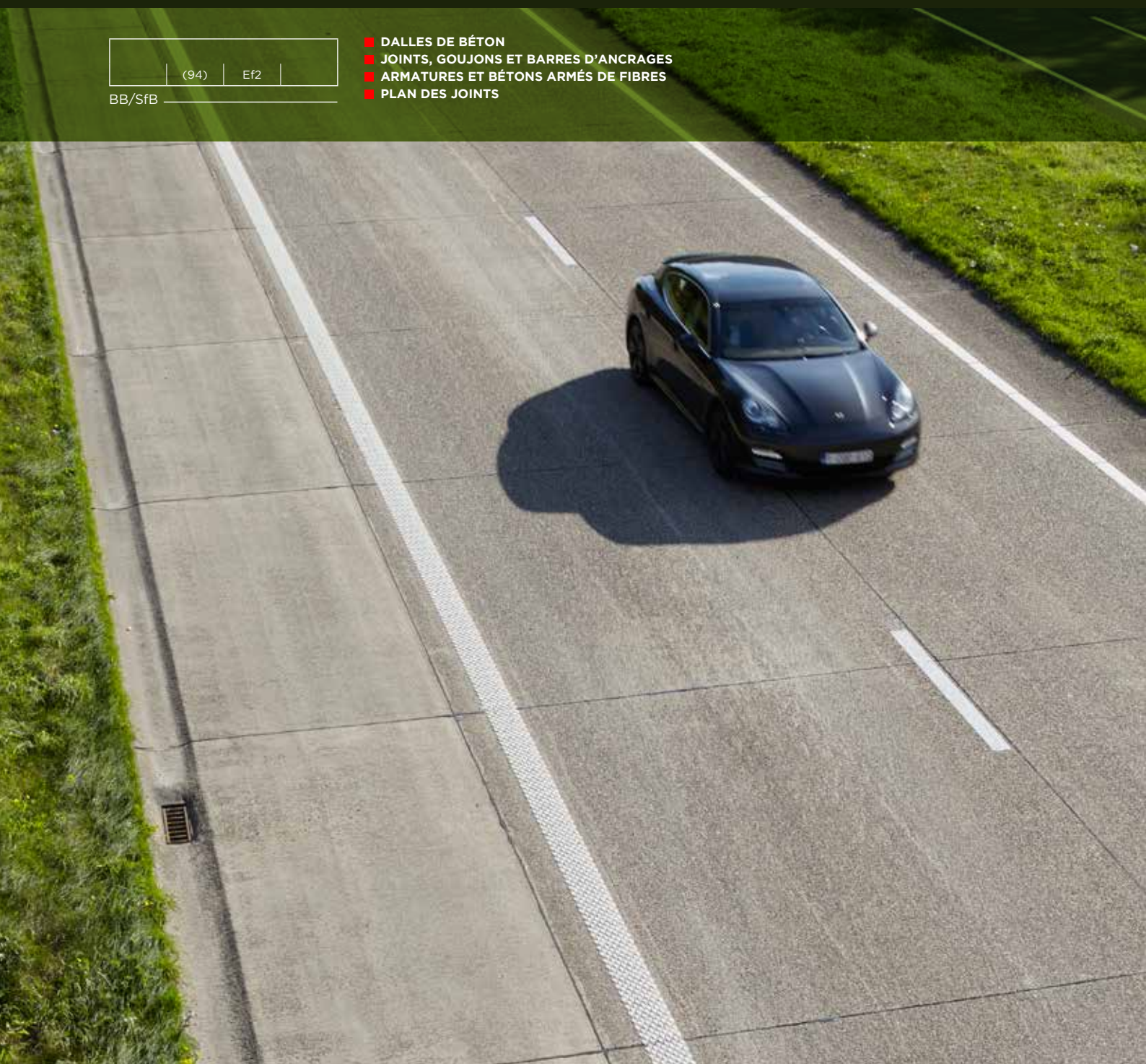


VOIRIES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS EN DALLES DE BÉTON

INFRASTRUCTURE | NOVEMBRE 2015

	(94)	Ef2	
BB/SfB			

- DALLES DE BÉTON
- JOINTS, GOUJONS ET BARRES D'ANCRAGES
- ARMATURES ET BÉTONS ARMÉS DE FIBRES
- PLAN DES JOINTS





1. Introduction

« Les dalles de béton : inégalables pour un revêtement routier durable »

2. Sollicitations thermiques des dalles de béton

2.1 Contraintes du béton frais

2.1.1 Retrait hygrométrique ou plastique

2.1.2 Retrait thermique

2.1.3 Gradient de température

2.2 Contraintes du béton durci

2.2.1 Retrait

2.2.2 Gradient de température

2.2.3 Dilatation thermique

Cintrage ('curling') – Dilatation thermique du béton

3. Effet du trafic sur les dalles de béton

4. Frottement avec le support – Film plastique – Couche sandwich en asphalte

5. Joints et caractéristiques géométriques d'un revêtement en dalles de béton

5.1 Fonction des joints

5.2 Distances entre les joints

5.3 Types de joints

5.3.1 Joints de retrait-flexion transversaux

5.3.2 Joints de construction transversaux

5.3.3 Joints de dilatation transversaux

5.3.4 Joints d'isolation

5.3.5 Joints de flexion et de construction longitudinaux

Barres d'ancrage

Goujons

5.4 Autres systèmes de joints

5.5 Matériaux de scellement

6. Armatures des dalles de béton

7. Raccord avec d'autres revêtements

8. Plan des joints

9. Conclusion

1. INTRODUCTION

Le revêtement routier en dalles de béton, non armé, coulé en place, représente incontestablement le type de revêtement en béton le plus couramment utilisé à travers le monde. Les joints transversaux dont il est constitué sont indispensables pour éviter que le revêtement ne se fissure de manière aléatoire. Pour tous les revêtements en béton, le phénomène de fissuration apparaît lorsque celui-ci est soumis à l'influence du retrait et de la dilatation à jeune âge, à un gradient de température important, aux sollicitations du trafic ou à des éventuels mouvements de sol. Les fissures sont donc localisées intentionnellement au niveau des joints et, de cette manière, deviennent totalement maîtrisées. Cette méthode diffère fondamentalement de celle utilisée pour le béton armé continu, qui ne comporte aucun joint transversal, mais dans lequel un réseau de fines fissures transversales apparaît et dont l'évolution est contrôlée par les armatures longitudinales disposées dans le béton. Alors que le béton armé continu est principalement utilisé pour la construction d'autoroutes, les revêtements en dalles de béton conviennent pour une série d'applications telles que les routes principales et secondaires, les chemins agricoles, les voiries urbaines, les places, les passages, les voies de bus, les sites industriels, les parkings, etc.

Le comportement d'un revêtement en dalles de béton soumis à la charge du trafic et aux conditions climatiques, dépend fortement des éléments suivants :

- l'espacement des joints transversaux ;
- la largeur des bandes de béton ;
- l'épaisseur du revêtement ;
- la présence ou non de goujons dans les joints transversaux ;
- la présence ou non d'armatures dans les dalles ;
- la capacité portante de la fondation et du support.

Cette publication donne un aperçu général des principes de base d'un revêtement routier en béton discontinu, ainsi qu'une évaluation de l'influence des facteurs susmentionnés. En appoint aux nombreuses recommandations utiles pour la conception et la réalisation, cet ouvrage ne manque pas de traiter différents aspects tels les mouvements thermiques, les différents types de joints et les armatures. Enfin, il contient également un guide pour la conception de plans de calepinage suivant les règles de l'art.



Dalles en béton pour la voie de bus au niveau de la place 't Zand à Bruges.



Plaque commémorative pour la « plus ancienne rue en béton » à Bellefontaine

« LES DALLES DE BÉTON : INÉGALABLES POUR UN REVÊTEMENT ROUTIER DURABLE »

Le principe des dalles en béton utilisées comme revêtements routiers existe depuis plus de 120 ans. Le plus ancien exemple connu est la Court Avenue à Bellefontaine, dans l'Ohio aux États-Unis. En 1891, George Bartholomew, un expert en ciment et béton immigré, a proposé à l'administration de la ville de couvrir de béton les rues passant devant l'hôtel de ville. Après un premier essai concluant, l'autorisation de réaliser les travaux lui est octroyée en 1893. Toutefois, les autorités n'étaient pas particulièrement enthousiastes car elles n'avaient encore jamais vu d'autre exemple ailleurs. George Bartholomew a dès lors dû fournir lui-même le ciment et payer une garantie de 5 000 \$ pour une durée de 5 ans, sachant que les travaux ont coûté un total de 9 000 \$. La caution lui a été rendue sans équivoque. Aujourd'hui, la Court Avenue est toujours bien là et est même encore utilisée. Des réparations ont certes été nécessaires ces dernières années pour préserver ce site historique, mais durant ses 50 premières années d'existence, à peine 1 400 \$ ont été déboursés pour son entretien. Sur le plan technique, la structure de cette route est aussi particulière. Il s'agit en effet d'un béton bicouche dont la couche supérieure est composée de granulats atteignant 12 mm et caractérisée par un rapport eau/ciment de 0,45. La couche inférieure est, quant à elle, composée de granulats allant jusqu'à 36 mm et présente un rapport eau/ciment de 0,60. La résistance du béton était d'environ 35 MPa.

Les revêtements routiers en dalles de béton sont, à l'heure actuelle, construits dans le monde entier et couvrent toutes les applications possibles, allant des revêtements légèrement sollicités, comme les sentiers de promenade, pistes cyclables et places, aux revêtements lourdement sollicités tels que les autoroutes, les zones portuaires et les pistes d'aéroport. Pour toutes ces applications, de nombreux exemples témoignent de la grande longévité, de ces revêtements, combinée à un entretien très limité. Pratiquement, leur longévité peut atteindre 40, 50, 60 ou même 70 ans !

Grâce au concept moderne des joints de retrait-flexion transversaux, les revêtements routiers sont également devenus très confortables. En effet, un traitement de surface adapté, à savoir un dénudage du squelette pierreux, garantit un revêtement silencieux doté d'une faible résistance au roulement, entraînant une réduction nette de la consommation de carburant.

La réalisation d'un revêtement bicouche offre la possibilité d'optimiser au maximum les caractéristiques acoustiques et de confort de roulement de la couche supérieure, tout en utilisant, par exemple, des granulats recyclés en couche inférieure de la structure du revêtement. En Flandre (*Standaardbestek 250*), il est autorisé de remplacer jusqu'à 20 % des gros granulats par des granulats de béton recyclé de haute qualité dans la couche inférieure. D'un point de vue technique, il est toutefois possible d'appliquer un pourcentage de granulats recyclés élevé (70 voire 100 % de la fraction). En Autriche, cette technique est déjà utilisée depuis le début des années 1990 pour la construction d'autoroutes en dalles de béton bicouche.

La surface plus claire d'une route en béton présente aussi l'avantage d'un albédo, ou pouvoir réfléchissant, plus élevé que les surfaces bitumineuses noires. La réflexion de cette énergie assure un ralentissement de l'effet de serre, qui équivaut à une réduction de 25 kg/m² de CO₂. En environnement urbain, des surfaces claires permettent dès lors une diminution de l'effet du réchauffement climatique local et du risque de smog.

Sa clarté lui confère une bonne visibilité nocturne et réduit l'intensité de l'éclairage nécessaire en milieu urbain.

Une évaluation plus complète des performances environnementales d'un revêtement en béton peut être effectuée au moyen d'une analyse du cycle de vie (LCA – *Life Cycle Analysis*). Le béton obtient d'excellents résultats pour de nombreux indicateurs environnementaux parmi lesquels : l'énergie, l'eau, le smog, les ressources naturelles et l'écotoxicité. L'utilisation de ciment de haut fourneau dans la composition de béton, comme c'est le cas en Belgique, limite également l'impact sur l'effet de serre. Il est évident que le bilan environnemental d'une route en béton présentant une durée de vie de 30, 40 ans ou plus et nécessitant très peu d'intervention pour l'entretien ou la rénovation est positif, étant données les économies à long terme sur les matières premières, le transport et l'énergie.

Enfin, la longue durée de vie et le peu d'entretien ont aussi une influence positive sur le coût total du revêtement.

Nous pouvons dès lors en conclure que les revêtements en dalles de béton répondent en tous points aux exigences de la construction durable.



Dalles de béton pour voirie et revêtement extérieur dans une zone industrielle



Nouvelle route en dalles de béton, avec bande de parking. Remarquer la surlargeur de la route dans le virage. © A. Nullens

2. SOLLICITATIONS THERMIQUES DES DALLES DE BÉTON

Les revêtements en béton sont soumis à toutes sortes de contraintes qui peuvent être réparties en deux catégories : les contraintes liées au trafic et celles dont l'origine est autre, comme les contraintes spécifiques au béton frais (prise et durcissement) et au béton durci.

2.1 CONTRAINTES DU BÉTON FRAIS

L'influence de ces contraintes sur le comportement futur du revêtement en béton ne doit pas être sous-estimée. L'apparition de fissures incontrôlées, la rupture de dalles, la perte de rugosité, l'écaillage de la surface sont tout autant de défauts qui trouvent leur origine dans le manque de soin lors de la mise en œuvre, en particulier la protection insuffisante du béton frais et à jeune âge. Directement après la pose, le béton, qui passe de l'état plastique à l'état solide, subit l'influence de phénomènes hygrométriques et thermiques, à savoir : le retrait hygrométrique, la contraction thermique du béton et la répartition inégale de la température dans la couche de béton.

2.1.1 Retrait hygrométrique ou plastique

Le retrait hygrométrique est propre aux mélanges contenant des liants hydrauliques et survient principalement du fait que l'eau s'évapore du mélange. Ce retrait est de loin le plus important durant la phase plastique, avant la fin de la prise du ciment, et donc pendant environ les six à neuf premières heures suivant la préparation du béton. Le retrait plastique libéré durant cette période peut être jusqu'à dix fois supérieur au retrait de dessiccation total entre 23 heures et 300 jours du même béton à température et humidité constantes (le retrait plastique libre d'un béton non protégé par vent faible atteint environ 3 mm/m ; le retrait hygrométrique total après la prise est approximativement de 0,3 à 0,4 mm/m). Une protection efficace du béton fraîchement coulé contre la dessiccation est donc absolument nécessaire pour éviter l'évaporation d'eau à la surface et limiter au maximum le retrait plastique.

2.1.2 Retrait thermique

Le refroidissement pendant la première nuit suivant la pose cause une contraction thermique du béton jeune cumulée au retrait hygrométrique.

2.1.3 Gradient de température

Même avant que la prise ne soit terminée, une différence de température peut survenir entre la partie supérieure et la partie inférieure de la couche de béton. Cet effet est encore plus marqué le premier jour en raison de la chaleur d'hydratation dégagée pendant la prise. En théorie, il est alors recommandé de bétonner pendant l'après-midi afin que la chaleur d'hydratation et le refroidissement nocturne se compensent mutuellement. En pratique toutefois, le bétonnage a lieu tôt le matin et le refroidissement peut entraîner un gradient de température négatif (la partie supérieure plus froide que la partie inférieure), avec pour conséquence le cintrage des dalles. Ce phénomène est appelé l'« effet de cintrage incorporé » (en anglais *built-in curling*).



Fissures de retrait aléatoires dues à une protection insuffisante du béton frais

2.2 CONTRAINTES DU BÉTON DURCI

Le béton durci reste soumis à toutes les contraintes subies lors de la phase plastique, mais réagit différemment. À cela s'ajoute la dilatation thermique ainsi qu'un possible mouvement de la structure portante sous les dalles (support – sous-fondation – fondation).

2.2.1 Retrait

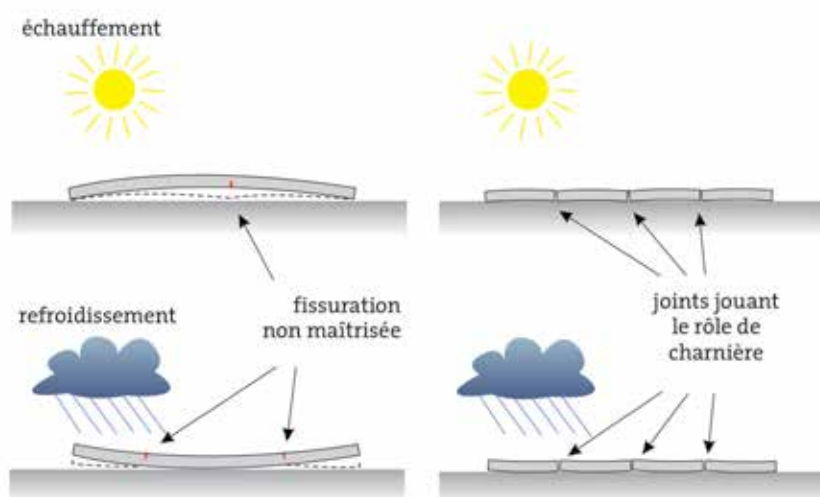
Le béton durci continue à perdre de l'eau, mais dans une bien moindre mesure, car une grande partie de l'eau est déjà liée au ciment. Le béton jeune doit dès lors être protégé pendant au moins 72 heures au moyen d'un produit de cure efficace. L'évaporation, inévitable bien que limitée, entraîne encore un retrait de dessiccation. Ce dernier peut également être accentué par le retrait dû au refroidissement des dalles.

2.2.2 Gradient de température

Les variations de la température extérieure provoquent une fluctuation de la température de la partie supérieure vers la partie inférieure d'un revêtement en béton, à savoir le gradient de température qui évolue lui-même aussi en fonction de la température ambiante. En raison de ce gradient de température, les fibres supérieures et inférieures vont s'étirer ou se contracter avec, pour conséquence, une déformation de la dalle. En cas d'augmentation de la température extérieure, la dalle aura tendance à se cintrer. Toutefois, ce phénomène est contrecarré par le poids propre de la dalle, de sorte que les contraintes de traction apparaissent en-dessous de la dalle et sont cumulées aux tensions induites par la charge de trafic. Lorsque la température baisse, les fibres supérieures auront tendance à se contracter davantage et à provoquer le cintrage de la dalle, souvent suivi d'une rupture au niveau des coins. Il est également possible de limiter ce phénomène en évitant, dans la mesure du possible, les changements brusques de température du béton jeune (protection du béton frais) et en réalisant des dalles suffisamment courtes. Les contraintes de déformation sont la raison pour laquelle la largeur de la route doit rester limitée. De plus, la présence de joints de retrait transversaux dans le revêtement est indispensable.

2.2.3 Dilatation thermique

Les hausses de température sont à l'origine d'un allongement des dalles, qui est neutralisé par le poids propre du béton et le frottement avec le support. Cette dilatation comprime les joints, ce qui entraîne des contraintes de compression dans le béton. Ce phénomène ne constitue pas un problème, étant donné que le béton résiste très bien à la compression. De plus, il engendre un effet de précontrainte qui s'oppose aux tensions de flexion et de traction, ce qui est bénéfique pour la durée de vie du revêtement. Dans la plupart des cas, les joints de dilatation ne sont pas nécessaires, sauf à l'approche d'ouvrages d'art adjacents ou d'autres types de revêtements, ou encore en cas de virages avec rayons de courbure réduits.



CINTRAGE (« CURLING »)

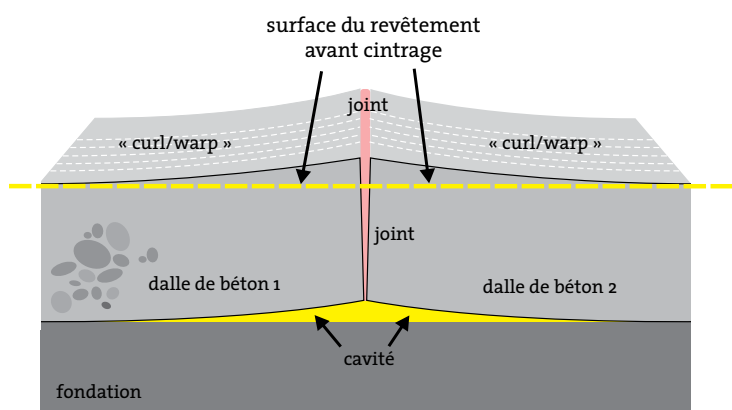
Les termes anglais « *curling* » et « *warping* » désignent le soulèvement et le cintrage des coins des dalles en béton, créant un espace vide sous la dalle.

Dans le cas des revêtements extérieurs, cela se produit la plupart du temps sous l'influence d'un gradient de température dans le revêtement en béton, en raison d'une différence de température au-dessus et en-dessous de la dalle qui varie pendant la journée et la nuit.

Dans le cas d'un sol intérieur, le phénomène est plutôt dû à une différence du taux d'humidité au-dessus et en dessous de la dalle de béton. Cette différence survient lorsque la surface se dessèche, appelé retrait de dessiccation, alors que l'humidité dans le bas de la dalle reste constante.

Les facteurs qui accentuent le phénomène de « curling » sont les suivants :

- Protection tardive ou insuffisante contre la dessiccation de la surface du béton ;
- Soleil et vent ;
- Rapport longueur/épaisseur élevé ;
- Sensibilité du béton au retrait ;
- Bords de dalle ou joints indépendants sans transfert de charges ;
- Pas de frottement avec le support et donc surface de glissement.



Représentation schématique du « curling »

DILATATION THERMIQUE DU BETON

L'amplitude suivant laquelle le béton se dilate ou se contracte en fonction des variations de températures dépend du coefficient de dilatation du béton α (m/m/°C). L'ordre de grandeur d' α est de $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ et est, pour sa part la plus importante, déterminé par la nature des granulats. Ainsi, le calcaire a un coefficient de dilatation relativement bas de $8.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, alors que celui du porphyre et du gravier est plus élevé et atteint environ $12.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Un béton avec un coefficient de dilatation peu élevé est moins sujet à ces déformations et se comportera donc mieux dans le temps. De ce point de vue, il est donc conseillé d'utiliser un granulat calcaire. Hélas, le calcaire est un granulat polissable sous l'influence du trafic, ce qui rend le revêtement moins rugueux. Les distances de freinage deviennent donc plus longues et la sécurité sur la route s'en voit altérée. Le granulat calcaire est dès lors uniquement utilisé en sous-couche d'un revêtement bicouche ou pour un revêtement destiné à un trafic à faible vitesse – par exemple en zone 30 ou pour des parkings.

Que signifie concrètement le coefficient α de $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$? Etudions le cas d'un revêtement de 10 m de long, ayant été mis en œuvre par une température de 5°C . Durant un jour d'été à chaleur élevée, la température du revêtement atteint facilement 35°C . Avec une différence de température $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$, la dilatation thermique s'élève à $30^{\circ}\text{C} \times 10\text{ m} \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C} = 3\text{ mm}$. En cas de dilatation, les dalles fonctionnent en bloc et le déplacement de chacune d'entre elles est dès lors accumulé. En cas de retrait, chaque dalle fonctionne de manière isolée et un phénomène de déplacement des dalles peut apparaître. Le calcul, il est vrai, est considéré pour une surface libre de frottement. En pratique, un frottement entre le revêtement et la couche de fondation ou la couche sandwich en asphalte existe bien. Les mouvements sont donc moindres.

3. EFFET DU TRAFIC SUR LES DALLES DE BÉTON

Le calcul de l'épaisseur du revêtement en béton est effectué aux endroits où s'exercent les plus grandes contraintes (charge du trafic combinée aux charges thermiques), à savoir au niveau des joints et des bords de la dalle. De fortes tensions peuvent être évitées aux bords de la dalle en prévoyant une bande de circulation suffisamment large et une petite surlargeur au niveau du bord supportant la plus grande charge, à savoir le côté droit de la voie de circulation lente.

En cas de transfert de charges suffisant d'une dalle vers la suivante, les contraintes en bord de dalles sont considérablement réduites. Cela signifie que, lorsqu'une charge de roue approche du joint, la dalle qui n'est pas soumise à la charge s'associe à la dalle chargée et fléchit également. Le principe est clairement illustré dans la figure ci-dessous. Il en découle le concept d'efficacité du transfert de charge (*load transfer efficiency*).

Le transfert de charge est obtenu au moyen des phénomènes et mesures suivants :

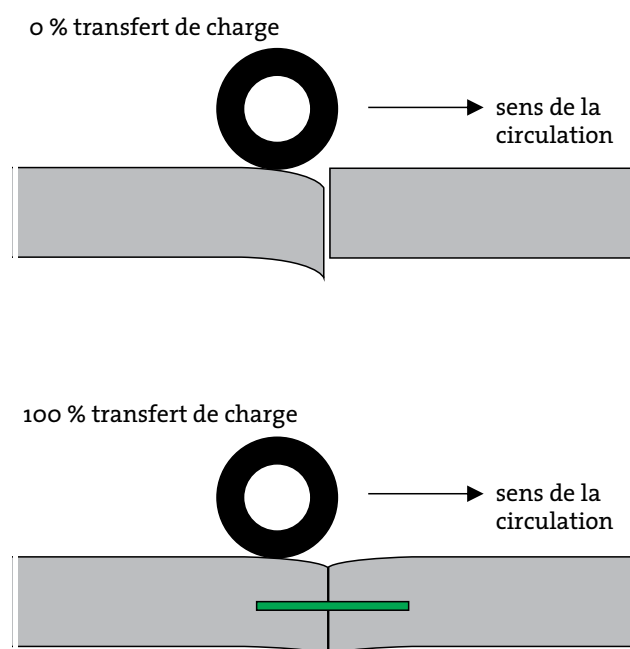
- l'emboîtement des granulats dans le béton (*aggregate interlock*) au niveau du joint sous le sciage ;
- la présence d'une fondation rigide traitée aux liants hydrauliques, qui limite la flexion sous le joint, en comparaison aux fondations non liées ;
- la présence de goujons dans les joints transversaux ; les goujons sont des barres métalliques circulaires et lisses qui assurent le fonctionnement du joint de retrait tout en garantissant le transfert de charge verticale d'une dalle à l'autre.

L'efficacité du transfert de charge d'un joint transversal goujonné est de 80 %. Elle est seulement de 35 % dans le cas d'un joint non goujonné.

L'emboîtement des granulats les uns dans les autres est surtout efficace en cas de température élevée – en période estivale – lorsque les joints sont bien fermés. Les autres mesures pour accroître le transfert de charge sont aussi préconisées, d'autant qu'elles permettent d'éviter la mise en escalier des dalles au niveau des joints. La mise en escalier apparaît la plupart du temps en raison de l'effet de pompe qui enferme l'eau entre le revêtement en béton et les fondations. Un trafic lourd entraîne l'érosion de la fondation et la propulsion de fines particules issues de celle-ci vers le haut. Au fil du temps, un vide se crée sous le joint, ce qui engendre la formation d'un écart entre les deux dalles, généralement du haut vers le bas dans le sens de la circulation. En outre, ce phénomène augmente le risque de fissuration des dalles, de rupture des coins et de dégradation des bords du joint.



Mise en escalier au droit d'un joint transversal



Principe du transfert de charge entre deux dalles adjacentes

4. FROTTEMENT AVEC LE SUPPORT - FILM PLASTIQUE – COUCHE SANDWICH EN ASPHALTE

Le retrait ou la dilatation du béton est neutralisé par le frottement avec le support, qui fait apparaître des tensions de traction dans le béton avec un risque de fissuration. On pourrait dès lors penser qu'il est préférable de réduire au maximum le frottement avec le support, par exemple en plaçant un film plastique. C'est une solution qui est souvent utilisée, mais qui présente aussi un inconvénient majeur. En effet, à cause de la surface de glissement ainsi créée, la première fissure qui apparaît, risque de s'ouvrir complètement. En conséquence, le béton ne se fissure pas au sein des autres joints de retrait créés. Le revêtement bouge alors par blocs de 3 à 5 dalles avec, entre ces blocs, un joint très ouvert, ce qui nuit à la durabilité du revêtement ainsi qu'à son confort d'utilisation.

Un frottement suffisant, uniforme et même une adhérence avec la couche inférieure est donc préférable, afin d'éviter autant que possible les changements brusques de température du béton à jeune âge et surtout de s'assurer que la longueur des dalles reste limitée. Un béton routier de bonne qualité pourra absorber les contraintes de traction dues au mouvement empêché par frottement, et ce, même à un jeune âge. Si la fondation est susceptible d'absorber l'eau, il est dès lors recommandé de l'humidifier, afin de réduire la migration d'eau du béton frais.

Une mesure efficace contre l'effet de pompage, et donc contre la mise en escalier, est de prévoir une couche intermédiaire en asphalte entre la fondation (à base de ciment) et les dalles en béton. Cette couche fait office de membrane imperméable et protège ainsi la fondation de l'érosion, en plus de créer une bonne adhérence entre les différentes couches, ce qui est bénéfique pour le comportement de la structure sous charge. C'est donc un élément structurel à part entière à prendre en compte lors du dimensionnement.

Pour toutes ces raisons, l'utilisation d'une couche intermédiaire en asphalte et la mise en place de goudjons au niveau des joints des dalles a été rendue obligatoire dans les cahiers des charges types des trois régions pour les routes à trafic lourd (Flandre : catégorie de construction B1-B5, Wallonie Réseau I).

Couche intermédiaire en asphalte (Hechtel, liaison limbourgeoise Nord-Sud, 2005)



Ouverture d'un joint due au glissement de la dalle sur la feuille de plastique (photo Anne Beeldens)



5. JOINTS ET CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES D'UN REVÊTEMENT EN DALLES DE BÉTON

5.1 FONCTION DES JOINTS

Les joints sont indispensables pour éviter que le revêtement en béton ne se fissure de manière aléatoire sous l'influence du retrait et de la dilatation, du gradient de température, du trafic et des éventuels mouvements du sol. Les fissures sont donc localisées intentionnellement au niveau des joints et, de cette manière, sont maîtrisées.

5.2 DISTANCES ENTRE LES JOINTS

Il ressort des paragraphes précédents que les différentes sortes de contraintes ont une influence importante sur la détermination des dimensions des dalles de béton. Que l'épaisseur du revêtement soit définie par calculs de dimensionnement ou sur la base de tableaux standards, les règles pratiques suivantes peuvent être appliquées : (L = longueur de la dalle ; l = largeur de la dalle ; E = épaisseur de la dalle) :

- $L/l \leq 1,5$ à $1,75$
- $L \leq 25 E$
- $L \leq 5,00$ m

La première contrainte impose une forme plutôt carrée des dalles. Les longues dalles étroites se comportent en effet comme une poutre et le risque de curling ou de trop grandes contraintes de traction par flexion augmente.

Toutefois, cette règle reste générale et doit être considérée au cas par cas. Pour un sentier de promenade d'une largeur d'1 m, une dalle d'une longueur de 2,5 à 3 m pourrait être utilisée. Pour les voies de bus et de tram, les bandes entre les rails et à côté de ceux-ci sont souvent limitées à une largeur entre 0,80 et 1 m. La longueur conseillée pour les dalles serait alors de 2,5 m, mais étant donnée la charge importante que représentent les bus, une (double) armature en treillis est en réalité nécessaire dans ce cas.

Piste cyclable avec des dalles de béton rectangulaires



Voie de tram à Blankenberge avec des dalles en béton étroites entre les rails et le long de ceux-ci



La deuxième condition établit un rapport entre la longueur de la dalle et l'épaisseur du revêtement en béton, et la troisième limite la longueur des dalles à 5 m pour les revêtements en béton non armé. Cette limitation est aussi exprimée dans le tableau ci-dessous, reprenant la distance conseillée entre les joints en fonction de l'épaisseur de la dalle dans le cas de revêtements en béton non armé. Ces distances maximales conseillées entre les joints prennent en compte le risque de cintrage des dalles et réduisent le risque de fissuration pendant la durée de vie du revêtement.

Épaisseur de la dalle	Longueur des dalles
14 cm	3,50 m
16 cm	4,00 m
18 cm	4,50 m
20 à 26 cm	5,00 m

Les longueurs standard des dalles dans les cahiers des charges types sont les suivantes :

- SB250 : 5 m – 4 m pour les pistes cyclables indépendantes – 6 m pour du béton armé de fibres d'acier ;
- QR : 4 m pour $D < 200$ mm; 5 m pour $D \geq 200$ mm (D = épaisseur) ;
- CCT2011: 5 m et $L \leq 25 D$

La largeur maximale des dalles est également limitée à 4,50 m (SB250, CCT-QR 2012 et CCT2011), de façon à éviter le soulèvement transversal et le cintrage de la dalle. Des dalles trop larges peuvent donner lieu à des fissures dans le sens longitudinal.

5.3 TYPES DE JOINTS

5.3.1 Joints de retrait-flexion transversaux

Comme son nom l'indique, le rôle d'un joint de retrait-flexion est de limiter les conséquences, à la fois du retrait (contraction hygrométrique et thermique) et de la flexion due aux déformations résultant entre autres du gradient de température.

Pour éviter des fissures incontrôlées, des joints transversaux sont créés en réalisant une amorce de fissuration aux endroits souhaités, c'est-à-dire avec l'espacement déterminé au paragraphe précédent. Cette amorce de fissuration peut être réalisée dans le béton frais ou durci. Si le béton est frais, cela consiste à insérer une bande de plastique à l'aide d'un appareil vibrant prévu à cet effet. Cette technique était auparavant utilisée sur les chemins agricoles mais, à l'heure actuelle, elle n'est plus autorisée par les cahiers des charges types en Belgique.

La technique la plus courante consiste à pratiquer un sciage dans le béton durci.

Sciage servant d'amorce de fissuration



Conformément aux prescriptions des cahiers des charges belges, la profondeur de ces entailles est égale à au moins $\frac{1}{3}$ de l'épaisseur de la dalle de béton ($\frac{1}{2}$ de l'épaisseur pour du béton armé de fibres d'acier) ; la largeur du premier sciage est généralement de 3 à 4 mm. Le moment idéal pour le sciage des joints se situe entre 6 et 12 heures après le coulage du béton. Évidemment, il est nécessaire d'attendre que le béton ait suffisamment durci pour pouvoir accéder à la zone de sciage. Le béton doit aussi être suffisamment résistant pour éviter que des gravillons ne soient arrachés le long du joint pendant le sciage. Cette résistance doit être d'environ 10 MPa (résistance à la compression). D'autre part, le sciage doit être effectué avant que les contraintes de traction ou de flexion dans le béton n'occasionnent une fissuration aléatoire indésirable. Le moment optimal doit être déterminé par un spécialiste car il est influencé par différents facteurs, comme la composition du béton, la dureté des pierres, le type de ciment, les conditions météorologiques, le type de scie, etc.

Les joints sont ensuite élargis d'une gorge d'une largeur de 8 à 10 mm, en fonction du type de produit de scellement. Les bords du joint peuvent également être chanfreinés (obligatoire pour les routes de catégorie de construction B1-B5 - SB250 et CCT 2011). Après avoir inséré un fond de joint, le produit de scellement, précédé ou non d'une couche adhésive peut alors être appliqué. Le scellement peut être une masse bitumineuse coulée à chaud, un produit posé à froid ou un profilé préformé en caoutchouc synthétique (généralement en EPDM). Le scellement des joints est rendu obligatoire par les cahiers des charges types, à l'exception des bétons imprimés (SB250) et des revêtements du réseau III (CCT-QR 2012).

5.3.2 Joints de construction transversaux

Les joints de construction transversaux se situent aux endroits d'interruption du bétonnage, à la fin de chaque production journalière ou en cas d'interruption de plus de 2 heures. On les appelle aussi respectivement joints de fin de journée et joints de reprise. La surface de contact entre l'ancien et le nouveau béton doit être plane et perpendiculaire à la surface du support. Le béton frais peut être coulé contre le béton durci sans nécessiter la pose d'un profilé de joint. Un sciage ne doit pas être effectué à cet endroit, et ce afin d'éviter de scier à côté du joint. Le retrait va automatiquement former un joint à cet endroit. Pour prévenir une dégradation des bords, il est recommandé, une fois que la fissure est visible, de fraiser une gorge et de réaliser un scellement.

Au niveau d'un joint de construction transversal, aucun transfert de charge via les granulats ne peut être considéré. C'est pourquoi les joints de construction transversaux doivent être goujonnés, sauf pour les revêtements faiblement sollicités.



Le sciage des joints nécessite un matériel professionnel adapté

Joint de construction transversal





Ouverture scieée pour placer le joint de dilatation



Joint de dilatation transversal goujonné

5.3.3 Joints de dilatation transversaux

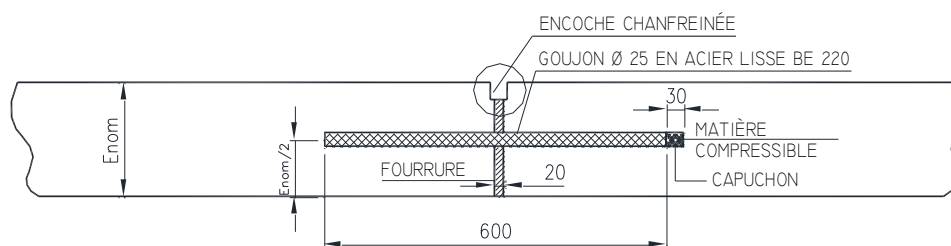
Les joints de dilatation se caractérisent par la présence d'une fourrure compressible qui permet le déplacement horizontal du revêtement en béton.

Jusqu'en 1970 approximativement, des joints de dilatation étaient réalisés entre chaque dalle de béton ; la longueur des dalles était alors généralement comprise entre 8 et 15 m. Ils servaient en même temps de joints de retrait et de joints de flexion. Avec la réduction de la longueur des dalles, ces joints ont été adaptés pour devenir des joints de retrait-flexion décrits ci-dessus. Cette adaptation a notamment considérablement amélioré le confort, mais elle a aussi joué un rôle essentiel dans la réduction des coûts d'entretien des routes en béton. Désormais, le nombre de joints de dilatation placés est réduit au maximum. Ils restent toutefois nécessaires dans certains cas particuliers pour compenser les forces de compression et éviter des dommages aux constructions adjacentes :

- raccord avec un ouvrage d'art ;
- raccord avec d'autres revêtements, par exemple au niveau d'un carrefour ou pour faire la transition vers un autre type de revêtement. Le joint de dilatation est donc situé de préférence entre la deuxième et la troisième dalle de béton (SB250) ;
- autour de points fixes, comme des chambres de visite, ou lorsque le revêtement en béton est en contact direct avec un bâtiment. Dans ces cas, il est aussi appelé joint d'isolation – voir plus loin.

En outre, l'utilisation de joints de dilatation est recommandée dans certaines situations (imposées dans SB250), telles que :

- à l'une des extrémités d'une bande en dalles de béton après réfection lorsque la température à la pose est basse ($< 15^{\circ}\text{C}$) ;
- les pistes cyclables, étant donné le risque accru de soulèvement en raison du rapport longueur/largeur plus élevé, environ tous les 150 m en ligne droite lorsque la température à la pose est basse ($< 15^{\circ}\text{C}$) ;
- les routes secondaires et les pistes cyclables avant et après des virages avec rayons de courbure réduits ($< 250\text{ m}$) pour éviter le déplacement latéral du revêtement.



Réalisation d'un joint de dilatation transversal (source : SB250)

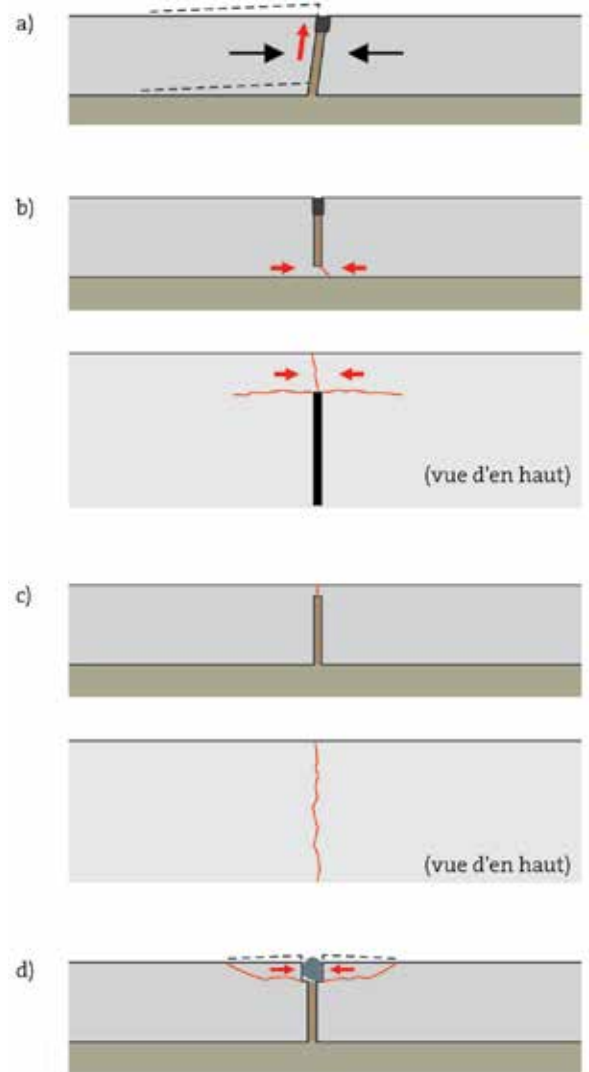
Sur le plan de la mise en œuvre, il est important que la fourrure soit perpendiculaire à la surface de la chaussée. La position oblique de la fourrure est l'une des principales raisons de soulèvement des dalles de béton. Le placement de la fourrure bien perpendiculairement et son maintien dans cette position pendant le bétonnage, sont en soi aisés. Une solution encore plus simple est de faire coïncider le joint de dilatation avec un joint de construction, à savoir au niveau d'une interruption du bétonnage. La fourrure peut alors être placée contre la surface verticale de finition. Pour pouvoir poser les goujons, des trous doivent être forés à travers la fourrure dans le revêtement existant. Les goujons doivent ensuite être fixés dans les trous forés. Lorsque les goujons ne sont pas nécessaires, par exemple pour des pistes cyclables indépendantes ou des rues à faible trafic, l'ouverture pour la fourrure peut être sciée dans le revêtement existant au moyen d'un double trait de sciage et sur toute l'épaisseur.

Un autre point important concerne les dimensions de la fourrure. Sa longueur doit être équivalente à la largeur de la dalle. Si ce n'est pas le cas, les forces de compression concentrées aux extrémités peuvent entraîner la fissuration. Il ne peut pas non plus y avoir de pont de béton au-dessus de la fourrure car dans ce cas, des morceaux pourraient se détacher au niveau du joint.

La fourrure est composée de matériaux imputrescibles, compressibles et élastiques. Après la compression, ils doivent aussi pouvoir retrouver leur épaisseur initiale. C'est le cas de l'aggloméré de liège et de la mousse de polyéthylène à haute densité (> 55 kg/m³). Le polystyrène expansé ne convient pas pour cette application.

Désordres classiques au droit des joints de dilatation

- a. Position oblique de la fourrure – Risque de soulèvement de la dalle
- b. Pont de béton – Détachement de morceaux de béton
- c. Pont de béton au-dessus de la fourrure – Fissure irrégulière
- d. Joint mal entretenu – Blocage provoqué par un élément dur



Dégâts au droit d'un joint de dilatation causés par un pont de béton au-dessus de la fourrure et par la position oblique de la fourrure



Matériaux adéquats pour la fourrure dans un joint de dilatation : à gauche l'aggloméré de liège, à droite la mousse de polyéthylène





Exemples de joint d'isolation le long d'un filet d'eau et d'une paroi verticale
(Photos : Kebro – projet pour l'Office flamand de la Navigation à Bree)

5.3.4 Joints d'isolation

Un joint d'isolation est le cas particulier d'un joint longitudinal ou transversal entrecoupé sur toute la hauteur et qui endosse les rôles suivant :

- a) Éviter que tous les joints existants ne forment une amorce de fissuration dans le béton adjacent fraîchement déversé. Dans ce cas, le joint d'isolation ne permet pas une dilatation significative du béton. Il suffit alors de poser un isolant fin dans le joint, par exemple un film PE gaufré (250 à 500 µm), une membrane bitumineuse (3 à 4 mm) ou un profilé de mousse PE (bande de mousse – 5 mm).
- b) Constituer une séparation entre deux revêtements/structures rigides pour limiter les forces de compression qui pourraient entraîner une fissuration non maîtrisée ou un soulèvement. Ce joint est appliqué contre les bâtiments adjacents, autour des plaques d'égout, avaloirs, filets d'eau ou autres éléments intégrés dans le revêtement. Dans ce cas, le joint d'isolation peut permettre une légère dilatation du béton. Il est alors indiqué d'utiliser le même matériau pour la fourrure que pour le joint de dilatation (mousse de polyéthylène à haute densité), mais éventuellement d'une épaisseur réduite (5 à 10 mm).

5.3.5 Joints de flexion et de construction longitudinaux

Dans le sens longitudinal, des joints sont réalisés pour permettre au revêtement en béton d'exercer un mouvement de charnière suivant l'axe longitudinal et pour limiter les contraintes dues au gradient de température. Lorsqu'un revêtement est posé en une seule phase de bétonnage et qu'il est divisé en deux bandes au moyen d'un sciage, on parle d'un joint de flexion longitudinal. Lorsqu'il est question de deux bandes contigües coulées en deux phases de bétonnage, il s'agit alors d'un joint de construction longitudinal.

La profondeur du sciage doit être d'au moins 1/3 de l'épaisseur du béton, tout comme pour les joints transversaux.



Dispositif de sciage du joint de flexion longitudinal

BARRES D'ANCRAGE

Un joint longitudinal peut être renforcé par des barres d'ancrage (barres en acier crénelé) qui empêchent l'ouverture du joint. En outre, les barres d'ancrage assurent le transfert de charge lorsque les véhicules changent de bande.

Dans la norme NBN EN 13877-1 (Chaussées en béton – Partie 1 : Matériaux), les barres d'ancrage spécifiées ont un diamètre de 10, 12, 16 ou 20 mm et une longueur de 800 mm. En outre, les cahiers des charges types belges prescrivent un diamètre de 16 mm pour une longueur de 800 mm (SB250) / 750 mm (CCT-QR 2012 et CCT2011).

Il est recommandé de recouvrir la partie centrale des barres d'ancrage d'une couche de protection anti-rouille afin de prolonger la durée de vie de l'ouvrage (le SB250 prévoit un recouvrement de la partie centrale de 20 cm, couverte de 0,2 à 0,5 mm de revêtement anticorrosion).

Les barres d'ancrage sont posées à mi-épaisseur des dalles, perpendiculairement au sens de circulation, avec une inter-distance de 750 mm (SB250) / 1000 mm (CCT-QR 2012 et CCT2011) et à une distance du joint transversal comprise entre 750 et 1000 mm (SB250 et CCT2011) et de 500 mm (CCT-QR 2012).

Dans le cas d'un joint de flexion longitudinal, les barres sont placées sur des berceaux métalliques ou enfoncées par vibration dans le béton frais. Dans le cas de figure d'un joint de construction longitudinal, elles peuvent être fixées chimiquement dans des trous forés.

La résistance à la traction de l'ancrage est testée sur chantier au moyen d'un essai d'arrachement. Dans le SB250, une force de traction de 50 kN est appliquée dans les 48 heures pour les barres ancrées dans les trous forés ou après avoir atteint une résistance de 40 MPa pour les barres d'ancrage enfoncées dans le béton frais par vibration. Dans le CCT-QR 2012 et le CCT2011, une force de traction de 100 kN est appliquée après 24 heures.

Un autre moyen d'assurer le transfert de charge dans un joint de construction longitudinal est la réalisation d'un raccord à tenon et mortaise, à combiner ou non aux barres d'ancrage (prévu dans CCT-QR 2012 pour des épaisseurs > 200 mm).

Il est interdit de placer des barres d'ancrage qui ont été pliées à 90° pendant le bétonnage et de les redresser avant le bétonnage de la bande adjacente. Cette technique était utilisée jusqu'il y a quelques années mais entraînait un affaiblissement de l'efficacité du joint. En effet, le pliage de l'acier au-delà de sa limite d'élasticité réduit la capacité de résistance de la barre.

Joint longitudinal avec raccord à tenon et mortaise



Forage des trous pour les barres d'ancrage



Barres d'ancrage avec partie centrale protégée et goujons avec revêtement synthétique

Glissement et ouverture du joint longitudinal en l'absence de barres d'ancrage



GOUJONS



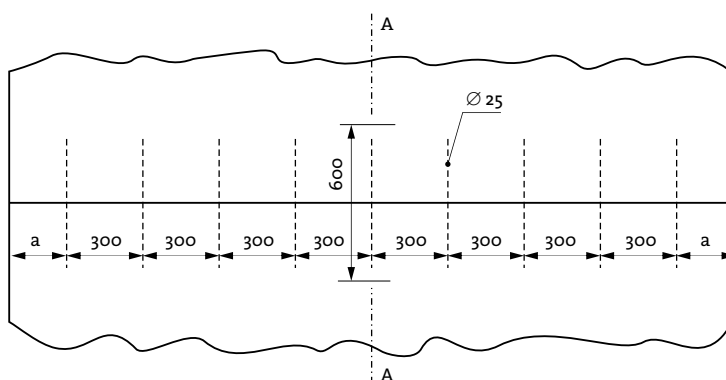
Exemples de mauvais goudjons (corrosion, bavures) et berceaux inappropriés (déformation sous le poids du béton, déplacement des goudjons)

Fixation des goudjons sur une couche de liaison en asphalte



Pour les routes à trafic lourd, l'utilisation de goudjons est nécessaire pour le transfert de charge et donc éviter la mise en escalier au niveau des joints. Les prescriptions, tant en matière de pose que de matériaux, se trouvent dans les trois cahiers des charges types belges relatifs à la construction des routes. Concernant les caractéristiques des matériaux, les normes européennes peuvent également être consultées.

En Belgique, nous utilisons des tiges en acier lisse pelliculé de 25 mm de diamètre et 600 mm de long, qui sont placées à mi-épaisseur des dalles, parallèlement au sens de circulation avec un espacement de 300 mm et à une distance du bord de la bande comprise entre 150 mm et 300 mm (SB250) / 250 mm et 300 mm (CCT-QR 2012 et CCT2011). Le joint transversal doit être posé au milieu des goudjons. Les goudjons sont placés sur des berceaux métalliques ou enfoncés par vibration dans le béton frais. Il faut faire attention à ce que les goudjons soient placés dans la bonne position. C'est pourquoi les berceaux métalliques sont fixés solidement à l'aide de crampons sur la fondation traitée aux liants hydrauliques ou sur la couche de liaison en asphalte.



Joint de dilatation transversal vu d'en haut (source : SB250)

Dans le cas de fondation non liée, le béton frais peut être déversé à l'aide d'une grue sur la rangée de goudjons suivante, de sorte qu'ils ne soient pas déplacés lors du passage de la machine à coffrage glissant. Les équipements pour l'enfoncement des goudjons sont généralement assez précis, mais un point de repère clair doit tout de même être indiqué sur l'accotement ou la bande latérale au niveau du milieu des goudjons, c'est-à-dire là où le sciage devra ensuite être effectué.

Les goudjons sont spécifiés dans la norme NBN EN 13877-3 intitulée « Chaussées en béton – Partie 3 : Spécifications relatives aux goudjons à utiliser dans les chaussées en béton ». Celle-ci exige une capacité minimum de résistance à la traction de 250 MPa et la durabilité doit être annoncée par le fabricant. Il s'agit en outre d'une norme harmonisée, ce qui signifie que les goudjons doivent porter le marquage CE.

Les cahiers des charges types belges prévoient la protection suivante pour les goudjons :

- SB250 : recouverts de matière plastique d'une épaisseur de 0,4 à 0,6 mm ;
- CCT-QR 2012 : conformément à la norme NBN EN 13877-3 ;
- CCT2011 : galvanisés ou autre à soumettre à l'approbation du fonctionnaire dirigeant.

Sur le marché belge, des goudjons recouverts d'une émulsion de bitume étaient autrefois utilisés, mais ils ne sont plus autorisés. Lorsque les goudjons sont enfoncés par vibration, une enveloppe en plastique est plus adaptée qu'un habillage en bitume car les goudjons adhèrent moins les uns aux autres. Ils ne perturbent donc pas le fonctionnement de l'équipement d'insertion des goudjons.

Aux États-Unis et au Canada, en raison des exigences de durabilité, des goudjons galvanisés à chaud ou en acier inoxydable sont utilisés, et parfois même d'autres matériaux comme la fibre de verre. En Europe, des goudjons en matière plastique ont déjà été utilisés, notamment pour des voies de tram et dans des terminaux à conteneurs, où la présence d'acier pourrait influencer le champ magnétique des systèmes de détection et de guidage automatiques.



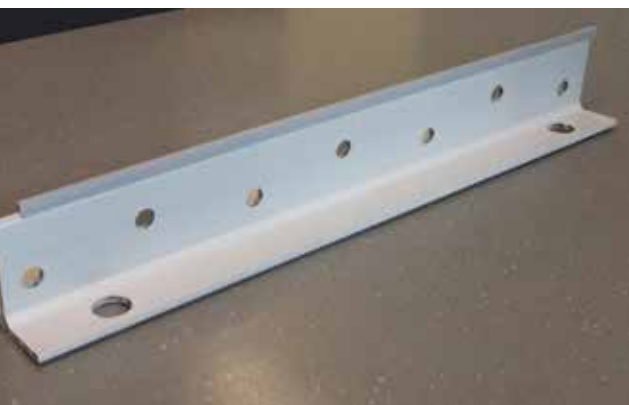
Goudjons et berceaux en plastique
(www.fortius.be)



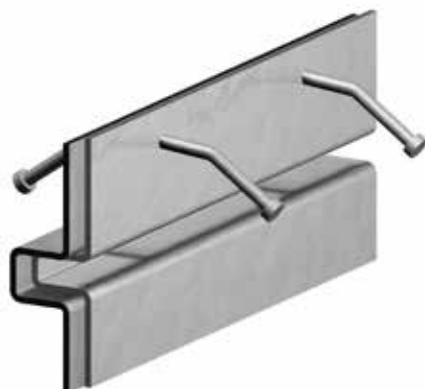
Enfoncement de goudjons par vibration dans le béton frais



Profilé en acier galvanisé fabriqué sur mesure, joint de construction (Herstal, Pôle Marexhe)



Profilé en T en PVC recyclé sert de joint de construction et de retrait (www.kform.co.uk)



Profilé en forme d'oméga avec simple rangée de tiges d'ancrage (photo Hengelhoef Concrete Joints)

5.4 AUTRES SYSTÈMES DE JOINTS

Outre la réalisation classique de joints de retrait ou de dilatation, plusieurs systèmes préfabriqués sont également disponibles sur le marché. Ceux-ci ne sont généralement pas utilisés dans la construction de routes mais plutôt pour les revêtements industriels.

Ces profilés présentent une coupe droite ou profilée (en forme d'oméga) et sont insérés dans le béton avec des goujons. Le profil longitudinal est en général rectiligne et dans certains cas sinusoïdal. Même s'ils sont souvent décrits comme étant des joints de dilatation, il s'agit, la plupart du temps, de profilés qui fonctionnent comme des joints de retrait. Etant donné la possibilité de couler le béton directement contre ces profilés, ils peuvent aussi être employés comme joints de construction. Pour rappel, seule l'utilisation d'un matériau compressible pouvant être intégré comme « fourrure », caractérise le joint de dilatation.

Voici quelques critères d'évaluation importants pour de tels profilés :

- le béton doit pouvoir être compacté correctement à proximité du profilé de joint ;
- le béton doit pouvoir être déversé à épaisseur constante jusqu'à atteindre le profilé de joint. Toute discontinuité peut provoquer une fissuration ;
- s'il s'agit d'un profilé en forme d'oméga, un enrobage minimum de 6 cm est nécessaire au-dessus et en dessous du profilé, ainsi que des supports d'ancrage de minimum 8 mm de chaque côté. Trois pièces sont prévues par mètre courant ;
- le profilé doit permettre un bon transfert de charge. Certains profilés disponibles dans le commerce ont subi des tests à cet égard ;
- la résistance des bourrelets doit être assurée par une épaisseur minimale de l'acier de 5 mm ;
- les profilés peuvent être dotés d'une protection métallique des bords du joint ;
- les systèmes ne peuvent jamais être totalement fixés au support, afin de permettre le fonctionnement du joint ;
- les profilés ne conviennent pas pour le coulage à l'aide de la machine à coffrage glissant. La plupart du temps, ils sont utilisés pour les revêtements posés manuellement ou avec du béton pompé ;
- il est aussi important de savoir que certains systèmes adaptés pour les sols intérieurs ne le sont pas nécessairement pour les revêtements extérieurs.

Enfin, d'autres systèmes sont également disponibles sur le marché ou peuvent être fabriqués sur mesure pour réaliser des joints de construction – et donc aussi des joints de remplissage – dans un revêtement en béton. Voir quelques exemples ci-contre.

Parmi les innombrables alternatives au sciage des joints, l'utilisation d'autres matériaux tels les pavés en béton, les pierres naturelles ou le bois peuvent aussi occuper une place de choix dans la composition architecturale du revêtement en béton.

5.5 MATÉRIAUX DE SCELLEMENT

Il est recommandé de sceller tant les joints transversaux que les joints longitudinaux.

Les matériaux de scellement peuvent être répartis en trois grandes catégories :

1. les produits de scellement coulés à chaud ; qui sont les plus utilisés. Ils se composent principalement de bitume, auquel s'ajoutent des polymères et divers adjuvants ;
2. les produits de scellement coulés à froid ou pulvérisés ; éventuellement après le mélange des composants. Il s'agit de mastics élastiques à base de polyuréthane, de polysulfure ou de silicones. Ces produits sont plus coûteux mais peuvent être appliqués de manière plus économique grâce à leurs meilleures caractéristiques techniques (section de joint). Ils possèdent en outre une durée de vie beaucoup plus longue (2 à 3 fois) ;
3. les profilés préformés en caoutchouc synthétique.

La caractéristique principale permettant d'établir une distinction entre ces trois catégories est la capacité de déformation plastique et/ou élastique qui, dans les conditions d'utilisation sur les voiries, peut être assurée pendant une durée de vie acceptable (par exemple 5, 10 ou 20 ans) sans que le produit ne casse ou ne se détache des bords du joint. Les déformations tolérables admises en conditions normales d'utilisation (exprimées en % par rapport à la largeur d'ouverture nominale de la gorge pour un béton durci à une température ambiante d'environ 15 à 20 °C) sont les suivantes :

- pour les produits coulés à chaud à base de bitume : élasticité ou compression de 20 % ;
- pour les produits coulés à froid à base de polysulfure, polyuréthane ou silicones : élasticité ou compression de 30 % ;
- pour les profilés en caoutchouc : compression de 50 %. La règle suivante s'applique dans le choix des dimensions du profilé : la largeur (l) initiale du profilé doit être telle que le profilé est comprimé à une largeur de 0,80 l à l'ouverture maximale du joint (hiver) et à une largeur de 0,50 l à l'ouverture minimale du joint (été). Ce procédé est donc à privilégier pour les nouveaux revêtements routiers et, la plupart du temps, uniquement aux joints de flexion longitudinaux. A la fois la durabilité (fonctionnement limité) et l'avantage économique (dimensions limitées) encouragent ce choix. D'autre part, l'utilisation des profilés préformés pour des joints de construction longitudinaux est déconseillée étant données l'irrégularité et les différences de largeur de ces joints. Pour les joints longitudinaux et transversaux sciés dotés d'une gorge parfaitement régulière, le profilé constitue une solution durable, simple et économique.

Dans certains cas, il peut être envisagé de ne pas sceller les joints. C'est notamment l'option retenue habituellement pour les pistes cyclables afin de garantir le confort de roulement. Pour les revêtements esthétiques, où une finition du joint discrète est privilégiée, il peut être préférable de ne pas élargir les joints avec une gorge et de ne pas les sceller. Par contre, pour des routes au trafic modéré à intense, des joints non scellés peuvent avoir les conséquences suivantes :

- écaillage et dégradation des bords du joint pouvant être causés par la présence d'éléments durs dans le joint due à la pollution ;
- infiltration d'eau dans le joint accompagnée du risque d'effet de pompage et de délavage ou d'érosion de la couche inférieure (fondations, support).



Remplissage des joints (photos ROBUCO)

6. ARMATURES DES DALLES DE BÉTON



Treillis et goudrons combinés

Les armatures dans les dalles en béton se présentent souvent sous la forme de treillis soudés et sont employées pour les fonctions suivantes :

- armature structurale du béton : l'acier absorbe alors la majeure partie des contraintes de traction par flexion ;
- armature de retrait : éviter l'apparition de fissures dues aux différents phénomènes de retrait et de flexion du béton jeune et durci.

Si l'on sait pourquoi il faut placer des armatures, on sait aussi à quelle hauteur de la section de béton il est préférable de les placer.

La charge de trafic entraînant des contraintes de traction dans la partie inférieure, l'armature structurale doit dès lors être placée dans la zone inférieure, sous la fibre neutre. Étant donnée la qualité de l'assise (caisson, sous-fondations et fondations), ce procédé n'est pas nécessaire dans la construction de routes. Le béton développe en effet lui-même suffisamment de résistance à la traction par flexion pour résister à la charge de trafic.

L'armature de retrait se place, quant à elle, dans la partie supérieure du revêtement, qui est la zone affectée par les fissures de retrait et où les variations de température et d'humidité sont les plus fortes. Si le treillis est positionné au milieu du revêtement, il agira comme armature de retrait mais son effet structural sera alors supprimé.

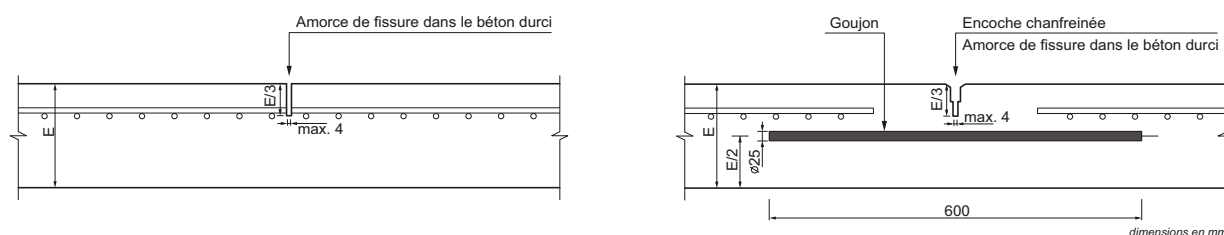
Les treillis les plus utilisés sont ceux de diamètre de 8, 10 ou 12 mm avec des mailles carrées de 150 mm de côté.

L'armature de retrait placée dans le tiers supérieur de la section de béton doit, soit s'interrompre au niveau des joints de retrait, soit être sciée de sorte que le joint puisse fonctionner correctement, à savoir permettre le retrait. Cela peut nécessiter une adaptation de la profondeur du sciage.

Les armatures qui se trouvent dans la moitié inférieure de la section de béton ne doivent pas être interrompues ou sciées. La fissure de retrait passera par l'amorce de fissuration en haut et à travers les armatures pour atteindre la partie inférieure de la dalle de béton. En réalité, ces joints ne peuvent pas s'ouvrir autant que ceux d'un béton non armé. C'est pourquoi il est recommandé d'interrompre les armatures du bas environ tous les cinq joints ou tous les 30 m.

Lorsque les treillis sont posés conjointement à des goudrons, il est important que les treillis chevauchent les extrémités des goudrons. Les treillis peuvent être interrompus ou traverser le joint, mais dans ce dernier cas, ils doivent alors être sciés, comme décrit ci-dessus, et ce, au-dessus de la section des goudrons, qui doivent, eux, rester intacts.

Les treillis sont parfois remplacés par des fibres d'acier. Cette méthode est principalement appliquée pour les sols industriels intérieurs et quelquefois aussi à l'extérieur des bâtiments. D'autres applications dans la construction de routes telles les recouvrements minces, ont été utilisés pour de nombreuses réalisations dans les années 1980. L'avantage des fibres d'acier est qu'elles rendent le béton plus résistant. Cela signifie qu'après l'apparition d'une fissure, la structure ne s'affaisse pas directement mais qu'elle présente un comportement favorable après la fissuration. Dans la pratique, cela se traduit par le fait que les éventuelles fissures dans un revêtement en béton restent fermées grâce à l'action des fibres d'acier. En principe, le dosage appliqué est compris entre 30 et 50 kg/m³. La forme et les dimensions des fibres jouent également un rôle. Dans le cadre des applications classiques, il s'agit surtout de fibres d'acier galvanisées d'environ 60 mm de longueur et de 0,75 à 1 mm de diamètre. En termes de conception, les dalles en béton de fibres d'acier peuvent être un peu plus longues par rapport à du béton non armé. Il est toutefois conseillé de limiter la longueur de dalles à 7 ou 8 m (SB250 : 6 m). Aux Pays-Bas, quelques expériences ont déjà été menées sur des sections de routes en béton de fibres d'acier jusqu'à 100 m de long sans joints. Ces réalisations ont été conçues sur base de compositions de béton contenant 50 kg/m³ d'un mélange de différents types de fibres.



Joints de retrait en présence d'un treillis d'armature en partie supérieure, avec et sans goudrons (source : TB 2011)

7. RACCORD AVEC D'AUTRES REVÊTEMENTS

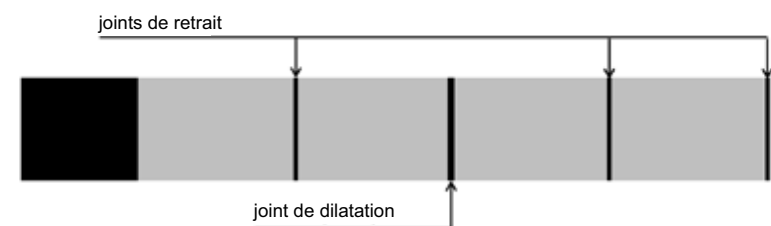
Aux endroits où le béton rejoint d'autres types de revêtements (asphalte, éléments de petite taille), il est conseillé de prendre les dispositions nécessaires pour éviter que l'autre revêtement ne soit repoussé, en situation de dilatation thermique. Comme mentionné au §5.2, une possibilité est de placer un joint de dilatation transversal entre la deuxième et la troisième dalle du revêtement en béton.

Une alternative, surtout adaptée dans le cas d'une transition béton-asphalte, est le joint composé. Il mesure environ 100 mm de large et se compose d'un mélange d'un type de masse de scellement particulier et de gravier fin. La capacité d'un tel joint composé s'élève à 10 voire 15 mm en dilatation et en compression.

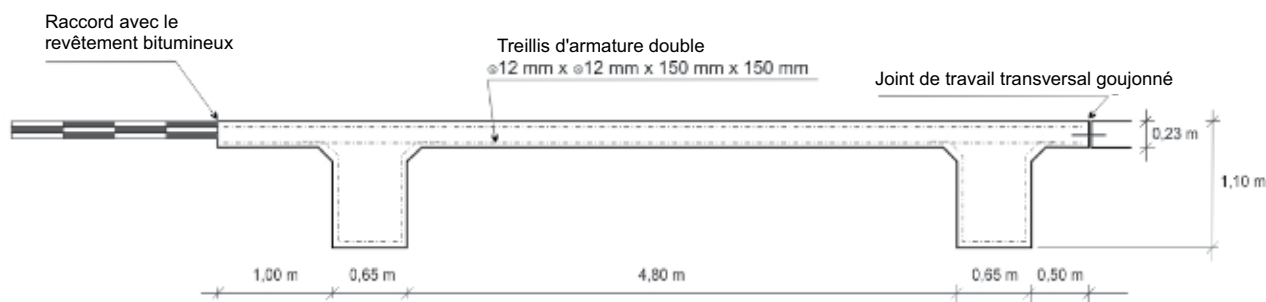
Enfin, il permet de prévoir une culée d'ancrage à l'extrémité du revêtement en béton, capable de neutraliser le mouvement. Il peut s'agir d'un simple épaissement oblique ou d'une culée composée d'un ou plusieurs voiles. La construction d'une culée à un seul voile présente le risque de voir apparaître une sorte d'effet de levier engendrant le détachement de la dalle. Le fait de circuler sur la culée génère dès lors des vibrations. Il est donc conseillé de réaliser une culée à deux voiles au moins et d'armer doublement la dalle à son extrémité.



Joint compound



Solution transition béton-asphalte telle que prévue au SB250 version 3.1



Culée d'ancrage raccourcie pour transition béton-asphalte

8. PLAN DES JOINTS

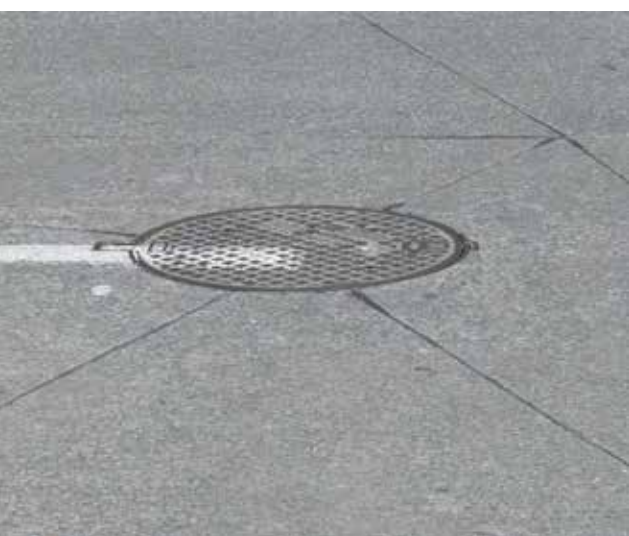
Même si elle est souvent considérée comme étant de la responsabilité de l'entrepreneur, la conception d'un plan de calepinage indiquant la position et le type des joints et les éventuelles armatures, fait partie de la phase de conception. Une étude préalable du plan permet en effet d'anticiper les éventuelles difficultés de réalisation et les adaptations sont alors aisées. A noter que pour des espaces de grande surface ou de géométrie complexe, les phases de bétonnage sont également à prendre en compte lors de l'élaboration du plan des joints.

Quelques règles pour l'élaboration du plan des joints :

- Choisir une direction principale qui sera considérée comme le sens de circulation, déterminant pour le positionnement des goujons et des barres d'ancrage. Aisé dans le cas d'une route classique, la décision peut être plus complexe au niveau d'un carrefour. L'axe le plus fréquenté sera alors considéré comme étant la direction principale
- Commencer par scier des joints à hauteur des points particuliers (chambres de visite, interruptions, raccords, virages, etc.) ...



- Ne pas prévoir plus de joints que nécessaire ; de nombreux traits de scie et angles aigus peuvent également provoquer des fissures indésirables !



- Toujours éviter les angles aigus. Si ce n'est pas possible prévoir alors une armature en treillis en partie supérieure de dalle.



- Prévoir une armature en treillis dans les dalles de forme irrégulière
- Ne jamais placer de goudjons dans les joints d'une même dalle s'ils ne sont pas parallèles





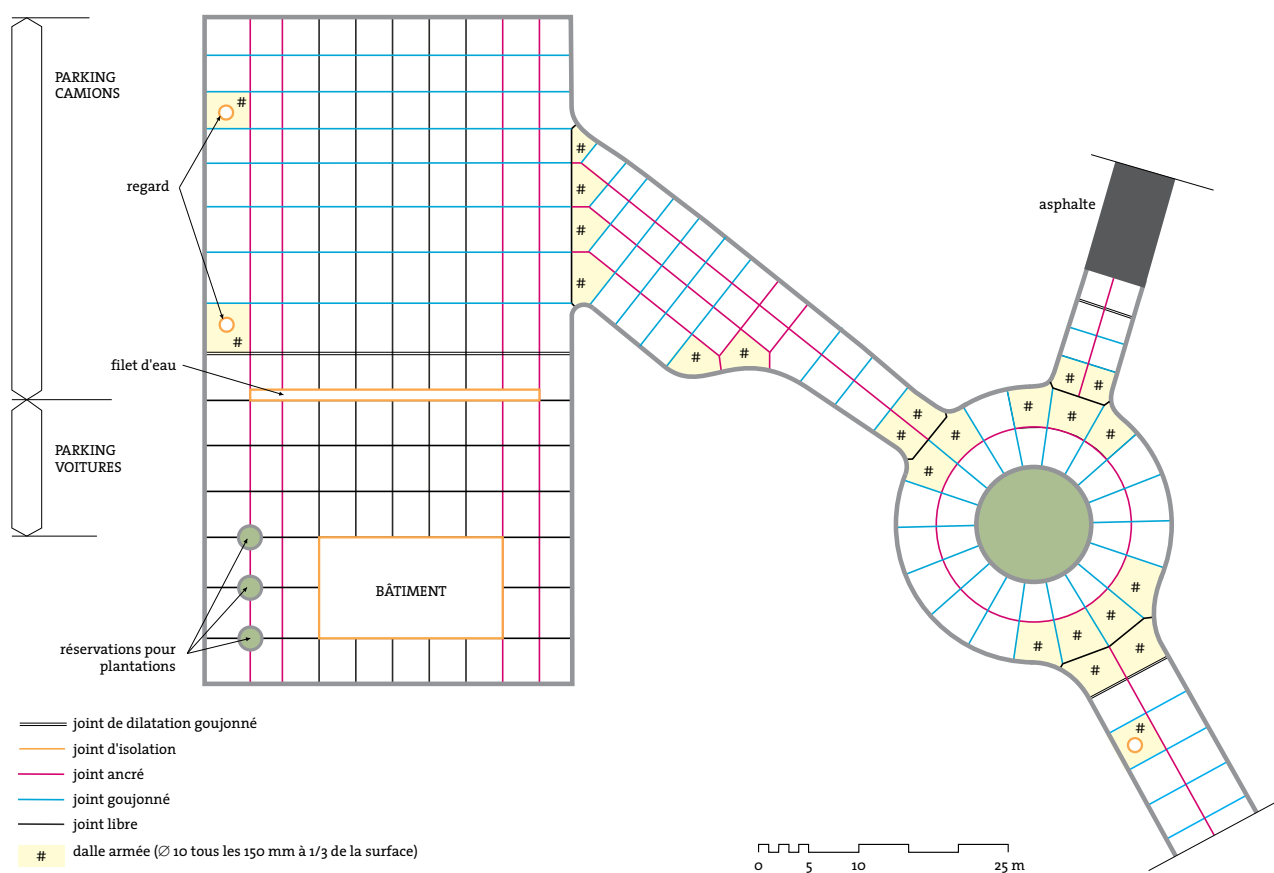
- Tenir compte des joints existant afin d'éviter les fissures par sympathie ou envisager les mesures nécessaires (pose d'une membrane bitumeuse intermédiaire dans le joint longitudinal au niveau de l'ancien joint transversal le long duquel le bétonnage s'effectue) :
 - Exemple de fissures par sympathie correspondant à un joint dans un filet d'eau ou dans l'autre bande de roulement (photo ci-contre) ;
 - Pour éviter les fissures de sympathie, le joint dans la route correspond au joint dans le dispositif de retenue en béton (photo ci-dessous à gauche), ou bien des joints d'isolation ont été placés au niveau des points risqués du plan des joints (photo ci-dessous, Charleroi, Place de la Digue : les joints d'isolation sont indiqués en rouge) ;



- Tenir compte des phases de bétonnage prévues ou l'imposer en phase d'exécution ;
- Pour le positionnement des joints longitudinaux, tenir compte du tracé du trafic lourd de sorte que ces joints ne soient pas directement chargés. La charge systématique subie à cause du trafic lourd peut provoquer la dégradation du joint au niveau d'un giratoire. Une surlargeur et un marquage judicieux diminuent le danger d'abîmer les bords et les joints.

9. CONCLUSION

Le concept de dalles en béton avec des joints de retrait sciés est déjà connu depuis des dizaines d'années et reste incontestablement le plus utilisé pour la réalisation de revêtements routiers en béton. Outre le dimensionnement, ce concept doit accorder l'attention nécessaire à la disposition des différents types de joints, au positionnement des goujons, des barres d'ancrage et si nécessaire des armatures. L'expérience a démontré que le positionnement des goujons dans une route en béton située en zone habitée est nécessaire de manière à assurer confort et absence de vibration. En conclusion, lorsque les règles de base de conception moderne sont respectées et que la réalisation est effectuée de manière professionnelle et adaptée, un revêtement en dalles de béton offre le confort nécessaire ainsi que la fiabilité et la durabilité que l'on peut aujourd'hui attendre d'une route en béton.



Exemple de plan des joints



Ce bulletin est publié par
FEBELCEM

Fédération de l'Industrie cimentière belge
Boulevard du Souverain 68 - 1170 Bruxelles
tel. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70
www.febelcem.be
info@febelcem.be

Auteur :
Ir L. Rens

Photos couverture :
André Nullens

Dépôt légal:
D/2015/0280/06

Ed. resp.: A. Jasienski

infobeton.be

BIBLIOGRAPHIE

FUCHS F., JASIENSKI A., Les routes en béton de ciment - Exécution des revêtements monolithes. Dossier Ciment, Fédération de l'industrie cimentière belge, septembre 2001

Intersection Joint Layout. Concrete Information, American Concrete Pavement Association, 1996

RENS L., La route en béton, un choix réfléchi et durable. Fédération de l'industrie cimentière belge, 2009

RENS L., LONNEUX T., Voegen en wapeningen in platenbeton. Bijdrage voor het Belgisch Wegencongres te Gent, september 2009

VERHOEVEN K., Le retrait dans le béton jeune en cours de durcissement. Dossier Ciment, Fédération de l'industrie cimentière belge, mars 1998

VERHOEVEN K., SION P., Les routes en béton de ciment. Fédération de l'industrie cimentière, 1974

Standaardbestek 250 versie 3.1

Cahier des Charges Type relatif aux Voiries en Région Bruxelles-Capitale CCT 2011, édition 2012

Cahier des charges type Qualiroutes - Version 2012

