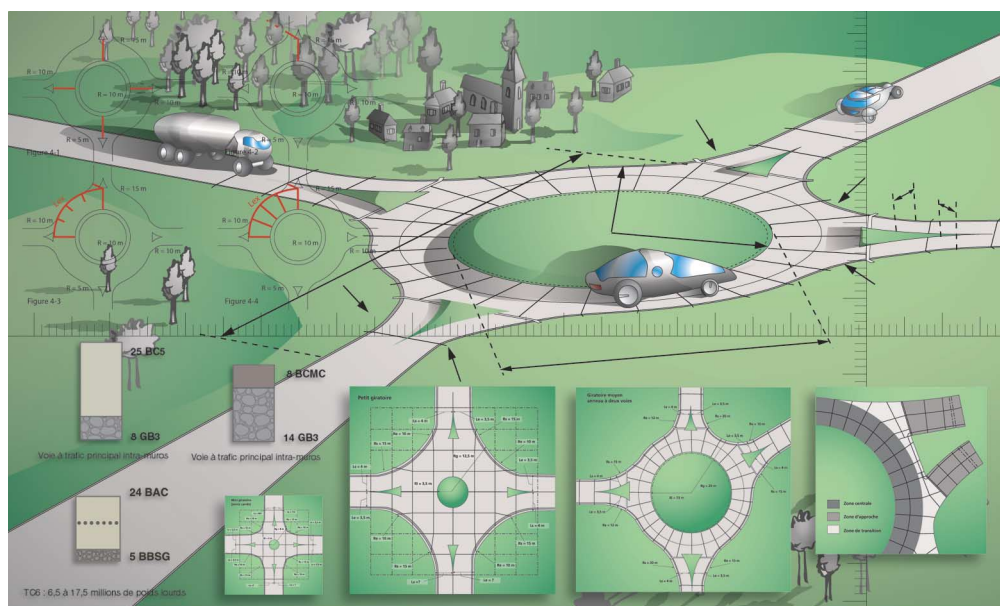


CARREFOURS GIRATOIRES EN BÉTON

TOME 1

Guide de dimensionnement



CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



CARREFOURS GIRATOIRES EN BÉTON

TOME

1

Guide de dimensionnement

Les contributions à l'ouvrage

<i>Joseph</i>	<i>ABDO</i>	<i>CIMBÉTON</i>
<i>Ludovic</i>	<i>BAROIN</i>	<i>APIA ÉQUIPEMENTS DE LA ROUTE</i>
<i>Gérard</i>	<i>BONNET</i>	<i>Expert</i>
<i>Jean-Pierre</i>	<i>CHRISTORY</i>	<i>LROP</i>
<i>Pascal</i>	<i>DUMUR</i>	<i>HOLCIM CEMENTS</i>
<i>Eric</i>	<i>GRAND</i>	<i>Ciments CALCIA</i>
<i>Patrick</i>	<i>GUIRAUD</i>	<i>CIMBÉTON</i>
<i>Jean-Marc</i>	<i>POTIER</i>	<i>VICAT</i>
<i>Jean-Christophe</i>	<i>REDON</i>	<i>LAFARGE CEMENTS</i>
<i>Jean-Pascal</i>	<i>SOUFFLET</i>	<i>HOLCIM CEMENTS</i>
<i>Christian</i>	<i>TABAILLON</i>	<i>EUROVIA BÉTONS</i>
<i>Francis</i>	<i>TEXIER</i>	<i>CEMENTS CALCIA</i>

Sommaire

● 1 Présentation	5
1.1 Définition	6
1.2 Historique	6
1.3 Patrimoine	7
1.4 Classement des carrefours giratoires	7
1.5 Spécificités des carrefours giratoires	8
1.6 Pourquoi le béton de ciment?	12
1.7 Objectif du guide	12

● 2 Réponses du béton aux spécificités	13
2.1 Réponse structurelle	14
2.2 Réponse en matière de réalisation	15
2.3 Réponse à la sécurité	16
2.4 Réponse aux contraintes d'exploitation	18

● 3 - Dimensionnement	19
3.1 Caractéristiques des matériaux	20
3.2 Adéquation du type de structure à la famille de carrefour giratoire	22
3.3 Dimensionnement conventionnel – Exemples de fiches de structures	25
3.4 Dimensionnement de la profession – Exemples de fiches de structures	29

● 4 - Réalisation des giratoires en béton	33
4.1 Les giratoires en béton à dalles courtes	34
4.2 Les giratoires à dalles courtes goujonnées	42
4.3 Les giratoires en béton armé continu	43
4.4 Les giratoires à structure composite	45
4.5 Les points particuliers	46

● 5 - Contrôle de la qualité	55
5.1 Organisation de la procédure assurance qualité	56
5.2 Contrôle des remblais et couches de forme	56
5.3 Contrôle de la réalisation des chaussées	57

● 6 - Entretien des carrefours giratoires	61
6.1 Entretien des giratoires en béton	62
6.2 Entretien des giratoires en béton bitumineux	63

Bibliographie	71
---------------	----

Présentation

1.1 Définition

1.2 Historique

1.3 Patrimoine

1.4 Classement des carrefours giratoires

1.5 Spécificités des carrefours giratoires

1.5.1 Sollicitations en service

1.5.2 Contraintes spécifiques
lors de la construction

1.5.3 Exigences esthétiques et de sécurité

1.5.4 Exigences d'exploitation

1.6 Pourquoi le béton de ciment?

1.7 Objectif du guide

1.1 – Définition

Un carrefour giratoire est un aménagement plan comportant un îlot central, franchissable ou non selon la taille de son rayon extérieur, ceinturé par une chaussée circulaire mise à sens unique par la droite. Il collecte les trafics des voies aboutissant à l'intersection et redistribue ces trafics entre ces mêmes voies.

Tout conducteur abordant un carrefour giratoire est tenu quel que soit le classement de la voie qu'il s'apprête à quitter de céder le passage aux usagers circulant sur la chaussée qui ceinture le carrefour giratoire. Tous les itinéraires sont ainsi interrompus et tous les trafics qui aboutissent perdent leur prépondérance au bénéfice du courant de véhicules circulant sur la chaussée annulaire.



Le carrefour giratoire est un aménagement à réaliser aux intersections de voies. Il est destiné à assurer à la fois la gestion des conflits, la fluidité du trafic et la sécurité des usagers.

Les « conflits » entre véhicules sont limités à ceux liés à l'insertion des véhicules entrant dans le courant commun et à ceux liés à la séparation des véhicules sortant.

Insertion et séparation s'effectuent l'une et l'autre par la droite : tout véhicule tourne 2 fois à droite, y compris en cas de tourne à gauche.

1.2 – Historique

Au XIX^e siècle, les carrefours circulaires désignés sous l'appellation de ronds-points permettaient par leurs dimensions majestueuses et leurs aménagements sculpturaux l'identification des convergences des voies principales des grandes villes ; aucune règle de priorité ne gérait alors ces carrefours.

En 1906 et 1907 devant les conflits survenant entre les usagers de l'époque, les premiers carrefours à sens de giration sont créés à Paris : la place de l'Étoile (place Charles de Gaulle) et la place de la Nation.

L'accroissement continu du trafic et la règle de la priorité à droite, c'est-à-dire au trafic entrant, ont provoqué le blocage du carrefour les besoins en matière de stockage sur l'anneau étant supérieurs à la capacité de l'anneau. C'est pourquoi, en 1966 en Grande Bretagne, a été établie, après expérimentation, la priorité aux véhicules circulant sur l'anneau.

Cette solution, testée en France à partir de 1970, s'est développée après 1984 et est devenue obligatoire par le décret du 6 septembre 1993.

1.3 – Patrimoine

Actuellement on dénombre plus de 20 000 carrefours giratoires dont 80 % sont implantés en site urbain ou périurbain. Les structures de chaussées utilisées jusqu'à ce jour sont essentiellement semi-rigides, souples ou bitumineuses.

Une enquête réalisée par le CERTU, en 1995, portant sur près d'une centaine de carrefours giratoires supportant toutes classes de trafic a permis de mettre en évidence de nombreuses dégradations : orniérage, arrachements dans le béton bitumineux au niveau des joints, faïençage, pelade, désenrobage, glaçage des bétons bitumineux et remontée des fissures des assises traitées aux liants hydrauliques. L'importance des dégradations étant bien évidemment liée à l'importance du trafic et parfois au sous dimensionnement des structures. Cette enquête non exhaustive montre les difficultés rencontrées par ces structures et ces couches de roulement à résister aux contraintes particulières des carrefours giratoires.

1.4 – Classement des carrefours giratoires

Selon le trafic, la nature des voies, le domaine d'utilisation et les exigences de l'environnement on peut classer les carrefours giratoires en 5 familles.

- Les giratoires urbains « standards » qui peuvent être installés sur :
 - les voies de desserte *intra-muros* ;
 - les voies de distribution locale ;
 - les voies à trafic principal ;
 - les voies de desserte des zones d'activité et voies de transport en commun.

- Les giratoires urbains « stratégiques » destinés aux :
 - voies de distribution principale ;
 - voies pénétrantes, rocares et voies rapides urbaines ;
 - voies des zones industrielles.
- Les giratoires périurbains destinés à l'aménagement des entrées de ville.
- Les giratoires de rase campagne du réseau routier non structurant (VNRS).
- Les giratoires de rase campagne du réseau routier structurant (VRS).

L'emprise disponible ou facilement libérable doit permettre la réalisation d'un giratoire de rayon extérieur de 15 m au minimum. En milieu urbain l'emprise disponible étant souvent réduite on est amené à construire :

- pour des rayons extérieurs entre 12 et 15 m, des giratoires avec îlot central semi-franchissable ;
- pour des rayons extérieurs inférieurs à 12 m, des minis giratoires avec îlot central entièrement franchissable.

1.5 – Spécificités des carrefours giratoires

1.5.1 – Sollicitations en service

■ 1.5.1.1 – Contraintes de cisaillement

Les voies d'accès et de sortie sont des zones de freinage et d'accélération, ce qui provoque des transferts de charge entre essieux et des fortes contraintes d'adhérence.

Dégradations superficielles observées sur les voies d'accès : arrachement des gravillons, plissement des couches de surface bitumineuses et départ en plaques.



Sur la chaussée de l'anneau, l'accroissement des contraintes est provoqué par les efforts tangentiels engendrés par la rotation des essieux simples et doubles des poids lourds voire des pivotements en ce qui concerne les essieux tridems. Ces efforts sont d'autant plus grands que les rayons du carrefour giratoire sont faibles.

■ 1.5.1.2 – Contraintes structurelles

Dans les carrefours giratoires les vitesses pratiquées sont faibles (20 à 30 km/h) les durées d'application des charges sont donc plus élevées qu'en section routière courante. D'autre part, du fait de la géométrie de l'ouvrage, la circulation est fortement canalisée en particulier lorsque la répartition et l'importance du trafic permettent de couper au plus court ce qui majore localement les contraintes dans la chaussée et entraîne un risque d'orniérage.

Enfin l'effet de la force centrifuge, qui résulte du virage déséquilibre la répartition des charges entre les roues d'un même essieu entraînant la surcharge des roues extérieures au virage (de 10 à 20 % selon des mesures françaises et jusqu'à 60 % selon une étude belge, voir figure 1) et provoquant des fuites de carburant et de lubrifiant, produits susceptibles d'attaquer certains revêtements.



Dégradations structurelles observées sur les carrefours giratoires : faiencage et orniérage des couches bitumineuses.

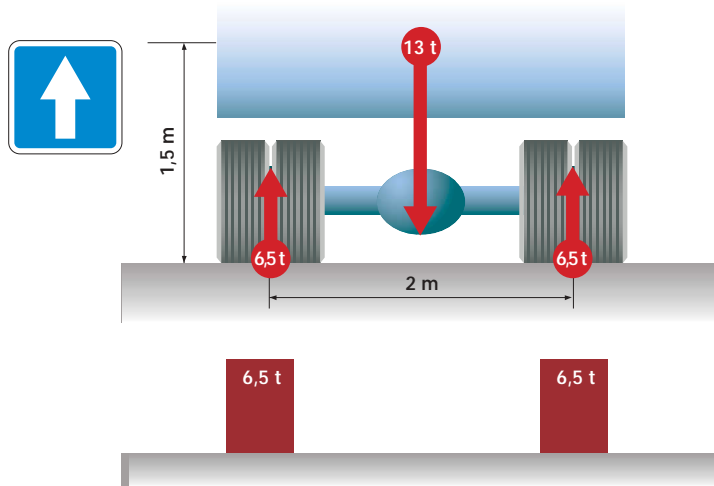
1.5.2 – Contraintes spécifiques lors de la construction

Construire un carrefour giratoire, c'est souvent modifier un carrefour existant. De ce fait il constitue un petit chantier découpé en phases et réalisé en un temps réduit pour minimiser la gêne aux usagers. En général le trafic est, soit dévié temporairement, soit limité aux riverains.

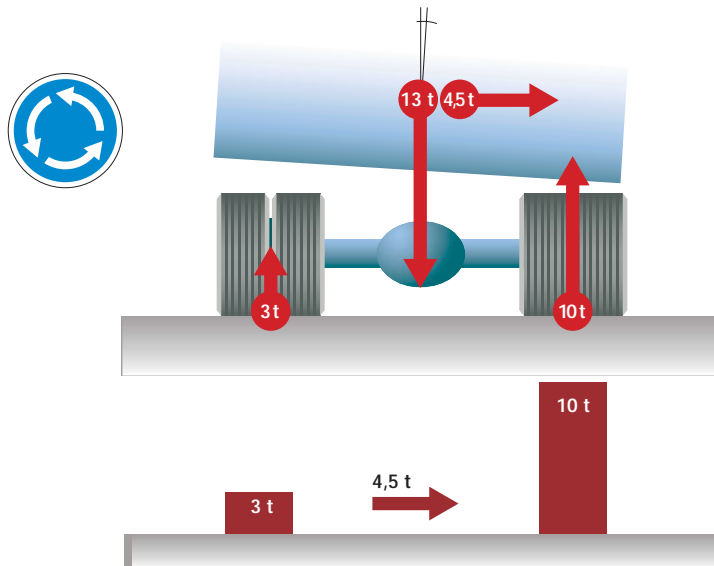
Les matériaux doivent être d'utilisation facile répondant aux contraintes de mise en œuvre et s'accommoder des contraintes liées à la géométrie de l'ouvrage : courbes et dévers.

Les quantités de matériaux mises en œuvre pour chacune des phases sont faibles et l'utilisation de matériels de répandage et de compactage performants n'est pas toujours possible.

Figure 1 : surcharges sur les roues extérieures et effort résultant de la force centrifuge



En alignement droit : répartition uniforme de la charge sur les deux roues.



En virage, transfert partiel de la charge vers la roue extérieure.

De plus des hétérogénéités de structure et problèmes de joints apparaissent lorsqu'une partie de la chaussée existante est conservée ainsi que des problèmes de joints entre ancienne et nouvelle structure.

1.5.3 – Exigences esthétiques et de sécurité

Il faut assurer la cohérence entre l'aménagement du carrefour et des voies d'accès. En site urbain le carrefour doit s'intégrer à l'environnement.

La lisibilité externe et interne du carrefour ainsi que la visibilité sur le carrefour sont des éléments essentiels pour la sécurité.

Le revêtement des zones de freinage des voies d'accès et de la chaussée de l'anneau doit permettre en toutes circonstances une adhérence optimale et durable.



Les exigences esthétiques nécessitent l'utilisation d'un matériau apte à subir de multiples traitements (coloration, texture et forme).



Renforcer la sécurité, c'est opter pour un matériau clair (meilleure visibilité) et indéformable (maintien de l'uni dans le temps).



1.5.4 – Exigences d'exploitation

En service, le revêtement doit être apte à répondre aux contraintes d'entretien : nettoyage, réparations ponctuelles, etc.

Un carrefour giratoire intéressant plusieurs voies de circulation, il est bien évident que toute intervention lourde nécessitant une interruption de trafic perturbera plusieurs axes de trafic. Une longue durée de vie et le choix de matériaux performants doivent donc être pris en compte lors du calcul de dimensionnement des chaussées.

1.6 – Pourquoi le béton de ciment ?

L'emploi du béton nous semble particulièrement adapté pour satisfaire les exigences de tous les types de carrefours giratoires.

En plus des réponses qu'il apporte à chacun des problèmes posés par leurs spécificités – **réponses développées dans le chapitre 2** – on peut ajouter que :

- le béton est un matériau facilement disponible grâce au réseau très dense du béton prêt à l'emploi ;
- le béton est un matériau plastique et moulable qui n'exige pas de moyens importants de mise en œuvre ;
- ses performances mécaniques élevées et sa durabilité le destinent naturellement à supporter de fortes contraintes d'exploitation.

1.7 – Objectif du guide

Ce guide précise les avantages apportés par l'emploi du béton de ciment et explicite les particularités que l'on rencontre pour la conception et la réalisation des carrefours giratoires avec ce matériau.

Il propose des types et des fiches de structures, des méthodes pour leur réalisation, des conseils pour le suivi des travaux et l'entretien.

Pour les aspects « classiques » qui concernent les dimensionnements géométriques des carrefours giratoires et la mise en œuvre des revêtements en béton le lecteur devra se référer aux documents cités dans la bibliographie.



Chapitre

2

Réponses du béton aux spécificités

2.1 Réponse structurelle

2.2 Réponse en matière de réalisation

2.3 Réponse à la sécurité

**2.4 Réponse aux contraintes
d'exploitation**

2.1 – Réponse structurelle

Plusieurs raisons d'ordre structurel justifient le choix d'un revêtement en béton pour la réalisation d'un giratoire.

- **Durée de vie élevée du matériau béton et son insensibilité aux variations de températures**

De par sa nature même, le béton se montre particulièrement apte à supporter des conditions extérieures extrêmes : il résiste au gel grâce à l'ajout d'un entraîneur d'air, il supporte les fortes chaleurs estivales. Par conséquent, il est bien adapté aux fortes contraintes d'un giratoire. De plus, sa longue durée de vie diminue la gêne à l'usager en espaçant dans le temps les travaux d'entretien.

- **Suppression du risque d'orniérage suite aux sollicitations dues aux véhicules lourds se déplaçant à allure modérée**

Par nature même, le béton ne s'ornièrera pas. De plus, la forte rigidité du béton permet de mobiliser des efforts notables de traction par flexion. La répartition des efforts au niveau des couches de fondation conduit à une faible sollicitation de ces dernières et donc à l'élimination de tout risque de déformation.

- **Élimination des phénomènes de décollement de la couche de roulement causés par l'effet de la force centrifuge**

Ces effets sont particulièrement sensibles dans les giratoires périurbains où les vitesses assez élevées peuvent causer des « plissements » de la couche de surface dans le cas de structures souples multicouches. Dans le cas de revêtement béton, la dalle est à la fois couche de base et couche de roulement ; sa résistance au cisaillement permet d'éliminer complètement ce risque.

- **Insensibilité du revêtement aux pertes d'hydrocarbures fréquentes dans des giratoires de faible rayon**

Contrairement aux matériaux traités aux liants hydrocarbonés, le matériau béton ne subit aucune dégradation suite à l'attaque des hydrocarbures. Cette propriété qui conduit déjà à privilégier l'usage du béton, dans les stations services par exemple, est également très utile dans les giratoires où la force centrifuge ajoutée à l'inclinaison du véhicule occasionne de fréquents débordements de carburant par le trop plein des réservoirs des camions.

- **Possibilité de réaliser un assainissement intégré**

Seul le béton permet de réaliser simplement et économiquement une structure avec caniveau ou bordure intégré. Le monolithisme de la structure ainsi obtenue évite toute dégradation ou déchaussement de bordures.

- **Adhérence de surface pérenne**

L'adhérence est maintenue dans le temps et par tous les temps grâce aux performances mécaniques des granulats et aux différentes techniques de traitements de surface du béton.



La plasticité du béton autorise la réalisation de systèmes d'assainissement intégrés au revêtement.

2.2 – Réponse en matière de réalisation

- **Fourniture du béton**

La réponse apportée par les centrales de béton prêt à l'emploi (BPE) est particulièrement bien adaptée à la taille variable de ce type de chantier. Ces centrales, bien implantées sur tout le territoire assurent la qualité et la régularité du béton (conforme aux normes en vigueur).

- **Mise en œuvre des bétons**

De par sa plasticité, le béton frais s'adapte bien aux conditions spécifiques de réalisation d'un giratoire. Il permet en particulier de réaliser sans difficulté tous les raccordements et l'aménagement autour des regards et des points singuliers.



Le béton prêt à l'emploi est particulièrement adapté (en quantité et en qualité) à la réalisation des carrefours giratoires.

Les techniques de mise en œuvre du béton permettent une réalisation rapide de tous les types de giratoires en respectant les délais d'exécution. De plus, la possibilité de réaliser simultanément le revêtement et les ouvrages d'assainissement en béton (bordure ou caniveau) permet un gain de temps et une très bonne qualité d'ouvrage. En outre, sur les ouvrages en service, la réalisation du chantier par phases, en fonction des possibilités de déviation du trafic, est tout à fait envisageable.



La mise en œuvre du béton nécessite l'utilisation d'un matériel simple et léger, particulièrement adapté à la réalisation des carrefours giratoires (taille et phasage).

Toutefois, pour la réalisation des grands giratoires, l'utilisation d'une machine à coffrage glissant est possible.

2.3 – Réponse à la sécurité

Le béton confère aux giratoires de nombreux avantages en terme de sécurité pour trois raisons principales.

• Une meilleure visibilité

Les chaussées en béton présentent les avantages d'une surface de couleur claire, possédant des caractéristiques adéquates en matière de luminosité.

Ces avantages se concrétisent de jour comme de nuit. Le jour, la clarté de la couche de roulement en béton permet de créer une alerte visuelle, en particulier, en rompant la monotonie des structures classiques grâce à une différenciation de

couleur. La nuit, le giratoire est ainsi visible à une très grande distance, ce qui laisse tout le temps nécessaire aux conducteurs pour freiner et aborder le giratoire en toute sécurité.

• **Un uni maintenu**

La pérennité des performances mécaniques du béton, ainsi que son inertie face aux aléas climatiques et aux variations de températures, permettent d'offrir aux usagers une surface de roulement présentant un uni constant au fil des saisons et du temps. Ce maintien de l'uni est d'autant plus appréciable dans les giratoires qui sont soumis à un trafic agressif et fortement canalisé.

La réalisation des joints par sciage selon un calepinage adapté aux contraintes géométriques du giratoire, ne crée aucune interférence sur l'uni de la couche de roulement.

L'absence de déformation et d'orniérage de la chaussée participe aussi à l'amélioration de la sécurité, en limitant les risques de rétention d'eau et donc d'aquaplaning.

• **Une adhérence et une esthétique adaptées**

Le traitement de surface de la chaussée béton lui confère des qualités pérennes d'adhérence et de résistance au dérapage.

Les différentes techniques de traitement de la surface du béton permettent d'obtenir une très grande variété de texture et offrent donc la possibilité d'adapter la texture à tous les types de projet.

Toutes les techniques de traitement de surface peuvent être utilisées, notamment les bétons désactivés ou imprimés qui permettent de mettre en valeur les différentes nuances des palettes de couleur des agrégats.



Le béton offre une grande variété de textures conférant au revêtement des qualités pérennes d'adhérence et de résistance au dérapage.



Des qualités durables en matière d'uni, d'adhérence et d'esthétique.

Cet aspect peut être encore souligné par la réalisation des trottoirs avec le même matériau ou à l'inverse avec un béton de teinte différente.

Cette contribution à la sécurité est d'autant plus intéressante pour la réalisation des giratoires qui sont des points de rencontre de trafics de tous types et donc de risques importants de « conflits » entre les véhicules.



Le béton désactivé, ainsi qu'un choix adéquat des gravillons (couleur, dureté, etc.), sont la solution idéale pour les carrefours giratoires urbains.



2.4 – Réponse aux contraintes d'exploitation

L'un des principaux avantages des chaussées en béton résulte du faible entretien qu'elles nécessitent pendant leur durée de service.

Les carrefours étant des nœuds stratégiques pour l'écoulement du trafic routier, toute solution permettant de réduire au strict minimum les opérations d'entretien et leur fréquence, justifie d'autant plus son intérêt. La permanence du trafic routier est ainsi assurée et la gêne aux usagers minimisée.

En site urbain, les revêtements en béton répondent à toutes les exigences en matière d'exploitation, telles que :

- la facilité et la rapidité de nettoyage ;
- l'aptitude à subir des interventions ponctuelles (réservations, accès aux réseaux enterrés) sans altérer la durabilité et l'intégrité de la structure.

Le revêtement béton se prête facilement à recevoir tout genre de réservation. De par sa résistance et son indéformabilité, il assure le maintien de ces interventions dans le temps.



Dimensionnement

3.1 Caractéristiques des matériaux

- 3.1.1 Caractéristiques des granulats
- 3.1.2 Caractéristiques générales du béton
- 3.1.3 L'offre actuelle

3.2 Adéquation du type de structure à la famille du carrefour giratoire

- 3.2.1 En milieu urbain
- 3.2.2 En milieu périurbain et en rase campagne

3.3 Dimensionnement conventionnel

Exemples de fiches de structures

- 3.3.1 Milieu urbain PF2
- 3.3.2 Milieu urbain PF3
- 3.3.3 Périurbain et rase campagne PF2
- 3.3.4 Périurbain et rase campagne PF3

3.4 Dimensionnement de la profession

Exemples de fiches de structures

- 3.4.1 Milieu urbain PF2
- 3.4.2 Milieu urbain PF3
- 3.4.3 Périurbain et rase campagne PF2
- 3.4.4 Périurbain et rase campagne PF3

3.1 – Caractéristiques des matériaux

3.1.1 – Caractéristiques des granulats

Les granulats doivent répondre aux spécifications de l'article 9 de la norme XP P 18-540.

Compte tenu des sollicitations (voir le paragraphe 1.5.1.1) et des qualités d'adhérence souhaitables les granulats pour les bétons des couches de roulement, quel que soit le trafic que devra supporter le carrefour giratoire, devront respecter les exigences des tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Caractéristiques des gravillons

Coefficient de polissage accéléré – CPA	$\geq 0,45$
Los Angeles + micro Deval – LA + MDE	≤ 40
100 CPA (LA + MDE)	≥ 15
Coefficient d'aplatissement – A	< 20
Propreté des gravillons – P	$\leq 2 \%$

Tableau 2 : Caractéristiques des sables

Propreté des sables – PS	> 60
Friabilité des sables – FS	≤ 60
Variation du module de finesse – VMF	$\pm 0,30$

3.1.2 – Caractéristiques générales du béton

Les bétons routiers doivent répondre aux sollicitations répétées du trafic et des effets climatiques ; leur résistance à la traction par flexion entre directement en ligne de compte pour le dimensionnement. Comme tout béton routier, ils doivent contenir un adjuvant entraîneur d'air qui leur confère une résistance élevée vis-à-

vis du gel et des effets des sels de déverglaçage. Leur consistance doit être adaptée aux procédés de mise en œuvre du chantier. Ces bétons doivent donc être aussi homogènes et compacts que possible et présenter des caractéristiques mécaniques adéquates.

Le tableau 3 donne les caractéristiques mécaniques requises de ces matériaux, conformément à la norme NF P 98-170. La composition des bétons doit donc être établie compte tenu des caractéristiques des matériaux disponibles et des résistances à atteindre. Les classes 2 et 3 correspondent à des bétons maigres destinés aux couches de fondation. Les classes 4 et 5 correspondent à des bétons destinés aux couches de roulement en béton (béton non armé, béton goudonné et béton armé continu).

Les classes 1 et 6 sont prévues par la norme NF P 98-170 pour d'autres types d'application.

**Tableau 3: classification des bétons routiers
(extrait de la norme NF P 98-170)**

Classe de résistance	Résistances caractéristiques à 28 jours en MPa	
	Compression NF P 18-406	Fendage NF P 18-408
6	-	3,3
5	-	2,7
4	-	2,4
3	25	2,0
2	20	1,7
1	15	1,3

3.1.3 – Caractéristiques des matériaux bitumineux

La grave-bitume est de classe GB3 conformément aux spécifications données dans le catalogue des structures types de chaussées neuves SETRA-LCPC (1998) et dans la norme NF P 98-138 « couches d'assise : graves-bitume ». Il est recommandé de rechercher une compacité de la grave-bitume supérieure à 92 %.

3.2 – Adéquation du type de structure à la famille de carrefour giratoire

3.2.1 – En milieu urbain

Les carrefours giratoires « standards » sont implantés sur des voiries qui structurent les déplacements dans la ville et qui sont – comme la ville elle-même – constamment en mutation pour répondre à de nouveaux besoins, mettant en œuvre de nouveaux partis d'aménagement. Ces giratoires seront construits pour des durées de vie d'une vingtaine d'années ce qui correspond à un bon compromis entre la gêne, la dynamique urbaine et la nécessité d'amortir les équipements.

Pour les voiries à faible ou moyen trafic : voies de desserte *intra muros*, voies de distribution locale nous proposons les structures monocouches en béton de ciment à joints classiques (figure 2a).

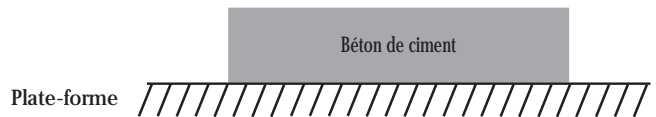


Figure 2a : revêtement béton monocouche à joints non goujonné.

Également la technique du béton de ciment mince collé (BCMC) sur une structure en matériau bitumeux pourra être envisagée.

Pour les voies à trafic principal, les voies de desserte des zones d'activité les voies de transport en commun nous proposons des structures comportant une fondation en matériau bitumineux (de préférence à des bétons maigres pour des questions de phasage d'exécution sous circulation) et une couche de roulement en béton de ciment à joints classiques (figure 2b).



Figure 2b : structure composite constituée d'un revêtement béton à joints non goujonnés posé sur une fondation en grave-bitume.

Pour les giratoires urbains « stratégiques » le recours au béton de ciment à dalles goudonnées est conseillé (figure 2c) sans que cela reflète bien sûr une logique d'exclusivité parmi les potentialités du béton. En particulier lorsque les voiries ne comporteront pas de réseaux enterrés le béton armé continu (BAC) pourra être une solution intéressante (voir la figure 3a).

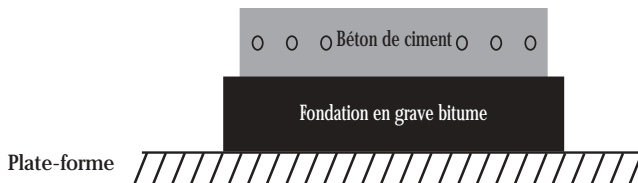


Figure 2c : structure composite constituée d'un revêtement béton à joints goudonnés posé sur une fondation en grave-bitume.

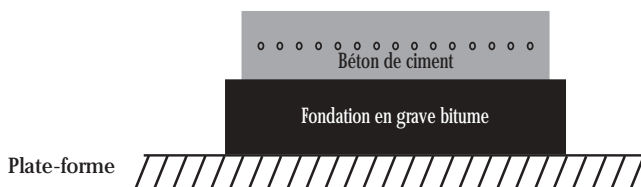


Figure 3a : structure composite constituée d'un revêtement en béton armé continu posé sur une fondation en grave-bitume.

Pour ces giratoires il faudra viser des durées de vie structurelles beaucoup plus longues – 30 à 50 ans – pour maîtriser les problèmes d'exploitation qui vont en quelque sorte orienter la technique des infrastructures.

3.2.2 – En milieu périurbain et en rase campagne

On peut assez souvent aménager les conditions d'exécution pour travailler hors circulation et dans des contraintes de délais normales. On peut donc avoir recours à la gamme classique des structures de chaussées en béton de ciment :

- pour des trafics moyens dalle épaisse sur couche de grave non traitée drainante ;
- pour des trafics forts à très forts : béton de ciment à dalles goudonnées (figure 3b) ou béton de ciment armé continu (BAC) sur fondation en béton maigre.

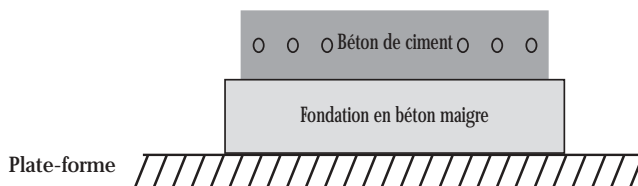


Figure 3b : structure constituée d'un revêtement béton à joints goudonnés posé sur une fondation en béton maigre.

Les voies du réseau structurant : VRS sont dimensionnées pour une durée de service théorique de 30 ans, les voies du réseau non structurant : VNRS pour 20 ans. Dans une logique rationnelle, les différentes routes sont classées par fourchette de trafic poids lourds cumulé sur la durée de service théorique de l'ouvrage.

Le Syndicat des Entrepreneurs de Chaussées en Béton et des Équipements Annexes (SPECBA) et les cimentiers ont élaboré des logiques de dimensionnement basées sur des constatations récentes en matière de structures composites.

Ce sont des structures bicouches constituées d'une couche de béton armé (BAC) mis en œuvre sur une sous couche en grave bitume. Le dimensionnement est effectué en considérant les deux couches solidement et définitivement collées.

Une gamme de structures BAC sur grave-bitume peut être utilisée dès lors que les maîtres d'ouvrage et d'œuvre adhèrent aux hypothèses de collage prises en considération.

Pour les voiries à faibles trafics, la technique du Béton de Ciment Mince Collé (BCMC), proposée pour l'entretien des chaussées bitumineuses ornierées, peut être aussi utilisée en construction de chaussées neuves.

Le tableau 4 résume cette analyse et propose des structures adaptées en fonction de la typologie du carrefour.

Tableau 4 : proposition adéquation famille de carrefour/structure de chaussée	
Familles de carrefour	Types de structure
Urbain à faible trafic 5 à 50 PL/jour	- Dalles « épaisses » à joints non goujonnés - BCMC sur Grave bitume
Urbain à trafic principal 50 à 150 PL/jour	- Dalles à joints non goujonnés sur Grave bitume - Béton Armé Continu sur Grave bitume
Urbain « stratégique » 150 à 300 PL/jour	- Dalles à joints goujonnés sur Grave bitume - Béton Armé Continu - Béton Armé Continu sur Grave bitume
Périurbain et Rase campagne à trafic moyen 300 à 500 PL/jour	- Dalles épaisses joints non goujonnés sur couche grave non traitée drainante - Béton Armé Continu sur Grave bitume
Périurbain et Rase campagne à trafic fort à très fort 500 à 750 PL/jour	- Dalles à joints goujonnés sur béton maigre - Béton Armé Continu sur béton maigre - Béton Armé Continu sur Grave bitume






*En caractères gras et en italique : solutions de la profession.
Rappel : un Poids Lourds est un véhicule de poids total autorisé en charge (PTAC) > 35 kN.*

3.3 – Dimensionnement conventionnel

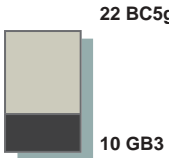
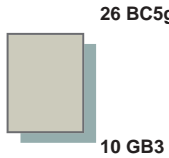
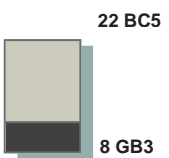

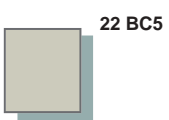
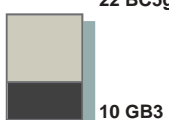
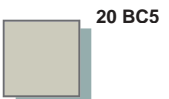
Exemples de fiches de structures

Les structures ont été déterminées pour les classes de plate-forme PF2 (module d'élasticité: 50 MPa) et PF3 (120 MPa) sachant qu'il sera le plus souvent difficile d'obtenir une classe PF4 (200 MPa) sur un chantier de giratoire.

3.3.1 – Milieu urbain PF2

Tableau 5 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT CONVENTIONNEL	
Giratoires "standards"	Giratoires "stratégiques"
<p>23 BC5g 10 GB3</p>  <p>Desserte zone d'activité, Voie de transport en commun chargée</p>	<p>27 BC5g 10 GB3</p>  <p>Pénétrante, Périphérique, Voie rapide urbaine, Rocade</p>
<p>25 BC5 8 GB3</p>  <p>Voie à trafic principal intra-muros</p>	<p>25 BC5g 10 GB3</p>  <p>Desserte zone industrielle, Axe de transport lourd</p>
<p>24 BC5</p>  <p>Voie de distribution locale</p>	<p>23 BC5g 10 GB3</p>  <p>Voie de distribution principale</p>
<p>22 BC5</p>  <p>Voie de desserte intra-muros</p>	<p><i>BC5 – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes</i> <i>BC5g – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes goujonnées</i> <i>GB3 – Grave Bitume classe 3</i></p>

3.3.2 – Milieu urbain PF3

Tableau 6 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT CONVENTIONNEL	
Giratoires "standards"	Giratoires "stratégiques"
 <p>22 BC5g 10 GB3</p> <p>Desserte zone d'activité, Voie de transport en commun chargée</p>	 <p>26 BC5g 10 GB3</p> <p>Pénétrante, Périphérique, Voie rapide urbaine, Rocade</p>
 <p>22 BC5 8 GB3</p> <p>Voie à trafic principal intra-muros</p>	 <p>24 BC5g 10 GB3</p> <p>Desserte zone industrielle, Axe de transport lourd</p>
 <p>22 BC5</p> <p>Voie de distribution locale</p>	 <p>22 BC5g 10 GB3</p> <p>Voie de distribution principale</p>
 <p>20 BC5</p> <p>Voie de desserte intra-muros</p>	<p><i>BC5 – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes</i> <i>BC5g – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes gougonnées</i> <i>GB3 – Grave Bitume classe 3</i></p>

3.3.3 – Périurbain et rase campagne PF2

Tableau 7 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment
DIMENSIONNEMENT CONVENTIONNEL

Réseau non structurant	Réseau structurant
<p>24 BAC 5 BBSG 23 BC5g 15 BC2</p> <p>TC7 : 17,5 à 43,5 millions de poids lourds</p>	<p>25 BAC 5 BBSG 22 BC5g 18 BC2</p> <p>TC7 : 38 à 94 millions de poids lourds</p>
<p>24 BAC 5 BBSG 22 BC5g 18 BC2</p> <p>TC6 : 6,5 à 17,5 millions de poids lourds</p>	<p>24 BAC 5 BBSG 23 BC5g 15 BC2</p> <p>TC6 : 14 à 38 millions de poids lourds</p>
<p>22 BAC 5 BBSG 20 BC5g 18 BC2</p> <p>TC5 : 2,5 à 6,5 millions de poids lourds</p>	<p>22 BC5g 18 BC2</p> <p>TC5 : 6 à 14 millions de poids lourds</p>
<p>20 BAC 5 BBSG 18 BC2 10 GNTD 36 BC5</p> <p>TC4 : 1,5 à 2,5 millions de poids lourds</p>	<p>19 BC5g 18 BC2</p> <p>TC4 : 3 à 6 millions de poids lourds</p>
<p>34 BC5 10 GNTD</p> <p>TC3 : 0,5 à 1 million de poids lourds</p>	<p>BAC – Béton Armé Continu BBSG – Béton Bitumineux Semi-Grenu BC2 – Béton de Ciment (maigre) classe 2 dalles courtes GNTD – Grave Non Traitée Drainante BC5 – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes BC5g – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes goujonnées</p>

3.3.4 – Périurbain et rase campagne **PF3**








Tableau 8 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT CONVENTIONNEL	
Réseau non structurant	Réseau structurant
<p>TC7 : 17,5 à 43,5 millions de poids lourds</p>	<p>TC7 : 38 à 94 millions de poids lourds</p>
<p>TC6 : 6,5 à 17,5 millions de poids lourds</p>	<p>TC6 : 14 à 38 millions de poids lourds</p>
<p>TC5 : 2,5 à 6,5 millions de poids lourds</p>	<p>TC5 : 6 à 14 millions de poids lourds</p>
<p>TC4 : 1,5 à 2,5 millions de poids lourds</p>	<p>TC4 : 3 à 6 millions de poids lourds</p>
<p>TC3 : 0,5 à 1 million de poids lourds</p>	<p><i>BAC – Béton Armé Continu</i> <i>BBSG – Béton Bitumineux Semi-Grenu</i> <i>BC2 – Béton de Ciment (maigre) classe 2 dalles courtes</i> <i>GNTD – Grave Non Traitée Drainante</i> <i>BC5 – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes</i> <i>BC5g – Béton de Ciment classe 5 dalles courtes gougonnées</i></p>

3.4 – Dimensionnement de la profession








Exemples de fiches de structures

Les structures ont été déterminées pour les classes de plate-forme PF2 (module d'élasticité: 50 MPa) et PF3 (120 MPa) sachant qu'il sera le plus souvent difficile d'obtenir une classe PF4 (200 MPa) sur un chantier de giratoire.

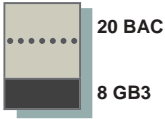

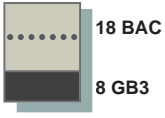

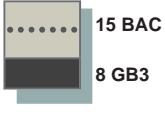
3.4.1 – Milieu urbain PF2

Tableau 9 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT DE LA PROFESSION	
Giratoires "standards"	Giratoires "stratégiques"
 <p>10 BCMC 13 GB3</p> <p>Desserte zone d'activité, Voie de transport en commun chargée</p>	 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>Pénétrante, Périphérique, Voie rapide urbaine, Rocade</p>
 <p>8 BCMC 14 GB3</p> <p>Voie à trafic principal intra-muros</p>	 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>Desserte zone industrielle, Axe de transport lourd</p>
 <p>8 BCMC 12 GB3</p> <p>Voie de distribution locale</p>	 <p>11 BCMC 14 GB3</p> <p>Voie de distribution principale</p>
 <p>8 BCMC 8 GB3</p> <p>Voie de desserte intra-muros</p>	<p>BAC – Béton Armé Continu BCMC – Béton de Ciment Mince Collé GB3 – Grave Bitume classe 3</p>


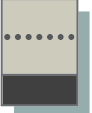





3.4.2 – Milieu urbain PE3

Tableau 10 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT DE LA PROFESSION	
Giratoires " standards "	Giratoires " stratégiques "
 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>Desserte zone d'activité, Voie de transport en commun chargée</p>	 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>Pénétrante, Périphérique, Voie rapide urbaine, Rocade</p>
 <p>11 BCMC 14 GB3</p> <p>Voie à trafic principal intra-muros</p>	 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>Desserte zone industrielle, Axe de transport lourd</p>
 <p>10 BCMC 13 GB3</p> <p>Voie de distribution locale</p>	 <p>11 BCMC 14 GB3</p> <p>Voie de distribution principale</p>
 <p>8 BCMC 12 GB3</p> <p>Voie de desserte intra-muros</p>	<p><i>BAC – Béton Armé Continu</i> <i>BCMC – Béton de Ciment Mince Collé</i> <i>GB3 – Grave Bitume classe 3</i></p>

3.4.3 – Périurbain et rase campagne PF2

Tableau 11 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT DE LA PROFESSION	
Réseau non structurant	Réseau structurant
 <p>20 BAC 8 GB3</p> <p>TC7 : 17,5 à 43,5 millions de poids lourds</p>	
 <p>18 BAC 8 GB3</p> <p>TC6 : 6,5 à 17,5 millions de poids lourds</p>	
 <p>15 BAC 8 GB3</p> <p>TC5 : 2,5 à 6,5 millions de poids lourds</p>	<p><i>BAC – Béton Armé Continu</i> <i>GB3 – Grave Bitume classe 3</i></p>

3.4.4 – Périurbain et rase campagne PF3

Tableau 12 : structures de chaussées de giratoires en béton de ciment DIMENSIONNEMENT DE LA PROFESSION	
Réseau non-structurant	Réseau structurant
 <p>17 BAC 8 GB3</p> <p>TC7 : 17,5 à 43,5 millions de poids lourds</p>	 <p>20 BAC 8 GB3</p> <p>TC7 : 38 à 94 millions de poids lourds</p>
 <p>14 BAC 8 GB3</p> <p>TC6 : 6,5 à 17,5 millions de poids lourds</p>	 <p>17 BAC 8 GB3</p> <p>TC6 : 14 à 38 millions de poids lourds</p>
 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>TC5 : 2,5 à 6,5 millions de poids lourds</p>	 <p>13 BAC 8 GB3</p> <p>TC5 : 6 à 14 millions de poids lourds</p>
<p>BAC – Béton Armé Continu GB3 – Grave Bitume classe 3</p>	 <p>12 BAC 8 GB3</p> <p>TC4 : 3 à 6 millions de poids lourds</p>

Réalisation des giratoires en béton

4.1 Les giratoires en béton à dalles courtes

4.1.1 Les joints et leur calepinage

4.2 Les giratoires à dalles courtes goujonnées

4.3 Les giratoires en béton armé continu

4.4 Les giratoires à structure composite

4.4.1 Béton armé continu sur grave-bitume

4.4.2 Béton de ciment mince collé: BAC/GB3

4.5 Les points particuliers

4.5.1 Les joints longitudinaux

4.5.2 Les amorces de bretelles de raccordement

4.5.3 Les sous dalles

4.5.4 Les joints de construction ou de dilatation

4.5.5 Le traitement des délimitations de l'anneau: bordures, surlargeurs et drainage

Les dispositions constructives présentées dans ce chapitre sont spécifiques pour la conception et l'exécution des giratoires en béton. Ils complètent les dispositions constructives courantes applicables pour les chaussées en béton de ciment, dispositions exposées dans les différents documents techniques et guides édités par l'administration et la profession qui sont cités dans les références bibliographiques de ce guide.

Nous distinguerons :

- les giratoires en béton constitués de dalles courtes ;
- les giratoires en béton constitués de dalles courtes goujonnées ;
- les giratoires en béton armé continu BAC ;
- les giratoires à structure composite.

4.1 – Les giratoires en béton à dalles courtes

Les spécificités des giratoires sont liées à leur géométrie imposée et leur tracé circulaire avec des rayons extérieurs variant pour des cas usuels de 7,5 à 25 m et plus. Cette géométrie implique de bien définir :

- le calepinage des joints de la chaussée en béton ;
- le traitement des délimitations de l'anneau (bordures, surlargeurs et drainage) ;
- le traitement des amorces des bretelles de raccordement.

4.1.1 Les joints et leur calepinage

Les joints ont pour but de localiser la fissuration du béton (phénomène inévitable du fait de sa nature et des variations climatiques), de manière précise et prédéterminée. Pour les chaussées circulaires des giratoires, les dalles ayant une forme trapézoïdale, la préparation du plan de calepinage est une opération essentielle.

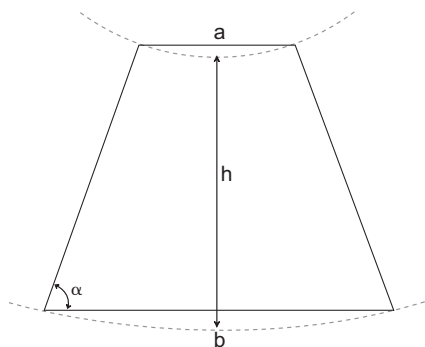


*Giratoire des Campani (RD 735) :
structure béton à joints non
goujonnés sur fondation en g
rave ciment.*

Ce plan devra tenir compte des règles suivantes :

- espacement maximum des joints ≤ 25 fois l'épaisseur de la dalle (soit par exemple 3 m pour une dalle de 12 cm, 5 m pour une dalle de 25 cm) ;
- angles de coins de dalle $\geq 75^\circ$.

Ces règles sont illustrées dans le schéma 4 de dalle ci-dessous.



a - valeur minimum de la plus petite dimension : 1,5 m.

b - valeur maximum de la plus grande dimension :
 - 5 m pour une dalle d'épaisseur 20 cm ;
 - 4 m pour une dalle d'épaisseur 16 cm ;
 - 3 m pour une dalle d'épaisseur 12 cm.

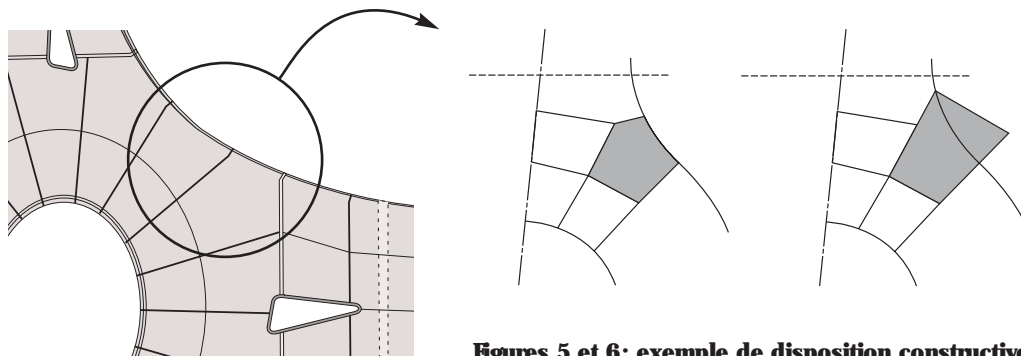
h - largeur d'une voie de circulation, soit 3 à 4 m.

alpha - pour les forts trafics, valeur recommandée $\geq 75^\circ$.
 Dans le cas où cette disposition ne serait pas possible, un ferrailage localisé de la dalle permet de s'affranchir de cette contrainte.

Figure 4 : règles pour la conception du calepinage d'un giratoire.

Pour satisfaire à ces objectifs, on pourra être amené à appliquer les dispositions suivantes :

- adapter la géométrie ponctuellement par un débord de dalle au niveau des raccordements avec les bretelles (figures 5 et 6) ;



Figures 5 et 6 : exemple de disposition constructive

- assurer en mode « tout ou rien » la continuité des joints radiaux en sautant un joint sur deux (figure 7) ;

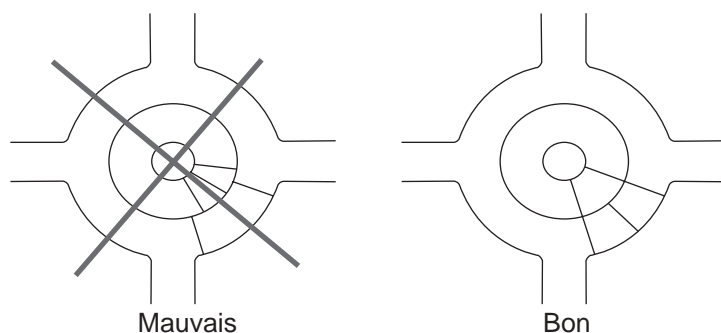


Figure 7 : adaptation du calepinage pour joints radiaux

– lorsque le joint se situe à une distance inférieure ou égale à 1 m d'un avaloir ou tout autre appareillage de réseaux, il faut décaler légèrement le joint et le positionner dans l'axe de l'avaloir (figure 8). On peut aussi prétracer le calepinage de joint en tenant compte des appareillages des dispositifs de drainage.

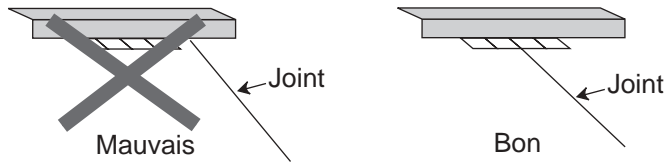


Figure 8 : implantation d'un joint au droit d'un avaloir en bord extérieur d'un giratoire.

– la définition du plan de calepinage réalisé par le bureau d'étude peut-être réalisée selon la procédure suivante, illustrée par l'exemple de la figure 9.

- 1 – Partir des axes de voies pour le premier traçage afin de travailler par secteur délimité par les axes de deux bretelles consécutives, figure 9-1.
- 2 – Tracer les joints d'amorce des bretelles en reliant le centre de la courbe de raccordement de la bretelle à l'intersection entre l'arc extérieur de l'anneau et l'axe des voies cité ci-dessus, figure 9-2.
- 3 – Déterminer la longueur de l'arc extérieur de chaque secteur, soit L_{ex} , et en déduire le nombre d'intervalles n en divisant L_{ex} par l'espacement maximum évalué en fonction de l'épaisseur de la dalle (par exemple 5 m pour une épaisseur de 20 cm). Prendre la valeur par excès, figure 9-3.
- 4 – Tracer les joints radiaux sur l'ensemble des voies qui délimitent les intervalles précités, figure 9-4.
- 5 – Positionner le milieu de chaque joint radial et relier ces points par des segments de droite pour matérialiser le joint « longitudinal » de l'anneau. Faire 2 joints si la largeur totale de l'anneau l'impose, figure 9-5.
- 6 – Vérifier sur l'arc intérieur que l'espacement des joints est supérieur à 1,5 m. Dans le cas contraire, supprimer un joint sur deux sur l'anneau intérieur, figures 9-6 et 9-6 bis.
- 7 – Vérifier que les angles des dalles sont supérieurs à 85° . Dans le cas contraire, adapter ponctuellement la géométrie des dalles concernées, conformément aux principes énoncés ci-après, figure 9-7.
- 8 – Définir les plans de calepinage des autres secteurs en adoptant le principe listé ci-dessus.

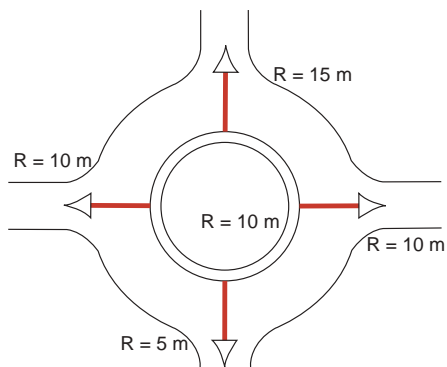


Figure 9-1

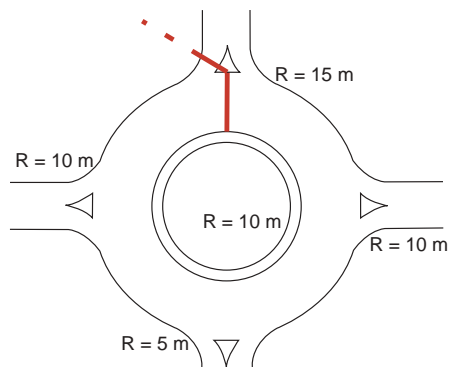


Figure 9-2

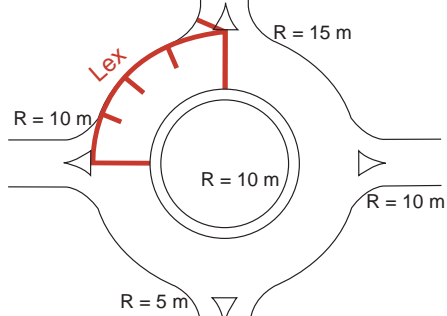


Figure 9-3

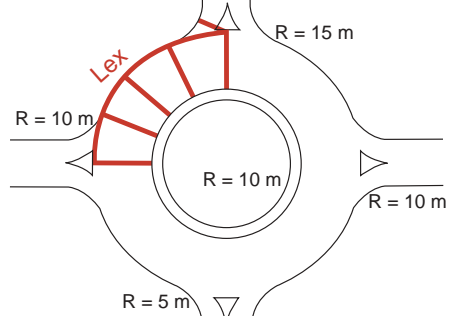


Figure 9-4

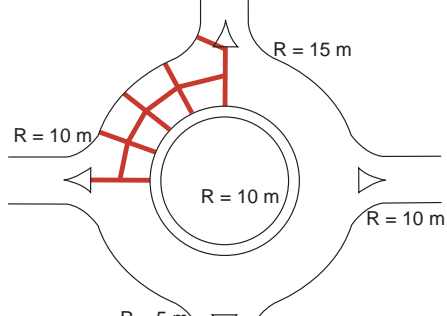


Figure 9-5

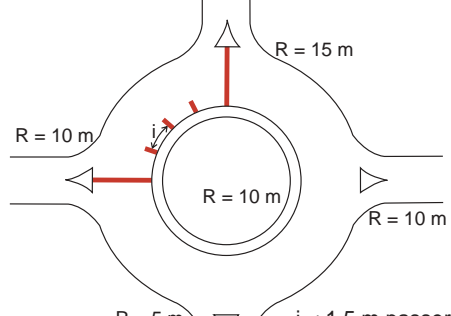


Figure 9-6

$i < 1,5$ m passer au 4-6 bis
 $i \geq 1,5$ m passer au 4-7

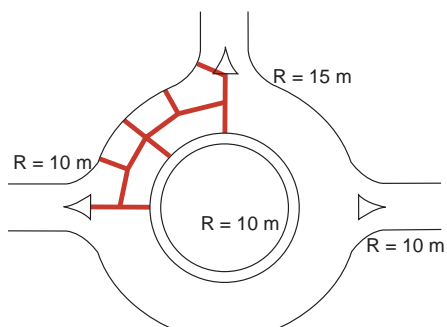


Figure 9-6 bis

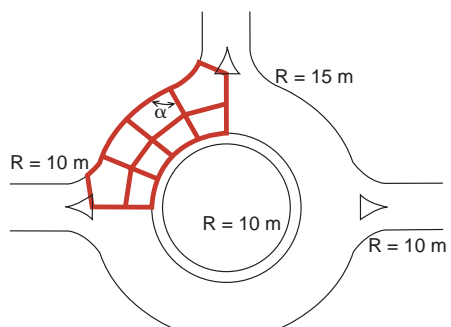


Figure 9-7

Vérifier $\alpha > 85^\circ$

Figure 9: exemple de procédure pour le tracé du plan de calepinage.

Les figures 10 à 14 fournissent des exemples de calepinage pour les grands, moyens, petits et mini giratoires. On notera que, dans le cas des minis giratoires (ouvrage de rayon inférieur à 12 m), la configuration de type dalles carrées est la mieux adaptée.

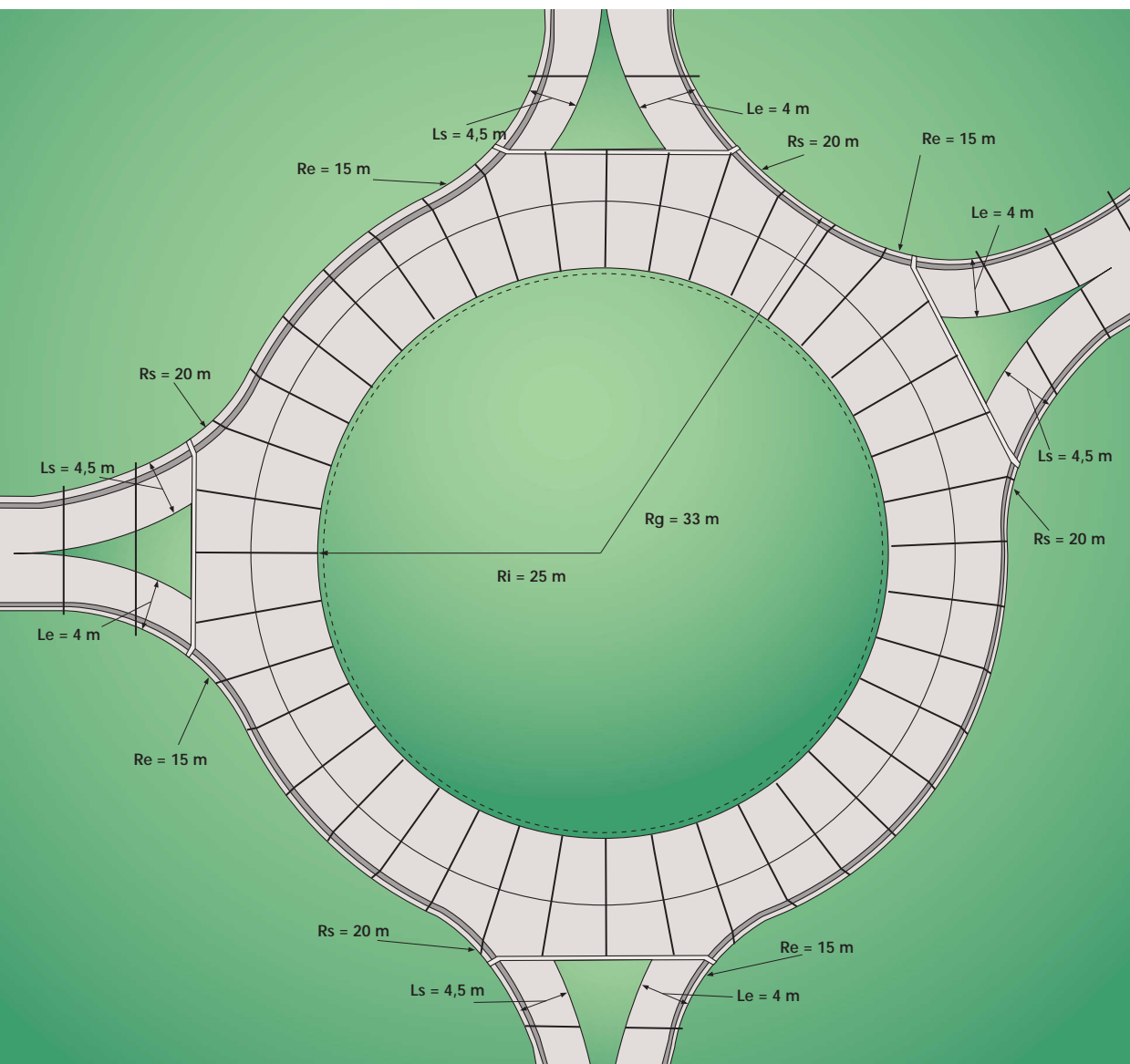


Figure 10 : exemple de calepinage pour un très grand giratoire.

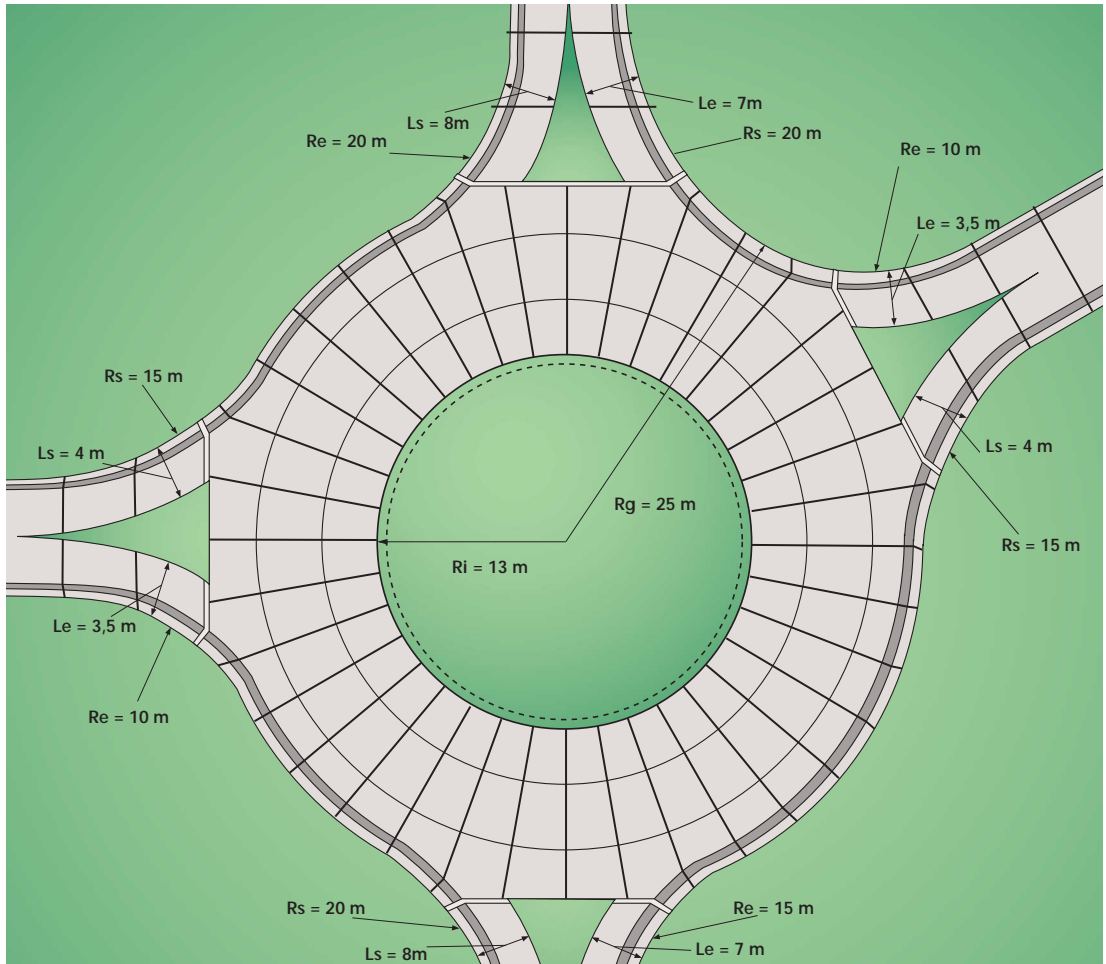


Figure 11 : exemple de calepinage pour un grand giratoire à trois voies.

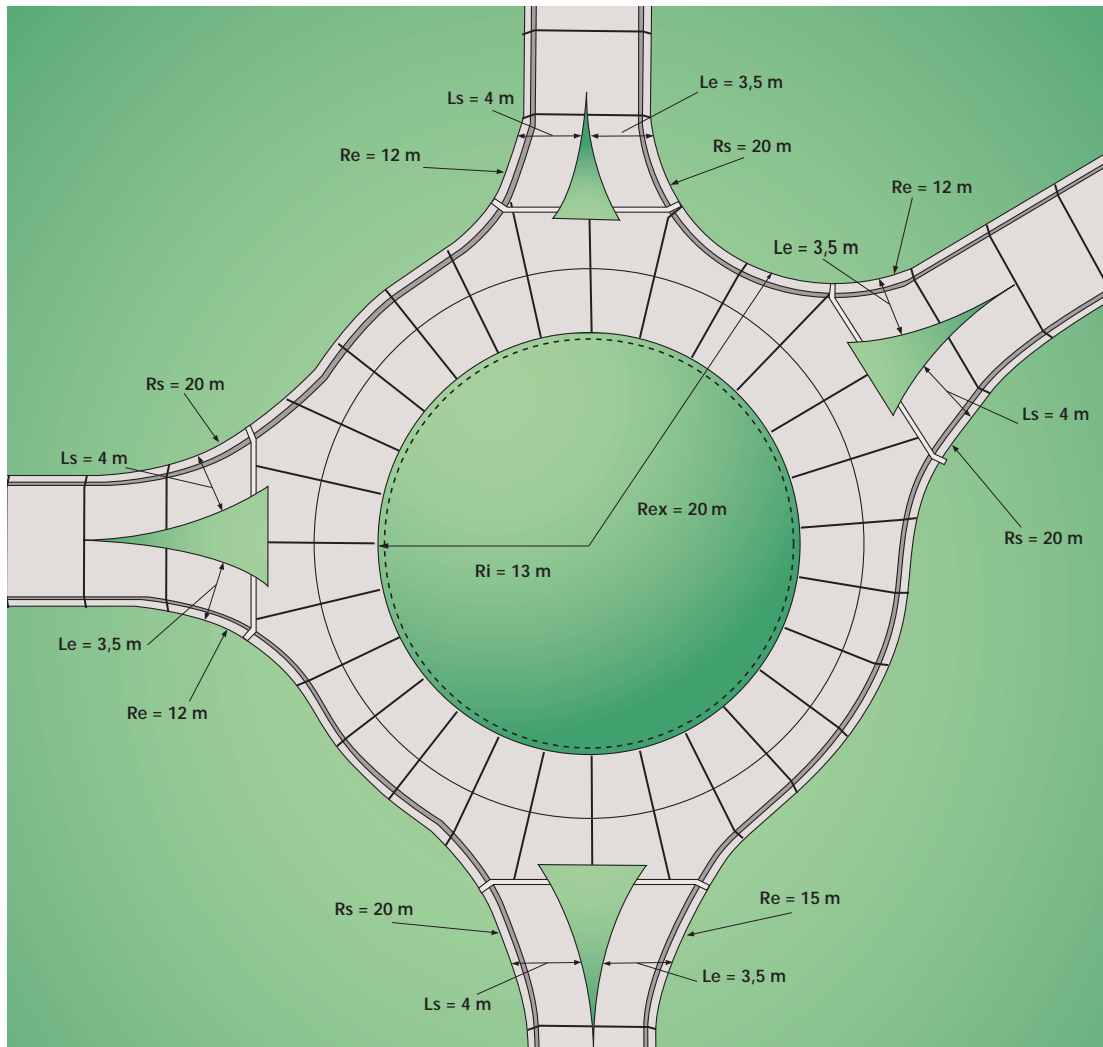


Figure 12 : exemple de calepinage pour un giratoire moyen (anneau à deux voies).

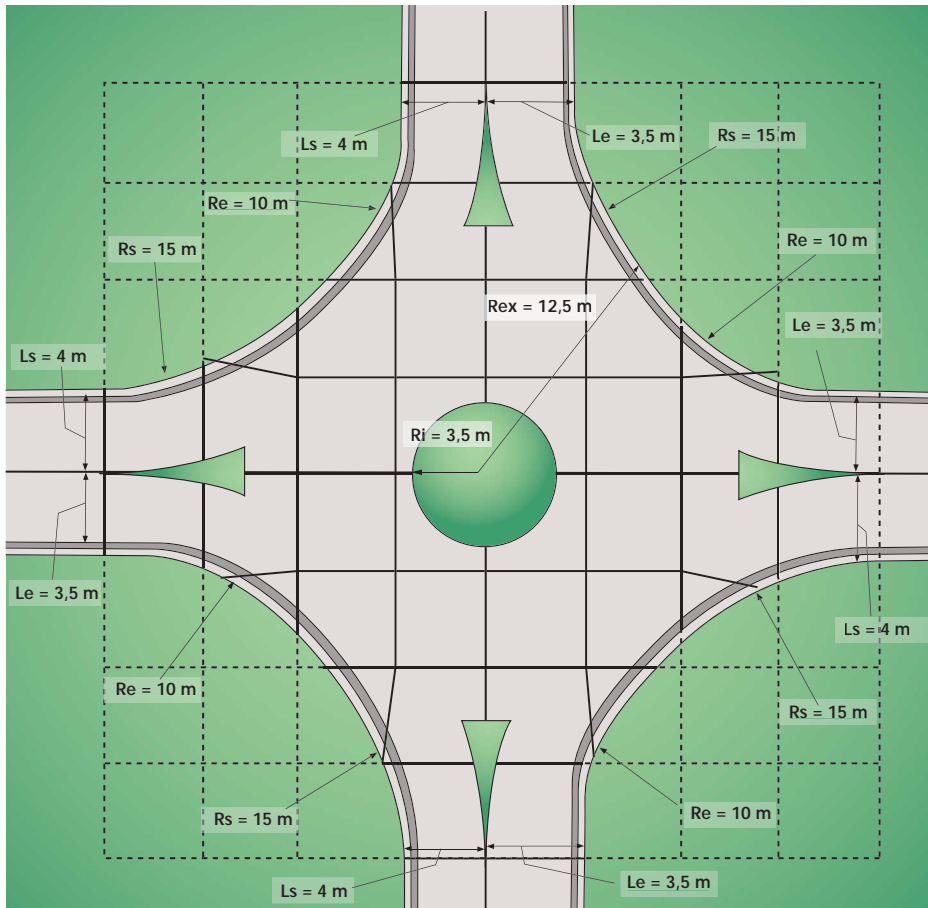


Figure 13 :
exemple de calepinage
pour un petit giratoire
(dalles carrées).

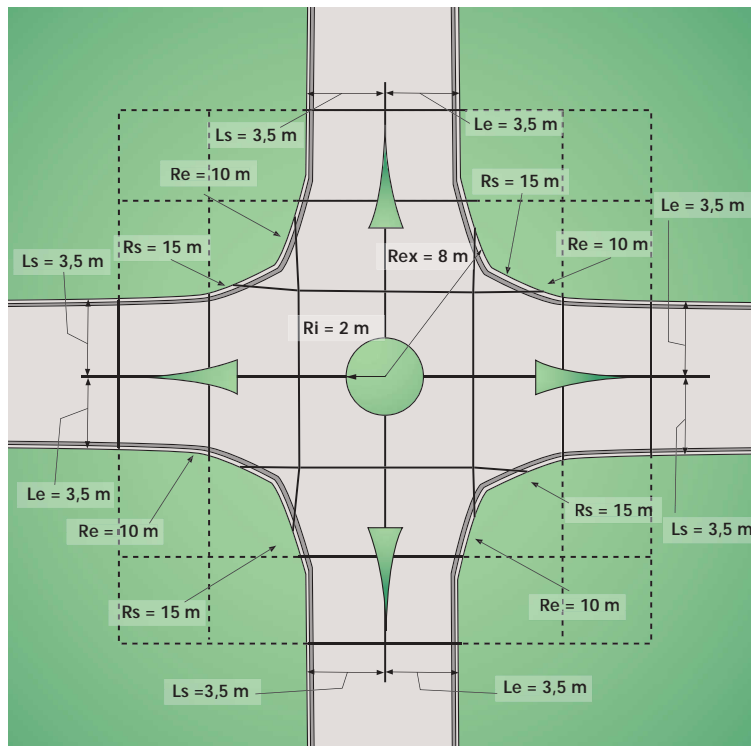


Figure 14 :
exemple de calepinage
pour un mini giratoire
(dalles carrées).

4.2 - Les giratoires à dalles courtes goujonnées

Pour améliorer le transfert de charge d'une dalle à l'autre au niveau des joints des goujons sont disposés à mi-épaisseur des dalles parallèlement à l'axe des voies au droit de chaque joint. Les goujons et les joints peuvent former un angle maximum de 15°, ce qui devra être pris en compte dans l'élaboration du plan de calepinage.

La position des goujons ne doit pas s'écarter en tout point de la position théorique de plus de :

- 2 cm verticalement par rapport à la surface supérieure de la dalle ;
- 2 cm latéralement par rapport à l'axe longitudinal de la chaussée.

Ces goujons sont des barres d'acier lisses de nuance \geq Fe E 240 enduite sur la moitié au moins de leur longueur d'un produit évitant l'adhérence au béton pour permettre les mouvements longitudinaux provoqués par le retrait et la dilatation thermique. Leurs dimensions et espacement dépendent de l'épaisseur de la dalle selon le tableau 13.

Tableau 13: dimensions et espacement des goujons (extrait de la norme NFP 98-170 annexe C)			
Épaisseur de la dalle (en cm)	Dimension des goujons		
	Diamètre	Longueur	Espacement
13 à 15	2	40	30
16 à 20	2,5	45	30
21 à 28	3	45	30
29 à 40	4	50	40
41 à 50	4,5	55	45

Ces goujons sont généralement installés à l'avancement ligaturés ou bloqués sur des supports appelés paniers qui les maintiennent en position pendant le bétonnage (figure 15). Ces paniers sont conçus le plus souvent en aciers \varnothing 6 mm, fixés sur la couche de fondation et ils ne doivent pas créer de liaison au niveau des joints.

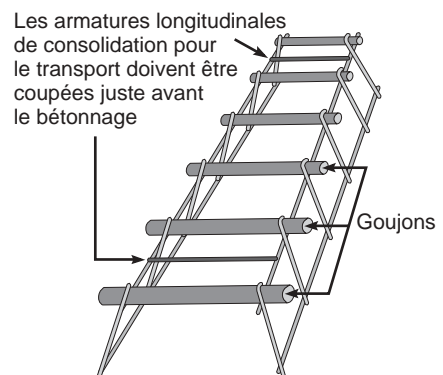


Figure 15 : panier support de goujons.



Giratoire de gron (Yonne) : structure en béton à joints goujonnés sur fondation en béton maigre.

Il faut aussi préciser que même dans le cas de la technique dalles courtes non goujonnées décrit dans le paragraphe 4.1 :

- la mise en œuvre du béton commence par un joint goujonné ;
- tous les joints de construction sont goujonnés ;
- tous les joints de dilatation sont goujonnés ;
- le mode de fonctionnement d'un joint goujonné qui est d'assurer le transfert des charges d'une dalle à la suivante tout en garantissant la libre dilatation thermique ne permet pas, dans le cas des chaussées routières, de goujonner plus de deux bords parallèles ou quasi parallèles des dalles de béton.

Dans le cas où l'on ne pourrait respecter ces conditions, une solution alternative efficace au transfert de charge par les goujons réside dans la construction de sous dalles en béton au droit du joint, qui fonctionnent selon le principe des dalles de transition des ouvrages d'art.

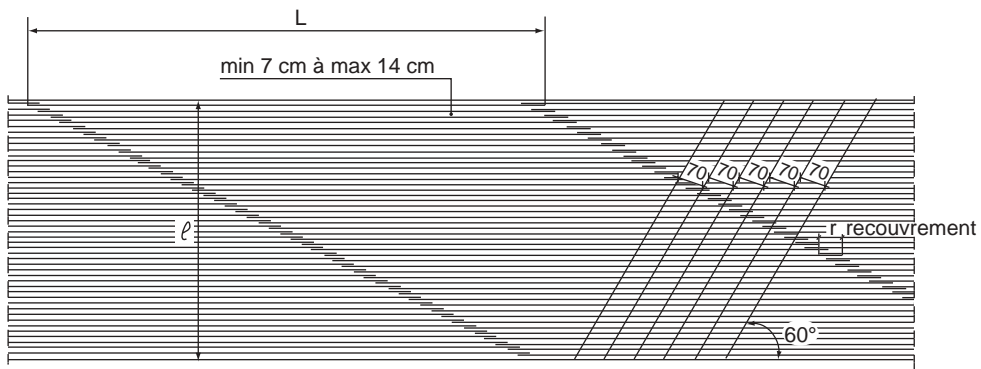
4.3 – Les giratoires en béton armé continu

Le béton armé continu permet de s'affranchir de la question des joints de retrait, avec au-delà du problème assez simple, même s'il appelle à vigilance du calepinage, celui de l'entretien périodique des joints, opération qui peut être délicate dans certaines configurations d'exploitation des nœuds routiers.

Les revêtements en BAC sur giratoire sont constitués d'une ou plusieurs bandes séparées par des joints longitudinaux.

Plusieurs particularités essentielles concernent le plan de ferrailage.

- Les armatures longitudinales (de longueur L) doivent suivre la courbure du giratoire. Elles sont posées sur des supports transversaux constitués d'acier \varnothing 12 mm qui servent aussi de couture des joints longitudinaux. Le recouvrement des armatures (r) doit être de 0,60 m minimum, et les zones de recouvrement ne doivent pas être alignées sur un même rayon.
- Les supports doivent être prévus de telle sorte que l'entraxe des barres mesuré à un tiers du bord extérieur de la dalle soit égal à 0,70 m. En outre, ces supports doivent être inclinés de 60° par rapport à la première armature intérieure afin d'éviter que les microfissures transversales du béton armé ne coïncident avec les armatures transversales. La figure 16 donne un exemple de plan de ferrailage.



Écartement des axes des armatures longitudinales : 14 cm
 Écartement des axes des armatures transversales : 70 cm
 Nombre d'armatures longitudinales $n = \frac{L}{14} - 1$
 (arrondi au chiffre supérieur)

Figure16 : exemple de schéma de ferrailage.

- Au niveau des amorces de bretelles, il est nécessaire de couler d'un seul tenant cette amorce avec l'anneau, de manière à assurer la continuité des structures et limiter les effets de bord en ces points sensibles du giratoire. La figure 17 montre un exemple de telle réalisation de continuité du coin d'amorce, avec un plan de ferrailage et un coffrage spécifiquement adaptés à la circonstance.
- Hormis le cas des coins d'ancrage précités, il est souhaitable de prévoir des ancrages systématiques aux raccordements des voiries constitués de barres de 12 mm à 16 mm de diamètre disposées tous les 30 à 50 cm selon l'importance du trafic.

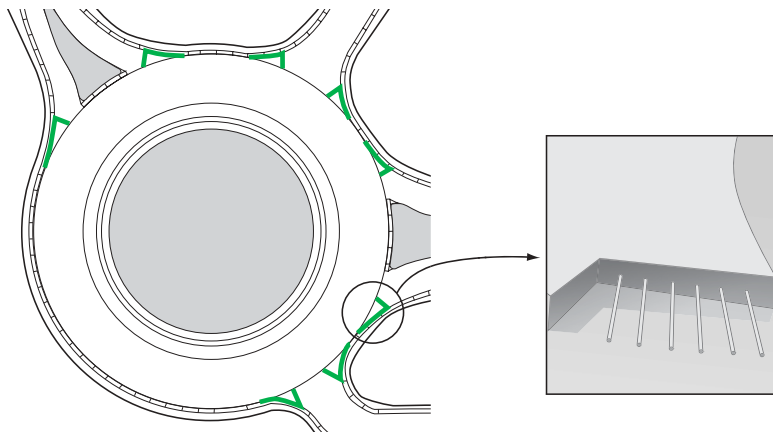


Figure 17 : schéma de réalisation des coins d'amorce.

4.4 – Les giratoires à structure composite

4.4.1 – Béton Armé Continu sur Grave Bitume : BAC/GB3

L'épaisseur minimum de BAC sera de 12 cm. La réalisation se fera comme exposé au paragraphe 4.3.

Pour la grave bitume l'épaisseur minimum sera de 8 cm, l'épaisseur maximum pour la mise en œuvre en une seule couche étant de 14 cm. On exigera une compacité > à 92 %. Lors de la mise en œuvre du BAC, la surface de la grave bitume devra être impérativement propre et exempte de toute pollution (poussière, huile etc.) et suffisamment rugueuse.



4.4.2 – Béton de ciment mince collé : BCMC

L'épaisseur de béton sera au minimum de 6 cm et au maximum de 12 cm. La formulation du béton demande des adaptations spécifiques par rapport au BC5 utilisé pour les structures précédentes :

- taille maximum des gravillons D_{max} comprise entre 6 et 14 mm selon l'épaisseur du BCMC ;
- nature et dosage du ciment selon le D_{max} des gravillons.

Des joints seront réalisés dans le béton frais de manière à obtenir des dalles rectangulaires ou trapézoïdales dont les dimensions seront comprises entre 0,80 et 1,5 m. Pour la grave bitume l'épaisseur minimum sera de 7 cm et les exigences du paragraphe 4.4.1 seront respectées.



Giratoire des Landiers nord Chambéry (Savoie) : structure neuve en BCMC sur fondation en grave bitume.

4.5 – Les points particuliers

4.5.1 – Les joints longitudinaux

Lorsque l'exécution prévoit le coulage de plusieurs bandes de béton, il faut maintenir fermé le joint entre les bandes adjacentes de béton malgré les mouvements liés à la dilatation et à la contraction du béton. On met en place lors du coulage

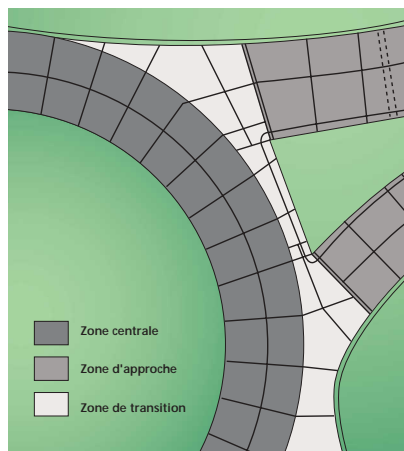
de la première bande des fers de liaison en acier haute adhérence, de diamètre compris entre 10 et 14 mm et de longueur comprise entre 60 et 100 cm. Ces fers sont enfoncés sur la moitié de leur longueur dans le béton frais et restent en attente du coulage de la bande adjacente.

Par exemple pour une dalle de 20 cm d'épaisseur, on met en œuvre des fers de liaison de 12 mm de diamètre, de longueur 60 cm et espacés tous les mètres.



Dans le cas d'un bétonnage en bandes, prévoir des fers de liaison.

4.5.2 – Les amorces de bretelles de raccordement



Une analyse fine du mode de fonctionnement des giratoires conduit à distinguer trois zones fonctionnelles (figure 18), soit :

- une zone centrale anneau proprement dite ;
- une zone d'approche constituée des bretelles d'accès et de sortie ;
- une zone de transition qui relie les deux précédentes.

Figure 18 : différentes zones d'un giratoire.

Pour assurer le bon fonctionnement mécanique de ces trois zones et leur connexion parfaite, il est recommandé de concevoir l'ensemble de manière aussi monolithique que possible en béton de ciment avec un dimensionnement de la dalle de béton d'épaisseur uniforme (voir la fiche de structure du paragraphe Dimensionnement) sur l'ensemble de l'aire. Dans le cas où la chaussée constitutive de la voirie qui se raccorde au giratoire n'est pas une chaussée rigide, l'amorce en béton de la zone d'approche doit être réalisée sur une longueur au moins égale à 20 m.



Bétonnage de l'anneau du giratoire et du dispositif de raccordement à la bretelle.

4.5.3 – Les sous dalles

Les sous dalles correspondent à des engravures de 50 cm de largeur et d'épaisseur 20 à 40 cm opérées dans la fondation des dalles de béton de revêtement. De manière à offrir une assise performante permettant un bon transfert de charge dans la durée, le béton de sous dalle doit être de même nature que le béton de revêtement.

4.5.4 – Les joints de construction ou de dilatation

Les joints de construction correspondent au début et arrêt de bétonnage. L'extrémité de la dalle est coffrée. Des trous placés dans l'axe du coffrage permettent la mise en place des goujons.

La figure 19 décrit le mode de fonctionnement d'un goujon dans le cas d'un joint de construction ou de dilatation d'une chaussée en béton.

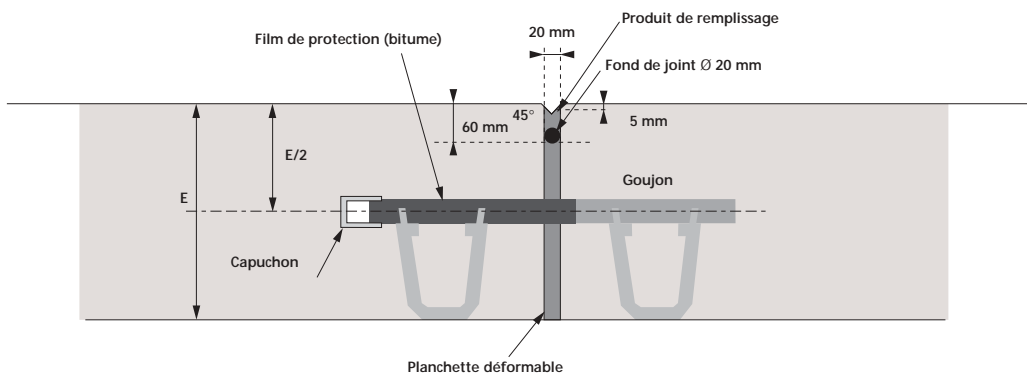


Figure 19 : joint de construction.

4.5.5 – Le traitement des délimitations de l’anneau : bordures, surlargeurs et drainage

■ 4.5.5.1 – Bordures

Deux systèmes de bordures sont possibles : les bordures préfabriquées en béton ou en matériau naturel d’une part, et les bordures coulées en place en béton extrudé d’autre part.

Au-delà des choix esthétiques, organisationnels et économiques propres à chaque chantier, le choix du système de bordure n’est pas indépendant de la performance structurelle à laquelle la chaussée circulaire doit satisfaire.



Bordures de l’ilot central posées avant le bétonnage de l’anneau.

Les bordures en béton préfabriquées ou en matériaux naturels posées avant coulage de la chaussée sur un massif de mortier ou de béton, imposent la géométrie des dalles. Rappelons l’importance du respect de la règle du bord franc et vertical du socle de la bordure pour garantir une épaisseur de béton constante. Cette solution ne permet aucune surlargeur de la dalle. Elle est donc réservée de préférence aux giratoires à trafic moyen ou faible.

Les bordures en béton extrudé coulées en place peuvent s’appliquer sur une surlargeur de l’anneau en béton moyennant des précautions particulières. Cette surlargeur est mécaniquement moins indispensable que pour les chaussées en béton linéaire à fort trafic, en raison de l’éloignement en section courante des bandes de roulement des poids lourds par rapport aux bords extérieurs des giratoires. Toutefois, cette disposition assure une sur largeur de 0,5 m, ce qui va dans le sens de la sécurité. Cette surlargeur peut être portée à 0,75 m en bord extérieur des zones de liaison avec la bretelle, là où les bandes de roulement des poids lourds se rapprochent du bord extérieur des dalles.

Cette disposition offre de meilleures capacités structurelles d’ensemble et est, de ce fait, plutôt destinée à des giratoires à fort trafic. On veillera alors à ancrer le béton des bordures avec celui de la chaussée par le biais d’épingles mise en place dans le béton frais de revêtement et laissées en attente. La figure 20 montre un schéma de telles attaches.

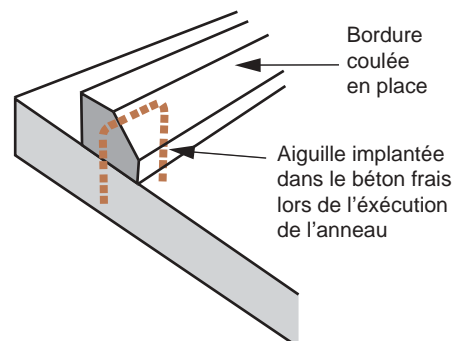


Figure 20 : ancrage de bordure.

La solution de bordures préfabriquées simplement collées après répandage de la dalle est déconseillée pour des giratoires très sollicités.

■ 4.5.5.2 – Drainage

Les giratoires en béton n'échappent pas, malgré les configurations globalement plus favorables que dans le cas des routes ordinaires, à la nécessité de drainage des eaux d'interface dalle-fondation. Rappelons que ce drainage est distinct de celui qui a trait à l'assainissement des eaux pluviales et que son traitement peut mettre en œuvre plusieurs solutions.

Dans le cas des giratoires, on privilégiera les deux dispositions suivantes :

- garnissage soigné de l'ensemble des joints et entretien périodique des joints selon les règles en vigueur (tous les 5 à 7 ans) ;
- drainage latéral extérieur en bord de dalle par massif drainant, grave non traitée poreuse en cas de trafic moyen ou faible, béton poreux en cas de trafic élevé. Dans le cas de bordures mises en place préalablement au coulage de la dalle, il est conseillé de faire le massif en béton poreux afin de permettre la collecte et l'évacuation des eaux d'interface.

4.6 – Mise en œuvre du béton

4.6.1 – Méthode manuelle

Lorsque l'ouvrage comporte des bordures de trottoir, elles sont posées avant le bétonnage et permettent, avec une petite adaptation, de servir de coffrage et de guide pour la règle vibrante. Des malfaçons ont été fréquemment observées avec la pose d'un coffrage provisoire au milieu de la voie.



Prévoir un joint de dilatation entre les bordures et l'anneau central.

4.6.2 – Vibro-finisser

Cette machine peut de même fonctionner entre les bordures de trottoir. Elle comporte un chariot qui se déplace perpendiculairement à la direction d'avancement de la machine. Il permet de :

- régaler le béton livré par le camion malaxeur ;
- vibrer le béton de façon interne avec un pervibrateur ;
- de régler le béton entre les coffrages (la machine ne roule pas nécessairement sur ces derniers, il existe plusieurs modèles).

Elle nécessite une petite installation. Elle réalise facilement en une seule fois une largeur de chaussée comportant deux ou trois voies.



Bétonnage au vibro-finisser.

4.6.3 – Striker

Cette machine travaille en pleine largeur. Une batterie de pervibrateurs est placée devant un ensemble de deux rouleaux servant à régler le béton et à faire avancer la machine. Elle roule sur des coffrages qui ont besoin d'être lourds et fixés au sol. Elle permet de réaliser des largeurs variables en dépassant plus ou moins de ces derniers.



Bétonnage au striker.

4.6.4 – Machine à coffrage glissant

Son emploi est assez réduit dans ce domaine pour les raisons suivantes :

- la nécessité de travailler en pleine largeur et donc d'utiliser une grosse machine pour la faible quantité de béton à mettre en œuvre (coût de transport et d'installation difficile à rentabiliser) ;
- la nécessité de réaliser simultanément les amorces de bretelles et donc d'avoir des largeurs variables que la machine ne peut pas faire. Il faut alors les réaliser simultanément à la main ;
- la nécessité d'avoir des moyens de chargement de la machine pour l'évacuer.



Bétonnage à la machine à coffrage glissant.

Elle permet toutefois de réaliser des ouvrages de grandes dimensions qui doivent être terminés dans la journée, par exemple les giratoires en Béton Armé Continu.

L'exécution de l'anneau peut faire appel à deux méthodes.

- Le répandage à la machine à coffrage glissant, par exemple, suivant le principe du coulage de deux demi-coquilles réunies par un béton mis en œuvre à règle vibrante (figure 21).

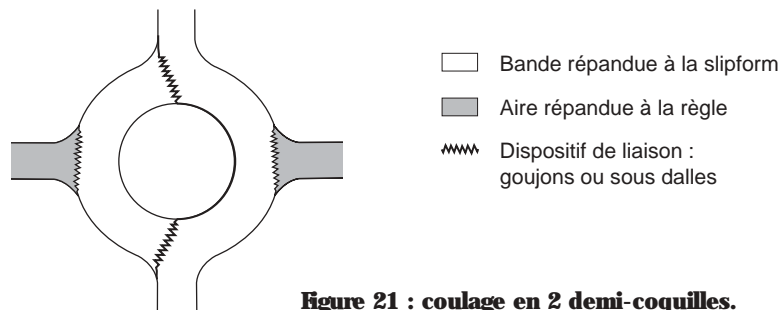


Figure 21 : coulage en 2 demi-coquilles.

Indépendamment de la qualité procurée par une mise en œuvre à la machine, cette option est surtout intéressante lorsque l'on croise deux routes d'importance inégale, le plus grand axe bénéficiant de l'avantage du répandage machine.

- Le répandage avec coffrages fixes, constitués soit des bordures lorsqu'elles sont posées avant, soit de coffrages posés en tant que tels. Dans ce cas, il faut utiliser une règle vibrante de largeur supérieure ou égale à la largeur de l'anneau béton. Si l'on ne dispose pas d'un tel matériel, il est alors nécessaire de monter un coffrage intermédiaire et de réaliser un joint de construction entre chaque bande de roulement.

4.6.5 – Passerelle

Quelle que soit la méthode et le matériel utilisé pour la mise en œuvre du béton une passerelle permettant de travailler au-dessus du béton sera nécessaire pour pouvoir :

- effectuer des retouches éventuelles ;
- réaliser le traitement de surface ;
- répandre le produit de cure.



Une passerelle est toujours nécessaire pour les finitions des surfaces.

4.7 Mise en pratique de ces différents dispositifs

Un bon projet tient compte de la mise en œuvre dès la conception. Ainsi, on commencera comme il a été mentionné plus haut par le tracé du calepinage des joints, qui permet de déterminer le positionnement des joints de dilatation notamment aux raccordements entre deux demi-anneaux pour les modes d'exécution faisant appel à cette technique.

Le démarrage de l'exécution de l'anneau proprement dit doit ensuite être précisé et on peut opter généralement pour le démarrage au droit de l'axe d'une entrée sortie derrière un îlot (cas 1 de la figure 22), ou en section courante du giratoire hors zone d'entrée et sortie (cas 2). Le traitement des points sensibles que constitue la liaison avec les amorces de bretelles elles-mêmes en béton de ciment se fera comme suit :

- a) béton non goudonné et démarrage cas 1 : sous dalle en zone de raccordement ;
- b) béton non goudonné et démarrage cas 2 : goudons en zone de raccordement ;
- c) béton goudonné et béton armé continu : sous dalle en zone de raccordement.

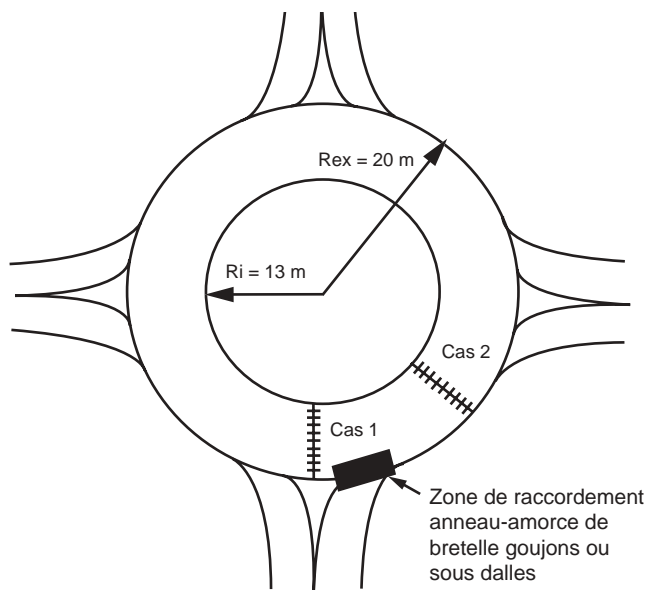


Figure 22 : mise en pratique des dispositions constructives.

À noter que dans la situation c) toutes les entrées et sorties doivent être traitées de la sorte, alors que dans la situation a) seule l'entrée sortie correspondant à la zone de démarrage du chantier implique la liaison avec une sous dalle, les autres raccordements pouvant être goudonnés sous réserve de ne pas avoir de joints de fin de journée au droit des autres bretelles.

La mise en œuvre d'un giratoire en béton fait appel à des procédures simples, nécessitant toutefois une préparation rigoureuse et soignée du phasage du chantier. En cas d'imprévu, les solutions alternatives sont facilement mobilisables, dès lors que l'on a affaire à une entreprise compétente.

La mise en circulation des chaussées béton peut être effectuée lorsque le béton a atteint *in situ* une résistance en compression de 20 MPa. L'obtention de cette résistance dépend de la formulation du béton (nature et dosage du ciment) et des conditions climatiques (température).

Dans des conditions normales (température moyenne ambiante voisine de 15 °C) cette résistance est généralement obtenue au bout de :

- 2 à 3 jours pour les bétons traditionnels ;
- 18 à 24 heures pour des bétons adjuvantés à durcissement rapide ;
- 4 à 6 heures pour des bétons spéciaux à base de ciment alumineux fondu ou de ciment prompt naturel.



Chapitre

5

Contrôle de la qualité

5.1 Organisation de la procédure assurance qualité

5.2 Contrôle des remblais et couches de forme

5.3 Contrôle de la réalisation des chaussées

- 5.3.1 Livraison du béton à partir d'une centrale de chantier
- 5.3.2 Livraison du béton à partir d'une centrale de béton prêt à l'emploi
- 5.3.3 Les contrôles intérieurs
- 5.3.4 Les contrôles extérieurs
- 5.3.5 Fréquence des contrôles

Le PAQ « plan d'assurance qualité » à mettre en place sera de type C.

5.1 – Organisation de la procédure assurance qualité

Le schéma d'organisation de la procédure qualité spécifique :

- les points sur lesquels portent les contrôles ;
- la nature des contrôles ;
- la répartition des rôles pendant le chantier.

<i>Régularité des constituants</i>	<i>Contrôle du processus</i>	<i>Contrôle des spécifications</i>	<i>Vérification de l'application du PAQ</i>
▼	▼	▼	▼
Entreprise et ses fournisseurs	Entreprise	Répartition entre maître d'œuvre et entreprise (à préciser au marché)	Maître d'œuvre et son laboratoire
▼	▼	▼	▼
CONTRÔLE INTÉRIEUR		CONTRÔLE EXTÉRIEUR	

5.2 – Contrôle des remblais et couches de forme

L'utilisation des matériaux et les performances seront conformes au guide technique de réalisation des remblais et couches de forme : GTR (SETRA-LCPC 1992).

Les contrôles intérieurs porteront sur l'utilisation des sols, la qualité des compactages, la portance de l'arase.

Les contrôles extérieurs porteront sur :

- la conformité aux plans (implantation et topographie) ;
- la réalisation de l'assainissement et des réseaux éventuels ;
- la portance de la couche de forme.

Lorsqu'il s'agit de l'aménagement d'un carrefour classique, les travaux préalables de démolition généralement nécessaires obligent à des contrôles fréquents pour obtenir une qualité homogène de la portance de la couche de forme.

L'acceptation des travaux de terrassement fait l'objet d'un point d'arrêt levé par le maître d'œuvre préalablement au démarrage de la réalisation des chaussées.

5.3 – Contrôle de la réalisation des chaussées

5.3.1 – Livraison du béton à partir d'une centrale de chantier

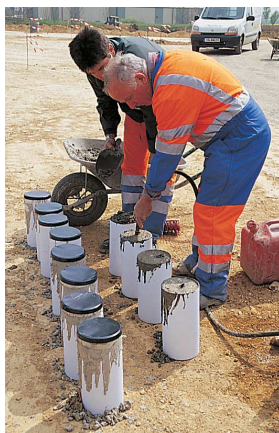
Cette situation sera très rare étant donné le relativement faible volume de béton à fabriquer et à mettre en œuvre. Dans ce cas on appliquera les prescriptions des normes NF P 98-170 et NF P 98-730.

5.3.2 – Livraison du béton à partir d'une centrale de béton prêt à l'emploi

La centrale sera titulaire du droit d'usage de la marque NF ou équivalent. En général, les bétons à caractères normalisés (BCN), dont la fabrication courante est suivie par la centrale, ne conviendront pas pour les bétons des couches de roulement. Il faudra donc commander des bétons à caractères spécifiés (BCS) en précisant en particulier les caractéristiques exigées pour les granulats.

Les deux cas de fourniture, centrale de chantier ou centrale BPE, donneront lieu à une épreuve de convenance au cours de laquelle seront réalisés :

- un élément de référence avec tous les moyens matériels prévus pour la mise en œuvre ;
- des essais sur le béton frais (consistance et teneur en air occlus) ;
- des éprouvettes pour essais mécaniques à 28 jours.



Vérification de la teneur en air occlus.

Confection des éprouvettes pour les essais mécaniques.

L'acceptation de l'épreuve de convenance fait l'objet d'un point d'arrêt levé par le maître d'œuvre préalablement au démarrage de la réalisation des chaussées.

5.3.3 – Les contrôles intérieurs

Les contrôles intérieurs porteront :

- sur les constituants et la fabrication du béton ; dans le cas de fourniture par une centrale BPE les résultats des contrôles peuvent être ceux obtenus par la centrale dans le cadre de son contrôle intérieur ; les bons de livraison seront vérifiés, récupérés et conservés ;
- selon le type de structure, sur la mise en place des goujons ou aciers ;
- sur les conditions de bétonnage (température ambiante, hygrométrie, vitesse du vent, répartition du produit de cure et respect des phases) ;
- sur le respect des règles de l'art pour la mise en œuvre des bétons, selon le type de structure, la réalisation et le garnissage éventuels des joints ;
- sur les caractéristiques de la couche de béton (épaisseur et profils).

5.3.4 – Les contrôles extérieurs

Les contrôles extérieurs, en plus de l'épreuve de convenance, porteront sur :

- le respect du PAQ ;
- la teneur en air occlus ;
- les résistances mécaniques ;
- le respect des épaisseurs des couches de chaussée ;
- l'étanchéité des joints ;
- la macrotecture de la couche de roulement ;
- l'uni et le profil de la chaussée ;
- les carottages si les performances mesurées sur éprouvettes de contrôle ne sont pas conformes.

5.3.5 – Fréquence des contrôles

Le tableau 14, ci-après, propose une fréquence minimale des contrôles à effectuer par phase de bétonnage.

Tableau 14 Fréquence minimale des contrôles			
Volume de béton par phase	< 50 m³	de 50 à 100 m³	> 100 m³
Consistance au cône d'abrams	3	6	8
Air occlus	3	6	8
Résistances mécaniques à 28 jours	Fabrication de 6 éprouvettes	Fabrication de 9 éprouvettes	Fabrication de 12 éprouvettes
Répandage du produit de cure	1	2	2
Macrotecture	1 mesure par 25 m ²		

Entretien des carrefours giratoires

6.1 Entretien des giratoires en béton

- 6.1.1 Entretien de surface
- 6.1.2 Interventions ponctuelles sur réseaux

6.2 Entretien des giratoires en béton bitumineux

- 6.2.1 Pourquoi le BCMC ?
- 6.2.2 Qu'est-ce que le BCMC ?
- 6.2.3 La formulation du BCMC
- 6.2.4 La mise en œuvre du BCMC
- 6.2.5 Le traitement de surface du BCMC
- 6.2.6 La cure du BCMC
- 6.2.7 Les joints
- 6.2.8 La remise en circulation du BCMC
- 6.2.9 Les avantages du BCMC

6.1 Entretien des giratoires en béton

6.1.1 Entretien de surface

Adhérence : il existe de nombreuses techniques pour rétablir, si besoin est, les qualités antidérapantes de la chaussée en béton :

- bouchardage par martellement mécanique de la surface du béton (ce procédé présente le risque de fragiliser par fissuration les granulats) ;
- grenailage par projection de microbilles d'acier ;
- rainurage transversal par disques diamantés.

Nettoyage avec les matériels classiques : balayeuses, balayeuses aspiratrices, aspiratrices avec projection d'eau sous pression sont, dans la plupart des cas suffisants pour redonner au revêtement béton sa propreté et son éclat originel. L'emploi de jets d'eau à très forte pression (100 à 200 bars) peut détériorer l'étanchéité des joints.

Le béton de ciment résiste aux attaques des hydrocarbures (gasoil et huile) fréquemment répandus par les véhicules déportés en virage. Il n'y aura pas de risque de dégradations et, pour les aménagements à caractère esthétique, les taches d'hydrocarbure pourront être nettoyées par brossage sous eau chaude additionnée de produits détergents. Il existe des produits de protection contre ce type de salissures qui peuvent être périodiquement pulvérisés sur la surface du revêtement.

Entretien des joints : l'étanchéité des joints transversaux, longitudinaux, de dilatation et de construction devra être surveillée et des campagnes de réfection devront être programmées (fréquence d'environ 5 ans).

6.1.2 Interventions ponctuelles sur réseaux

De nombreuses techniques et matériels permettent de réaliser tous types d'intervention sur et sous les revêtements béton, le sciage, le carottage et le fonçage horizontal sont des opérations courantes.

Il faut tout de même préciser que des précautions sont à prendre pour réaliser une tranchée à travers une chaussée béton et pour reconstituer correctement ensuite la structure.

6.1.3 Entretien structurel

- Réfection de dalles isolées multifissurées pouvant compromettre la sécurité et le confort des usagers avec éventuellement réfection de la fondation. Pour des nécessités de remise en circulation rapide on emploiera des bétons à durcissement rapide (rappel : on ne doit pas réaliser de dalle dont la longueur serait inférieure à 1 m).
- Amélioration du transfert de charge au niveau des joints, soit au moyen de connecteurs Freyssinet/LCPC, soit par des injections de coulis de ciment sous les dalles.

6.2 Entretien des giratoires en béton bitumineux

Les contraintes entraînées par les faibles vitesses, la canalisation de la circulation et les transferts de charge provoquent rapidement un orniérage sur les chaussées des giratoires réalisés en bétons bitumineux. Les gestionnaires sont donc contraints d'entretenir périodiquement ces chaussées soit par recyclage en place à chaud, soit par rabotage et rechargement à l'aide d'une nouvelle couche bitumineuse, soit en faisant appel à la technique du Béton de Ciment Mince Collé (BCMC).

■ 6.2.1 - Pourquoi le BCMC ?

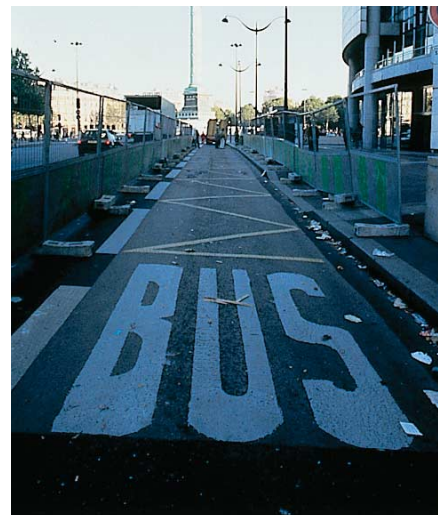
Chaque famille de structures de chaussées se caractérise par un mode de fonctionnement mécanique spécifique, lui conférant à plus ou moins long terme des pathologies particulières. Selon les réseaux routiers et la typologie des voiries qui les constituent, ces dégradations sont diversement appréhendées, en termes de gêne, par les usagers et les gestionnaires en charge de leur entretien.

L'orniérage est une dégradation qui affecte les structures bitumineuses et que l'on observe plus particulièrement sur des voies dont le revêtement est significativement sollicité, soit par l'importance du trafic lourd, soit par les conditions d'application de certaines charges roulantes, comme les bus par exemple, ou bien sur les deux à la fois. Il apparaît principalement sur :

- **les voies lentes d'autoroutes** (trafic lourd et canalisé) ;
- **les voies et couloirs de bus en ville** (trafic canalisé avec arrêts) ;
- **Les approches des carrefours et croisements de voies** (freinages et ralentissements fréquents) ;
- **les parkings, les aires de péage et les aires de repos poids lourds des autoroutes, les aires de stationnement aéroportuaires, etc.** (charges statiques).

Les maîtres d'ouvrage sont contraints d'**entretenir périodiquement** ces chaussées orniérées soit par recyclage en place à chaud, soit par rechargement à l'aide d'une nouvelle couche bitumineuse, soit par réfection de la structure existante.

Afin de se **prémunir durablement** contre l'orniérage qui constitue une dégradation dangereuse pour les usagers, surtout par temps de pluie à cause de l'effet d'aquaplanage, la communauté technique française des chaussées en béton a adapté au contexte français un nouveau concept de revêtement : le béton de ciment mince collé BCMC.

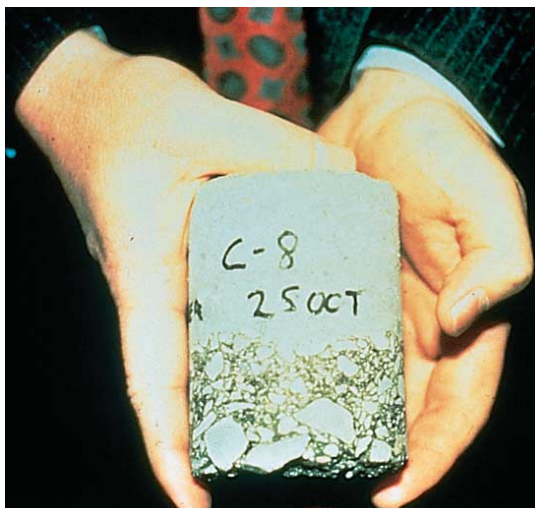


Des chaussées soumises à un trafic intense et canalisé ou des aires de stationnement finissent toujours par s'orniérer.

■ 6.2.2 - Qu'est-ce que le BCMC ?

Le BCMC est une technique d'entretien superficiel des structures bitumineuses. Il s'agit d'une technique récente en France. Inspirée de celle développée par les Américains ces dix dernières années, elle fait largement appel aux spécificités françaises tant en matière de formulation du béton que de critères de caractéristiques de surface du revêtement (esthétique, uni, adhérence et bruit de roulement).

Elle consiste à fraiser ou à raboter la structure bitumineuse dégradée sur une épaisseur adéquate et à mettre en œuvre, après nettoyage de la surface, d'une couche mince de béton de ciment (6 à 10 cm) qui adhère parfaitement à la couche bitumineuse résiduelle sous-jacente.



Carotte illustrant le collage naturel entre béton et matériaux bitumineux.

Les facteurs de succès du BCMC sont :

- un bon collage entre béton et couche bitumineuse. En effet, la prise en compte du collage entre les couches modifie d'une façon fondamentale le diagramme des contraintes, de par le déplacement de l'axe neutre. Le béton est ainsi moins sollicité en traction. D'où la possibilité de concevoir un revêtement en béton d'épaisseur faible (figure 23) ;

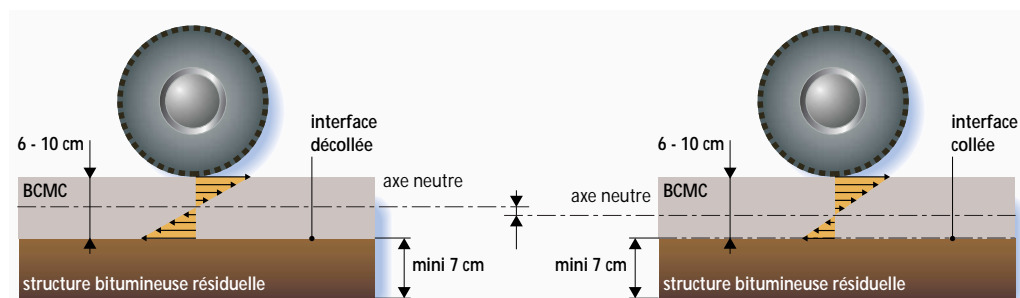


Figure 23 : Influence du collage sur le diagramme des contraintes, pour une structure bitumineuse résiduelle donnée. Le déplacement de l'axe neutre vers le bas réduit les contraintes de traction à la base de la dalle béton.

- une structure bitumineuse résiduelle de bonne qualité et d'épaisseur minimale 7 cm. En effet, plus l'épaisseur de la structure bitumineuse est grande, plus les contraintes de traction à la base du béton sont réduites (figure 24).

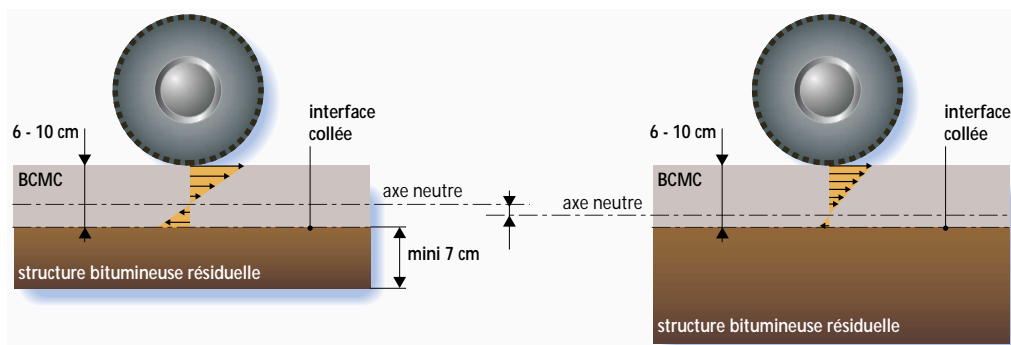


Figure 24 : Influence de l'épaisseur résiduelle de la couche bitumineuse sur le BCMC. Plus l'épaisseur de la structure bitumineuse résiduelle est grande, plus le déplacement vers le bas de l'axe neutre est grand et plus les contraintes de traction à la base de la dalle béton sont réduites.

La structure composite monolithique ainsi obtenue offre des garanties de durabilité et cela pour deux raisons :

- le béton, de par sa rigidité, répartit les charges et soulage ainsi la structure bitumineuse sous-jacente ;
- le béton assure une protection thermique de la structure.

■ 6.2.3 - La formulation du BCMC

La formulation du BCMC est proche de celle du béton utilisé traditionnellement en chaussée avec toutefois quelques adaptations spécifiques telles que :

- taille maximale des gravillons (D_{max}) à adapter selon l'épaisseur du BCMC (D_{max} compris entre 6 mm et 14 mm) ;
- nature et dosage du ciment selon les délais imposés de remise en circulation du béton et le D_{max} du gravillon ;
- ajout de plastifiants, voir de superplastifiants, éventuellement de fibres synthétiques. Toutefois, l'ajout de fibres permet en principe d'accroître la cohésion du béton à l'état frais et lui offre une plus grande résistance à l'usure et aux chocs, en particulier aux droits des joints.

■ 6.2.4 - La mise en œuvre du BCMC

Le BCMC peut être mis en place avec les différents matériels traditionnels de bétonnage.

Le choix du matériel dépend, en particulier, du rendement souhaité et des exigences en matière d'uni :

- règle vibrante et aiguille vibrante ;
- striker ;
- vibro-finiisseur ;
- machine à coffrage glissant.



Bétonnage à la règle vibrante.

Nettoyage au jet à haute pression du support avant le bétonnage à la machine à coffrage glissant.

■ 6.2.5 - Le traitement de surface du BCMC

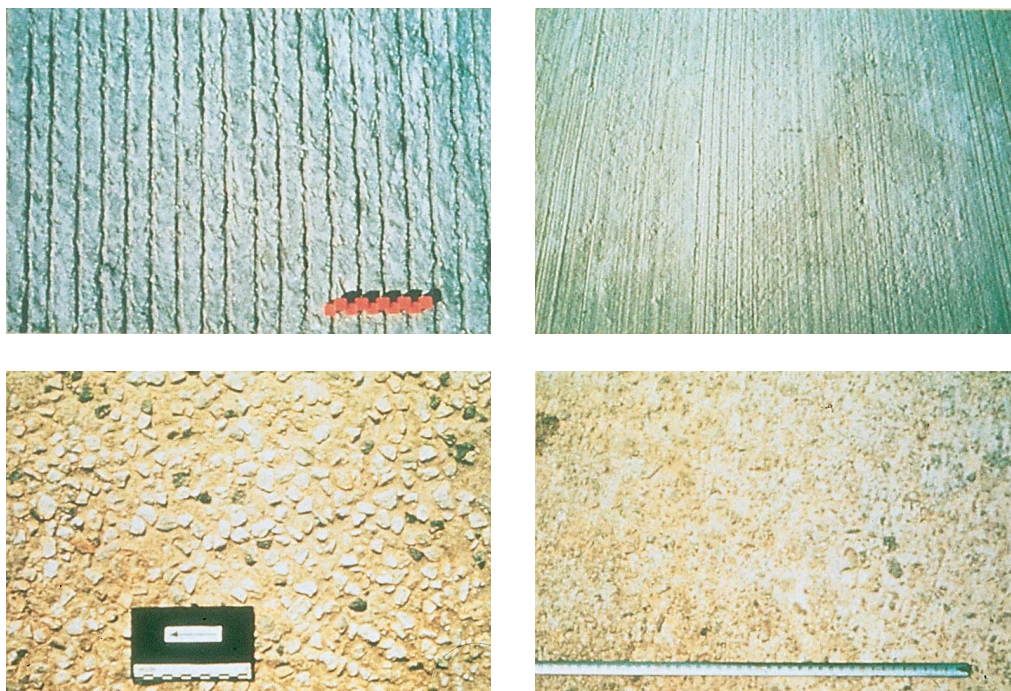
Le BCMC peut recevoir tous les procédés de traitement de surface traditionnellement utilisés sur les chaussées en béton de ciment. On peut envisager selon les exigences des maîtres d'œuvre en matière de caractéristiques de surface : le balayage ; le striage ; la désactivation ; le grenailage du béton durci.



Balayage.



Désactivation.



Différents aspects de surface.

■ 6.2.6 - La cure du BCMC

Immédiatement après le traitement de surface, on pulvérise à la surface du BCMC un produit de cure dont le rôle est de protéger le béton vis-à-vis des agents atmosphériques (vent, température, pluie, etc.).

■ 6.2.7 - Les joints

Du fait de la faible épaisseur de la couche de béton, il est impératif de rapprocher les joints dans le but de réduire l'ouverture des fissures aux droits des joints et d'éviter les effets de gauchissement des dalles (figure 25). Un maillage de joints, selon un dallage carré dont le côté est d'environ quinze fois l'épaisseur du BCMC, est conseillé. Les joints, très minces, ne sont pas garnis et sont sans effet sur la qualité générale de l'uni.

Les caractéristiques du schéma de jointoiment :

- **profondeur du joint** : entre 1/4 et 1/3 de l'épaisseur du BCMC ;
- **largeur du joint** : entre 1 et 2 mm ;
- **espacement des joints** : environ 15 fois l'épaisseur du BCMC.

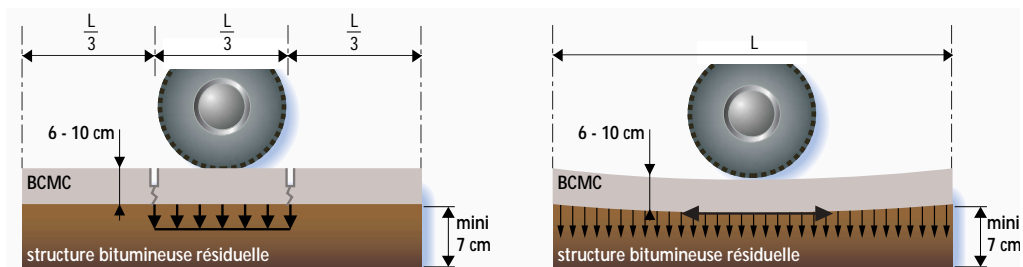
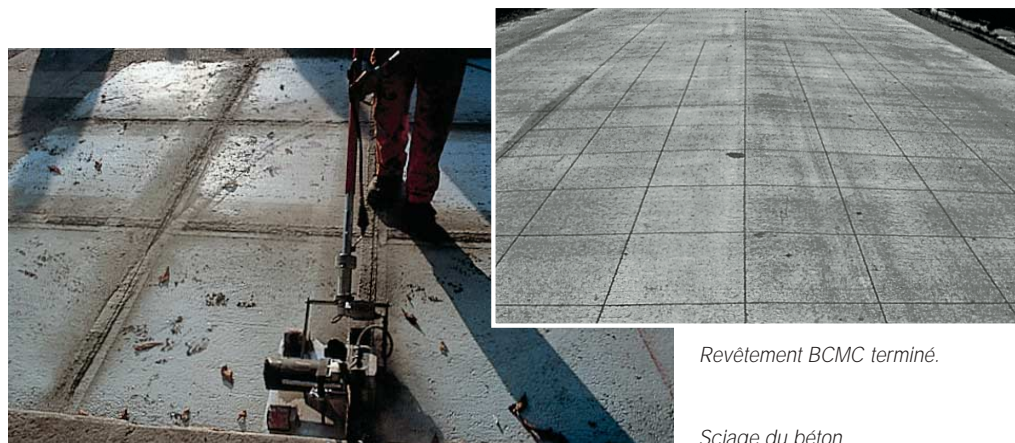


Figure 25 : Influence de l'espacement des joints sur le BCMC. Un faible espacement des joints réduit considérablement les contraintes de traction à la base de la dalle béton.



Revêtement BCMC terminé.

Sciage du béton.

■ 6.2.8 - La remise en circulation du BCMC

On peut rétablir une circulation de véhicules lourds lorsque le béton a atteint, *in situ*, 20 MPa en compression. L'obtention de cette résistance dépend de la formulation et de la maturité du béton (température). Dans des conditions normales de température, cela correspond à :

- environ 2 à 3 jours pour les bétons traditionnels ;
- environ 18 à 24 heures pour les bétons à performances rapides ;
- environ 4 à 6 heures pour les bétons spéciaux à base de **ciment alumineux fondu**. (CA - Norme NF P 15-315) ou de **ciment prompt naturel** (CNP - Norme NF P 15-314).

■ 6.2.9 - Les avantages du BCMC

Le BCMC présente les avantages suivants :

- bon comportement sous trafic (absence d'orniérage et de fluage) ;
- grande durabilité ;
- coût compétitif ;
- revêtement esthétique apprécié en site urbain : clair ou coloré ;
- intervention sous voirie facilitée par la taille réduite des dalles béton ;
- disponibilité du matériau béton à travers un réseau dense de centrales BPE ;
- insensibilité aux hydrocarbures.

Bibliographie

1. Textes réglementaires

- Norme NF P 98-170 Chaussées en béton de ciment.
- Norme XP P 18-305 Béton prêt à l'emploi.
- Norme XP P 18-540 Granulats. Granulats pour béton hydraulique. Spécifications.
- Norme NF EN 197-1 Ciment – partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- Fascicule 28 du CCTP Exécution des chaussées en béton de ciment.

2. Guides techniques

- Chaussées en béton – Guide technique*, LCPC-SETRA, mars 2000.
- Catalogue des structures type de chaussées neuves*, SETRA-LCPC, 1998.
- Chaussées composites en béton de ciment, structures neuves en BAC coulé sur GB*, guide de dimensionnement.
- Chaussées urbaines en béton – Guide technique* CERTU, 1996.
- Giratoires en ville : mode d'emploi*, CERTU 2000.
- Conception structurelle d'un giratoire*, CERTU, 2000.
- Les minis giratoires*, CERTU, 1998.
- Voirie et aménagement urbain en béton – Tomes 1, 2 et 3*, Collection Technique CIBÉTON.
- Le béton de ciment mince collé «BCMC»*, Collection Technique CIBÉTON, 2000.
- Carrefours giratoires : des solutions durables en béton de ciment*, T56 Collection Technique CIBÉTON, 2002.
- Carrefours giratoires en béton : CCTP type, Bordereau de prix unitaire, Détail estimatif*, T64, Collection Technique CIBÉTON, 2002.
- Le ciment et ses applications, Fiches Techniques*, G10, Collection Technique CIBÉTON, 1999.

Illustration de la couverture

David Lozach

Maquette et réalisation

Amprincipe – Paris

R.C.S. Paris B 389 103 805

Crédit photographique

Romualda. DR.

Impression

Technic Imprim

Édition juillet 2003
