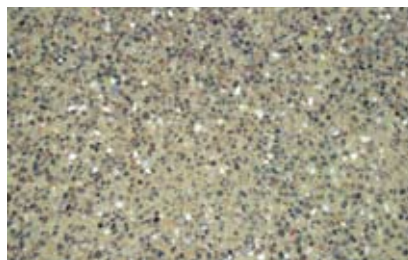
Bien que la plupart des produits de dénudage soient inoffensifs pour l'environnement, il est recommandé de récupérer la laitance et de tout mettre en œuvre pour qu'elle ne pénètre pas dans les avaloirs.



1



2



3



4



5



6

1. Pulvérisation du retardateur de prise
- 2, 3, 4. Dénudage à l'aide d'un nettoyeur à haute pression
© Rob Geerinckx
5. Différentes profondeurs de dénudage en recourant à différents retardateurs de prise
6. Dénudage, récupération de la laitance et nettoyage du revêtement adjacent

PROTECTION DU BÉTON CONTRE LA DESSICCATION (CURE)

Afin d'éviter les conséquences néfastes de la dessiccation et de la fissuration (fissures de retrait ou fissures dues au vent, perte de durabilité), il est nécessaire de protéger le béton durant l'hydratation et sa phase plastique. Dans des conditions ambiantes normales, la protection doit être maintenue durant 72 heures (3 jours). Dans le cas d'un béton dénudé, la protection contre la dessiccation consiste à le recouvrir d'une membrane en plastique immédiatement après la pulvérisation du retardateur de prise en surface. Il s'agit d'une méthode de cure particulièrement efficace. La membrane en plastique est généralement sciée en même temps que les joints. Idéalement, une nouvelle bande étroite en plastique est placée sur le joint et lestée. Après le dénudage, il convient de protéger davantage la surface en pulvérisant un produit de cure ('curing compound'). Afin de ne pas perturber l'aspect, on travaillera avec un produit de cure incolore sans pigments.

Il existe également des retardateurs de prise de surface qui fonctionnent également comme produit de cure. L'efficacité de tels produits doit toutefois être démontrée. Il vaut mieux limiter leur utilisation à des cas strictement nécessaires où la pose d'une membrane en plastique est impossible.

PROTECTION DE LA SURFACE CONTRE LE SALISSEMENT ET/OU L'ÉCAILLAGE

Lorsqu'un beau résultat est obtenu, le maître d'ouvrage souhaitera le maintenir le plus longtemps possible en l'état. Suite à l'exposition aux intempéries et à cause du trafic, la surface s'encrassera inévitablement. Naturellement, les surfaces de couleur claire y sont particulièrement sensibles. Un autre problème est l'écaillage possible de la surface et la perte de gravillons par l'action du gel combiné aux sels de déverglaçage. Cela peut être dû à des erreurs dans la composition ou la mise en œuvre du béton et se manifeste principalement dans le cas de surfaces posées à la main.

Une protection efficace contre le salissement et/ou l'écaillage dus aux sels de déverglaçage consiste en l'application d'un produit d'imprégnation. Ce produit est en réalité un agent hydrophobe, le plus souvent à base de silanes, de siloxanes ou de silicates, qui empêche la pénétration d'eau et de sels de déverglaçage. Il s'agit généralement de produits devenant incolores après séchage. Il est, toutefois, recommandé de réaliser un essai sur une petite surface. Sur un revêtement en béton neuf, le produit d'imprégnation est appliqué après au moins quatre semaines et après brossage de la surface afin d'éliminer la pellicule de curing compound. Deux couches sont pulvérisées avec un faible intervalle de temps. Si l'on poursuit la cure après le dénudage à l'aide d'une membrane en plastique au lieu du curing compound, il est possible d'appliquer le produit trois jours après le coulage du béton. La durée de fonctionnement d'un tel produit d'imprégnation est évaluée à 5 ans.

Le traitement peut également être appliqué dans le cas d'un béton déjà légèrement attaqué, afin de prévenir tout écaillage supplémentaire. Étant donné que le béton n'est généralement sensible qu'en surface, en cas d'attaque sévère, la texture de surface peut être rétablie en premier lieu (p.ex. par fraisage fin). Dans le pire des cas, les dalles attaquées seront remplacées.

L'application d'un produit d'imprégnation offre une protection complémentaire en surface mais ne peut jamais constituer un prétexte pour utiliser un béton de moindre qualité.

TYPES DE COMPOSITION DE BÉTON

Composition de béton 0/20 ou 0/14 avec squelette granulométrique continu mais surdosage en gravillons plus petits – Domaine d'application : trafic lourd

Ce béton est de nos jours prescrit comme béton silencieux pour les autoroutes et les routes régionales à trafic important. La dimension maximale des granulats est limitée à 20 ou 14 mm et un surdosage est prévu en granulats 4/6,3 mm (ou 4/8 ou 4/10). Les gros gravillons descendent par vibration et les petits gravillons en surnombre restent à la surface, où ils apparaîtront après le dénudage. Cette caractéristique est particulièrement utile pour la réalisation d'un béton lavé coloré à une seule couche avec de petits gravillons colorés et de grandes pierres classiques, ce qui représente une solution de substitution économique à un revêtement bicouche. Ce béton peut être mis en œuvre tant à la machine qu'à la main.

Prescriptions de base pour la composition du béton :

- Teneur en ciment $\geq 400 \text{ kg/m}^3$ (teneur en ciment plus élevée pour un D_{max} plus faible)
- Rapport eau/ciment $\leq 0,45$
- $D_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$ ou 14 mm
- La fraction 4/6,3 s'élève à minimum 20 % de la totalité du squelette inerte OU la fraction 4/8 s'élève à minimum 25 % de la totalité du squelette inerte
- Éviter ou minimiser la fraction 2/4
- Entraîneur d'air obligatoire

Composition de béton 0/20 ou 0/14 avec squelette granulométrique continu mais surdosage en gravillons plus petits – Domaine d'application : trafic léger ou modéré

Il s'agit d'un béton fortement comparable au précédent, mais il s'applique plutôt à des routes secondaires et locales, des rues, places, etc.

Prescriptions de base pour la composition du béton :

- Teneur en ciment $\geq 375 \text{ kg/m}^3$
- Rapport eau/ciment $\leq 0,50$
- $D_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$ ou 14 mm
- La fraction 4/6,3 s'élève à minimum 20 % de la totalité du squelette inerte OU la fraction 4/8 s'élève à minimum 25 % de la totalité du squelette inerte
- Éviter ou minimiser la fraction 2/4
- Entraîneur d'air obligatoire

Composition de béton 0/31,5 pour la couche inférieure d'un revêtement en béton bicouche

Lorsqu'on travaille en bicouche, la couche inférieure se composera d'un béton gris possédant des caractéristiques qui reposent sur celles de la couche superficielle afin d'obtenir au final un ensemble solidaire. C'est pourquoi un entraîneur d'air doit aussi être prévu dans la couche inférieure. Étant donné que ce béton n'apparaît pas en surface, sa rugosité n'est pas concernée et des gravillons plus économiques peuvent donc être utilisés. Il peut même s'agir de recyclés de béton concassé de haute qualité, ce qui permet de qualifier ce type de revêtement d'écologique et de l'appliquer dans le cadre de la construction durable.

La mise en œuvre s'effectue de préférence par machine à coffrages glissants. Dans le cas d'une pose manuelle ou si des goujons sont intégrés par vibration dans le béton frais, mieux vaut prévoir un D_{max} de 20 mm.

Prescriptions de base pour la composition du béton :

- Teneur en ciment $\geq 375 \text{ kg/m}^3$
- Rapport eau/ciment $\leq 0,45$
- $D_{\text{max}} = 31,5 \text{ mm}$ ou 20 mm
- L'utilisation de gravillons calcaire (granulats polissables) est autorisée
- Pour la fraction entre 6,3 et 31,5 mm, l'utilisation de recyclés de béton concassé de haute qualité (provenant de préférence du broyage sélectif de revêtements en béton) est permise
- Entraîneur d'air obligatoire

Composition de béton o/6,3 (ou o/8 ou o/10) pour la couche supérieure d'un revêtement en béton bicouche

En travaillant en deux couches, les granulats nobles peuvent être réservés à la couche superficielle. En règle générale, la planéité du revêtement sera meilleure car la masse de béton à mettre en œuvre dans cette mince couche supérieure est moins grande.

La mise en œuvre est possible, par voie tant mécanique que manuelle. Lors de la pose, il convient de veiller à ce que la couche inférieure ne remonte pas dans la couche de finition.

Prescriptions de base pour la composition du béton :

- Teneur en ciment $\geq 425 \text{ kg/m}^3$
- Rapport eau/ciment $\leq 0,42$
- $D_{\text{max}} = 6,3 \text{ mm}$ (ou 8 ou 10 mm)
- Entraîneur d'air obligatoire (teneur minimale en air entraîné du béton frais de 5 %, mesurée sur chantier)

Composition de béton o/20 avec squelette granulométrique discontinu et surdosage en gravillons plus petits

Ce béton est comparable à la composition d'un béton o/20 avec un surdosage de petits gravillons, mais dans ce cas, une fraction de gravillons, par exemple ceux entre 8 et 14 mm, est totalement absente. A cause de cette discontinuité le béton ne peut pas être mis en œuvre à l'aide d'une machine à coffrages glissants, il sera compacté par voie manuelle à l'aide d'aiguilles vibrantes. Ce procédé requiert un béton « plastique » facile à travailler obtenu par l'utilisation d'un plastifiant.

Prescriptions de base pour la composition du béton :

- Teneur en ciment $\geq 400 \text{ kg/m}^3$
- Rapport eau/ciment $\leq 0,45$
- $D_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$
- La fraction 4/6,3 s'élève à minimum 20 % de la totalité du squelette inerte OU la fraction 4/8 s'élève à minimum 25 % de la totalité du squelette inerte
- La fraction 6,3/14 (ou 8/14) est totalement absente
- Entraîneur d'air obligatoire

Composition de béton avec squelette inerte discontinu de béton et surdosage en gros gravillons – Domaine d'application : trafic léger ou modéré

Lorsque l'objectif est de réaliser un aspect avec un maximum de gros gravillons (nettement serrés l'un contre l'autre en surface), il faut utiliser un mélange discontinu dans lequel seul des gravillons de gros calibre sont présents. Ce mélange discontinu doit être mis en œuvre manuellement entre coffrages fixes. De plus, il doit être le moins vibré possible afin d'éviter que les gravillons ne s'enfoncent dans la masse du béton. Voilà pourquoi ce béton n'est pas vibré mais entièrement lissé à l'aide d'une règle plate ou d'une poutre sans autre moyen de compactage.

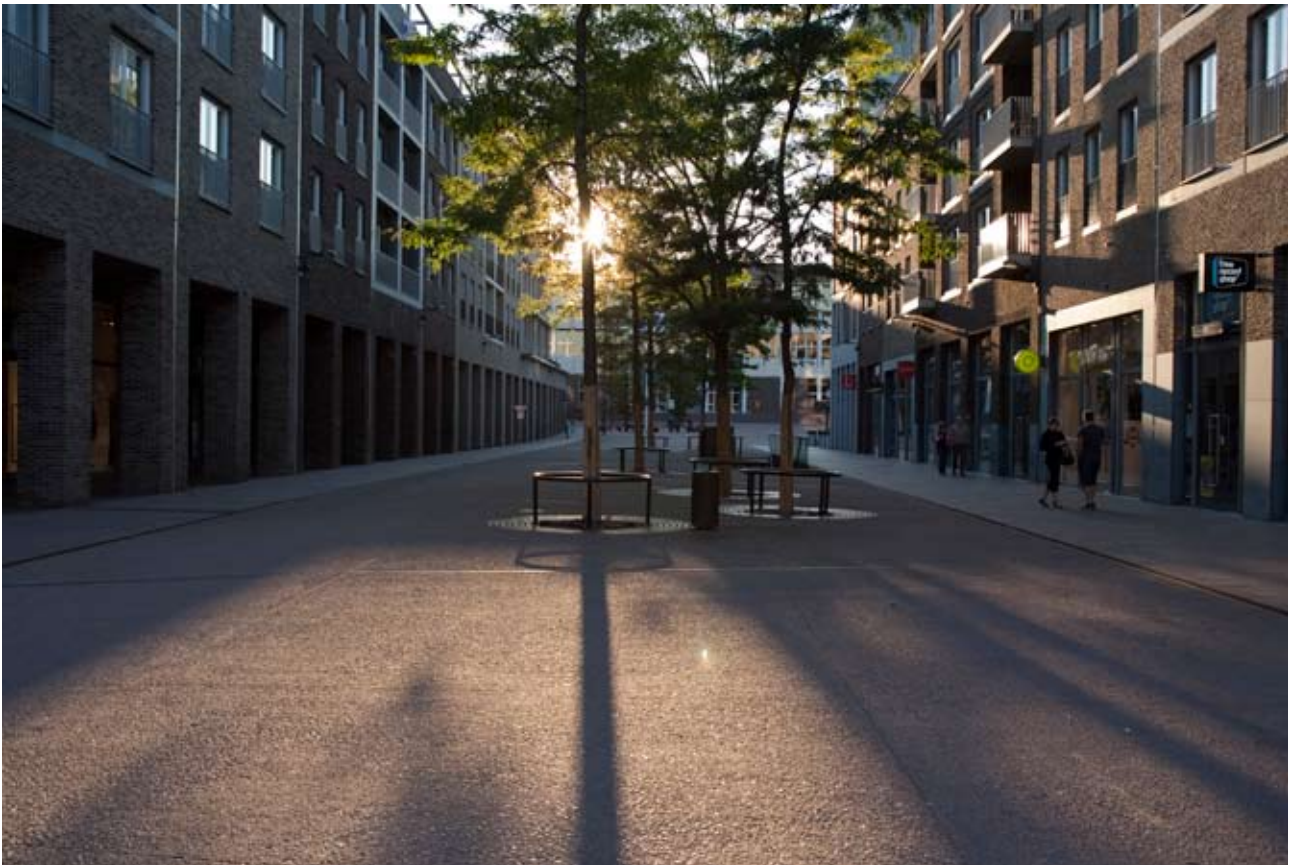
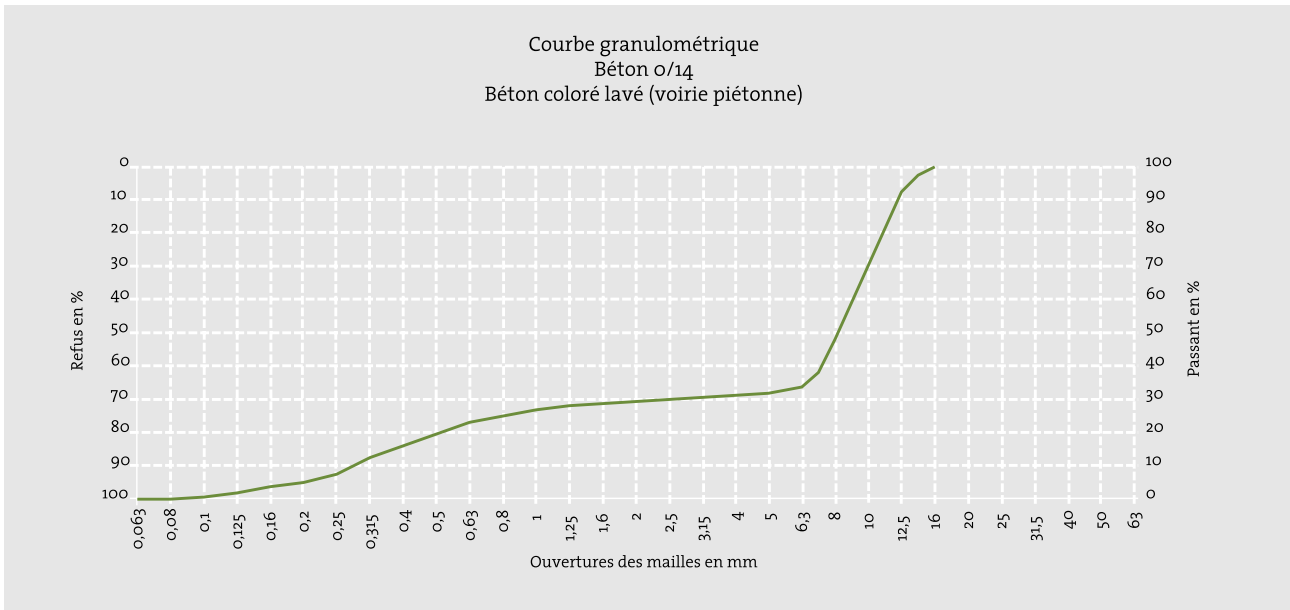
Étant donné que le béton ne peut être davantage compacté après sa mise en œuvre, les essais sur béton durci (résistance à la compression, absorption d'eau, éventuellement résistance au gel/dégel) doivent s'effectuer sur des carottes prélevées d'une dalle d'environ 0,30 x 0,40 x 0,15 m. Cette dalle se compose de béton provenant du chantier et est compactée sur une table vibrante.

Prescriptions de base pour la composition du béton :

- Teneur en ciment $\geq 375 \text{ kg/m}^3$
- Rapport eau/ciment $\leq 0,50$
- $D_{\text{max}} = 16 \text{ mm}$ (ou 14 ou 12 mm)
- Le squelette pierreux se compose d'une fraction unique, par exemple 8/16 mm
- Entraîneur d'air obligatoire

La figure ci-dessous donne la courbe granulométrique du squelette inerte (gravillons + sable) d'un béton discontinu 0/14. La fraction

entre 2 et 6 mm est pratiquement inexistante ; par contre, les gros gravillons 6,3/14 sont surreprésentés.



EXEMPLES DE COMPOSITIONS DE BÉTON

COMPOSITION DE BÉTON 0/20 POUR REVÊTEMENT GRIS À BASE DE PORPHYRE, SQUELETTE INERTE CONTINU, TRAFIC LOURD


Appliqué sur l'E40/A10 à Ternat en 2002 (de même que sur différentes autres autoroutes ou routes régionales)

Composant	Part (kg/m ³)
Porphyre 14/20	270
Porphyre 6,3/14	590
Porphyre 4/6,3	345
Sable de rivière 0/4	440
Sable de rivière 0/1	150
CEM III/A 42,5 N LA	405
Eau	175
Plastifiant et entraîneur d'air	

COMPOSITION DE BÉTON 0/20 AVEC SURDOSAGE EN PETITS GRAVILLONS POUR REVÊTEMENT GRIS À BASE DE PORPHYRE ET DE GRAVIER BLANC, SQUELETTE INERTE DISCONTINU

Appliqué sur la voie de bus et de tram au « Korenmarkt » de Gand

Composant	Part (kg/m ³)
Porphyre 14/20	660
Quartz concassé blanc 5/8	260
Quartz concassé blanc 2/5	260
Sable de rivière 0/2	560
CEM III/A 42,5 N LA	400
Eau	180
Plastifiant et entraîneur d'air	




Korenmarkt, Gand


COMPOSITION DE BÉTON 0/20 POUR REVÊTEMENT GRIS À BASE DE PORPHYRE, SQUELETTE INERTE CONTINU, TRAFIC LÉGER ET MODÉRÉ

Composant	Part (kg/m ³)
Porphyre 14/20	250
Porphyre 6,3/14	550
Porphyre 4/6,3	370
Sable de rivière 0/2	645
CEM III/A 42,5 N LA	375
Eau	185
Plastifiant et entraîneur d'air	


COMPOSITION DE BETON 0/20 AVEC SURDOSAGE EN PETITS GRAVILLONS, POUR REVETEMENT GRIS, A BASE DE PORPHYRE ET UNE FAIBLE PART DE GRAVIER BLANC, SQUELETTE INERTE CONTINU
Composition pour le projet « Basieliklaan » à Scherpenheuvel en 2010

Composant	Part (kg/m ³)	
Porphyre 14/20	330	 <p>Basieliklaan, Scherpenheuvel : planche d'essai avec surface dénudée et finement striée</p>
Porphyre 6,3/14	570	
Porphyre 4/6,3	100	
Quartz concassé blanc 5/8	260	
Sable de rivière 0/2	550	
CEM III/A 42,5 N LA	400	
Eau	180	
Plastifiant et entraîneur d'air		

COMPOSITION DE BETON 0/20 POUR REVETEMENT ANTHRACITE A BASE DE PORPHYRE ET DE GRAVIER BLANC, SQUELETTE INERTE CONTINU
Planche d'essai pour le projet « IGLO » à Anvers

Composant	Part (kg/m ³)	
Porphyre 14/20	325	 <p>Béton 0/20, anthracite</p>
Porphyre 6,3/14	540	
Basalte 5/8	405	
Sable de rivière 0/2	580	
CEM III/A 42,5 N LA	375	
Pigment noir (5 %)	18,75	
Eau	180	
Plastifiant et entraîneur d'air		


COMPOSITION DE BETON 0/20 POUR REVETEMENT ANTHRACITE A BASE DE PORPHYRE ET DE GRAVIER BLANC ET NOIR, SQUELETTE INERTE CONTINU
Planche d'essai pour le projet « Busstation », Ypres en 2010

Composant	Part (kg/m ³)	
Porphyre 14/20	330	 <p>Porphyre et blanc+noir</p>
Porphyre 6,3/14	570	
Quartz concassé blanc 5/8	180	
Basalte noir 5/8	180	
Sable de rivière 0/2	550	
CEM III/A 42,5 N LA	400	
Pigment noir (2 %)	8	
Eau	180	
Plastifiant et entraîneur d'air		


COMPOSITION DE BÉTON 0/16 POUR REVÊTEMENT EN BÉTON À BASE DE GRAVIERS SILICEUX DE MER, SQUELETTE INERTE CONTINU

Planche d'essai pour le projet « Schermpflanzenstraat » à Mariakerke/Ostende en 2009

Composant	Part (kg/m ³)
Gravier siliceux de mer 4/16	600
Gravier siliceux de mer 4/8	600
Sable de mer 0/2	525
CEM III/A 42,5 N LA	425
Eau	186
Plastifiant et entraîneur d'air	




Mariakerke/Ostende : planche d'essai et revêtement réalisé



COMPOSITION DE BÉTON 0/20 POUR REVÊTEMENT JAUNE ET NOIR À BASE DE GRAVIERS CONCASSÉS, SQUELETTE INERTE CONTINU

Planche d'essai pour le projet « Stationsstraat » à Tessenderlo en 2007

Composant	Part (kg/m ³)
Gravier concassé 14/20	310
Gravier concassé 10/14	225
Gravier concassé 6/10	225
Gravier concassé 4/6	345
Sable de rivière 0/4	520
Sable d'Escaut 0/1	105
CEM III/A 42,5 N LA	400
Pigment noir/jaune (2 %)	8
Eau	180
Plastifiant et entraîneur d'air	



Béton 0/20, jaune + noir

COMPOSITION DE BÉTON 0/14 POUR REVÊTEMENT OCRE À BASE DE GRAVIERS ROULÉS, SQUELETTE INERTE CONTINU


Planche d'essai pour le projet « Crematorium Hofheide » à Holsbeek en 2010

Composant	Part (kg/m ³)
Gravier de Meuse 4/14	995
Sable de Meuse 0/4	755
CEM III/A 42,5 N LA	375
Pigment ocre (3 %)	11,25
Eau	185
Plastifiant et entraîneur d'air	

**COMPOSITION DE BÉTON 0/20 POUR REVÊTEMENT GRIS OU ROUGE
À BASE DE GRANITE ÉCOSSAIS, SQUELETTE INERTE CONTINU**

Planche d'essai pour le projet « Stadsplein » à Genk en 2007

Composant	Part (kg/m ³) Gris – trafic important	Part (kg/m ³) Rouge – trafic léger
Granite écossais 2/20	1215	1245
Sable roux 0/4	320	380
Sable blanc 0/1	200	175
CEM III/A 42,5 N LA	400	360
Pigment rouge-brun	2	18
Eau	180	165
Plastifiant et entraîneur d'air		




Béton 0/20, rouge

**COMPOSITION DE BÉTON 0/14 POUR REVÊTEMENT BRUN À BASE
DE CALCAIRE, SQUELETTE INERTE DISCONTINU**

Planche d'essai pour le projet « Stadsplein » à Genk en 2007

Composant	Part (kg/m ³)
Concassé calcaire 10/14	578
Concassé calcaire 8/10	578
Sable 0/1	570
CEM III/A 42,5 N LA	400
Pigment noir (2%)	8
Pigment rouge-brun (3%)	12
Eau	165
Plastifiant et entraîneur d'air	




Béton à squelette discontinu 0/20, colorant bordeaux

**COMPOSITION DE BÉTON 0/16 AVEC SURDOSAGE EN GROS GRAVILLONS POUR REVÊTEMENT
EN BÉTON À BASE DE GRAVIER BLANC, SQUELETTE INERTE DISCONTINU, TRAFIC LÉGER**

Planche d'essai pour le projet « Revêtement extérieur AZ Sint-Lucas » à Gand en 2010


Composant	Part (kg/m ³)
Quartz concassé blanc 8/16	1265
Sable de Meuse 0/2 (tamisé sur le tamis de 2 mm)	540
CEM III/A 42,5 N LA	375
Eau	185
Plastifiant et entraîneur d'air	



Béton discontinu 0/16, blanc

COMPOSITION DE BÉTON 0/12 AVEC SURDOSAGE EN GROS GRAVILLONS POUR REVÊTEMENT EN BÉTON ROUGE À BASE DE GRAVIERS ROULÉS, SQUELETTE INERTE DISCONTINU, TRAFIC LÉGER


Composant	Part (kg/m ³)
Gravier roulé 6/12	1240
Sable de Meuse 0/2 (tamisé sur le tamis de 2 mm)	585
CEM III/A 42,5 N LA	350
Pigment brun (3 %)	10,5
Eau	190
Plastifiant	



Béton discontinu 0/12 avec graviers roulés

BÉTON GRIS 0/6,3 POUR COUCHE DE FINITION

Composant	Part (kg/m ³)
Porphyre 2/6,3	1015
Sable de mer 0/4	470
Sable de mer 0/1	200
CEM III/A 42,5 N LA	425
Eau	190
Plastifiant et entraîneur d'air	



Béton gris

BÉTON VERT POUR COUCHE DE FINITION


Appliqué sur la rotonde en étoile de Scherpenheuvel en 1998

Composant	Part (kg/m ³)
Mélange de porphyre gris 4/7 et vert 5/8 (50 % - 50 %)	980
Sable de rivière 0/4	720
CEM III/A 42,5 N LA	425
Eau	190
Pigment vert, plastifiant et entraîneur d'air (mélange en poudre)	25

BÉTON BRUN POUR COUCHE SUPÉRIEURE D'UN REVÊTEMENT BICOUCHE

Planche d'essai pour le projet « Avenue du Port », Bruxelles

Composant	Part (kg/m ³)
Mélange de gravier concassé et de grès 4/6	1060
Sable de rivière 0/2	625
CEM III/A 42,5 N LA	425
Pigment brun (4 %)	17
Eau	200
Plastifiant et entraîneur d'air	



Béton brun

BÉTON BLANC POUR COUCHE DE FINITION D'UN REVÊTEMENT BICOUCHE
 Appliqué à l'esplanade du casino de Dinant en 2001

Composant	Part (kg/m ³)
Lamonriville concassé blanc-jaune 4/7	1045
Sable de rivière 0/3	520
Ciment blanc CEM II/A-LL 42,5 N	425
Pigment blanc, dioxyde de titane (1 %)	4,25
Eau	217
Plastifiant	

BÉTON BLANC ET NOIR POUR COUCHE SUPÉRIEURE D'UN REVÊTEMENT BICOUCHE
 Appliqué à la voie de tram de la Voskenslaan à Gand en 2004

Composant	Part (kg/m ³)
Gravillons blancs (Blanc norvégien) 3/8	500
Basalte noir 5/8	200
Gravillons noirs brillants (mica noir) 3/5	200
Gravillons blancs (Flint) Grenette 3/8	100
Sable de rivière 0/4	700
CEM III/A 42,5 N LA	425
Eau	178
Plastifiant et entraîneur d'air	



Voskenslaan, Gand



Korenmarkt, Gand

CONSIDÉRATIONS FINANCIÈRES

Les chapitres précédents montrent que le béton lavé coloré offre de nombreuses possibilités et que de nombreux choix doivent être pris durant la phase de conception (composition : ciment, sable, gravillons, colorants, profondeur de dénudage, tracé et finition des joints etc.).

Chaque choix aura naturellement un impact sur le prix du revêtement fini. L'impact sera parfois limité, mais dans certains cas il peut entraîner une hausse nette des prix et mettre à mal la faisabilité financière du projet.

Ci-dessous, certains choix au niveau du prix sont commentés. Comme revêtement de référence nous avons choisi une dalle d'épaisseur de 20 cm. Il s'agit évidemment d'estimations moyennes de prix, qui peuvent parfois fortement varier en fonction de l'ampleur des travaux et des conditions d'exécution.

Choix de conception	Évaluation de l'impact financier	Impact tarifaire par m ²
Ciment Portland Ciment de haut fourneau	Bien qu'il existe une différence substantielle de prix entre les deux types de ciment gris, elle n'est pas déterminante, vu son impact relativement limité sur l'ensemble. En principe, le ciment de haut fourneau qui est plus clair et qui est meilleur marché est toujours utilisé, sauf si l'on tente d'obtenir expressément un béton gris foncé sans pigment.	
Ciment gris Ciment blanc	Le ciment blanc est presque 2 fois plus cher que le ciment gris, et la différence de prix entre un béton à base de ciment gris et blanc croît par conséquent substantiellement, si bien qu'une mise en œuvre en bicouche s'impose.	$400 \text{ kg/m}^3 \times 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,08 \text{ euros/kg} = 6,4 \text{ euros/m}^2$
Teneur en ciment	La différence de prix entre le béton avec 375 et 400 kg/m ³ est plutôt limitée.	$25 \text{ kg/m}^3 \times 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0,09 \text{ euros/kg} = 0,55 \text{ euro/m}^2$
Gravillons classiques Gravillons colorés	Le prix des pierres colorées peut grimper à 50 voire 70 euros la tonne, en fonction également du calibre. Les gravillons les plus fins sont généralement les plus chers. Il s'agit d'une différence notable avec les granulats belges classiques qui coûtent environ 15 à 20 euros la tonne. L'impact sur le prix du béton peut rapidement s'accroître en raison de la grande quantité de gravillons dans le béton. L'impact sur le prix est calculé pour deux cas : soit toutes les pierres sont remplacées, soit seuls les graviers fins sont remplacés par des colorés.	Tous les gravillons : $1,2 \text{ t/m}^3 \times 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 35 \text{ euros/t} = 8,40 \text{ euros/m}^2$ Gravillons fins : $0,35 \text{ t/m}^3 \times 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 35 \text{ euros/t} = 2,45 \text{ euros/m}^2$
Colorants	Les colorants sont assez onéreux et peuvent dans certains cas justifier une mise en œuvre en bicouche. Les pigments classiques en poudre (oxydes de fer) coûtent environ 1 000 euros la tonne. Sous forme liquide, ils coûtent environ 600 euros la tonne, mais il est nécessaire d'appliquer des dosages plus élevés, si bien que l'impact sur le prix reste le même.	2 à 5 % $\times 400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ euro/kg} \times 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 1,6 \text{ à } 4 \text{ euros/m}^2$
Produit d'imprégnation	Les traitements supplémentaires à effectuer après les travaux poussent le prix à la hausse. Il est clairement plus avantageux de prévoir un béton de meilleure qualité. Néanmoins, il s'agit d'une technique recommandée pour les dalles réalisées manuellement.	3 à 4 euros/m ²

RÉDACTION DU CAHIER SPÉCIAL DES CHARGES – DE LA CONCEPTION À L'EXÉCUTION

Un point essentiel d'un projet où l'aspect esthétique occupe une place prépondérante, est la communication entre l'auteur de projet ou le maître d'ouvrage d'une part et l'entrepreneur ou l'exécutant d'autre part. L'auteur de projet doit en premier lieu bien connaître l'aspect qu'il souhaite atteindre. L'inspiration viendra souvent de l'environnement naturel ou des éléments de construction adjacents. Ainsi, la couleur des pavés adjacents en béton ou en pierre naturelle donnera le ton pour le béton lavé coloré dans un cadre urbain. Parfois, on tentera d'arriver à une couleur naturelle comme celle du support naturel des environs, d'une plage, d'un revêtement en dolomie, etc. Le but ne sera jamais de reproduire une couleur ou une texture à la perfection. Par exemple, la surface des pavés en béton fabriqués en usine ne peut être exactement copiée à l'aide d'un béton lavé coulé sur place. Mais il est tout de même possible de trouver des couleurs, nuances et textures adaptées entre elles et de former ainsi un ensemble harmonieux. Pour savoir ce qui est faisable, il est recommandé de réaliser des planches d'essai en laboratoire pendant la phase de conception. Là, l'influence du choix du sable et des gravillons, du dosage des colorants, de la profondeur de dénudage des différents retardateurs de prise, etc. peut déjà être observée. Dès qu'un résultat satisfaisant est atteint, le volet technique du cahier spécial des charges peut être rédigé à l'aide de cette composition.

Les dispositions techniques doivent reprendre les différents points qui sont déterminants pour l'aspect, sans imposer entièrement la composition du béton. Sur ce point, la responsabilité finale appartient d'ailleurs à l'entrepreneur. Les dispositions contractuelles peuvent tout de même inclure une photo de la planche d'essai et un exemple de composition comme éléments directeurs.

Etant donné que les planches d'essais réalisées dans un laboratoire ne donnent pas toujours les mêmes résultats que sur le terrain, le cahier spécial des charges doit également prévoir la fabrication de planches d'essai d'environ 1 m² sur chantier par l'entrepreneur, après l'approbation de son étude de béton et avant l'exécution des travaux de bétonnage. Pour des raisons évidentes, il convient à cet effet de recourir aux mêmes matériaux que lors de l'exécution ultérieure. Il convient également d'appliquer au maximum la même méthode de mise en œuvre que sur le chantier. Les planches d'essai peuvent servir de référence pour l'évaluation du résultat final.

Pour un grand projet, on peut aller plus loin en faisant réaliser des tronçons expérimentaux de dimensions réelles et à l'aide du même matériel (machine à coffrages glissants, poutre vibrante, nettoyeur à haute pression, etc.). Le mieux est de prévoir des postes séparés dans le métré pour les planches d'essais et le tronçon expérimental.

ÉVALUATION DU TRAVAIL

Il n'existe aucune règle fixe pour évaluer l'esthétique d'une surface en béton lavé coloré. On peut comparer le travail réalisé aux planches d'essai ou au tronçon expérimental, mais on se cantonne alors à des évaluations subjectives, ce qui peut entraîner des situations complexes où le maître d'ouvrage et l'entrepreneur ont une vision bien différente de la chose.

Une méthode possible est d'effectuer un essai à la tache de sable sur les deux surfaces et de comparer les résultats. L'essai à la tache de sable reflète la profondeur de la texture. Il faut au préalable déterminer les tolérances autorisées, par exemple $1,2 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$. La définition de ces tolérances requiert davantage

de recherches, principalement dues au fait que le résultat de l'essai à la tache de sable dépend fortement de l'opérateur.

Une autre méthode de travail consiste à compter le nombre de gravillons au sein d'un cadre de référence, par exemple un carré de $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, et aussi de comparer ce résultat entre les tronçons expérimentaux et les travaux réalisés. La Belgique n'a jusqu'à présent aucune expérience de cette dernière méthode d'évaluation. Mais poursuivre son développement vaut le coup, afin d'arriver à des méthodes d'évaluation objectivement mesurables pour le dénudage.



Planches d'essais sur chantier



Réalisation de l'essai à la tache de sable sur chantier



Réalisation de l'essai à la tache de sable sur une planche d'essai

CONCLUSION

Le recours au béton lavé et/ou coloré pour la réalisation de revêtements urbains connaît un intérêt croissant dans notre pays, notamment par la liberté qui est offerte dans le choix de la couleur, des granulats et de la texture, ce qui ne peut que profiter à la créativité de l'auteur de projet. Il est également important de noter que ce type de béton ne porte nullement préjudice aux caractéristiques traditionnelles d'un revêtement en béton, et en particulier à sa durabilité.

Une contribution équilibrée entre l'architecte paysagiste, l'ingénieur et le technologue du béton et une approche professionnelle et motivée de la part de l'entrepreneur sont nécessaires pour obtenir un résultat probant. De nouvelles réalisations sont déjà annoncées, elles témoignent du succès du béton lavé coloré en Belgique.

L'EXEMPLE FRANÇAIS

Dans le domaine du béton lavé dans des environnements urbains, la France fait autorité. Bien que la part du béton dans le réseau autoroutier français soit assez limitée, le béton lavé est très souvent choisi pour les espaces publics, allées piétonnes, rues et pistes cyclables, et ce dans tout le territoire. Ce choix se fonde sur l'aspect qualitatif et sur la valeur ajoutée que ces revêtements confèrent aux espaces publics, lorsque le projet tient compte de l'esthétique, de l'harmonie entre revêtement et environs et de l'aptitude à l'emploi du revêtement.

Les nombreuses réalisations françaises témoignent de la grande liberté dont jouissent les auteurs de projets en jouant sur le type de granulats, la dimension maximale des gravillons, la profondeur de dénudage et les nuances de couleur. Ils utilisent de préférence des granulats disponibles localement. Cela permet aisément d'intégrer harmonieusement le revêtement dans l'ensemble à une zone résidentielle ancienne et traditionnelle. Cependant, cela ne veut pas dire que cette technique ne peut être appliquée aux environnements plus modernes, plus contemporains.

Ce qui frappe particulièrement dans les projets français, c'est la combinaison avec d'autres matériaux pour réaliser une répartition en tronçons.



© Revue Routes



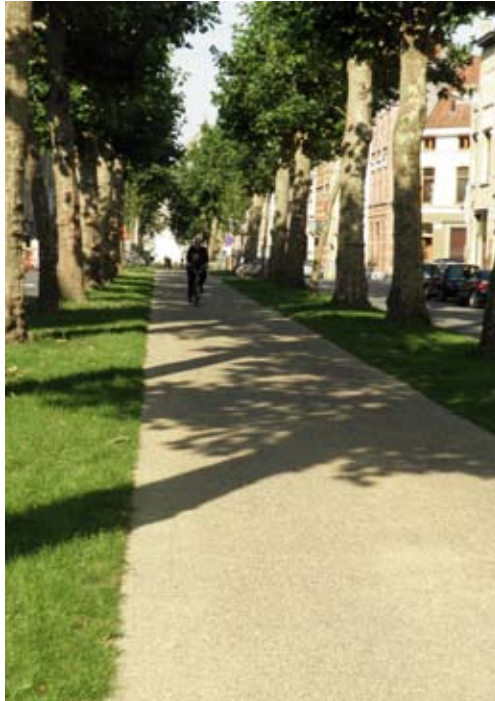
Nîmes



Saint-Lunaire



© Revue Routes



1	2
3	4
5	6

1. Gand, Korenmarkt
2. Gand, Kunstlaan
3. Beervelde
4. Grivegnée
5. Ostende/ Mariakerke, Schermpflanzenstraat
6. Bevingen



I-3

**Ce bulletin est publié par
FEBELCEM
Fédération de l'Industrie Cimentière Belge
Bld du Souverain 68 - 1170 Bruxelles
tél. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70
www.febelcem.be
info@febelcem.be**

**Auteur :
Ir L. Rens**

**Photos couverture, p. 2, p. 16 :
André Nullens**

**Dépôt légal :
D/2010/0280/13**

Éd. resp. : A. Jasienski

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JASIENSKI A., Des bétons lavés pour aménagements urbains, Dossier Ciment, bulletin n° 20 - FEBELCEM, 1999
- [2] GEERINCKX R., Esthetische betonverhardingen in de openbare ruimte, Épreuve pour l'obtention du master à la XIOS Hogeschool Limburg, 2010
- [3] PLOYAERT C., Vers une composition optimale des bétons routiers, FEBELCEM, 2010

infobeton.be

