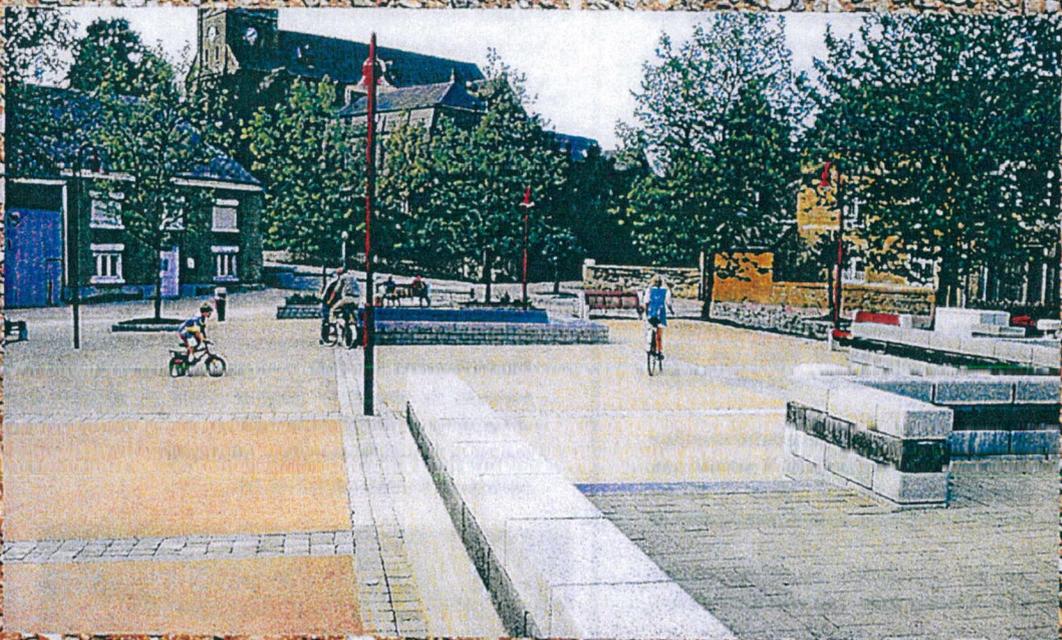


DES BETONS LAVES POUR AMENAGEMENTS URBAINS



Depuis quelques années, lors de la conception, de l'entretien ou de la réhabilitation de voiries en milieu urbain, l'accent est mis sur la qualité des aménagements. Les auteurs de projets, qu'ils soient publics ou privés, cherchent à améliorer l'intégration des revêtements dans leur environnement, généralement bâti. En effet, la rue est un espace à mieux partager entre ses multiples usagers, qu'ils soient motorisés ou non. Ce partage doit se faire dans une cohérence globale et dans un souci permanent du respect du cadre de vie. Dans cette logique le revêtement et son aspect jouent un rôle important.

Parmi toutes les techniques possibles, les pavés et dallages en pierres naturelles et en béton occupent une place de choix en Belgique. Une alternative intéressante est offerte par le béton lavé, parfois coloré, appelé encore béton « désactivé ». Depuis quelques années celui-ci connaît un développement important dans différents pays, plus particulièrement en France où plus de deux millions de mètres carrés sont réalisés annuellement.

Le béton lavé est principalement caractérisé par un traitement de surface spécifique. Après mise en œuvre du béton, un retardateur de prise est pulvérisé à la surface du béton frais afin d'y freiner la prise du ciment et de pouvoir ainsi éliminer la pellicule non hydratée par lavage, par exemple au jet d'eau sous pression. Ce procédé permet de révéler et mettre en valeur les granulats naturels. Un colorant peut être incorporé au béton pour soutenir les coloris naturels des pierres. Pour rappel, cette technique, appelée en Belgique « dénudage chimique » a été mise au point dans notre pays et est utilisée de façon systématique comme traitement de surface sur nos autoroutes et routes importantes dans le but de réduire notamment le bruit de roulement.

DOSSIER
CIMENT

20
septembre 1999

revêtement de route
béton coulé in situ
couleur

(94) El2 (65)

B5/S1E

QUALITES ET EXIGENCES DU BETON LAVE

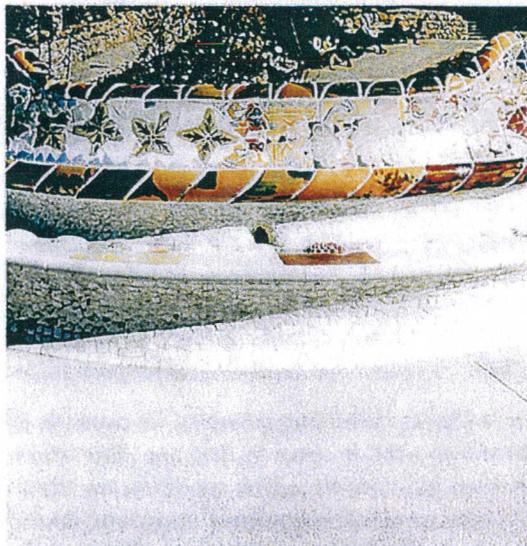
Le béton lavé, éventuellement coloré, offre de multiples possibilités d'applications:

- Il permet une diversité de formes et d'aspects: texture fine ou rugueuse, choix de gravillons roulés ou concassés. De plus, une vaste gamme de coloris est possible. L'utilisation de pierres colorées assure l'inaltérabilité des couleurs du béton dans le temps.
- Il est polyvalent et peut être utilisé pour de multiples fonctions, voiries urbaines, mais également voiries forestières ou rurales, aires privées,...
- Il s'intègre parfaitement dans un environnement bâti, ancien ou contemporain, se marie à la pierre naturelle, au béton, à la brique,.... Le choix de granulats locaux permet de traiter la voirie dans un souci de qualité esthétique et d'harmonie.
- Il s'adapte à toutes les conditions de mise en œuvre et peut prendre toutes les formes possibles car il est coulé en place. Les dalles particulièrement sollicitées ou de formes irrégulières peuvent être armées par un treillis d'armature.
- Il répond particulièrement bien aux impératifs de sécurité en milieu urbain. Par la variété des textures et des coloris, il permet une meilleure lecture de l'espace urbain, de ses usages et de ses priorités. Par ailleurs, sa texture rugueuse le rend peu glissant et peu bruyant.
- Il peut être sollicité, tant par les véhicules lourds que par les piétons. Il suffit d'adapter la structure de la chaussée aux conditions de circulation.
- Il peut être fabriqué dans toutes les classes de résistance.
- Il est généralement économique. Son coût sera notamment fonction du choix des granulats. L'usage de matériaux locaux le rend moins onéreux que l'importation de matériaux d'origine étrangère.
- Bien conçu sous tous ses aspects et bien mis en œuvre, il est durable, au même titre qu'une chaussée « classique » en béton. Le trafic et le type d'usage peuvent entraîner une altération de son aspect et un assombrissement des couleurs. Dans ces cas un nettoyage régulier peut être nécessaire. C'est la raison pour laquelle une protection complémentaire est souvent prescrite.

EXEMPLES DE REALISATIONS

Les exemples de réalisations sont nombreux, que ce soit à l'étranger, notamment en Espagne et en France, ou déjà en Belgique:

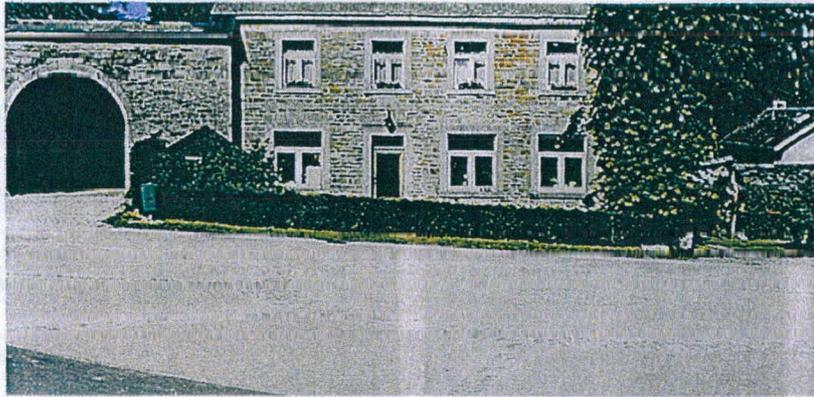
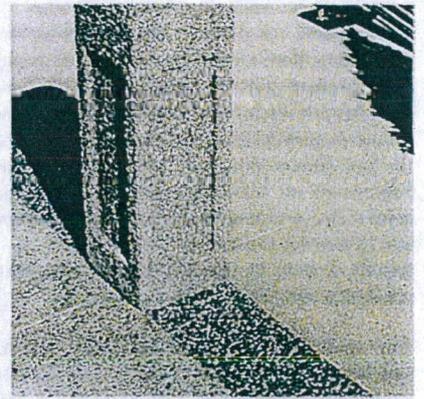
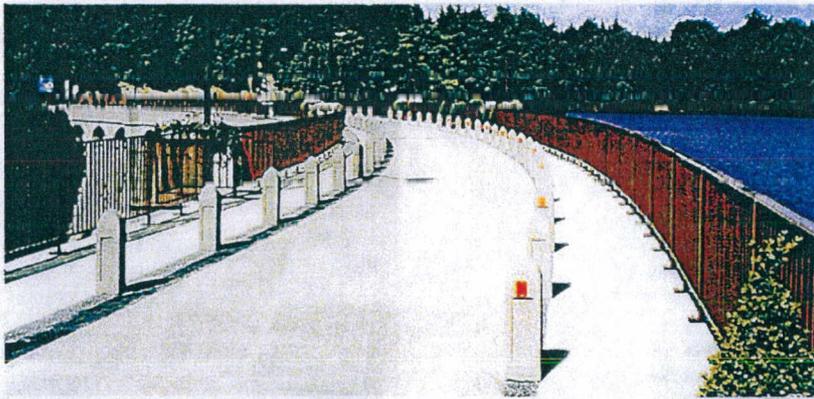
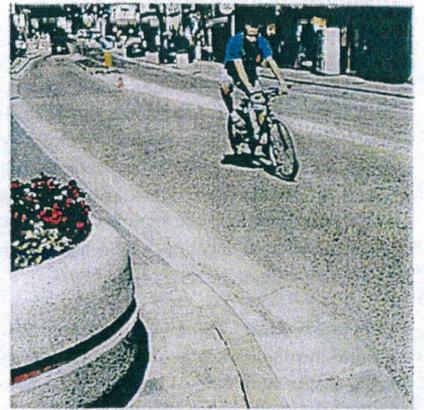
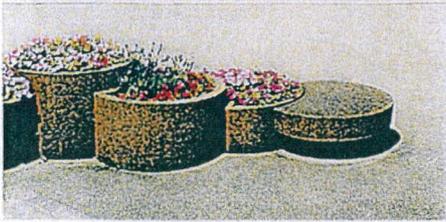
- Barcelone - parc Güell (Gaudi) (photo 1)
- France (photo 2 : petit port en Bretagne)
- Belgique
 - La première réalisation belge importante date de 1992: la place Matteoli à Ans (photo 3).
 - Place du Viernay à Xhendremael (Ans) (photo 4).
 - Place communale d'Aubange (Athus) (photo couverture).
 - Place Bantigny et voiries communales alternantes à Manage (voir « Mise en œuvre »).
 - carrefours sur la N86 à Hotton, la N4 à Gembloux, ...
 - giratoire à Scherpenheuvel,
 - Rue du Progrès à Bruxelles,
 - traversée du village de Treignes (photo en dernière page), d'Havelange, de Vielsalm (photo 5), ...
 - barrage de Robertville et environs (photos 6-9),
 - aménagements privés (photos 10, 11) ...



1



2



CONCEPTION GÉNÉRALE

La conception globale d'un revêtement en béton lavé est comparable à celle d'un revêtement classique. Toutefois, en milieu urbain le choix se porte habituellement vers la solution de revêtements constitués de dalles, goudonnées ou non. Dans certains cas, les dalles peuvent être armées pour limiter les risques de fissuration. Le béton armé continu est rarement utilisé pour des raisons pratiques d'exécution, dont notamment la présence des armatures, la nécessité d'approvisionner le béton à côté de la machine à coffrages glissants, l'accessibilité aux propriétés riveraines en cours d'exécution, ...

Réaliser une voirie en béton lavé en milieu urbain dans les meilleures conditions implique de la part de l'auteur de projet des compétences spécifiques et une bonne connaissance du béton. En effet, la qualité d'un aménagement et sa pérennité demandent un projet bien étudié. Le choix de la classe de résistance et d'un faible rapport E/C est indispensable. Les plans seront précis et reprendront tous les détails d'exécution, dont notamment un plan de positionnement des joints. L'emplacement judicieux des joints est fondamental, surtout lorsque les dalles ont des formes irrégulières et non linéaires. Le choix d'une texture de surface appropriée et son aspect doivent être mentionnés. Un bon dimensionnement fait également partie de la conception. Pour éviter un salissement rapide des surfaces et maintenir une qualité d'aspect à long terme, la réalisation de pentes transversales de min. 2 ‰ est recommandée.

Ensuite, le choix d'une entreprise qualifiée pour ce genre de travaux sera également primordiale.

Pour contrôler certains phénomènes inévitables et propres au matériau béton, tels que le retrait hydraulique, le retrait thermique, les gradients de température, il est nécessaire de prévoir des dispositions constructives spécifiques: les joints.



12



13, 14, 15



16, 17

Place communale d'Aubange : exemple de réalisation en béton lavé coloré (conception, choix des matériaux, étude de composition du béton avec éprouvettes témoins, mise en œuvre)

DIMENSIONNEMENT

Pour rappel, les principaux paramètres intervenant dans le dimensionnement d'une chaussée sont:

- le pouvoir portant du sol, c'est-à-dire la qualité de portance de la plate-forme support;
- le type de sollicitations auxquelles est soumis le revêtement et donc l'importance du trafic en charge et en fréquence;
- la qualité des matériaux utilisés et en particulier la classe de résistance du béton.

Sur cette base, l'épaisseur du revêtement et des différents couches constituant la structure de la chaussée seront déterminées.

Le dimensionnement proprement dit des chaussées en béton sortant du cadre de la présente publication, le lecteur consultera la littérature spécialisée sur ce sujet. Toutefois, pour fixer les idées, quelques structures types sont reprises à la figure ci-après.

En cas de trafic lourd, il y a lieu de prévoir des goujons dans les joints et éventuellement des surlargeurs aux dalles, pour limiter les effets de bord et réduire ainsi les contraintes en bord de dalle, défavorables pour la durabilité du revêtement. Pour rappel, un revêtement en béton est habituellement dimensionné pour une durée de vie d'au moins trente ans.

Exemples de structures types habituellement utilisées en Belgique.

Trafic lourd et important ($T > 2.000 PL/j/sens$) (*)	Trafic lourd faible ($250 < T < 2.000 PL/j/sens$)	Trafic lourd occasionnel ($T < 250 PL/j/sens$)	Pas de trafic lourd (pistes cyclables, piétonniers)
23 cm dalles goudonnées 6 couche bitumin. 20 béton maigre >20 sous-fondation	20 dalles goudonnées 6 couche bitumin. 20 béton maigre ou empièrem. stabil. au ciment >20 sous-fondation	20 dalles non goudonnées 30 empièrem. non stabilisé 18 dalles non goudonnées 20 empièrem. non stabilisé 30	16 dalles non goudonnées 20 empièrem. non stabilisé 12 dalles non goudonnées 20 empièrem. non stabilisé
NB: La structure sera toujours adaptée en fonction de la qualité du sol en place !			
(*) poids lourds par jour et par sens de circulation			

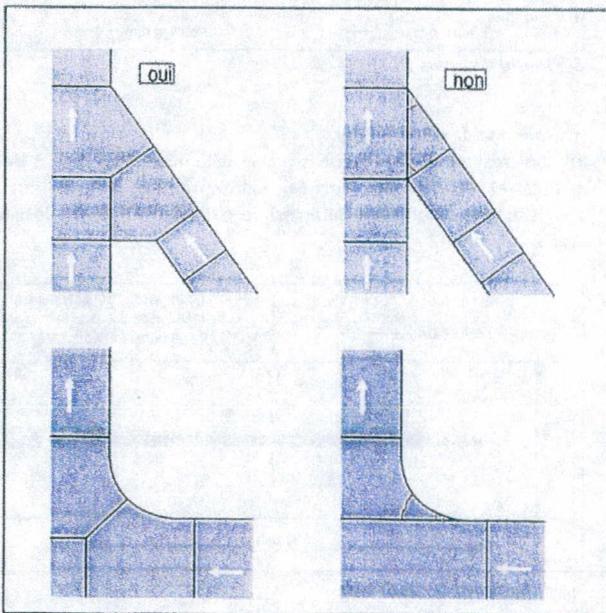
DISPOSITION DES JOINTS

L'auteur de projet doit concevoir les schémas de disposition des joints pour éviter tout angle aigu.

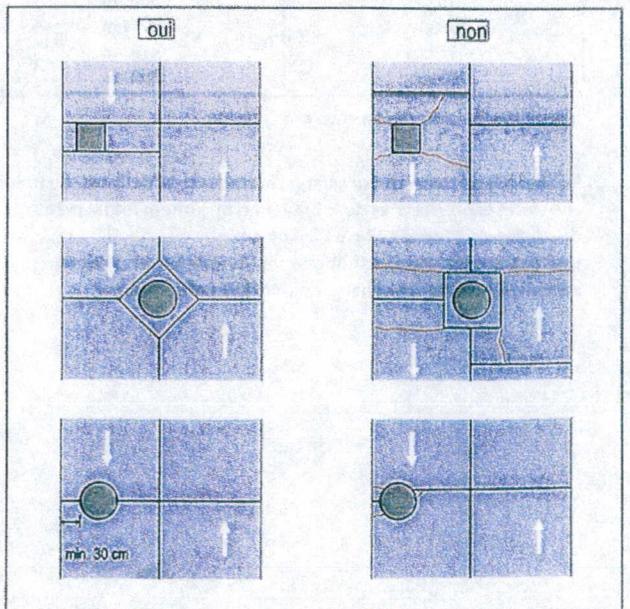
Il est aussi préférable de donner aux dalles des formes carrées ou légèrement rectangulaires (rapport dimensionnel entre longueur et largeur compris entre 1 et 1,5).

Autour des obstacles fixes, un joint de dilatation ou d'isolation est indispensable.

Dispositions des joints correctes et incorrectes



Disposition des joints autour des obstacles fixes



fissuration probable

TYPES DE JOINTS

La fissuration du béton est un phénomène normal du fait de sa nature même et des variations climatiques journalières ou saisonnières. Les joints ont pour but de maîtriser la fissuration et d'amorcer à cet endroit précis cette fissuration. Leur rôle est d'absorber le retrait et de permettre les mouvements des dalles, ce qui réduit les contraintes. La conception correcte des joints est une condition essentielle de la pérennité de la chaussée.

On distingue trois grandes familles de joints:

1. Les joints transversaux

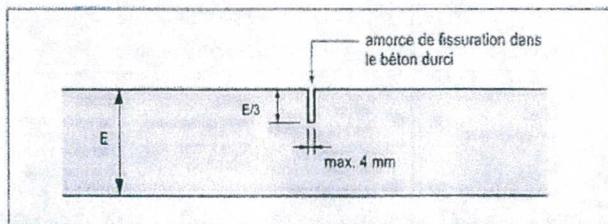
Ils sont perpendiculaires à l'axe de la voirie. Ils peuvent être classés en deux catégories:

• Les joints de retrait/flexion

Leur rôle est de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient de température, tout en évitant au maximum de rompre la continuité structurelle du revêtement.

Ils sont habituellement sciés sur le tiers de l'épaisseur de la dalle. Le sciage dans le béton durci intervient quelques heures après sa mise en œuvre, dès que le béton est suffisamment portant.

L'espacement des joints dépend des propriétés de retrait du béton, des caractéristiques d'adhérence de la dalle sur son support et de l'épaisseur du revêtement.



Joint et amorce de fissuration

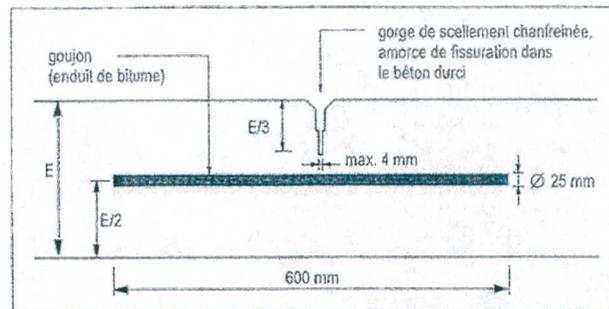
Le tableau ci-après reprend les espacements recommandés en fonction de l'épaisseur.

Épaisseur de la dalle	Espacement des joints
12 cm	3,00 m
14 cm	3,50 m
16 cm	4,00 m
18 cm	4,50 m
20 cm	5,00 m

Espacement des joints en fonction de l'épaisseur

En l'absence de transfert de charge, la tendance actuelle est de réduire encore cet espacement et de le limiter au maximum à 4 m, même pour des dalles de 20 ou de 23 cm d'épaisseur.

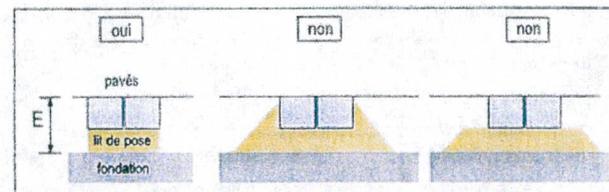
Lorsque le trafic lourd est important, les joints sont goujonnés pour assurer le transfert des charges d'une dalle vers l'autre.



Joint transversal de retrait/flexion; amorce de fissuration et goujon

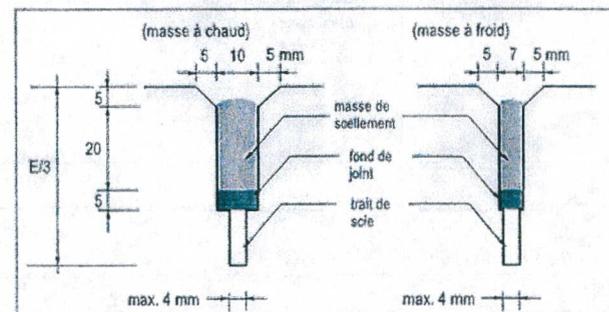
En milieu urbain, les joints des bétons lavés sont souvent remplacés par des « calepinages » en pavés. Les pavés sont alors posés sur un lit de mortier ou de béton dosé à minimum 350 kg de ciment/m³.

Le calepinage doit être parfaitement perpendiculaire au plan des dalles et être réalisé quelques jours avant les travaux de bétonnage.



Calepinage

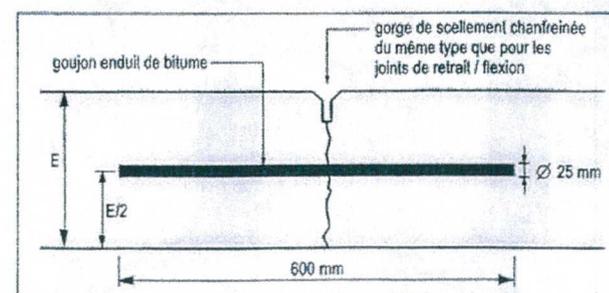
Les joints transversaux sont habituellement scellés pour empêcher l'infiltration d'eau sous les dalles.



Scellement des joints

• Les joints de construction

Ils sont réalisés après chaque arrêt de bétonnage supérieur à deux heures et en fin de journée. Contrairement aux joints de retrait/flexion, le nouveau béton est posé directement contre le béton durci.

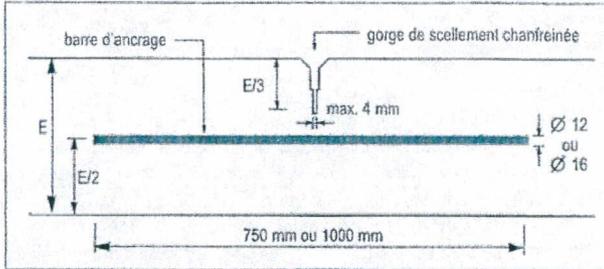


Joint transversal de construction

2. Les joints longitudinaux

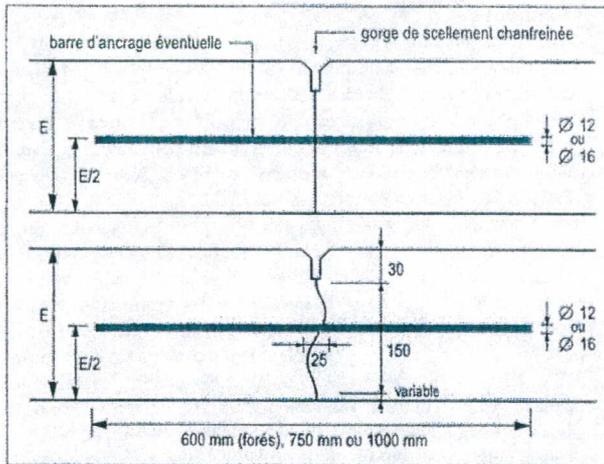
Ils sont parallèles à l'axe de la voirie. Ils ne sont nécessaires que si la largeur du revêtement est supérieure à 4,5 mètres et sont également classés en deux catégories comme les joints transversaux.

• Les joints de retrait/flexion



Joint longitudinal de retrait/flexion

• Les joints de construction



Joint de construction

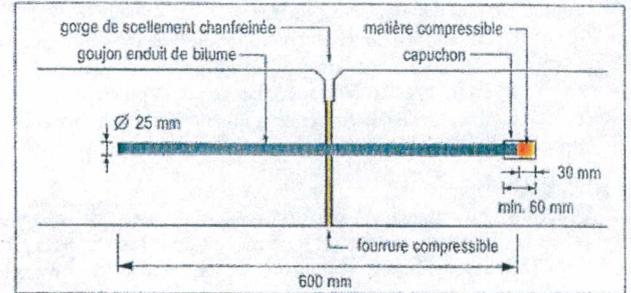
18 - Scellement des joints



3. Les joints de dilatation

Leur rôle est de compenser la dilatation des revêtements due essentiellement à l'élévation de température. Ces joints ne sont requis que dans certains cas particuliers pour séparer la dalle d'équipements fixes tels des chambres de visites, avaloirs, socles, les bâtiments, les culées d'ouvrages d'art, les tronçons de route à faible rayon de courbure, ...

Ils constituent une interruption totale du revêtement.



Joint de dilatation

COMPOSITION DU BÉTON

Dans le cas d'un béton lavé, la composition du béton constitue un facteur essentiel de la qualité d'aspect de surface. Elle sera déterminée en fonction du type d'usage, de l'importance du trafic, de l'aspect esthétique recherché, du bruit de roulement,... et devra donc respecter diverses recommandations.

Le béton est obtenu par le mélange, dans des proportions déterminées des matériaux suivants: pierres, sable, ciment, eau et adjuvants éventuels. Il faut noter que l'emploi de certains matériaux (p. ex. béton fin avec $D_{max} = 7$ mm, ciment blanc...) requiert de travailler en deux couches de béton de compositions différentes, mises en œuvre « béton frais sur béton frais ». Le cahier spécial des charges doit alors spécifier cette possibilité. En ce qui concerne la qualité des matériaux entrant dans la composition, les aspects suivants méritent d'être soulignés.

Les pierres

La technique de traitement de surface ayant pour but de mettre en valeur les pierres, leur choix est déterminant pour l'aspect recherché. Les pierres seront choisies en fonction de leur couleur car c'est cette dernière qui donnera au revêtement sa tonalité, sa chaleur, son aspect. Le béton lavé s'accommode d'une grande variété de pierres pour autant que celles-ci répondent à divers critères techniques concernant essentiellement la granularité, la forme, la propreté et la résistance au gel. Les prescriptions des cahiers des charges relatives aux pierres sont d'application en fonction des classes de trafic auxquelles elles sont soumises. Suivant le type d'usage, le choix se portera sur des pierres concassées, semi-concassées, ou roulées.

Le calibre a également beaucoup d'importance. Les petits calibres sont plus souvent destinés aux surfaces piétonnes ou à des revêtements peu bruyants ($D_{max} = 7$ mm). Plus le calibre des pierres sera élevé, plus l'aspect du béton sera « rude ». Des voiries privées et à faible trafic en milieu urbain feront appel à des calibres dont le D_{max} est de 7, 10 ou 14 mm. Le D_{max} de 10 mm constitue un bon choix pour un grand nombre d'applications.

Pour les routes à trafic élevé, la dimension maximale du calibre nominal des granulats est généralement limitée à 32 mm, mais pour des raisons de diminution du bruit de roulement, il est de plus en plus fréquent de limiter le calibre à 20 mm.

Afin d'obtenir une densité maximale de pierres en surface, la composition du béton devra être parfois sousdosée en sable et avoir éventuellement une granulométrie discontinue (trou granulométrique entre 2 et 4 mm). On restera attentif au fait que ce type de béton sera plus difficile à mettre en œuvre. Un accord sur la composition du béton devra intervenir entre la centrale à béton et l'entrepreneur chargé de la mise en œuvre. Dans tous les cas, l'usage de fractions granulométriques distinctes est recommandé en centrale (calibres 2/7, 7/10, 10/14, 14/20, 20/32).

De façon générale, la quantité de pierres sera assez élevée et comprise entre 1100 et 1350 kg/m^3 .

Pour des revêtements soumis à un trafic important ou circulant à vitesse élevée, on veillera à choisir une pierre dont le coefficient de polissage accéléré sera supérieur à 50.

Le choix de pierres ne manque pas, les photos ci-dessous permettent de se faire une idée des nombreuses possibilités offertes.

Le sable

Le sable doit être propre et de granulométrie continue pour garantir une bonne homogénéité au mortier de surface. Il doit être naturel.

Les sables de rivière, du type sable du Rhin, conviennent particulièrement bien pour la confection de béton lavé. On veillera à l'homogénéité des fournitures et à la régularité des tons.

Il existe aussi divers coloris possibles pour les sables mais dans le cas des bétons lavés, c'est principalement la pierre qui est mise en valeur. De plus, la coloration du mortier peut être modifiée par le choix du ciment et l'ajout éventuel d'un colorant.

La quantité de sable sera comprise entre 550 et 700 kg/m^3 .

Le ciment

De manière générale, le béton lavé requiert - comme pour tout type de revêtement - l'usage d'un ciment de type CEM I ou CEM III/A de classe de résistance 42,5 et à teneur limitée en alcalis LA.

La quantité minimale de ciment, le rapport eau/ciment et, pour les routes importantes, le rapport sable/ciment sont imposés dans les cahiers des charges en fonction du type de réseau (voir « Performances - Exigences et Prescriptions complémentaires »).

Il faut toutefois être attentif au fait que plus le béton est fin, par exemple $D_{max} = 7$ mm, plus la quantité de ciment doit être importante, car la quantité de mortier sera plus élevée. La teinte d'un béton lavé dépend surtout de la couleur des granulats et de l'ajout éventuel d'un colorant. Les ciments gris influencent donc peu le coloris final du béton. On notera toutefois que les ciments de haut fourneau (CEM III) ont une teinte légèrement plus claire que les ciments portland (CEM I) et qu'ils pourraient donc être préférés dans certains cas d'application pour donner un aspect plus lumineux au béton.

Dans d'autres cas, l'usage d'un ciment blanc sera souhaité pour donner un éclat particulier au béton, principalement pour des teintes très claires du type « pierre de France ».

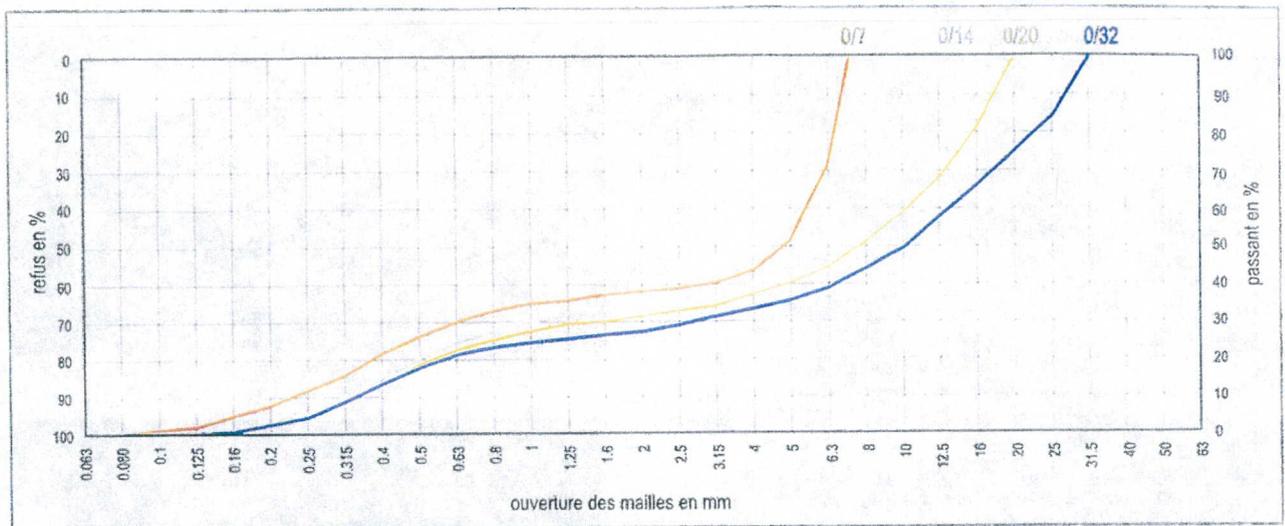
L'eau

Le dosage de l'eau et donc aussi le rapport E/C doivent être parfaitement constants d'une gâchée à l'autre car ils ont une influence directe sur la teinte finale du béton.

Par ailleurs, plus la teneur en eau du béton sera élevée et plus la profondeur de dénudage sera importante.

19 - Exemples de pierres disponibles





Exemples de courbes granulométriques - Squelette inerte des bétons désactivés 0/7, 0/14, 0/20 et 0/32 pouvant convenir pour une mise en œuvre manuelle ou à la machine à coffrages glissants (« slipform »)

Les adjuvants et colorants

• Les plastifiants et les superplastifiants

Ils améliorent la plasticité du béton. Leur effet réducteur d'eau (rapport E/C plus bas) peut rendre le béton plus résistant. L'utilisation d'un superplastifiant peut même être utile pour la confection d'un béton de consistance élevée (« terre humide ») et pas seulement pour l'obtention de bétons fluides.

En aucun cas, l'utilisation d'un plastifiant ou d'un superplastifiant ne doit entraîner une diminution du dosage en ciment.

Certains adjuvants peuvent par ailleurs avoir un effet retardateur, également fonction de la température de mise en œuvre et pouvant entraîner un lavage irrégulier.

L'emploi des adjuvants demande de réaliser un essai de compatibilité avec le ciment utilisé. Les adjuvants permettent d'adapter certaines caractéristiques d'un béton bien composé au départ et non à améliorer un béton fabriqué à partir de matériaux impropres ou mal choisis.

• Les entraîneurs d'air

Pour résister aux cycles gel-dégel en présence de sels de déverglaçage, le béton coloré doit contenir de l'air entraîné. Dans ce cas, le cahier spécial des charges fixera la teneur en air occlus qui est généralement comprise entre 3 et 6 %. Il faut savoir que plus le béton est constitué de granulats fins, plus il contient de mortier et plus la quantité d'air prescrite est aisée à obtenir. Dans le cas d'un béton à faible D_{max} , la teneur minimum en air exigée peut être augmentée.

• Les colorants

L'usage des colorants se justifie pour donner au mortier la coloration qui se combine avec les couleurs naturelles des granulats choisis et soutenir celles-ci. Les colorants sont habituellement constitués, soit d'oxydes métalliques naturels (fer, chrome, titane, manganèse,...), soit de pigments fabriqués par voie synthétique, ceux-ci étant toutefois moins courants.

Les colorants peuvent être fournis sous forme liquide, en poudre ou en granules. Ils sont incorporés à la fabrication du béton dans le malaxeur de la centrale en béton ou parfois dans le camion malaxeur. Le temps de malaxage doit être adapté à la qualité du malaxeur pour éviter des variations de teintes du béton.

Le dosage des colorants dépend de leur nature. Il est conseillé de

respecter les consignes des fabricants. Les colorants les plus fréquemment utilisés sont:

- les oxydes de fer: jaune, rouge, brun, noir;
- les oxydes de chrome: vert;
- les oxydes de titane: blanc (l'utilisation d'un ciment blanc est aussi recommandée dans ce cas);
- les oxydes de manganèse: noir.

• Les fibres synthétiques

Des fibres synthétiques en polypropylène sont parfois incorporées aux bétons lavés: leur utilisation permet notamment de limiter la ségrégation des pierres par gravité dans le mortier lors de la mise en œuvre et du compactage et d'avoir un effet favorable sur l'homogénéité de l'aspect de surface. Le choix d'une bonne composition permet toutefois déjà en grande partie d'éviter cette tendance à la ségrégation.

Par ailleurs, l'incorporation de fibres synthétiques peut également servir à limiter l'apparition de fissures de retrait en phase plastique du béton.

Une fois les divers matériaux choisis, une étude de composition est réalisée en laboratoire. Une épreuve de convenance représentative est souvent recommandée, voire obligatoire, pour attester de l'aspect et des teintes désirées (voir encadré page suivante).

La figure ci-dessus présente quelques courbes granulométriques étudiées en laboratoire pour divers chantiers réalisés en Belgique. L'attention est attirée sur le fait que ces courbes granulométriques sont données à titre indicatif. Elles ne doivent pas être utilisées pour remplacer l'étude de composition prescrite par le cahier des charges. Le choix des matériaux et la granulométrie de ceux-ci peuvent avoir une influence non négligeable sur l'ouvrabilité du béton et sur les risques de ségrégation, ce qui justifie pleinement la nécessité de réaliser une épreuve de convenance.

EPREUVE DE CONVENANCE

Dans le cas des bétons tarés à utiliser en milieu urbain, il est indispensable de réaliser une planche de référence d'au moins un demi mètre carré pour attester de l'aspect désiré. Pour des chantiers importants, cette plage d'essai devrait être de quelques m², par exemple de 4 à 8 m². Il est important de veiller à la représentativité de cette épreuve de convenance. Un petit échantillon ne permet pas toujours de se faire une idée correcte du résultat final. La visite de chantiers réalisés à partir d'une composition étudiée peut constituer une alternative intéressante.

La réalisation d'une épreuve de convenance en vraie grandeur permet en outre au maître d'œuvre de vérifier que la centrale dispose des moyens de stockage, de fabrication et des équipements pour la fourniture du béton en conformité avec la norme NBN B15-001. Le recours à une centrale autorisée à utiliser le label BENOR constitue une garantie supplémentaire de qualité.

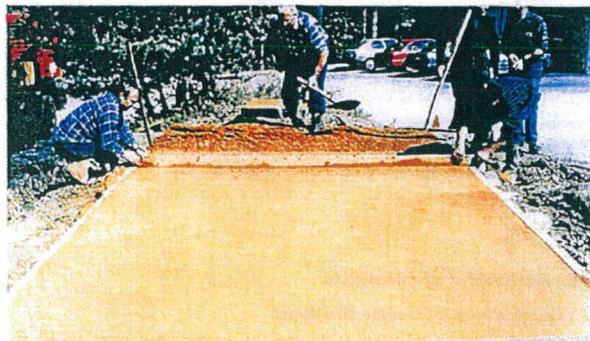
La réalisation d'une planche de référence avec les moyens de transport prévus et le matériel de mise en œuvre de l'entrepreneur doit permettre de définir toutes les procédures de mise en œuvre et de lavage (désactivation) du béton. Cette épreuve peut être réalisée lors de premiers coulages mais leur acceptation par le maître d'œuvre est alors conditionnée par l'obtention de résultats probants.

L'épaisseur de la dalle peut avoir une influence sur la profondeur de désactivation par suite d'une différence possible de chaleur d'hydratation. Aussi, l'auteur de projet devra en tenir compte lors de la confection de la planche de référence.

Il importe donc d'être attentif à la température du béton au moment de sa mise en œuvre et de choisir, si nécessaire, le retardateur de prise en fonction des conditions atmosphériques observées le jour du bétonnage.



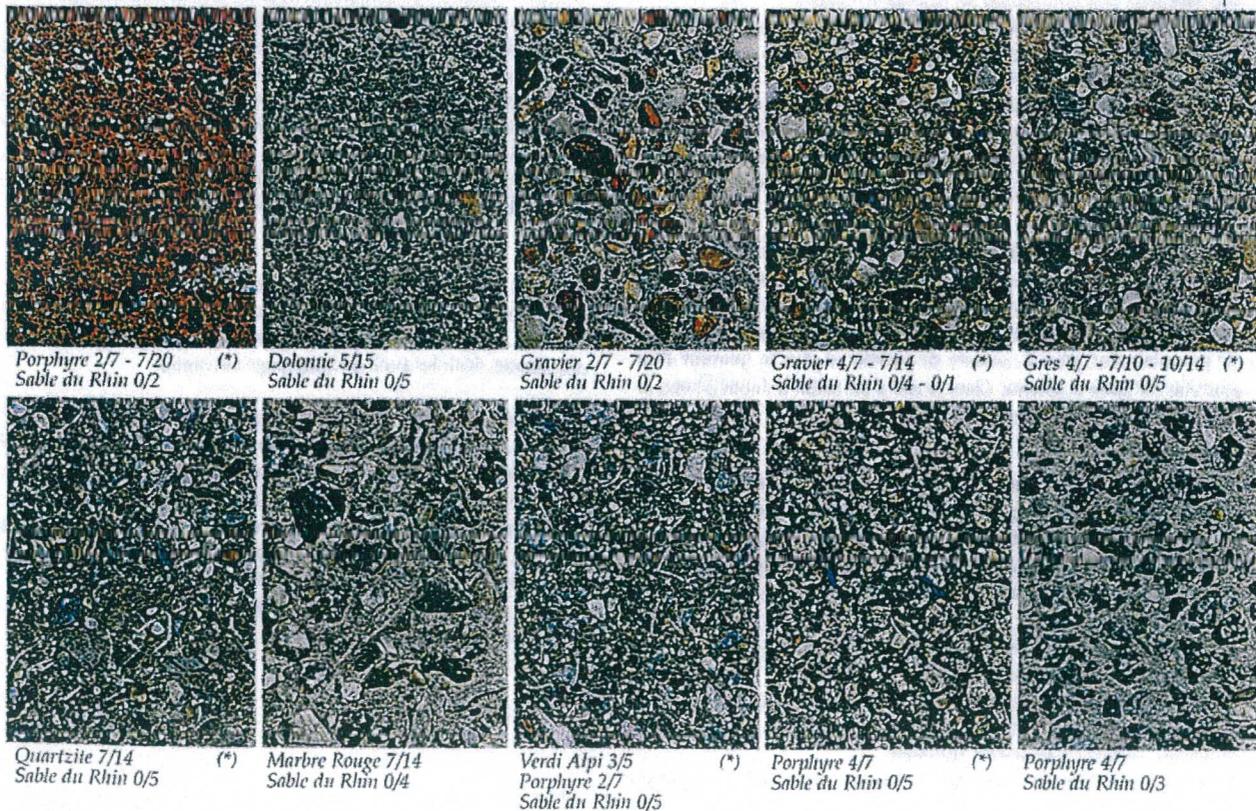
20 - Dalles témoins réalisées lors d'une étude de composition du béton



21 - Epreuve de convenance réalisée à proximité de la centrale à béton préalablement à la réalisation du chantier de la Place communale d'Aubange

22 - Exemples d'aspects [(*) = avec colorant]

1 cm



MISE EN ŒUVRE

Le béton doit idéalement provenir d'une centrale conforme aux exigences de la norme NBN B15-001 et autorisée à utiliser la marque de conformité BENOR. Sa capacité doit être suffisante pour suivre la cadence du chantier.

La réussite d'un chantier en béton lavé est facile à obtenir à condition de respecter certaines recommandations d'ordre technologique, et notamment éviter de travailler lorsque les conditions climatiques sont incertaines (risque de pluie ou d'averses,...

). Le revêtement peut être réalisé entre coffrages fixes ou entre coffrages glissants. Les coffrages peuvent être constitués :

- soit de pavés en béton, ils sont alors disposés en ligne et reposent sur une semelle de fondation en béton riche dont les parois latérales sont verticales (cfr. plus haut);
- soit de coffrages classiques;
- soit d'éléments linéaires préfabriqués ou non;
- soit de pierres naturelles...

Préalablement au bétonnage, tous les accessoires de voiries apparents (filets d'eau, bordures, pavés ...) sont protégés de la coloration au moyen d'un produit protecteur incolore et légèrement collant.

Le bétonnage peut s'effectuer soit en une seule couche, soit en deux couches, béton frais sur béton frais. Dans ce dernier cas, des précautions sont prises pour éviter la remontée du béton de la couche inférieure à la surface. Le délai de mise en œuvre de la deuxième couche doit être très proche de la première et en tout cas inférieur à 1 heure. La solution de bétonnage en deux couches est généralement utilisée pour les bétons fins et colorés; elle est économique et permet de mieux maîtriser la qualité de finition de surface. Enfin, elle permet aussi d'incorporer éventuellement une nappe d'armatures à l'interface des deux couches.

Le béton est toujours compacté énergiquement. La vibration mécanique est obligatoire pour les aires soumises à la circulation. L'attention de l'entrepreneur est attirée sur la nécessité d'un compactage et d'une vibration strictement homogènes sur toute l'étendue de la surface.

(Chantier de Adanage -)

23 - Protection des accessoires de voirie

24, 25, 26 - Mise en œuvre de la première couche
(épandage et compactage à l'aiguille vibrante)

27 - Épandage du béton coloré

28 - Contrôle de la consistance



23



24



25



26



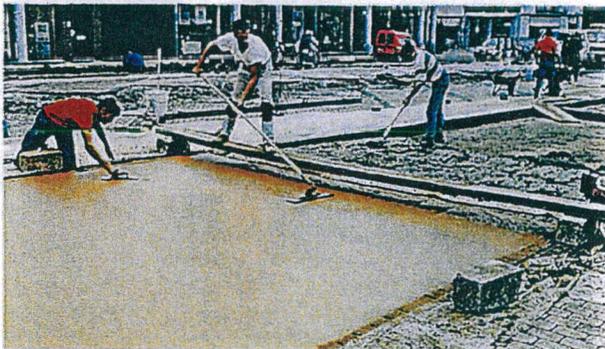
27



28



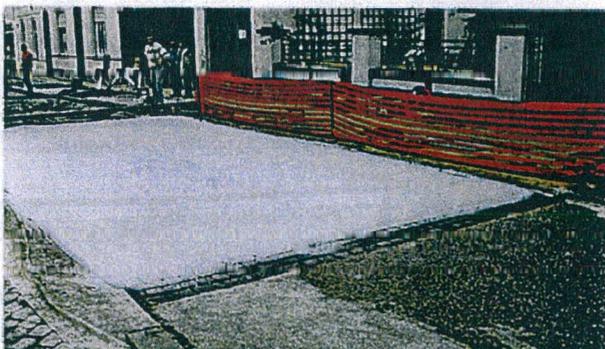
29



30



31



32



33

Après compactage, le béton est d'abord lissé au moyen d'une règle rigide reposant sur les coffrages et ensuite à l'aide d'une taloche lisseuse large montée sur un manche à double articulation. Le béton présente alors une surface bien lisse, exempte de cavités apparentes et de vagues. Afin d'éviter des hétérogénéités de surface lors du dénudage, tout replâtrage et tout arrosage du béton sont interdits.

Le retardateur de prise est pulvérisé à la surface environ 30 minutes après la fin du lissage et parfois plus tôt lorsqu'il fait très chaud. La surface sera exempte d'eau stagnante ou ruisselante, bien que la présence d'un peu d'eau ne doive en principe pas gêner l'action du retardateur de prise. Il faut toutefois constater que plus la surface du béton jeune est mouillée et plus le retardateur de prise peut agir en profondeur. Il existe sur le marché des produits retardateurs à « profondeur assurée », fonction de la quantité de ciment et d'eau utilisés dans la composition du béton.

Certains retardateurs de prise protègent également le béton contre la dessiccation. Leur efficacité doit être contrôlée. Si ce n'est le cas, le béton sera couvert d'une membrane étanche préfabriquée, immédiatement après pulvérisation du retardateur. Cette membrane permet également de préserver la surface du béton frais contre les intempéries éventuelles. Elle sera appliquée avec précaution pour éviter d'endommager la surface du béton frais.

Le traitement de surface est réalisé par dénudage de la surface du béton durci. Cette opération consiste à enlever la laitance superficielle au moyen d'une machine à pression d'eau. Suivant le type de retardateur de prise utilisé, le moment de l'intervention peut varier de 6 à 24 heures. Il y a donc lieu de se conformer aux prescriptions du fabricant et de vérifier l'effet du retardateur lors de l'essai de convenue.

Immédiatement après dénudage, le béton est protégé contre la dessiccation au moyen d'une membrane étanche préfabriquée, maintenue en place sur la surface du béton durant au moins 72 heures. Les produits de cure sont rarement préconisés car ils contiennent des pigments qui peuvent provisoirement tacher la surface du béton.

Environ 4 semaines après mise en œuvre, le béton peut être protégé au moyen d'une émulsion aqueuse de protection anti-taches et hydrofuge à raison de 250 grammes de produit par m². Le produit est répandu sur une surface propre et sèche. Le délai de 4 semaines est généralement préconisé par les fournisseurs, le béton ayant alors atteint une certaine résistance.

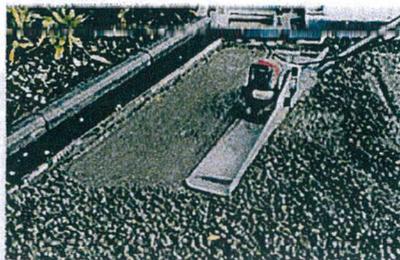
29, 30 - Lissage et talochage de la surface du béton

L'utilisation d'une petite poutre vibrante (photo 34) peut faciliter ces opérations. Elle est souvent utilisée pour des travaux privés.

31 - Pulvérisation du retardateur de prise

32 - Protection contre les dégradations (piétons, chiens, ...)

33 - Sciage des joints autour des obstacles fixes.



34

ENTRETIEN

Encrassement

Principalement lorsque le ton choisi pour le revêtement est clair, le risque d'encrassement de la surface existe. Pour cette raison il est utile de prévoir, dès la mise en œuvre du béton, un traitement spécifique qui le protégera efficacement.

- Dans le cas de bétons démodés 0/7, 0/10, 0/14 ou 0/20 -éventuellement colorés -, un traitement superficiel par pulvérisation d'un hydrofuge de surface permet de protéger le revêtement vis-à-vis de la pénétration de saletés. Ce traitement est généralement effectué au plus tôt quatre semaines après la mise en œuvre du béton sur une surface propre et sèche. Il permet en outre d'assurer au béton une meilleure protection contre les cycles gel-dégel en présence de sels de déverglaçage. Il y a lieu de noter toutefois que ce traitement a une durée de vie limitée. Il est donc nécessaire de le renouveler tous les cinq ans environ.
- Un revêtement de béton encrassé peut être nettoyé au jet d'eau haute pression ou au moyen de détergents.

Restauration ou correction d'un état de surface défectueux

La mise en œuvre d'un béton lavé peut parfois être influencée par des conditions externes ayant une incidence sur l'aspect final du béton (démodage irrégulier, légères variations de teintes,...

Dans ce cas, en fonction de l'état de surface du revêtement, plusieurs procédés de restauration sont possibles:

- Restauration de la planéité par meulage au moyen de disques diamantés.
Ce traitement procure à la surface de béton un aspect finement rainuré (microrainurage) en lieu et place de la structure granuleuse initialement désirée.
Il peut également être effectué par fraisage (rainures quelque peu moins fines).
- Restauration de l'état de surface par sablage ou grenailage.
La surface du béton est abrasée par la projection de linaille ou de billes d'acier, ou de sable calibré, au jet d'air comprimé. La linaille ou les billes sont récupérées par aspiration et recyclées. Cette technique peut altérer l'aspect des granulats. La profondeur de la structure granuleuse sera éventuellement plus faible.
- Restauration de l'état de surface par bouchardage.
La surface du béton est écrasée et égalisée au moyen d'une machine équipée de marteaux à tête gaufree. Cette technique peut également altérer l'aspect des granulats.
- Restauration de l'état de surface par attaque à l'acide.
Il s'agit d'un traitement peu profond qui enlève la peau de ciment pour révéler le grain de sable.

35 - Manage



PERFORMANCES - EXIGENCES ET PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES AUX CAHIERS DES CHARGES

Note: Les prescriptions ci-après sont partiellement reprises dans les cahiers des charges types régionaux (CCT RW 99 - Standaardbestek 250, ...)

MATERIAUX (voir aussi le paragraphe sur la composition du béton)

Sable

Le sable est naturel. La teneur en particules inférieures à 0,063 mm est $\leq 3\%$.

Pierres

Le cahier spécial des charges spécifie les pierres choisies. Il définit le calibre maximal du plus gros granulat et le coloris désiré. Il précise si les granulats sont BENOR ou non.

Ciment

Le ciment répond aux prescriptions de la série des normes NBN B12-001 et des PTV 600 et 601. Il est certifié BENOR.

Le ciment est du type CEM I ou CEM III/A de classe de résistance 42,5 et à teneur limitée en alcalis LA.

REVETEMENTS DE CHAUSSEES

Le béton « désactivé » est principalement caractérisé par un traitement de surface spécifique, après mise en œuvre, destiné à retarder superficiellement la prise du mortier afin de pouvoir l'éliminer par lavage. Le béton est composé de pierres, de sable, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants et de colorants.

Revetements discontinus

Les revêtements discontinus sont constitués d'une ou plusieurs bandes de béton séparées par des joints longitudinaux parallèles à l'axe de la chaussée et entrecoupées par des joints transversaux perpendiculaires à l'axe de la chaussée, goujonnés ou non.

On appelle « dalle » toute section de bande comprise entre deux joints transversaux.

Dimensions des dalles

longueur L:

Epaisseur e de la dalle	Espacement L des joints
12 cm	3,00 m
14 cm	3,50 m
16 cm	4,00 m
18 cm	4,50 m
20 cm	5,00 m

Le cahier des charges spécial précise si les joints sont goujonnés ou non.

largeur maximum:

4,50 m (pour e = 0,20 m)

épaisseur minimum:

- trafic lourd et important : 0,20 m
- trafic lourd : 0,18 m
- trafic lourd occasionnel : 0,16 m
- zones exclusivement piétonnes ... : 0,12 m

pente transversale :

2,5 % ou à préciser aux documents d'adjudication

Les dimensions exactes des dalles sont reprises dans les documents d'adjudication.

Un plan des joints est fourni si nécessaire.

Travaux préparatoires

La surface sur laquelle le béton est mis en œuvre est nettoyée, débarrassée de toute trace de boue, matière organique ou matériau étranger. Toute irrégularité ou ornière sur la fondation est aplanie et compactée.

Coffrages

Le revêtement est réalisé entre coffrages fixes ou entre coffrages glissants.

Les coffrages peuvent être constitués:

- soit de pavés en béton ou en pierre. Ils sont disposés en ligne et reposent sur une semelle de fondation en béton riche dont les parois latérales sont verticales; ils sont réalisés au moins 3 jours avant le bétonnage.
- soit de coffrages classiques.

Les coffrages sont fixés de manière à ne subir aucune déformation au cours des opérations de bétonnage.

La longueur des éléments des coffrages est limitée de façon à permettre des variations angulaires en plan et en hauteur permettant d'épouser la forme du profil en long et du tracé en plan prescrits pour le revêtement. Le mode d'assemblage de ces éléments est tel qu'il s'adapte aisément à ces variations.

Afin de s'assurer de la stabilité des coffrages, avant mise en œuvre du béton, on fait circuler sur ceux-ci l'ensemble des machines de bétonnage. Aucun affaissement par rapport au profil prescrit, ni aucun déplacement latéral des coffrages de plus de 0,5 cm, n'est toléré.

Si un tel affaissement est constaté, les coffrages sont démontés et le profil en long ainsi que le tracé en plan sont rétablis. Un nouveau contrôle est effectué.

Composition du béton

L'entrepreneur choisit la composition du béton en respectant les prescriptions suivantes:

Trafic	Quantité minimale de ciment (kg/m ³)	Rapport eau/ciment E/C	Rapport sable/ciment S/C
Lourd et important	400	$\leq 0,45$	$< 1,4$
Lourd	350	$\leq 0,50$	—
Lourd occasionnel	325	$\leq 0,50$	—

La dimension maximale du calibre nominal des granulats et leurs coloris sont fixés dans les documents d'adjudication.

Le béton coloré contient obligatoirement un entraîneur d'air. La teneur en air occlus est comprise entre 3 et 6 %.

L'ajout de cendres volantes au béton est interdite.

Au moins quinze jours avant le début du bétonnage, l'entrepreneur fournit:

- les coordonnées de la centrale à béton chargée de fournir le béton;
- les certificats d'origine des composants (pierres, sable, ciment, aciers, additions et adjuvants éventuels, ...);
- les certificats d'origine des retardateur de prise, produit de cure, mortier de scellement, ...;
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire agréé, reprenant:

- la composition en masse des pierres et du sable;
 - la quantité de ciment et d'eau par m³ de béton;
 - la consistance et l'ouvrabilité mesurées au cône d'Abrams et au consistomètre VB;
 - la teneur en air occlus du béton frais;
 - la nature et les courbes granulométriques des composants inertes (sable, fractions granulométriques des pierres);
 - la résistance à la compression, à 7 et 28 jours d'âge, sur deux séries de trois carottes de 100 cm³;
 - la masse volumique apparente du béton frais compacté;
 - le type, les caractéristiques et le dosage des adjuvants et des colorants éventuels.
 - l'emplacement de la centrale à béton;
 - les moyens de compactage, de mise en œuvre;
 - la technique de lavage du béton et la description des produits retardateurs qu'il compte utiliser;
 - une planche d'essai d'au moins 0,5 m² est réalisée en laboratoire et dénudée chimiquement dans les conditions de chantier pour attester de l'homogénéité, de la teinte et de l'état de surface.
- Le cahier spécial des charges fixe l'importance des planches d'essai à réaliser.

Fabrication

Le béton est fabriqué dans une centrale de malaxage conforme à la norme NBN B15-001, autorisée à fournir du béton sous le label BENOR, et d'une capacité suffisante pour assurer une mise en œuvre continue.

Lors du dosage de l'eau à la centrale, il est tenu compte :

- de la limite supérieure autorisée pour le rapport E/C;
- de la teneur en eau des matériaux, adjuvants et colorants compris;
- des effets prévisibles des adjuvants.

Le dispositif de vidange du malaxeur évite la ségrégation des constituants.

L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans accord préalable de l'Administration.

Le colorant prédosé moyennant accord du fonctionnaire dirigeant peut être introduit dans le camion malaxeur.

Mise en œuvre

Préalablement au bétonnage, tous les accessoires de voiries apparents (filets d'eau, bordures, pavés, ...) sont protégés de la coloration au moyen d'un produit protecteur incolore et légèrement collant. Ce produit est appliqué à la brosse. Il sera délavé lors de l'enlèvement de la laitance superficielle (dénudage). Le produit de protection sera soumis à l'approbation préalable du fonctionnaire dirigeant.

Le béton est vibré mécaniquement. L'attention de l'entrepreneur est attirée sur la nécessité d'un compactage et d'une vibration strictement homogènes sur toute l'étendue de la surface. Le bétonnage s'effectue en une seule couche.

Au cas où les documents d'adjudication prévoient sur l'épaisseur de revêtement l'utilisation de bétons de compositions différentes (nature des matériaux, granularité, coloration, ...), le bétonnage en 2 couches, béton frais sur béton frais, est autorisé.

Les coffrages ne peuvent être déplacés lors du coulage du béton.

Après compactage, le béton est lissé au moyen d'une règle rigide reposant sur les coffrages et ensuite à l'aide d'une taloche lisseuse large montée sur un manche à double articulation.

Le béton présente alors une surface bien lisse, exempte de cavités apparentes et de vagues.

Tout replâtrage et tout arrosage du béton sont interdits. Tout béton dont la mise en œuvre, jusqu'à et y compris la pulvérisation du retardateur de prise n'est pas terminée dans les 120 minutes qui suivent la vidange de la bétonnière est refusé.

Bétonnage par temps froid

Le bétonnage du revêtement n'est autorisé que lorsque la température de l'air sous abri à 1,50 m du sol, mesuré à 8 h du matin, est supérieure ou égale à +1 °C et que le minimum nocturne n'est pas descendu sous -3 °C. Le béton frais est protégé afin que la température de la surface du revêtement ne descende pas sous 1 °C pendant au moins 72 heures.

Bétonnage par temps de pluie

Le déversement du béton est interrompu en cas de pluie ou d'averse.

Bétonnage par temps chaud

Sauf précautions particulières, à agréer par le fonctionnaire dirigeant, le bétonnage n'est autorisé que lorsque la température de l'air sous abri, à 1,50 m du sol, est inférieure ou égale à 25 °C.

Les joints

(voir schémas plus haut dans le présent bulletin)

Traitement de surface par dénudage

Le dénudage du squelette pierreux consiste à pulvériser un retardateur de prise sur la surface du béton dès sa mise en œuvre et à éliminer ultérieurement le mortier ainsi retardé.

Le retardateur de prise est pulvérisé de façon uniforme sur la surface du béton frais au maximum 15 minutes après la mise en œuvre du béton. Ce retardateur contient un pigment lui assurant en permanence une couleur franche. Il ne peut, en aucun cas, s'écouler naturellement sur la surface du béton frais quelle qu'en soit la pente.

Immédiatement après la pulvérisation du retardateur, la surface est protégée contre la dessiccation au moyen d'une membrane étanche maintenue en place jusqu'au moment de l'élimination du mortier retardé.

Le mortier retardé est éliminé par brossage à l'eau, ou au moyen d'une machine à jet d'eau sous pression, dans un délai compris entre 6 et 24 heures après la mise en œuvre du béton.

Ce délai minimum est prolongé lorsque la prise en masse du béton n'est pas suffisante pour admettre, sans aucune dégradation, l'opération de brossage.

L'entrepreneur prend les dispositions nécessaires en vue d'éviter que le mortier évacué ne s'accumule, soit dans le système d'évacuation des eaux (filets d'eau, avaloirs, aqueducs), soit dans les drains réalisés ou dans les équipements proches de la chaussée tels que les gaines, les bouches d'incendie, ...

Toute la laitance non durcie est éliminée et évacuée du chantier par lavage.

Protection du béton frais contre la dessiccation

Immédiatement après dénudage, le béton est protégé contre la dessiccation au moyen d'une membrane étanche préfabriquée et dont l'épaisseur est de 50 µm minimum.

Sa largeur est celle de la surface à protéger plus un mètre et elle est maintenue en place par lestage sur toute la surface. Cette protection est maintenue en place durant au moins 72 heures.

Protection contre la pluie

Les dispositions sont prises pour éviter le délavage par la pluie de la surface du béton frais tant pour le béton épandu et non encore vibré que pour le béton fraîchement parachévé.

Protection contre le gel

La surface de revêtement est protégée efficacement contre le gel de manière telle que, pendant 72 heures après la mise en œuvre du béton, la température au niveau supérieur du revêtement ne descende pas au-dessous de +1 °C.

Protection contre les effets mécaniques

Toutes dispositions sont prises en vue de protéger le béton frais contre les dégradations provoquées par tout effet mécanique (véhicules, vélos, piétons, animaux, ...).

Traitement du béton durci par hydrofuge

Le béton coloré-lavé (dénudé) est protégé des taches et salissures par pulvérisation d'un hydrofuge de surface à raison d'au moins 250 g/m².

Ce traitement est effectué, au plus tôt, quatre semaines après la mise en œuvre du béton sur une surface propre et sèche.

SPECIFICATIONS

Caractéristiques de masse du béton

Lors de l'exécution du chantier, l'entrepreneur réalise au moins 6 cubes de contrôle qui sont conservés dans les conditions de chantier.

Des carottes de 100 cm² de section sont prélevées dans ces cubes pour les essais de résistance à la compression simple et d'absorption d'eau.

Résistance à la compression

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge.

Les carottes sont conservées en laboratoire, en atmosphère humide saturée, à une température de 20°C pendant au moins 10 jours avant les essais.

Les carottes peuvent être prélevées dans des dalles préfabriquées réalisées dans les conditions du chantier.

Caractéristique (MPa)	Trafic		
	Lourd et important	Lourd	Lourd occasionnel
Résistance caractéristique	50 (*)	40 (*)	35 (*)
Béton BENOR	C35/45	C30/37	C25/30
Résistance individuelle minimum	Résistance caractéristique x 0,85		

(*) béton avec entraîneur d'air

Absorption d'eau

L'absorption d'eau est mesurée sur la tranche supérieure de carottes de 100 cm² à au moins 60 jours d'âge réel.

Les prescriptions concernent, par lot, l'absorption d'eau moyenne W_m et les absorptions d'eau individuelles W_i .

Caractéristique (‰)	Trafic	
	Lourd (et évent. important)	Lourd occasionnel
Absorption d'eau individuelle max.	6,5	6,8
Absorption d'eau moyenne max.	6,0	6,3

(valeurs exprimées en ‰ à 0,05 ‰ près par excès ou par défaut.)

Régularité de surface

Les irrégularités de surface sont inférieures à 4 mm pour un trafic lourd (et éventuellement important) et inférieures à 5 mm pour un trafic occasionnellement lourd.

Teneur en air occlus

Le contrôle de la teneur en air occlus s'effectue contradictoirement avec l'entrepreneur ou la centrale à béton toutes les 2 heures le premier jour du bétonnage, ensuite au moins deux fois par jour. Le contrôle est aussi effectué lors de toute modification de la composition ou à la demande du fonctionnaire dirigeant.

Les mesures sont effectuées suivant la norme NBN B15-224. Les résultats pris en considération sont constitués de la moyenne des mesures effectuées sur trois prélèvements. Tout résultat hors des limites prescrites entraîne l'arrêt immédiat du bétonnage. La reprise de celui-ci n'est autorisée que lorsque l'entrepreneur prouve au pouvoir adjudicateur que le béton répond aux critères imposés pour la teneur en air occlus.

En cas de litige quant au volume d'air entraîné, un contrôle sur béton durci peut être demandé. Ce contrôle est effectué selon la norme ASTM C 457-82.a.

Les frais de ce contrôle sont à charge du pouvoir adjudicateur lorsque les résultats de l'essai sont satisfaisants.



ce bulletin est publié par :
FEBELCEM - Fédération de
l'Industrie Cimentière Belge
rue Volta 8
1050 Bruxelles
tél. (02) 645 52 11
fax (02) 640 06 70
e-mail : info@fobelcem.be

auteur :
Ir A. Jasienski

avec la collaboration de :
Ir Arch. N. Naert

éditeur responsable :
J.P. Jacobs

dépot légal :
D/1999/0280/04

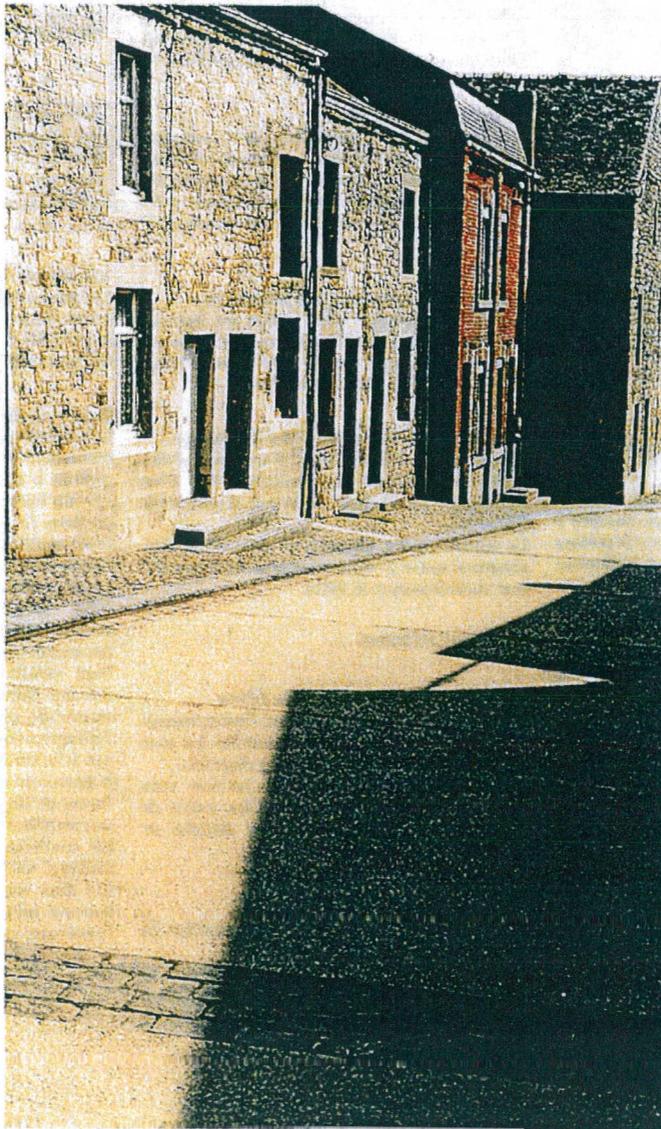
BIBLIOGRAPHIE

Conception et exécution du béton désactivé - Voiries et aménagements urbains
Paris : CIMBETON, 1995

SION P.
La route en béton de ciment
Bruxelles: FIC (FEBELCEM), 1988

Cahiers des charges CCT RW 99
Ministère de la Région Wallonne - MET

Typebestek 250
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - LIN



36, 37 - Treignes

Photos :

P. Van Audenhove (couverture, 5, 11-34, 37)
A. Jasienski (1-3, 6-10)
N. Naert (35, 36)
DAYLIGHT sprl (4)

Avec nos remerciements à

Ir B. De Blaere (SECU)
Ing. G. Verneulen (INTER-BETON)