

collection
specbea

Guide technique

Carrefours giratoires en béton



Ont participé à la rédaction :

- **Hamadou KABRE / CMR EXEDRA , SPECBEA**
- **Joseph ABDO / CIMBETON**
- **Gilles LAURENT / membre expert SPECBEA**
- **Bernard GUICHET / consultant**

Date de publication : **juillet 2012** - N° d'édition : 2012-2 - Copyright 2012 SPECBEA

Préambule

La France est sans doute le pays européen qui compte le plus de giratoires. Si la plupart a une structure classique à base de matériaux bitumineux, il est possible et parfois recommandé de réaliser ces giratoires avec une chaussée en béton. Ce document a pour vocation d'aider le maître d'ouvrage, le concepteur et les entreprises d'une part à choisir la structure de chaussée béton la mieux adaptée au regard des contraintes et des exigences à prendre en compte pendant les phases de réalisation et d'exploitation et de fin de vie, et d'autre part à adopter les bonnes règles pour une meilleure réalisation d'un giratoire comportant une chaussée en béton.

Le guide est une monographie complète sur la technique des giratoires en béton traitant de tous les aspects techniques tels que, conception, dimensionnement, dispositions constructives et environnementaux comme l'analyse du cycle de vie.

Le chapitre 1 indique les règles de base pour concevoir un giratoire dans l'espace en fonction des caractéristiques du trafic et notamment du trafic poids lourds.

Le chapitre 2 donne les éléments qui justifient le choix d'une structure en béton et ses atouts tant au niveau structurel (avec une large adaptation des structures en fonction du trafic) que de la sécurité des usagers et de l'exploitation.

Le chapitre 3 permet le dimensionnement des différents types de structures en béton selon le trafic poids lourds grâce à des abaques établis en application des règles de dimensionnement françaises.

Dans les chapitres 4 et 5 sont exposés tous les avantages et les particularités propres à la technique des chaussées en béton tandis que le chapitre 6 décrit les dispositions constructives particulières à prendre impérativement en compte pour assurer la pérennité de l'ouvrage. Ce chapitre montre également par l'image, les désordres constatés pour le non respect de ces dispositions constructives.

Des indications pour l'entretien, la réfection partielle ou totale et le recyclage en fin de vie sont données dans le chapitre 7.

Enfin le chapitre 8 est consacré à l'analyse détaillée du cycle de vie de différentes structures de giratoires en béton ; les solutions en béton sur fondation bitumineuse présentant le meilleur bilan environnemental.

Pour finir l'annexe C présente des chantiers de giratoires en béton fortement circulés réalisés en France, parmi les plus anciens et les plus significatifs, et leur comportement observé à la date de rédaction du présent guide technique.

Sommaire :

1- Introduction

- 1.1 - Qu'est-ce qu'un carrefour giratoire
- 1.2 - Rappels sur la conception des giratoires
 - 1.2.1 - Dimensions générales
 - 1.2.2 - Règles de base
 - 1.2.3 - Les caractéristiques géométriques
- 1.3 - Spécificités des carrefours giratoires
 - 1.3.1 - Contraintes spécifiques lors de la construction
 - 1.3.2 - Sollicitations spécifiques en service
- 1.4 - Exigences requises pour la durabilité du giratoire
 - 1.4.1 - Exigences techniques
 - 1.4.2 - Exigences de sécurité
 - 1.4.3 - Exigences esthétiques et environnementales
 - 1.4.4 - Exigences d'exploitation

2- Atouts des techniques bétons

- 2.1 - Réponse structurelle
- 2.2 - Réponse en matière de réalisation
- 2.3 - Réponse à la sécurité
- 2.4 - Réponse aux contraintes d'exploitation

3- Dimensionnement

- 3.1- Données générales
- 3.2 - Exemples de dimensionnement pour différents types de structure

4- Création d'un nouveau carrefour giratoire

- 4.1 - Paramètres à prendre en compte dans le projet
 - 4.1.1 - Trafic à la mise en service et son évolution
 - 4.1.2 - Portance de la plate-forme de chaussée
 - 4.1.3 - Présence de réseaux enterrés
 - 4.1.4 - Nécessité de maintien de la circulation pendant les travaux
 - 4.1.5 - Gêne des usagers et des riverains pendant les travaux d'entretien
 - 4.1.6 - Traitement de surface
 - 4.1.7 - Entretien et recyclage en fin de vie
- 4.2 - Exécution sous circulation
- 4.3 - Dispositions particulières
- 4.4 - Choix des structures de chaussées en béton

5- Réfection d'un carrefour giratoire existant

- 5.1- Principe de la démarche
- 5.2- Application de la méthode
- 5.3 – Cas d'une chaussée présentant des problèmes de surface

6- Dispositions constructives particulières

- 6.1 - Entrées et sorties
- 6.2 - Dalles de transition

- 6.3 - Joints de dilatation
- 6.4 - Joints d'arrêt transversaux
- 6.5 - Bords circulés
- 6.6 - Traitement de surface : rugosité initiale
- 6.7 - Bande franchissable
- 6.8 - Réserve pour bordures et glissières béton
- 6.9 - Traitement des émergences
 - 6.9.1 - Bouches à clé
 - 6.9.2 - Autres émergences (chambres, regards, etc.)
 - 6.9.3 - Positionnement des avaloirs et grilles (au point bas)
 - 6.9.4 - Ilots de séparation des voies d'accès au giratoire
 - 6.9.5 - Protection des avaloirs
- 6.10 - Calepinage des joints
 - 6.10.1 - Règles à respecter
 - 6.10.2 - Cas des dalles goudonnées
 - 6.10.3 - Cas du béton armé continu
 - 6.10.4 - Cas des amorces

6.11 - Conséquences du non respect des dispositions constructives

7- Entretien, réparation et recyclage des giratoires en béton

- 7.1 - Entretien
- 7.2 - Réparation partielle de giratoire
 - 7.2.1 - Réparation de dalles isolées en béton goudonné ou non
 - 7.2.2 - Réparation partielle de béton armé continu
- 7.3 - Recyclage
 - 7.3.1- Réutilisation en place en sous-couche
 - 7.3.2- Recyclage après démolition et concassage

8- Analyse du cycle de vie d'un giratoire en béton

- 8.1 – La méthodologie
- 8.2 - Les hypothèses de calcul
 - 8.2.1- Caractéristiques géométriques
 - 8.2.2- Structures prises en compte
 - 8.2.3- Les séquences d'entretien
 - 8.2.4- Le recyclage en fin de vie
- 8.3 – Les hypothèses et les données de l'étude ACV d'un carrefour giratoire
- 8.4 – Résultats comparatifs de l'analyse du cycle de vie
 - 8.4.1 - Introduction
 - 8.4.2 - Présentation comparative des résultats
 - 8.4.2.1 - Comparaison des structures sur la phase de construction
 - 8.4.2.2 - Comparaison des structures routières sur le cycle complet : phases de construction, d'entretien et de fin de vie
 - 8.4.3 - Conclusion

ANNEXES :

- Annexe A : Références bibliographiques
- Annexe B : Les données environnementales de l'étude
- Annexe C : Fiches des références de giratoires en béton en France

1- Introduction

1.1 – Qu'est-ce qu'un carrefour giratoire

Le carrefour giratoire est un aménagement plan comportant un îlot central ceinturé par une chaussée circulaire. Parcouru en sens unique, il collecte les trafics des voies aboutissant à l'intersection et redistribue ces trafics entre ces mêmes voies. Les véhicules se retrouvent ainsi dans le même courant de circulation, quelle que soit leur provenance et leur destination.

Les conflits entre véhicules sont limités à ceux liés à l'insertion des entrants dans le courant commun, et à ceux liés à la séparation des sortants. Insertion et séparation s'effectuent l'une et l'autre par la droite. Ainsi, tout véhicule entrant sur un giratoire tourne deux fois à droite, y compris en cas de « tourne-à-gauche ».

Tous les itinéraires sont ainsi interrompus, et tous les trafics qui aboutissent au carrefour perdent leur prépondérance, quelle qu'elle soit, au bénéfice du courant commun sur l'anneau, en application du régime de la priorité aux véhicules circulant sur la chaussée annulaire.

Introduit en France au milieu des années 1970, **le carrefour à sens giratoire**, nommé couramment carrefour giratoire voire simplement giratoire, s'est développé à partir de 1984, date à laquelle le principe de priorité aux véhicules engagés sur l'anneau a été généralisé dans le code de la route français.



Photo 1 : Giratoire en béton armé continu (Z.I.P. BASSENS 33)

(Crédit photo : CMR Exedra)

Les études sur le fonctionnement et la **sécurité** ont vite montré les avantages de cet aménagement. En particulier, il est apparu que le carrefour giratoire est la meilleure solution pour réduire le nombre et la gravité des accidents dans une intersection ; L'aspect réduction de la vitesse se conjuguant avec la fluidification du trafic.

Aux ronds-points géants issus du principe de la priorité à droite ont succédé les carrefours giratoires de **dimensions bien plus réduites**, ouvrant la voie à de nombreuses implantations urbaines. Le mini-giratoire franchissable offre même une solution de priorité à l'anneau dans les zones étroites des centres villes.

Sur les plus de 30 000 carrefours giratoires recensés en France, environ **80% sont en ville** : carrefours de raccordement des échangeurs des voies rapides urbaines, carrefours clés des voies structurantes tout comme carrefours secondaires des voiries de quartier ou encore point de desserte des zones industrielles et commerciales.

1.2 - Rappels sur la conception des giratoires

La **conception du carrefour giratoire** dépend de son implantation, de sa fonction principale et du trafic qui va y passer [réf. 1] et [réf. 4]. Le terme trafic est employé au sens large et concerne autant la composition que la quantité de véhicules qui devront l'emprunter : les voitures bien sûr, mais aussi les poids lourds, les transports en commun, les deux-roues motorisés et les usagers vulnérables que sont les cyclistes et les piétons.

1.2.1 - Dimensions générales

Aujourd'hui, la référence pour le rayon extérieur est appelé Rg (rayon du giratoire). Une valeur de 15 m est généralement suffisante, mais 18 à 20 m sont nécessaires dès que le trafic poids lourds est régulier.

Plusieurs éléments peuvent amener à faire plus grand :

- l'arrivée de 5 ou 6 voies sur le giratoire nécessitant une géométrie plus vaste ;
- un trafic justifiant des entrées et des sorties à 2 voies et un anneau large. Dans ce cas, il faut agrandir l'îlot central donc les dimensions extérieures pour éviter les trajectoires tangentielles ;
- sur des routes interurbaines à chaussées séparées, un rayon extérieur d'au moins 25 m est nécessaire ;
- sur des routes urbaines, la continuité d'une bande cyclable sur l'anneau justifie une surlargeur de chaussée annulaire de 1,50 m.

1.2.2 - Règles de base

L'îlot central du giratoire est rond, ce qui est le mieux adapté à la giration des véhicules. Les rayons variables (formes ovoïdes, par exemple) favorisent les pertes de contrôle sur l'anneau. Les îlots centraux carrés, sauf pour les ronds-points à feux, ne sont pas adaptés aux mouvements tournants continus¹ liés à la priorité à l'anneau.

- Le giratoire est centré au plus près du point de rencontre des axes des branches, pour éviter les déports dans de mauvaises perspectives et les trajectoires tangentielles ;
- Les branches sont orientées vers le centre du giratoire ;
- La largeur de la chaussée annulaire est constante ;
- Le dévers de l'anneau est orienté vers l'extérieur, avec une pente de 1 à 2%.

1 En revanche, un îlot carré (aux coins arrondis) est souhaitable pour les ronds-points à feux.

Cette pente ne s'ajoute pas à la pente générale du carrefour si celle-ci est supérieure à 3% ;

- Les entrées et les sorties sont limitées à une voie sauf là où l'étude de capacité démontre la nécessité de plusieurs voies ;
- L'ensemble de l'aménagement doit être lisible, c'est-à-dire facilement compréhensible par l'utilisateur qui y passe pour la première fois ;
- Le giratoire, en particulier l'îlot central doit être perçu à une distance supérieure à la distance d'arrêt ;
- Les contraintes de visibilité imposent, à 10 m de chaque entrée, que le conducteur doit être en mesure de voir le quart gauche de l'anneau. De plus, en périphérie de l'îlot central, la visibilité doit être dégagée sur une bande de 2 m ;
- L'îlot central et la périphérie de l'anneau ne doivent pas comporter d'obstacle dangereux en cas de perte de contrôle ;
- Un îlot dit « séparateur » dissocie l'entrée et la sortie de chaque branche.

1.2.3 Les caractéristiques géométriques

Les principales caractéristiques géométriques d'un giratoire sont indiquées sur la figure 1.

L'anneau : sa largeur est unique tout autour de l'**îlot central** ; 6,5 m à 7,5 m sont suffisants si toutes les entrées sont à 1 voie. Dès qu'une entrée est prévue à deux voies, une largeur de 8 à 9 m est nécessaire. Une règle simple est que la largeur de l'anneau soit au moins de 20% supérieure à l'entrée la plus large.

Autour de l'îlot central, une **bande franchissable de 1 à 2 m** est indispensable lorsque le rayon extérieur est inférieur à 20 m et est souhaitable au-dessus. Cette bande peut être légèrement surélevée (2 à 3 cm), d'un matériau différent de celui de la chaussée annulaire et avoir une pente jusqu'à 6%. La bande franchissable ne doit pas être bordée d'une ligne continue.

Aucun marquage ne sépare les voies sur l'anneau. En interurbain, seule la bande périphérique est marquée.

Les entrées : elles sont en général à une voie, de largeur comprise entre 3 et 4 m, en fonction de l'importance du trafic poids-lourds et de la taille générale du giratoire. Des dimensions inférieures sont acceptées pour des branches très secondaires, particulièrement en urbain.

Si l'étude de trafic et le calcul de capacité le justifient, une ou plusieurs entrées peuvent être prévues à 2 voies, en général de 7 m de large. En urbain, si la part de poids-lourds est faible, 6 m peuvent être suffisants pour deux voies. Si l'approche est à une voie, le passage à deux voies est complet au moins 15 m avant l'entrée du giratoire.

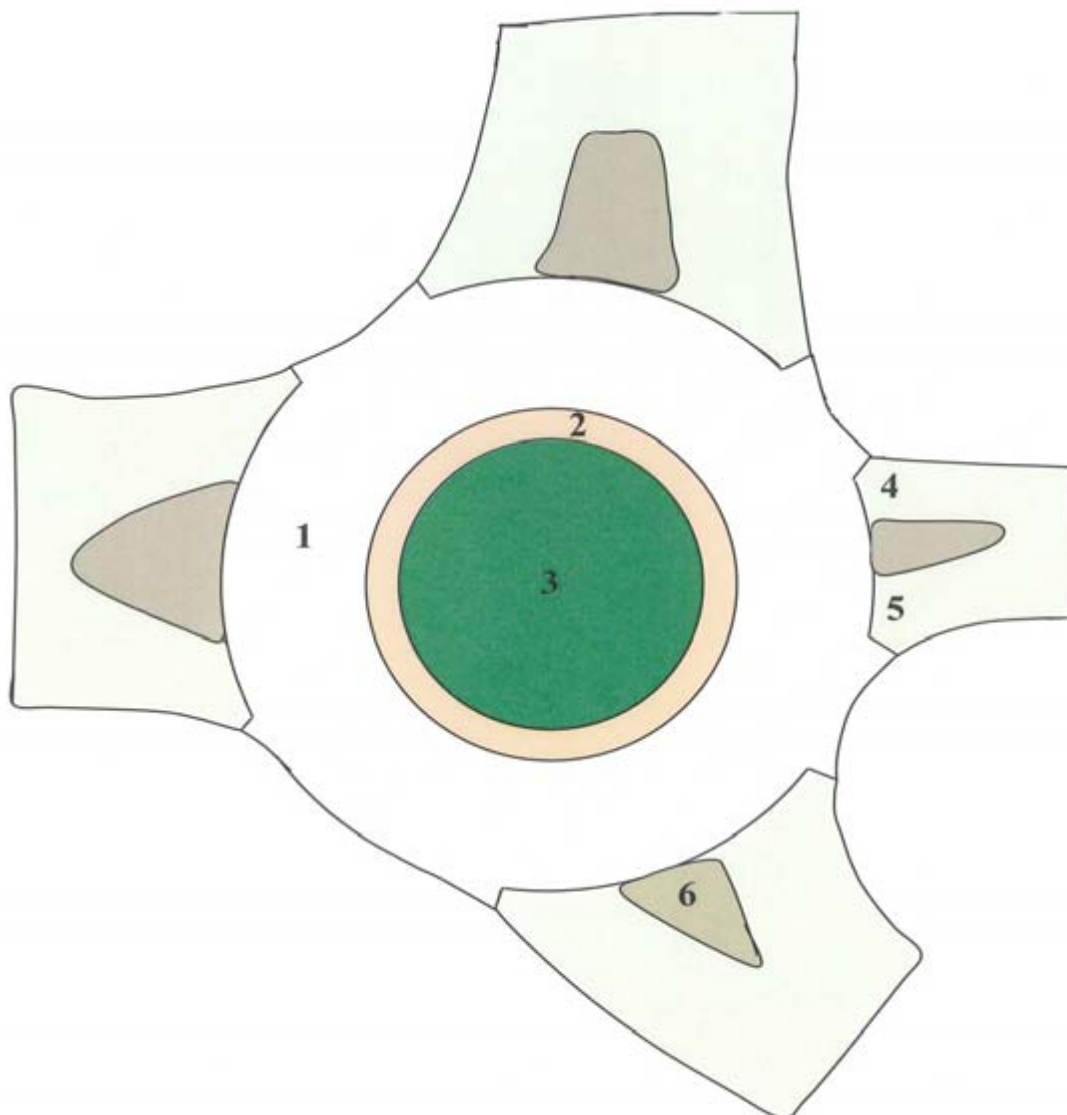
En zone périurbaine à très fort trafic, il est envisageable de réaliser des entrées à 3 voies sur 9 m de large. La largeur d'anneau doit être alors prévue en conséquence. Le rayon d'entrée est compris entre 10 et 15 m. Un rayon trop faible génère des pertes de contrôle en entrée, un trop grand rayon génère des pertes de contrôle sur l'anneau (avec renversements de poids-lourds par exemple).

Les sorties : elles sont généralement à une voie. La largeur est de 4 à 4,5 m, mais peut être inférieure en zone urbaine dense.

Une sortie doit être portée obligatoirement à deux voies dès que le trafic horaire de pointe y dépasse 1200 UVP/h (unité de véhicule particulier par heure). Toutefois, il est recommandé de le faire dès que ce trafic dépasse 900 UVP/h. La largeur d'une sortie à deux voies est de 7 m.

Le rayon de sortie est d'au moins 15 m. Il n'y a pas de limite supérieure, mais il faut veiller à ne pas créer les conditions d'une reprise de vitesse trop tôt en cas de passage piéton à proximité.

L'îlot séparateur : en interurbain, il convient de se référer au guide carrefour plan du SETRA [réf. 1] pour construire l'îlot.



- 1 : anneau
- 2 : bande franchissable
- 3 : îlot central
- 4 : entrée
- 5 : sortie
- 6 : îlot séparateur

Figure 1 : Caractéristiques d'un giratoire

1.3 – Spécificités des carrefours giratoires

1.3.1 - Contraintes spécifiques lors de la construction

Réaliser un carrefour giratoire, c'est le plus souvent modifier un carrefour existant. De ce fait, il constitue un petit chantier découpé en phases et réalisé en un temps réduit afin de minimiser la gêne aux usagers. Le trafic est par conséquent soit dévié temporairement, soit limité aux riverains et aux usagers.

Compte tenu de ce phasage, les quantités de matériaux mis en œuvre sont relativement faibles. En outre, l'utilisation de matériels de répandage et de compactage performants n'est pas toujours possible. Dans ces circonstances, le recours à des matériaux ne nécessitant pas de compactage tel que le béton est fortement recommandé.

Par ailleurs, lorsqu'une partie de la chaussée existante est conservée, l'implantation du carrefour giratoire entraîne des problèmes de jonction entre la structure utilisée sur l'ancien itinéraire et la nouvelle structure envisagée sur le carrefour giratoire et ses bretelles d'accès.

Par conséquent, une étude particulière est nécessaire lors de l'avant projet.

1.3.2 - Sollicitations spécifiques sur la chaussée en service

Les voies d'accès au carrefour giratoire ainsi que la chaussée annulaire sont soumises à de fortes contraintes spécifiques liées à la géométrie du projet et détaillées ci-après.

1.3.2.1 - Contraintes de cisaillement

Les voies d'accès sont des zones de fortes sollicitations de freinage et d'accélération, ce qui provoque des transferts de charge entre les essieux et des contraintes de cisaillement très élevées. Sur la chaussée annulaire, l'accroissement des contraintes est provoqué par les efforts tangentiels engendrés par les mouvements de rotation des essieux simples et doubles des poids lourds, voire des pivotements pour ce qui concerne les essieux tridems. Ces efforts de surface sont d'autant plus marqués que le rayon du carrefour giratoire est faible (**figure 2**).

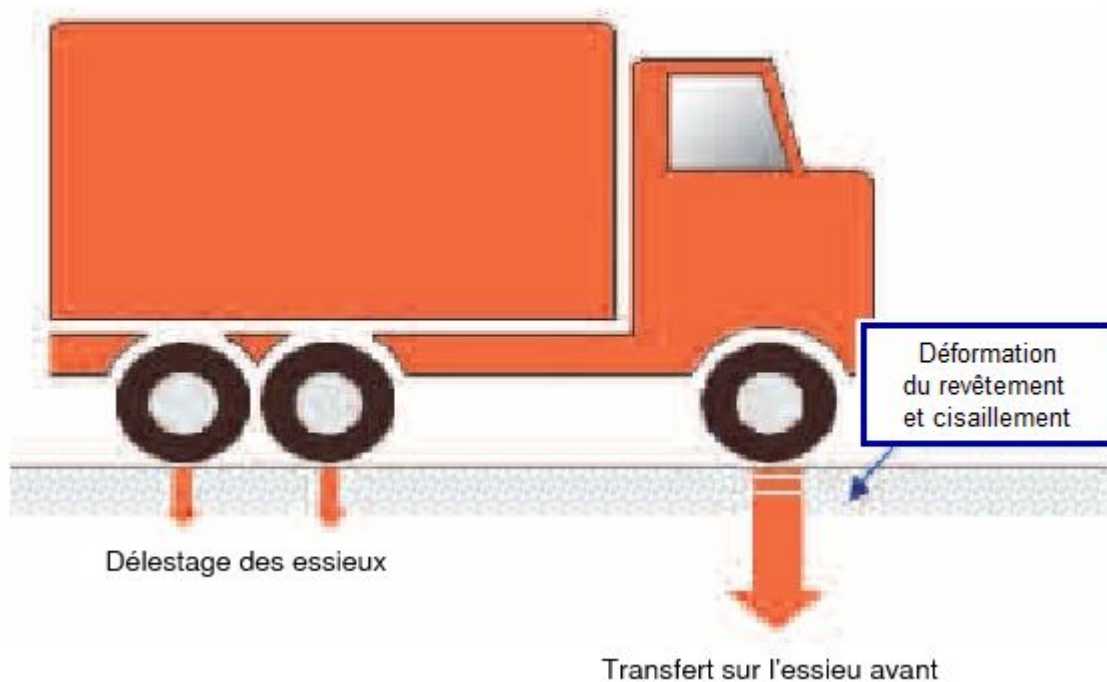


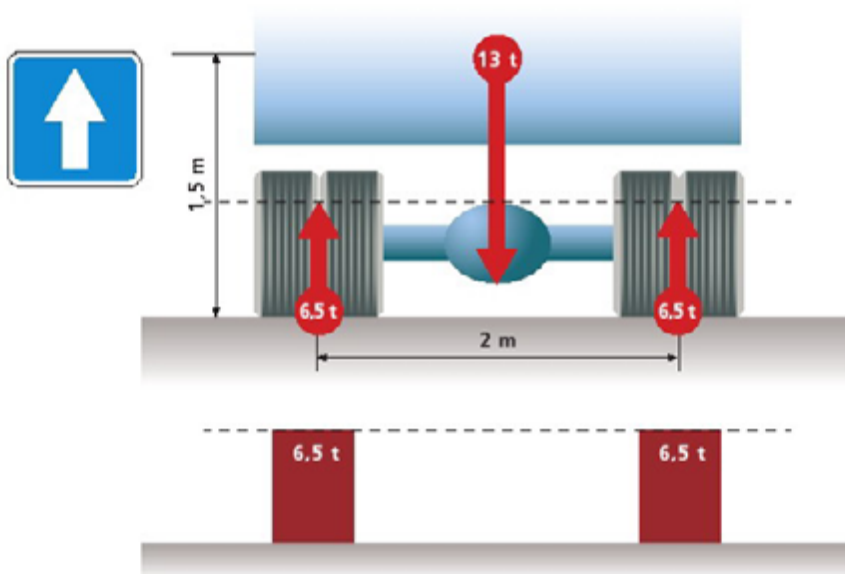
Figure 2 : Sollicitations à l'accès d'un giratoire lors du freinage

Ceci se traduit par une forte majoration des contraintes tangentielles de cisaillement à la surface du revêtement.

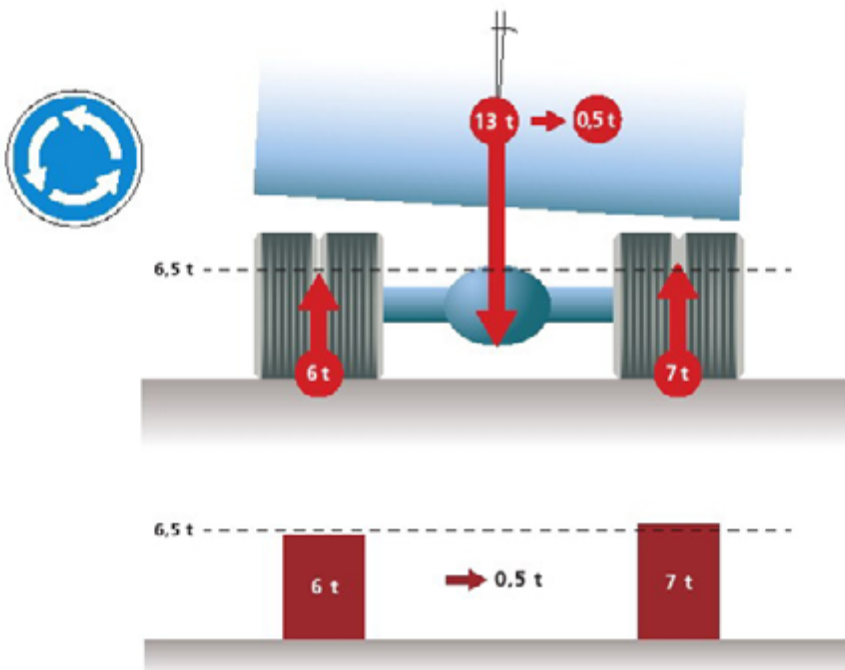
1.3.2.2 - Contraintes structurelles

Dans les carrefours giratoires, les vitesses pratiquées sont faibles (30 à 40 km/h), d'où un temps d'application de la charge plus long qu'en section routière rectiligne. D'autre part, la circulation est extrêmement canalisée du fait des conditions particulières de circulation liées à la géométrie de l'ouvrage. Ceci se traduit par une majoration des contraintes dans la structure de la chaussée et un risque élevé 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 l'ordre de **5 à 15%** selon des estimations françaises, en fonction de la vitesse et du rayon du giratoire). Ceci provoque très souvent des fuites de carburant et de lubrifiant (**figure 3**).



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



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

Figure 3 : Surcharges sur les roues extérieures provoquées par la force centrifuge

1.4 - Exigences requises pour la durabilité du giratoire

L'analyse des spécificités et des sollicitations décrites précédemment ainsi que les désordres constatés sur les ouvrages en service permettent de lister les exigences auxquelles doit répondre tout aménagement de carrefour giratoire.

1.4.1 - Exigences techniques

Elles sont de plusieurs types :

- le revêtement des voies d'accès et de la chaussée annulaire doit présenter, en toutes circonstances, une résistance élevée au cisaillement, au poinçonnement, aux surcharges dynamiques, aux hydrocarbures, à l'inondation, à l'érosion, au gel, à la chaleur, etc. ;
- le matériau doit être d'utilisation facile, répondant aux contraintes de mise en œuvre (rapidité d'exécution, phasage, etc.) et s'accommodant aux contraintes liées à la géométrie de l'ouvrage (courbes, formes circulaires, dévers, etc.).

1.4.2 - Exigences de sécurité

Le revêtement doit contribuer à renforcer la sécurité (visibilité, adhérence, maintien de l'uni, etc.).

1.4.3 - Exigences esthétiques et environnementales

En site urbain, le revêtement doit répondre aux besoins en matière d'esthétique ainsi que de structuration de l'espace et d'intégration à l'environnement.

Les exigences esthétiques nécessitent l'utilisation d'un matériau apte à subir de multiples traitements (coloration, texture et forme) ; le matériau béton est particulièrement bien adapté à ces exigences.

1.4.4 - Exigences d'exploitation

En service, le revêtement doit être apte à répondre aux contraintes d'entretien (nettoyage, intervention ponctuelle, etc.).

2- Atouts des solutions chaussées béton pour giratoires

2.1 - Réponse aux exigences structurelles

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 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. 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**

Le béton n'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**

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 le risque de décollement de la couche de roulement.

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

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**

La plasticité du béton permet la réalisation d'un système d'assainissement intégré au revêtement (caniveau ou bordure). Le monolithisme de la structure ainsi obtenue évite tout déchaussement des bordures.

- **Adhérence de surface pérenne**

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

- **Richesse de l'offre structurelle**

L'offre structurelle est suffisamment riche pour répondre aux besoins des aménagements selon la spécificité des projets. Les typologies de structures de chaussées en béton proposées pour la réalisation de carrefours giratoires sont notamment fonction du trafic poids lourds et de la situation du giratoire en zone urbaine ou en rase campagne. Les différentes structures de chaussées envisageables sont les suivantes :

- béton en dalles non goujonnées posées sur une fondation en matériaux hydrauliques (grave-ciment, béton maigre) ou sur une couche drainante en grave non traitée (GNT);
- béton goujonné posé sur une fondation en matériaux hydrauliques (grave traitée, béton maigre) ou hydrocarbonés (grave bitume) ;
- béton armé continu (BAC) posé sur une fondation en matériaux hydrauliques (grave traitée, béton maigre) ou hydrocarbonés (grave bitume,) ;
- béton de ciment mince collé (BCMC) sur assise en matériaux hydrocarbonés (béton bitumineux, grave bitume) dans le cas d'entretien de giratoire existant.

2.2 - Réponse aux exigences 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.

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 de l'opération. 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 (voir figure 11 en 4.2).



Photo 2 : Coulage du béton sur un giratoire en béton armé continu

(Crédit photo : CMR Exedra)

2.3 - Réponse aux exigences de 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, ce qui laisse tout le temps nécessaire aux conducteurs pour freiner et aborder le giratoire en toute sécurité.

• 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 de l'adapter 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 granulats.

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 différents usagers.

La clarté du béton contraste avec l'espace environnant et améliore la visibilité à l'approche des carrefours giratoires.

• 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.

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

2.4 - Réponse aux exigences 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 :

- **Facilité de nettoyage**

Outre une résistance du béton face aux attaques des hydrocarbures (huiles, gazole, etc.) la surface du béton se prête facilement au nettoyage.

Les matériels classiques de nettoyage des rues (balayeuses, appareil de lavage à haute pression, aspiratrices avec projection d'eau sous pression) sont, dans la plupart des cas, suffisants pour redonner au revêtement en béton sa propreté et son éclat originels.

Pour les aménagements à caractère esthétique, des produits de protection contre les salissures de toute nature (huile, carburant, déchets organiques, mousse) peuvent être utilisés.

Enfin, d'autres produits de nettoyage sont commercialisés pour traiter des surfaces béton souillées, non protégées à l'origine. Ce sont des décapants spécialement étudiés pour ne pas altérer les caractéristiques de surface du béton.

- **Aptitude à subir des interventions ponctuelles**

De nombreuses techniques et matériels de chantiers permettent de réaliser tous types d'interventions sur les revêtements béton (tranchées sous-chaussées, réservations...).

Le sciage et le carottage du béton sont des opérations faciles à exécuter avec des matériels courants. Après intervention, la remise en état du revêtement avec du béton, permet de redonner à la structure son comportement initial, en évitant tout effet ultérieur d'un compactage différentiel.

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

3 – Dimensionnement des chaussées de giratoire en béton

Le dimensionnement proposé ci-après est conforme à la norme NF P 98-086 « Dimensionnement des chaussées routières » [réf. 2].

Par ailleurs, de nombreux ouvrages traitent du dimensionnement des chaussées et permettent de déterminer les épaisseurs des matériaux à mettre en œuvre. Le Réseau Scientifique et Technique de l'Équipement en a publié un certain nombre cités ci-après ; certains concernent les chaussées de rase campagne, d'autres sont plus spécifiques aux giratoires :

- Catalogue des structures types de chaussées neuves du SETRA, LCPC [réf. 3] ;
- Conception structurelle d'un giratoire en milieu urbain du CERTU [réf. 4] ;
- Logiciel Struct-Urb du CERTU [réf. 5].

De nombreux ouvrages ont également été publiés par la profession cimentière :

- Guide de dimensionnement des giratoires en béton de Cimbéton [réf. 6] ;
- Carrefour giratoires ; des solutions durables en béton de ciment de Cimbéton [réf. 7] ;
- De nombreux articles de la revue Routes de Cimbéton, notamment les numéros 78, 82, 85, 103, 107, 112, 113, 115 ...

Tous ces documents permettent de dimensionner les chaussées en béton selon la conception envisagée de la structure du giratoire (dalles simples, dalles goujonnées, béton armé continu). Le présent chapitre rappelle ci-après les règles générales du dimensionnement français et donne quelques exemples de structures en complément des ouvrages précédemment cités.

3.1 - Données générales

La méthode de dimensionnement développée ci-après est celle définie dans le Guide technique conception et dimensionnement des structures de chaussées SETRA-LCPC [réf. 10] et reprise dans la norme NF P 98-086 (dimensionnement des structures de chaussées routières, application aux chaussées neuves) [réf. 2]. Les calculs ont été réalisés avec le logiciel Alizé.

En conséquence, la connaissance des critères suivants est nécessaire pour déterminer les épaisseurs de chaussées à mettre en place :

- **nombre total de poids lourds² susceptibles de passer sur la chaussée pendant sa durée de vie³**

Ce nombre total de poids lourds N_{pl} est fonction du trafic moyen journalier annuel (TMJA) estimé à la construction du giratoire, de la durée de service « d » retenue par la maître d'ouvrage et d'un facteur de cumul prenant en compte le taux d'accroissement moyen du trafic « τ » en % :

La formule générale est donc : **$N_{pl} = TMJA \times 365 \times C$**

Où C est un facteur de cumul du trafic pendant la durée de dimensionnement

² Un poids lourd (PL) est défini comme un véhicule ayant plus de 35 kN de poids total autorisé en charge (PTAC), selon la norme NF P 98-082.

³ La durée de service de la chaussée « d » est le temps pendant lequel on n'a pas à effectuer d'entretien de structure de la chaussée.

$$\text{Avec } C = d + \tau \times d \times (d-1)/2$$

Pour connaître le TMJA, les comptages des trafics poids lourds (PL) par voie arrivant sur le giratoire sont suffisants par sens de circulation. S'agissant généralement d'un giratoire à plusieurs branches, il faut additionner le trafic des voies principales par sens de circulation. A défaut d'éléments plus précis on prendra le trafic total de toutes les voies arrivant sur l'ouvrage, que l'on divisera par 2 [réf. 4]. Il n'est pas nécessaire de connaître ce trafic à l'unité près, mais une bonne estimation est nécessaire. Le chapitre 4.1.1 donne des indications complémentaires pour déterminer le trafic lors de la création d'un nouveau giratoire.

Pour la durée de service « d », il est souhaitable de prendre une durée longue, sachant que le giratoire étant réalisé entre bordures, son entretien est toujours délicat, car on ne peut remonter le niveau de la chaussée. La solution béton est favorable à des durées de service très longues. En effet, la courbe de fatigue étant très plate, une faible augmentation de l'épaisseur du béton (1 cm) permet de doubler la durée de service. Il est donc conseillé de retenir une **durée de service « d » d'au moins 30 années.**

Pour le coefficient τ , à défaut de connaître le taux réel **d'accroissement futur du trafic il est d'usage de retenir** une valeur de 2 % en croissance arithmétique, valeur constatée en moyenne sur le réseau français, mais qui peut varier fortement selon l'implantation de l'ouvrage. Par exemple un giratoire dans une zone industrielle en construction pourra voir son trafic PL augmenter fortement au fur et à mesure de l'implantation des usines ou industries.

En fait, la physionomie des PL circulant sur une chaussée est très variable, allant des petits PL de 35 kN de PTAC aux gros PL de 440 kN de PTAC, charge maximale autorisée en France. De plus certains PL sont chargés, d'autres circulent à vide ou à demie charge.

Pour le dimensionnement il convient donc de transformer le nombre total cumulé de poids lourds N_{pl} envisagé, en nombre d'essieux standards de référence ou essieux équivalents NE.

Le poids lourd de référence est un véhicule de PTAC de 190 kN comportant 2 essieux avec l'essieu arrière isolé à roues jumelées, l'essieu étant chargé à 130 kN, telle que le montre la **photo 3** ci-après.



Photo 3 : Poids lourd de référence
(Crédit photo G. Laurent, SPECBEA)

On passe de Npl à NE par la formule suivante : $NE = Npl \times CAM$

Où CAM représente le Coefficient d'Agressivité Moyen du trafic poids lourds (PL) de la chaussée.

Ce coefficient est en pratique très difficile à déterminer car il nécessite de connaître l'histogramme des charges à l'essieu du trafic PL de la voie. On retient donc des valeurs moyennes de CAM, qui sont fonction de l'importance de la voie ; on estime que plus la voie est circulée, plus l'agressivité du trafic est élevée.

De plus sur les giratoires la surcharge sur les roues extérieures devient plus importante du fait des efforts résultants de la force centrifuge tel que le montre la **figure 3**.

A défaut d'études particulières on retient les valeurs suivantes de CAM proposées dans la norme NF P 98-086 :

- 0,2 pour les voies de desserte en zone urbaine (jusqu'à 25 PL/jour),
- 0,5 pour les voies de distribution (jusqu'à 150 PL/jour),
- 1,0 pour les voies principales en zone urbaine, en zones industrielles ou artisanales et en zone interurbaine (au-dessus de 150 PL/jour).

- Niveau de portance du sol support

Pour mettre en œuvre les matériaux de la chaussée, le sol support doit avoir une portance suffisante, déterminée par son module de rigidité E mesurée en MPa. Le guide [réf. 10] et la norme de dimensionnement [réf. 2] définissent des classes de portance PF1 à PF4 selon les valeurs du module EV2 à l'essai de plaque indiquées dans le **tableau 1** ci-après. À titre complémentaire et indicatif, ce tableau est complété par les équivalences avec d'autres essais caractérisant les portances (coefficient de Westergard K notamment) :

Classe portance	Module EV2 à l'essai de plaque (MPa)	Déflexion (mm)	CBR (Californian Bearing Ratio)	Coefficient de Westergard K (daN/cm ³)
PF1	20 à 50	Essai non adapté	Entre 5 et 10	Entre 5 et 6
PF2	50 à 80	< 2	Entre 10 et 15	Entre 6 et 6,5
PF2 ^{qs}	80 à 120	<1,3	Entre 15 et 20	Entre 6,5 et 7
PF3	120 à 200	<0,9 * ou <0,6 **	> 20	Entre 7 et 14
PF4	> 200	< 0,4	-	> 14

* en cas de sol non traité.
 ** en cas de sol traité au liant hydraulique.
 qs : qualité supérieure

Tableau 1 : Classes de portance et équivalence indicative entre les essais

Il est recommandé de vérifier par l'un des essais indiqués dans le tableau ci-dessus la conformité de la classe de portance retenue lors du dimensionnement.

Il est déconseillé de construire un giratoire en béton sur une portance PF1. Il faut donc envisager, au niveau du projet, la mise en œuvre d'une couche de forme pour obtenir au moins une PF2, voire une PF3 pour certaines structures. La portance PF4

est très difficile à obtenir, sauf dans le cas de construction sur chaussée existante. En revanche il est souvent possible d'obtenir avec des matériaux non traités en forte épaisseur une portance de classe PF2^{qs}.

Les dimensionnements ci-après sont données pour des plates formes PF2 et PF3. Pour les niveaux PF1 et PF4, une étude particulière est nécessaire.

- **Caractéristiques du béton**

Dans tous les cas, et ce quel que soit le trafic supporté par la chaussée, le béton de roulement retenu est de **classe 5 (BC5) telle que définie dans la norme NF P 98-170** [réf. 11].

Les valeurs caractéristiques de résistance mécanique à obtenir à 28 jours sont donc de 35 MPa en compression (norme NF EN 12390-3) ou 2,7 MPa en fendage (norme NF EN 13390-6), ce qui correspond environ respectivement en valeur moyenne à 40 MPa en compression ou 3,3 MPa en fendage.

Si la fondation est également en béton, on retient pour celle-ci un béton de classe 3 (BC3) de la norme NF P 98-170 préférentiellement à un béton de classe 2 (utilisé habituellement en technique routière) en raison des conditions particulières d'exécution.

Si la fondation est en enrobé on retient une grave bitume de classe 3 (GB3) ; conforme à la norme NF EN 13108-1.

- **Coefficient de risque⁴**

Le coefficient de risque proposé est variable selon le niveau de trafic. Les valeurs proposées par la norme de dimensionnement des chaussées [réf. 2] sont retenues, à savoir 25% pour les voies de desserte et de distribution en zone urbaine ou les voies de rase campagne où le trafic est inférieur ou égal à 150 poids lourds / jour, et de 5% pour les voies principales ou de trafic supérieur à 150 poids lourds / jour.

- **Vérification au gel**

Pour certaines régions soumises à de fortes activités de gel, il est nécessaire de vérifier que l'apport de la chaussée et de la couche de forme éventuelle permet d'assurer que le sol support ne sera pas atteint par le front de gel. Le lecteur s'appuiera sur les documents de dimensionnement existants, sur le guide [réf 10] et la norme de dimensionnement des chaussées [réf. 2] pour la vérification au gel de la chaussée.

⁴ Le risque est la probabilité qu'apparaissent au cours de la durée de service retenue par le maître d'ouvrage, des désordres impliquant des travaux de renforcement. Le choix de cette valeur est du ressort du maître d'ouvrage en fonction du niveau de service retenu. Ainsi, pour un risque de 5% retenu, on accepte que 5% de la surface de la chaussée présente une dégradation structurelle pendant les 30 ans de durée de service, si cette valeur a été retenue dans les calculs.

- Coefficient de discontinuité k_d ⁵

Les valeurs retenues dans ce guide sont celles de l'annexe F de la norme NF P 98-086 [réf. 2], à savoir :

Structures	k_d
Dalles BC sur couche de forme ou BC/BM	1/1,70
BCg/BM	1/1,47
BAC/BM	1/1,37
BCg/GB3	1/1,37
BAC/GB3	1/1,07

Tableau 2 : Valeurs du coefficient k_d pour les bétons de ciment

3.2 - Exemples de dimensionnement pour différents types de structure neuves

Selon l'importance du trafic des poids lourds, il existe plusieurs types de structures béton possibles qui peuvent se différencier par leurs constitutions et leurs dispositions constructives).

Cependant, pour les carrefours giratoires et compte tenu de l'expérience acquise, le présent Guide **recommande des types de structures en fonction du trafic poids lourds prévu à la mise en service de l'ouvrage** (figures 4 à 9).

De plus pour tenir compte des efforts plus importants engendrés sur la rive droite de la chaussée (cf. figure 3), **une majoration systématique de 10% des épaisseurs a été effectuée pour chaque structure sur la couche de béton de roulement.**

A titre indicatif les structures suivantes sont préconisées selon le niveau de trafic. D'autres critères que le trafic peuvent être pris dans le choix de la structure (cf. tableau 4 en 4.4) :

Trafic (PL / jour)	BC5/Cdf	BC5/BC3	BC5g/BC3	BC5g/GB	BAC/BC3	BAC/GB
0 à 30	X					
30 à 150	X	X				
150 à 750			X	X		
750 à 1500			X	X	X	X

BCi : béton de ciment non goudonné de classe i ; BC5g : béton de ciment goudonné de classe 5 ; GB : grave bitume ; BAC : béton armé continu

Tableau 3 : Choix des structures suivant le trafic

Pour des trafics très faibles (**jusqu'à 25 poids lourds / jour soit un nombre**

⁵ Le coefficient de discontinuité, noté k_d , permet d'intégrer les effets de majoration de contrainte, en permettant ainsi de ramener le calcul des chaussées discontinues au modèle élastique linéaire continu. Ce coefficient est pris en compte dans le calcul des contraintes admissibles de la couche de base.

d'essieux équivalents NE de 180 000), la structure de béton en dalles non goujonnées en une couche sur une couche de forme de portance au moins PF2 peut être utilisée.

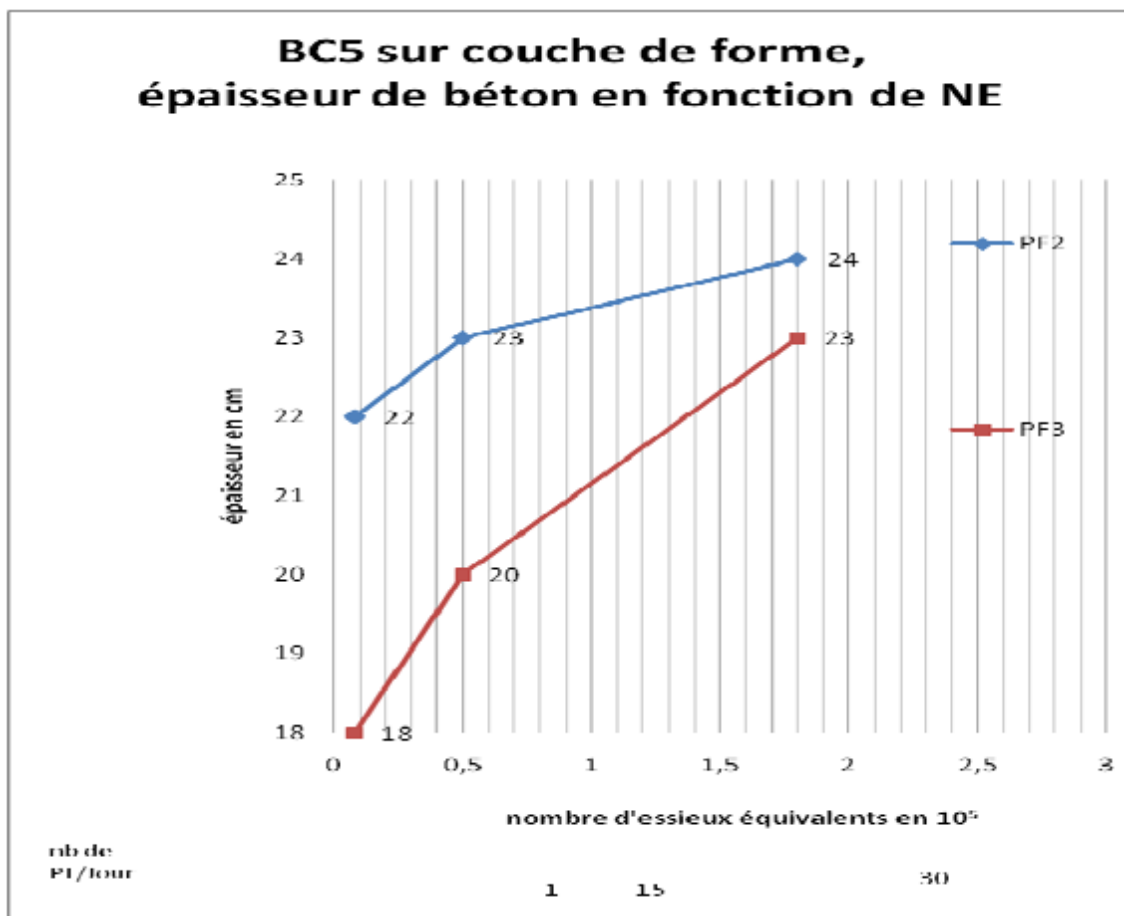


Figure 4 : Abaque de dimensionnement des chaussées en béton en dalles non goujonnées sur couche de forme

À partir de **25 poids lourds / jour et jusqu'à 150 (soit NE = 1 million)**, une couche de fondation en béton maigre de classe BC3 de la norme NF P 98-170 est nécessaire.

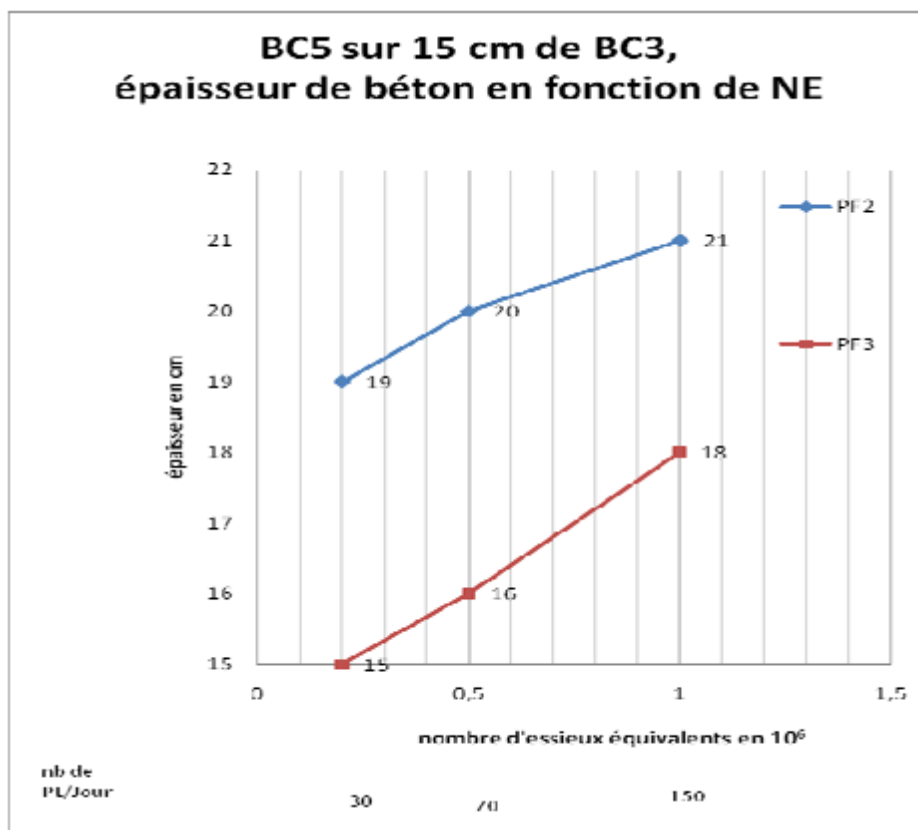


Figure 5 : Abaque de dimensionnement des chaussées en béton en dalles non goujonnées sur fondation en béton maigre

Pour des trafics plus importants, allant de 150 à 1000 poids lourds / jour soit en trafic cumulé, de $2 \cdot 10^6$ à $15 \cdot 10^6$ essieux équivalents NE (pour un CAM de 1), il convient de passer à une structure en béton en dalles goujonnées. Dans ce cas une fondation est indispensable. Celle-ci peut être en béton maigre de classe 3 sur 15 cm ou sur 10 cm en grave bitume de classe 3 selon la norme NF EN 13108-1.

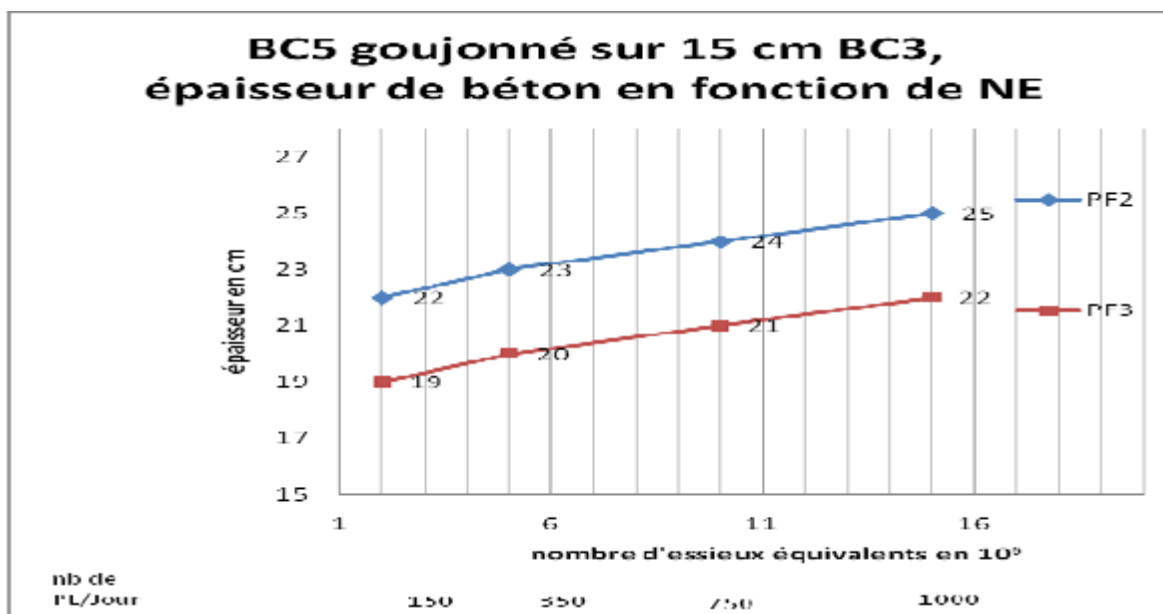


Figure 6 : Abaque de dimensionnement des chaussées en dalles goujonnées sur fondation de 15 cm de BC3

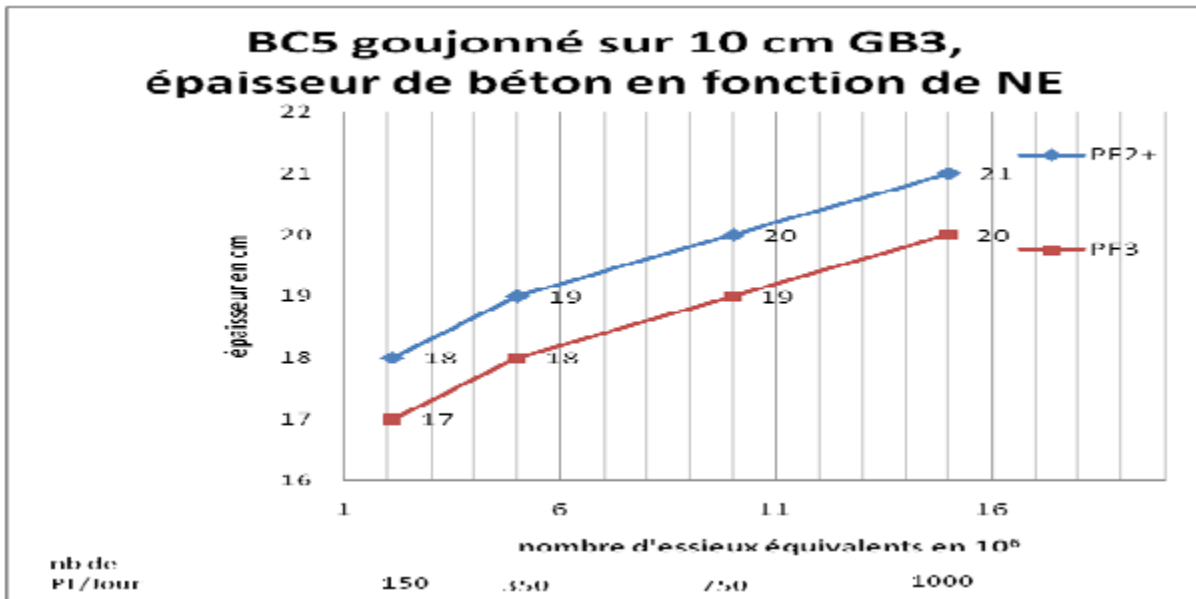


Figure 7 : Abaque de dimensionnement des chaussées en dalles goudonnées sur fondation de 10 cm de GB3

Enfin pour de très forts trafics PL, il convient de retenir la structure de béton armé continu (BAC) sur une fondation de 15 cm de BC3 ou sur 10 cm de grave bitume. Cette structure convient pour des trafics poids lourds allant de **750 PL/jour à 1500 soit 10.10⁶ à 20.10⁶ essieux équivalents NE (pour un CAM de 1)**. Au-delà, la construction reste possible, mais cette classe de trafic se rencontre plutôt sur le réseau principal de chaussée unidirectionnelle et nécessite dans tous les cas une étude particulière.

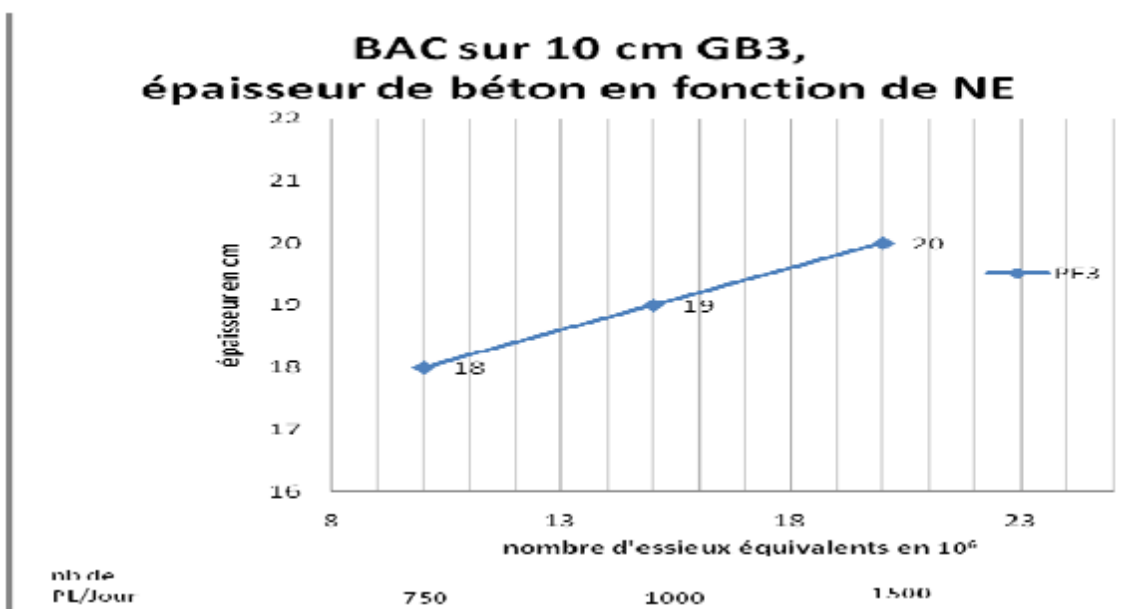


Figure 8 : Abaque de dimensionnement des chaussées en BAC sur 10 cm de GB3

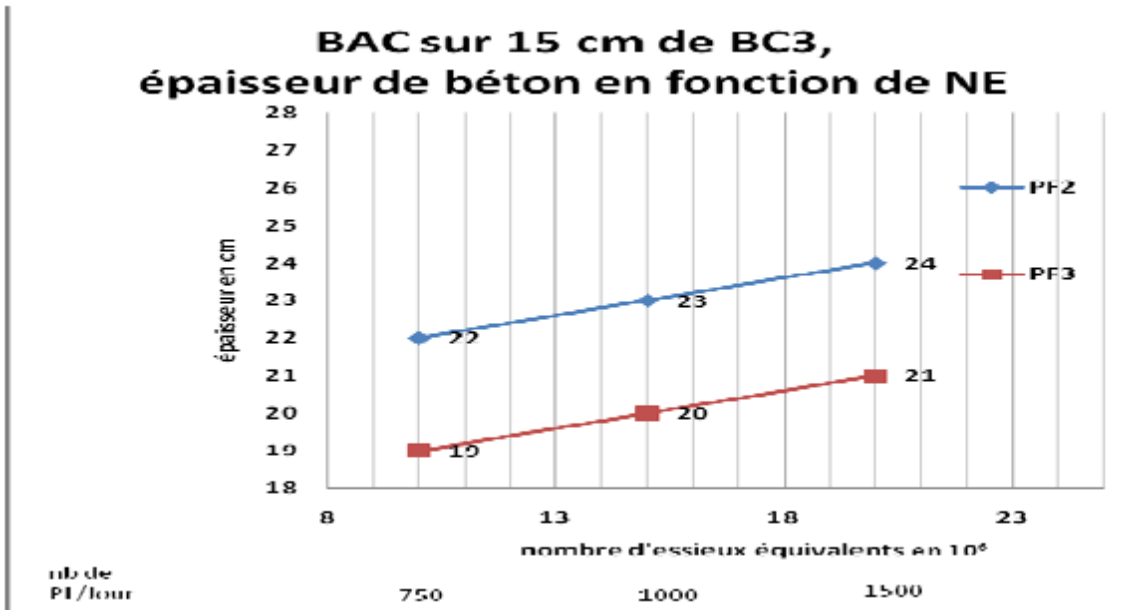


Figure 9 : Abaque de dimensionnement des chaussées en BAC sur 15 cm de BC3

4 – Création d'un nouveau giratoire

Sont concernés dans ce chapitre les giratoires en béton correspondant à l'un des cas suivants :

- la transformation d'un carrefour plan existant avec feux ou sans feux (intersection régie par « stop », « cédez-le-passage » ou « priorité à droite ») en carrefour giratoire,
- la création d'un giratoire en section courante d'une rue existante,
- la création un giratoire dans le cadre d'un nouveau projet de construction.

4.1- Paramètres à prendre en compte dans le projet

Comme toute construction, la création d'un nouveau giratoire en béton nécessite l'établissement d'un projet qui doit définir les caractéristiques structurelles et dimensionnelles du giratoire. Seuls les paramètres permettant de fixer les caractéristiques structurelles du projet sont traités dans ce chapitre ; les aspects dimensionnels tels que la largeur et les rayons intérieur et extérieur des anneaux du giratoire ainsi que les courbures de ses amorces, ont été abordés dans le chapitre 1. Un projet de création d'un nouveau giratoire en béton doit prendre en compte les différents paramètres ci-après.

4.1.1 – Trafic à la mise en service et son évolution

Lorsqu'il s'agit d'un carrefour existant à transformer en giratoire, le trafic peut être obtenu par comptages manuels, observation vidéo ou relevés minéralogiques. Dans le cas des carrefours à simple configuration, les comptages manuels sont les mieux adaptés tandis que pour des configurations plus complexes (carrefours multiples) on utilisera des méthodes plus lourdes :

- par relevé de plaques minéralogiques en entrée et sortie de chaque branche,
- par observation vidéo,
- par combinaison des deux méthodes.

Les comptages doivent comporter le détail de tous les mouvements possibles sur le carrefour considéré ainsi que la répartition par type de véhicules (voitures, poids lourds, transports en commun). Les comptages peuvent être des comptages en section courante ou directionnels [réf. 8].

L'évolution du trafic sur la période correspondant à la durée de calcul doit être déterminée et peut provenir de la croissance du trafic externe, de l'urbanisation et de projets de voies nouvelles pouvant avoir une influence sur le trafic cumulé subi à terme par le giratoire.

Dans le cas de la transformation d'un carrefour existant en giratoire et en l'absence de projet d'infrastructures nouvelles ayant une incidence sur le trafic à moyen et long terme, les comptages directionnels et en section courantes suffisent à estimer le trafic total cumulé que va subir le futur giratoire. Ce trafic est extrapolé par application d'un taux de croissance issu de l'évolution du trafic dans les années antérieures.

Pour la création d'un giratoire en section courante d'une voie existante ou dans le cadre d'un nouveau projet d'aménagement, une étude plus globale au niveau de l'agglomération ou de la zone d'aménagement concernée est nécessaire pour

l'évaluation du trafic total cumulé à terme. Les comptages réalisés sur la voie existante peuvent servir de base d'étude.

4.1.2 – Portance de la plate-forme support de chaussée

Les différentes classes de portance sont données au chapitre 3 (tableau 1). La portance du support doit être connue et le dimensionnement de la chaussée effectué avec au minimum une plateforme de classe PF2.

4.1.3 – Présence de réseaux enterrés

L'emprise du giratoire peut abriter des réseaux enterrés divers : eau potable, eaux pluviales, eaux usées, téléphone, câbles électriques pour feux de signalisation, pour l'éclairage, réseau de télévision par câble, etc. Dans ces cas, il existe deux solutions possibles :

- Soit déplacer les réseaux et les repositionner en dehors de l'emprise du giratoire lorsque cela est possible et selon le coût d'un tel déplacement ou selon le degré de risque pris si ces réseaux ne sont pas déplacés (cas du béton armé continu) ;
- Soit maintenir les réseaux à leur emplacement en les repérant et en les protégeant pendant la phase travaux et/ou durant la phase définitive, par des enrobages en béton ou des tuyaux en acier. La protection de certaines canalisations (eaux usées, eaux pluviales) peut nécessiter la réalisation d'une voûte armée (**figure 10**) dont les dimensions tiennent compte du diamètre et de la profondeur de pose de la canalisation ainsi que de la structure de la chaussée béton (épaisseurs et natures des couches).

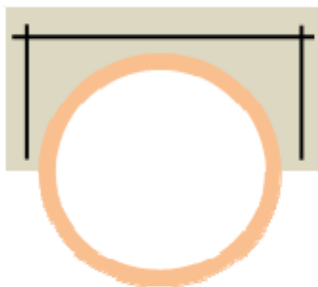


Figure 10 : Protection d'une canalisation par une voûte en béton armé

4.1.4 - Nécessité du maintien de la circulation pendant les travaux

Lorsqu'un giratoire est créé sur un carrefour ou une voie en circulation, l'absence d'une possibilité de déviation peut conduire au maintien de la circulation pendant les travaux. Il faut alors prendre en compte d'une part les délais de remise en circulation du béton et d'autre part les dispositions constructives à respecter lors du coulage, indépendamment des élargissements provisoires pour le croisement des véhicules et notamment des poids lourds.

La nécessité de maintenir la circulation peut également orienter le choix de la nature du matériau de la fondation du revêtement béton. Ainsi, les fondations en matériaux bitumineux peuvent faciliter la circulation provisoire en phase chantier. Par ailleurs,

quelle que soit la nature du matériau constitutif de cette fondation, lorsqu'un trafic provisoire de poids lourds est prévu sur celle-ci, il est nécessaire d'en tenir compte lors du dimensionnement de la chaussée.

Enfin l'utilisation d'un accélérateur de prise ou une adaptation de la nature et/ou du dosage du ciment peut permettre une remise en circulation plus rapide du béton de revêtement.

4.1.5 - Gêne des usagers et des riverains

Pour limiter la gêne aux usagers et riverains, notamment pour des carrefours stratégiques, il faut lors de la conception privilégier une solution nécessitant peu d'entretien. La structure béton est particulièrement bien adaptée pour répondre à ces exigences et être conçue pour de longues durées de vie (30 ans et plus).

4.1.6 - Traitement de surface

Par les qualités intrinsèques du béton (plasticité, couleur claire du matériau) et par la possibilité de varier le choix des granulats en fonction des résultats esthétiques recherchés, le concepteur dispose d'une large gamme de couleurs et de traitements de surface.

Son choix doit être arrêté en prenant en compte les caractéristiques d'esthétiques mais aussi les sollicitations dues au trafic poids lourds et l'évolution dans le temps de la surface du béton.

Le degré d'importance de l'aspect esthétique dans un projet peut influencer :

- **le choix de la technique de revêtement béton,**
- **le phasage des travaux,**
- **les ouvrages annexes sur l'anneau du giratoire (émergences, bordures ou glissières coulés sur le béton de revêtement).**

4.1.7 - Entretien et recyclage en fin de vie

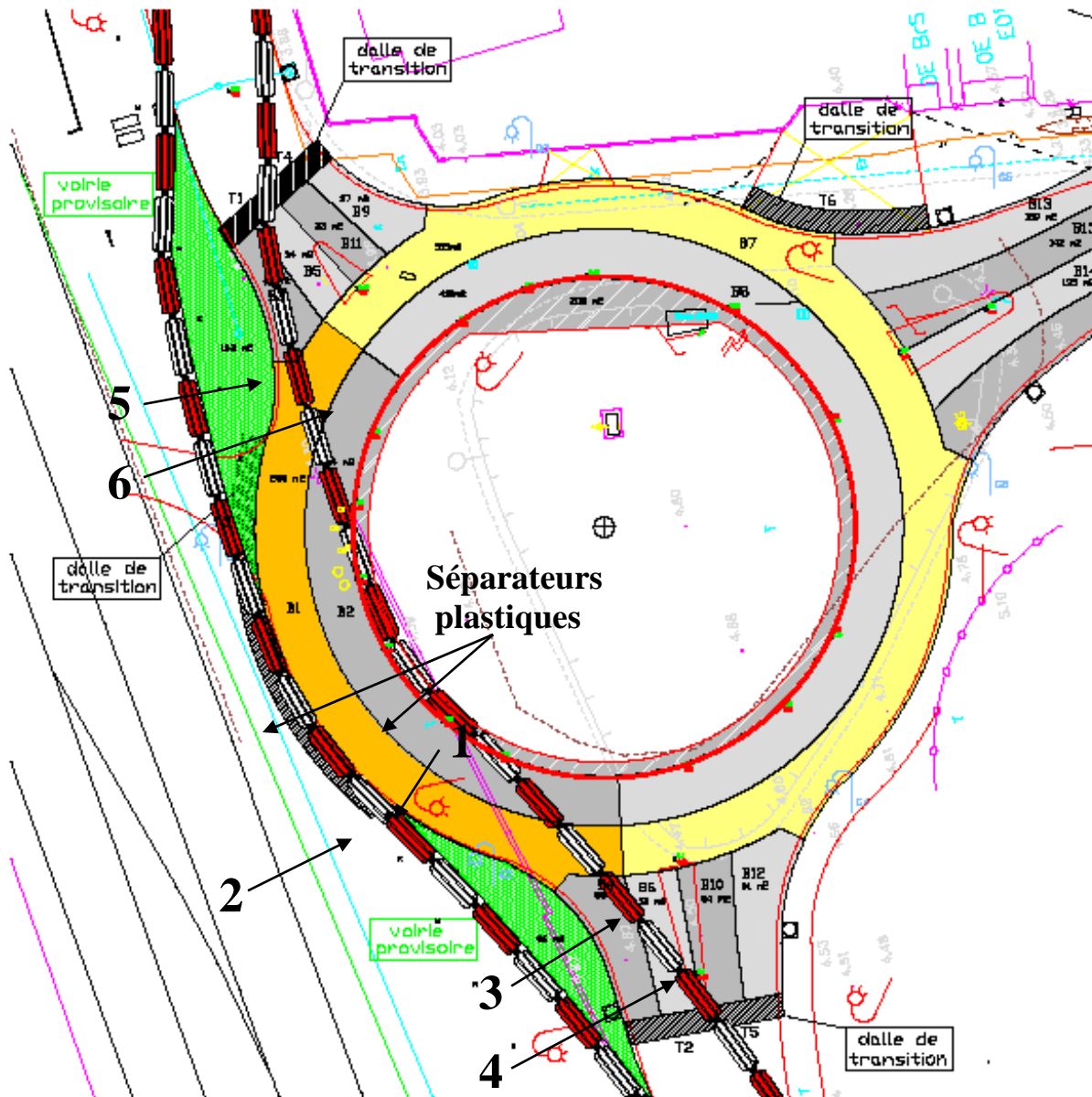
Comme pour toute structure de chaussée l'entretien et le recyclage en « fin de vie » doivent être analysés sur le plan technique mais aussi sur le plan économique en se posant les questions suivantes pour chaque technique de revêtement béton :

- quels types de travaux d'entretien sont à prévoir ; à quelles échéances ; quelles techniques utiliser ; leurs coûts et leur degré de gêne aux usagers ?
- quel recyclage en « fin de vie » (transformation en sous-couche d'une nouvelle chaussée par rechargement avec une couche de béton ou d'enrobé ; démolition et concassage pour utilisation en couche de forme de grave non traitée ou en incorporation dans un nouveau béton de roulement ?

4.2 - Exécution sous circulation

La création d'un nouveau giratoire sur une chaussée existante avec maintien de la circulation est nécessairement réalisée en plusieurs phases dont le nombre est essentiellement fonction du nombre de voies arrivant et/ou partant du giratoire et de la possibilité ou non de les fermer pendant les travaux.

Quelle que soit la configuration du giratoire à créer, les travaux sous circulation se dérouleront au minimum en deux phases (figure 11) avec une circulation provisoire sur la couche de fondation et/ou sur le revêtement final en béton. Lorsque cela est nécessaire, la création d'une voie provisoire en enrobé permet de disposer d'une largeur suffisante de chaussée pour la circulation en double sens (photo 4).



*Phase 1 : réalisation des bandes de béton n°1 à 6, de la voirie provisoire et pose des séparateurs plastiques pour balisage,
Phase 2 : circulation publique à double sens dans le balisage, réalisation des autres bandes de béton du giratoire*

Figure 11 : Plan de phasage pour la mise en œuvre de béton sur un giratoire



Photo 4 : Circulation pendant les travaux

Les bords des dalles béton soumis à la circulation pendant la phase chantier ou en phase définitive, doivent être renforcés selon les dispositions du § 6.5.

4.3 - Dispositions particulières

Qu'il y ait maintien ou non de la circulation pendant les travaux de création d'un giratoire en béton, des dispositions particulières doivent être prises en compte et réalisées lors de l'exécution des travaux. Ces dispositions constructives particulières qui correspondent à des points singuliers du giratoire et de ses abords, sont nécessaires à la pérennité de l'ouvrage tant pendant la phase des travaux (circulation de chantier et ou circulation publique provisoire) qu'en phase définitive.

Lors de l'élaboration du projet, des règles précises relatives à ces dispositions constructives doivent donc être adoptées et notamment celles relatives à :

- la longueur des amorces de voies d'entrée et de sortie du giratoire,
- les dalles de transition entre revêtement en béton et en enrobé,
- les joints de dilatation,
- les bords libres circulés,
- le traitement de surface : rugosité initiale,
- la structure de la bande franchissable,
- les réservations pour les bordures et les glissières béton,
- le positionnement des émergences (regards à grille, etc.),
- les réservations autour des émergences,
- le calepinage des dalles en béton.

Une présentation détaillée de ces dispositions est décrite au chapitre 6.

4.4 - Choix des structures de chaussées en béton

Selon les caractéristiques du projet à prendre en compte pour la création d'un nouveau giratoire, certaines structures de béton vont être plus appropriées que d'autres.

Le paragraphe 3.2 préconise des types de structures de chaussées en béton adaptés en fonction du trafic poids lourds envisagé sur la chaussée :

- dalles à joints non goujonnés pour trafic faible,
- dalles à joints goujonnés pour trafic plus important,
- BAC pour très fort trafic.

Par ailleurs ce choix peut être influencé par d'autres critères.

À titre d'exemple, lorsque le chantier doit être réalisé avec maintien de la circulation, des structures béton comportant une couche de fondation en enrobé vont être mieux adaptées que celles avec une fondation en grave traitée ou en béton maigre pour lesquelles le délai d'ouverture à la circulation peut être plus long.

Le tableau 4 donne des indications de type de structures et du type de béton en fonction des objectifs recherchés.

Paramètres à prendre en compte	Type de structure						Type de béton de surface			
	BC / GNT	BC / BC et GT	BCg / BC	BCg / GB	BAC / BC	BAC / enrobé	Béton ordinaire balayé	Béton à prise rapide	Béton désactivé	Béton imprimé
Existence de réseaux enterrés dans l'emprise du giratoire	- +	--	--	- +	--	--	- +	- +	- +	- +
Maintien de la circulation pendant les travaux	--	--	--	++	--	++	- +	++	-+ *	-+ *
Peu d'entretien	- +	- +	++	++	++	++	++	++	- +	++
Traitement esthétique de surface	++	++	++	++	++	++	- +	- +	++	++
Recyclage en fin de vie	++	++	- +	- +	--	--	- +	- +	- +	- +

-- : moins adaptée ; - + : adaptée ; ++ : recommandée ;

- + * : nécessite une formulation adaptée

BC : béton de ciment non goujonné ; GNT : grave non traitée ; GT : grave traitée ;

BCg : béton de ciment goujonné ; GB : grave bitume ; BAC : béton armé continu

Tableau 4 : Choix du type de structure et de béton selon les paramètres pris en compte

5 – Réfection d'un carrefour giratoire existant

5.1- Principe de la démarche

Une méthodologie simple a été adoptée reposant sur les facteurs clés suivants :

- L'auscultation de la chaussée existante avec, en particulier :
 - le niveau de trafic et de sollicitation,
 - le relevé des dégradations de surface,
 - l'analyse du profil en long et en travers,
 - les sondages (épaisseurs et collage des couches),
 - les mesures de déflexion,
 - les contraintes de seuils éventuels ;
- La détermination d'un diagnostic mécanique de l'état de la chaussée indiquant :
 - soit un entretien superficiel,
 - soit un entretien structurel ;
- Selon les épaisseurs de chaussées calculées pour le dimensionnement, un décaissement partiel ou total sera généralement nécessaire. Compte tenu des problèmes de seuils, un rechargement (voire un renforcement) sera rarement possible.

5.2 - Application de la méthode

L'étude part d'une chaussée existante supposée dégradée en surface (orniérage principalement) supportant un trafic classé de T5 (25 poids lourds / jour) à T0 (supérieur à 750 poids lourds / jour) et dont la déflexion moyenne mesurée est D.

Deux cas peuvent se présenter :

- Si $D \leq 30/100$ mm, il n'y a pas de problème de structure et l'entretien à envisager est alors superficiel. Une solution de type Béton de Ciment Mince Collé (BCMC⁶) peut être envisagée avec une épaisseur minimale de 10 cm pour un trafic inférieur à 300 poids lourds / jour. Cette technique consiste à fraiser ou à raboter la structure bitumineuse dégradée, sur une épaisseur adéquate, et de mettre en place une couche de béton de ciment. à condition de vérifier au préalable que la couche bitumineuse résiduelle (après rabotage) est homogène, de bonne qualité et d'épaisseur suffisante (≥ 8 cm). La structure monolithique ainsi obtenue offre des garanties de durabilité et cela pour deux raisons :
 - **Le béton, de par son module d'élasticité élevé et constant**, offre en surface une couche non déformable et anti-orniérante, garantissant le maintien de l'uni pour de longues périodes ;
 - **Le béton, de par sa rigidité**, répartit les charges et soulage ainsi la structure bitumineuse sous-jacente, tout en lui assurant une protection thermique efficace.
- Si $D > 30/100$ mm, le problème est sans doute d'ordre structurel.

⁶ Pour plus de détails, l'on peut se référer au Guide de dimensionnement des structures BCMC [réf. 9].

Dans ce cas la solution de reconstruction de la structure en béton sera fonction du trafic poids lourds de la chaussée. Elle sera conforme aux préconisations indiquées au § 3.2.

Dans tous les cas, un carottage permet de déterminer la nature et les épaisseurs des matériaux en place et leur valeur résiduelle et évaluer la portance à prendre en compte dans le dimensionnement.

6 - Dispositions constructives particulières

6.1 - Entrées et sorties du giratoire

Les entrées et sorties du giratoire sont des zones fortement sollicitées (cf. § 1.3). L'approche du giratoire est une zone de freinage et d'accélération qui subit des contraintes de cisaillement liées d'une part au transfert de charges des essieux arrières vers l'essieu avant et aux contraintes d'adhérence très élevées.

Dans le cas de travaux neufs, en particulier pour les forts trafics, et pour tenir compte des sollicitations, il est préconisé de réaliser les entrées et sorties des giratoires en béton avec les dispositions suivantes (photo 5) :

- la longueur de ces accès doit être comprise entre 10 m et 20 m,
- un joint de dilatation doit être réalisé entre l'entrée (ou sortie) et l'anneau du giratoire,
- l'autre extrémité sera conçue avec une dalle de transition si le reste de la voie est une chaussée souple.

Dans le cas de réfection d'un giratoire existant, si les entrées et sorties sont en enrobé, une dalle de transition est recommandée au raccordement avec l'anneau central du giratoire.



Photo 5 : Ferrailage d'une amorce de giratoire en béton armé continu
(Crédit photo : CMR Exedra)

6.2 - Dalles de transition

Les dalles de transition permettent :

- un compactage satisfaisant des enrobés aux abords immédiats des dalles béton,
- une continuité du comportement structurel entre la chaussée souple et la partie béton.

Les dalles de transition sont positionnées au bord de l'anneau central lorsque l'amorce de voie est en enrobé, ou en extrémité d'amorce lorsque celle-ci est en béton.

La photo 6 et les figures 12 et 13 montrent deux types de dalles de transition pouvant être utilisées.

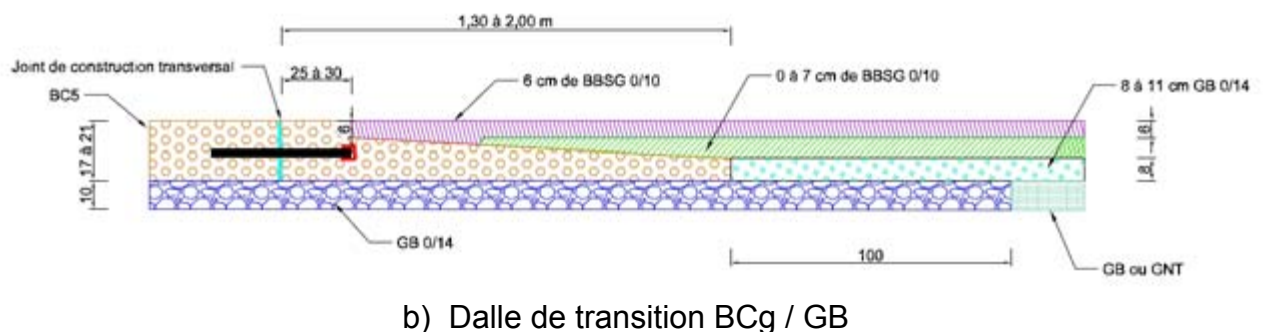
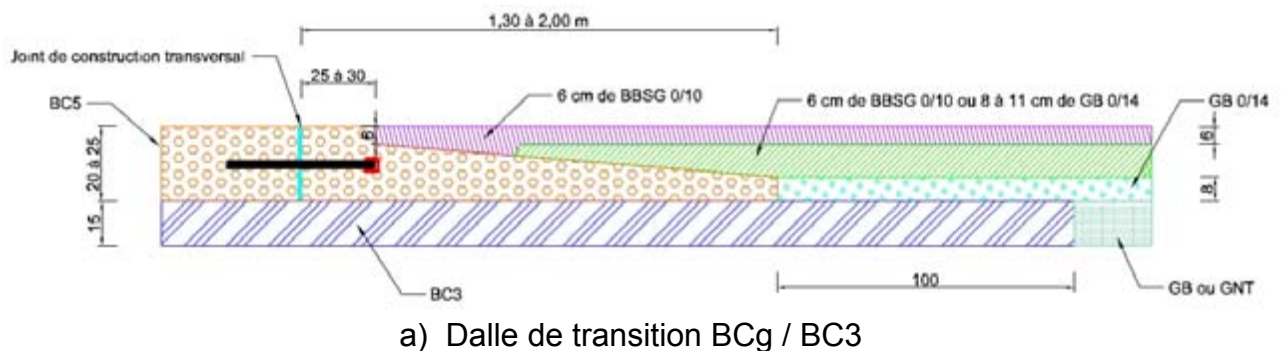
La dalle de type 1 (figure 12) est préconisée lorsque :

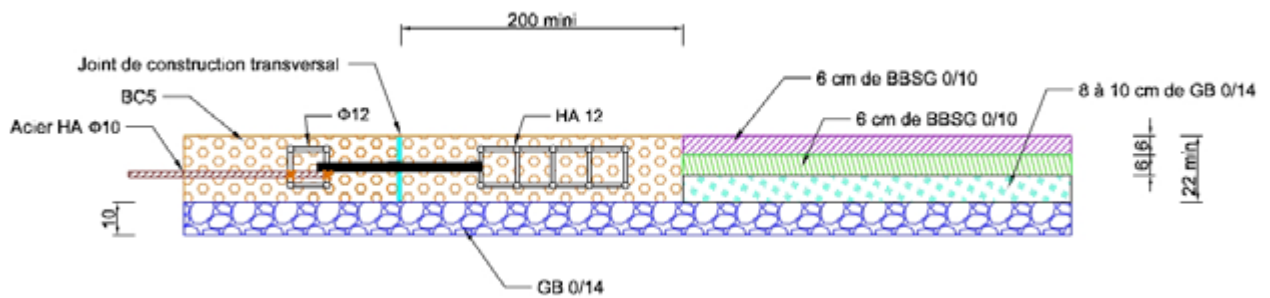
- il y a des goujons au droit du joint de dilatation ;
- le joint de dilatation est très actif ;
- le trafic est supérieur à 300 poids lourds / jour (T1 et plus).

Ces dalles doivent être armées lorsque le trafic est supérieur ou égal à T0 (750 poids lourds / jour).



Photo 6 : Dalle de transition sur un giratoire
(Crédit photo : CMR Exedra)





c) Dalle de transition BAC / GB – raccordement sur une chaussée souple existante

Figure 12 : Schéma dalle de transition de type 1

La dalle de type 2 (figure 13) est utilisée lorsqu'il n'est pas prévu de goujons au droit du joint de dilatation et peut être armée selon le trafic comme indiqué précédemment.

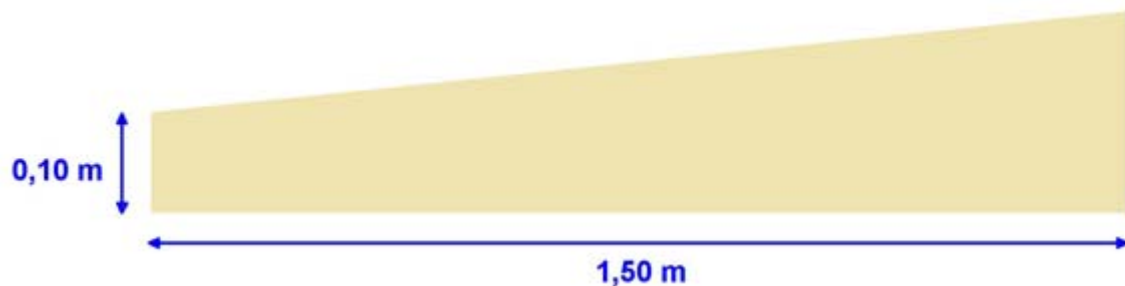


Figure 13 : Schéma dalle de transition de type 2

6.3 - Joints de dilatation

Des joints de dilatation doivent être réalisés entre les amorces de voies en béton et l'anneau lorsqu'il y a une dalle de transition. Ces joints permettent d'encaisser les variations de longueur des dalles de béton et évitent les épaufures des bords de dalles par compression.

Lors du coulage de la seconde partie de l'ouvrage béton venant en contact du premier réalisé, un matériau compressible de 1 cm d'épaisseur est positionné verticalement sur toute l'épaisseur de la dalle béton.

Si les joints de dilatation doivent être équipés de goujons, ces derniers sont mis avant coulage du deuxième ouvrage ou lors du coffrage (photo 7). Ils sont positionnés à mi hauteur de la dalle. Leur nombre et leur diamètre sont conformes à l'annexe C de la norme NF P 98-170. Le béton doit être particulièrement bien vibré de part et d'autre du joint de dilatation.

Après prise du béton, les joints sont élargis, chanfreinés et garnis selon les règles de l'art [cf. guide SPECBEA « joints de chaussée en béton » à paraître]. Un fond de joint est indispensable à la bonne tenue du matériau de garnissage.



Photo 7 : Joint de dilatation avec goujons et chaînage

(Crédit photo : CMR Exedra)

6.4 - Joints d'arrêt transversaux

Lorsque le bétonnage est réalisé en plusieurs phases ou avec arrêt journalier, les joints d'arrêt transversaux de phase ou de fin de journée doivent être réalisés au droit d'un des îlots des voiries d'accès afin d'éviter, tout comme pour le joint de début de bétonnage, les sollicitations plus importantes au droit des zones d'entrée et de sortie (voir figure 17 : exemple de calepinage).

6.5 - Extrémité de dalles

Les extrémités de dalles sont circulées pendant la phase chantier et surtout en phase définitive. Pour cette raison, elles doivent être renforcées par l'un des deux dispositifs suivants, en particulier lorsque le trafic est très important :

- réalisation d'une surépaisseur de béton d'environ 30% avec variation de l'épaisseur (bèche) sur une longueur de 1 m (figure 14).
- soit mise en place de chaînages constitués de 4 barres d'acier haute adhérence de 12 à 16 mm de diamètre selon l'épaisseur « e » du béton (figure 15) ; ce dispositif étant le mieux indiqué pour sa facilité de réalisation.

Pour les facilités de réalisation, ce dernier dispositif est le plus indiqué.

Les bords de béton concernés par ces dispositifs sont :

- les bords de dalles près des joints de dilatation transversaux sur l'anneau central et autour des émergences (chambres de tirage et regards de visite),
- les bords de dalles béton situés au droit des entrées et sorties des giratoires,
- les bords extérieurs de l'anneau central soumis au trafic provisoire de chantier ou routier pendant les travaux du giratoire,

- tout le bord intérieur de l'anneau central pour palier toute circulation occasionnelle en phase définitive,
- les bords libres situés à moins de 25 cm de la circulation des poids lourds,
- les bords extérieurs de l'anneau central sur lesquels pourraient se raccorder ultérieurement des amorces de voies arrivant ou partant du giratoire.

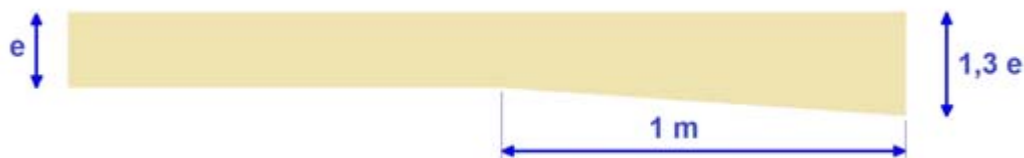


Figure 14 : Surépaisseur de béton (bêche) sur les bords libres circulés



Figure 15 : Chainage sur les bords libres circulés

6.6 -Traitement de surface : rugosité initiale

La surface du béton frais peut être traitée par désactivation (encore appelée dénudage chimique) ou par striage transversal.

Si le béton est désactivé, le traitement doit être suffisant pour garantir une rugosité élevée et pérenne. La désactivation ne doit pas être trop profonde compte tenu des efforts tangentiels pouvant conduire à des arrachements de granulats. Une valeur initiale de la PMT (profondeur moyenne de texture) de 1,4 à 2 mm convient.

Lorsque la surface du béton est striée, il faut utiliser un balai conduisant à une rugosité initiale élevée afin de compenser la baisse de PMT dès les premiers jours d'ouverture à la circulation des poids lourds. Des PMT initiales supérieures ou égales à 2 mm seront alors visées.



Photo 8 : Mesure de PMT

6.7 - Bande franchissable

La bande franchissable dont la largeur varie de 1 à 2 m peut être circulée ponctuellement par des poids lourds. Elle doit donc être réalisée en béton et dimensionnée pour supporter les passages occasionnels des poids lourds surtout lorsque le giratoire est de faible rayon.

6.8 - Réserve pour bordures et glissières béton

Lorsqu'il est prévu la réalisation de bordures ou de glissières en béton sur le giratoire, celles-ci doivent être solidariser au revêtement béton afin de se prémunir de tout glissement ultérieur. Pour cela des cavaliers (photo 9) sont scellés tous les mètres dans le béton frais du revêtement, et centré sur l'axe des futures bordures ou glissières à réaliser. Ces fers sont des aciers HA de diamètre 8 ou 10 mm (figure 16) et liés entre eux par un filant HA 12 mm. Pour des raisons de sécurité, ils sont en général pliés pour être à plat sur la surface du béton, puis redressés juste avant le coulage des bordures ou glissières.



Photo 9 : Attente pour bordure en béton coulé en place
(Crédit photo : CMR Exedra)

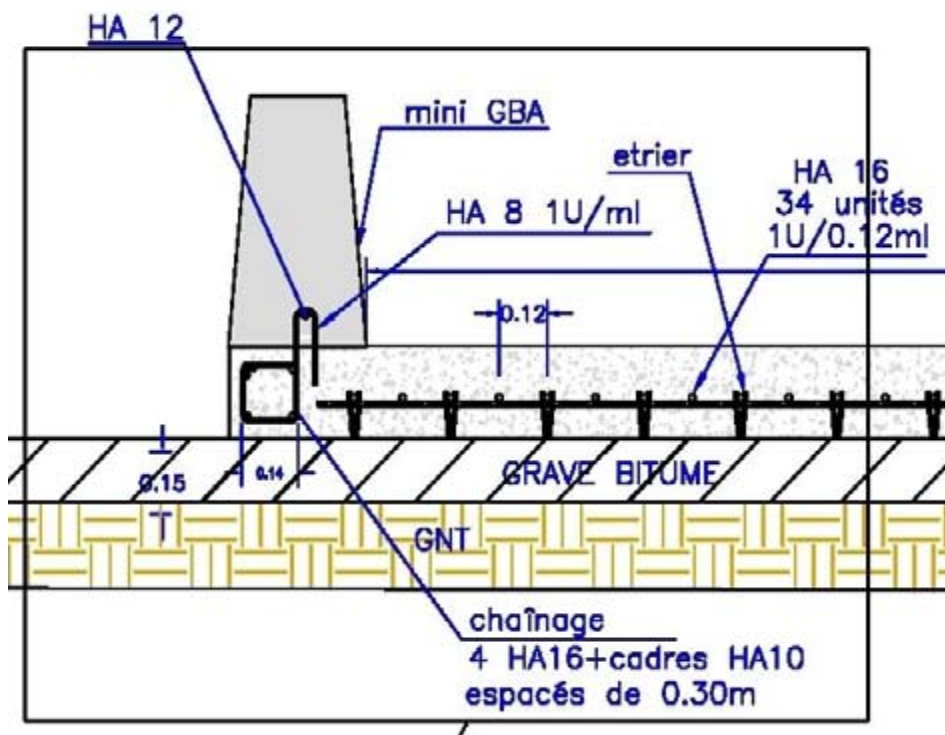


Figure 16 : Exemple de chaînage et d'attente pour muret en béton coulé en place

6.9 - Traitement des émergences

6.9.1 - Bouches à clé

Les émergences de petites dimensions telles que les bouches à clé sont noyées dans le béton sans dispositif particulier sauf dans le cas du BAC où un frettage

assurant la continuité des armatures autour des émergences doit être réalisé tel que illustré sur la photo 10.



Photo 10 : Dispositif assurant la continuité des armatures autour d'un regard

(Crédit photo : J. ABDO)

6.9.2 - Autres émergences (chambres, regards, etc.)

Pour les émergences de dimensions plus importantes, elles sont noyées dans une petite dalle rectangulaire ou carrée en béton armé. Une réservation est réalisée autour de l'émergence (photo 11) lors du coulage du béton de giratoire et cette dalle avec un joint de dilatation périphérique est coulée dès que possible. Les bords de dalles autour de ce joint doivent être équipés de chaînages constitués de 4 barres d'acier haute adhérence de 12 à 16 mm de diamètre selon l'épaisseur du béton et une attention particulière apportée à la vibration du béton sur ces bords lors du coulage.



Photo 11 : Réserveur autour d'un regard de visite
(Crédit photo : CMR Exedra)

6.9.3 - Positionnement des avaloirs et grilles (au point bas)

Les avaloirs et les grilles sont positionnés aux points bas de la chaussée du giratoire, afin d'assurer d'une part l'évacuation des eaux pluviales et d'autre part supprimer les flaques d'eau.

6.9.4 - Îlots de séparation des voies d'accès au giratoire

L'emprise des îlots de séparation des voies arrivant sur le giratoire doit être réalisée en béton avant la confection de ces îlots.

6.9.5 – Protection des avaloirs

Si le béton doit être dénudé, les avaloirs éventuels doivent être protégés pour éviter que du béton ou de la laitance ne pénètre dans le système d'écoulement des eaux.

6.10 - Calepinage des joints

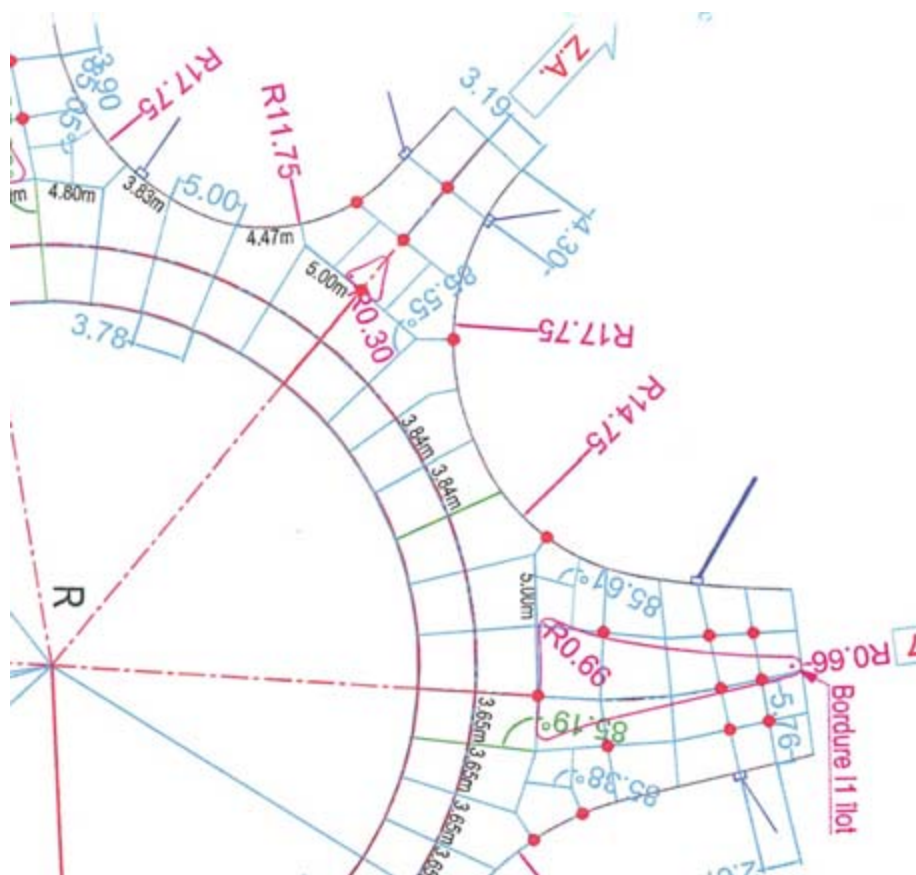
6.10.1 – Règles à respecter

Pour les giratoires en béton, les dalles étant de forme trapézoïdale, le calepinage des joints constitue le point le plus important et doit être réalisé en respectant les règles suivantes :

- l'espacement maximal des joints est égal à 25 fois l'épaisseur de béton sans toutefois dépasser 5 m,

- la plus petite dimension des dalles est supérieure ou égale à 1,5 m,
- le rapport maximal entre la longueur et la largeur des dalles (longueur / largeur) est inférieur ou égal 1,5,
- les angles entre les joints ou entre les joints et les bords libres doivent être supérieurs à 75°.

Un exemple de calepinage de giratoire en béton en dalles est présenté sur la figure 17 et les principes de base du calepinage détaillés dans le guide CIMBETON [réf. 6].



- 1 : Amorce coulée simultanément avec l'anneau
- 2 : Joints transversaux d'arrêt conseillés
- 3 : Joint longitudinal
- 4 : Joints de retrait transversaux

Figure 17 : Exemple de calepinage d'un giratoire en béton goudonné
(Crédit Conseil Général 89)

6.10.2 – Cas des dalles goudonnées

Le calepinage des dalles est identique à celui des dalles non goudonnées.

Les goujons sont posés sur une armature métallique, en général à mi-épaisseur des dalles au droit des joints qui seront sciés ultérieurement. Ces supports métalliques appelés « paniers » sont positionnés perpendiculairement à l'axe longitudinal de la chaussée (photo 12).

La taille des goujons (diamètre et longueur) est fonction de l'épaisseur de la dalle de béton. Ces dimensions et l'écartement entre les goujons doivent être conformes à l'annexe C de la norme NF P 98-170 « chaussées en béton ». Pour éviter tout

déplacement du panier de goudons il est recommandé de le fixer sur le support du béton.



Photo 12 : Positionnement des paniers de goudons avant bétonnage du giratoire

(Crédit photo G. Laurent, SPECBEA)

6.10.3 Cas du béton armé continu

Pour les chaussées supportant un trafic très important de poids lourds (750 PL/jour et plus), il est conseillé de retenir la technique du béton armé continu (BAC).

Selon la nature de la couche de fondation (grave bitume ou béton maigre), et le niveau de portance de la plate forme, l'épaisseur du béton varie de 18 à 24 cm (cf. § 3). Les armatures longitudinales sont en général des aciers haute adhérence de diamètre compris entre 12 et 16 mm. Leur nombre est fonction de l'épaisseur de la dalle béton, de sorte que le rapport de la section des aciers sur la section du béton soit de 0,7 % sur la voie lourde. Selon la conception belge, [réf. 12] le rapport surface acier /surface béton peut être plus faible sur la voie centrale lors de la construction d'un giratoire à plusieurs voies. En effet sur cette voie, le trafic des poids lourds est plus faible et le béton moins sollicité. La diminution du rapport surface acier /surface béton peut être obtenue facilement en écartant davantage les barres longitudinales.

Les armatures suivent la courbure du giratoire. Elles sont raccordées par recouvrement de 40 fois leur diamètre et ligaturées. On veillera à ce que les raccordements soient décalés d'une barre à l'autre pour éviter une trop grande concentration d'acier. Les barres longitudinales sont disposées et ligaturées sur des distanciers disposés au maximum tous les mètres sur le rayon extérieur du giratoire. Les barres support étant radiales, l'écartement sur le rayon intérieur est forcément plus faible.

De préférence les barres longitudinales sont placées légèrement au dessus de la fibre neutre du béton pour mieux fermer les fissures transversales de retrait. Néanmoins la distance entre le nu supérieur des aciers et la surface du revêtement béton ne doit pas être inférieure à 7 cm.



Photo 13 : Exemple de ferrailage entre l'anneau et l'amorce de chaussée pour un giratoire en BAC

(Crédit photo G. Laurent, SPECBEA)

Il est souhaitable que la chaussée en BAC ait une sur-largeur en rive de 60 cm au moins pour implanter la bordure béton. Celle-ci sera construite comme indiqué au § 6.8 en étant coulée sur la chaussée et liaisonnée au moyens de cavaliers.

Toutes les modalités de construction et les dispositions constructives particulières ne peuvent être décrites de façon simple et exhaustive dans cet ouvrage et il est conseillé au lecteur de se rapprocher des syndicats professionnels SPECBEA et CIMBETON. En particulier la liaison entre l'anneau du giratoire et la zone d'accès doit être particulièrement étudiée.

6.10.4 – Cas des amorces

Quelle que soit la technique de béton utilisée (dalles non goujonnées, béton goujonné ou béton armé continu) les amorces des voies d'accès au giratoire doivent être coulées simultanément avec l'anneau principal du giratoire et le calepinage des joints doit en tenir compte.






Photo 14 : Vue d'un giratoire en béton goujonné
(Crédit photo : CIMBETON)

6.11 - Conséquences du non-respect des dispositions constructives

Le non respect des dispositions constructives citées ci-avant peut conduire à des désordres sur les chaussées en béton des giratoires, résumés dans le tableau 5 et dont certains sont illustrés par des photos prises sur des giratoires en service.

Disposition constructive non respectée	Conséquences (désordres)	Exemples de photos
Absence ou trop faible longueur d'amorce de voies non réalisées en béton	Orniérage et faïençage des enrobés des voies adjacentes	

Disposition constructive non respectée	Conséquences (désordres)	Exemples de photos
Absence de dalles de transition avec la chaussée existante	Fissures et orniérage des enrobés à proximité du raccordement béton / enrobé	
Absence de joints de dilatation	Epaufures des bords par compression	
Bords circulés non armés	Rupture à quelques centimètres du bord	
Faible rugosité initiale	Risque de glissance	
Bande franchissable sous-dimensionnée	Rupture du béton et Infiltration d'eau	



Disposition constructive non respectée	Conséquences (désordres)	Exemples de photos
Absence de réservation pour bordures et barrières béton	Risque de glissement	
Absence de traitement des émergences	Fissures du béton autour de l'émergence	
Non respect des règles de calepinage des joints	Fissures du béton Ruptures en milieu de dalle Cassures d'angle	

Tableau 5 : Exemples de désordres par non respect des dispositions constructives

7– Entretien, réparation et recyclage des giratoires en béton

7.1 - Entretien

Contrairement aux structures classiques, les chaussées en béton nécessitent très peu d'entretien. Sur ce sujet, le SPECBEA a édité un guide [réf. 12] qui donne les différents types de traitement d'entretien adaptés pour chaque dégradation.

Ces dégradations peuvent être dues soit à un comportement normal et prévisible dans le temps (perte d'adhérence, décollement des joints), soit à une mauvaise conception et/ou exécution des travaux (non-respect des règles et dispositions constructives) ou à un sous-dimensionnement de la structure de chaussée.

Les principaux désordres nécessitant un suivi et un entretien sont :

- La perte d'adhérence, pour laquelle il faut prévoir un grenailage, ou un bouchardage, voire parfois un simple lavage à haute pression (hydro-régénération) ;
- Les décollements de joints qui peuvent survenir entre 5 et 8 ans après la mise en service ; il convient donc de programmer une réparation des joints à cette fréquence ;
- Les fissures liées au non-respect de règles et dispositions constructives ; ces fissures peuvent alors être traitées comme des joints de retrait flexion lorsqu'elles ne sont ramifiées ;
- Les fissures de fatigue (sous-dimensionnement) pouvant être traitées comme des joints ou dans certains cas peuvent nécessiter une reconstruction partielle ou totale des dalles concernées.

7.2 - Réparation partielle de giratoire

Il s'agit ici sur un giratoire en béton, de réaliser une réparation partielle, soit de dalles isolées en béton goudonné ou non, soit d'une partie de béton armé continu. Cette réparation partielle peut intervenir pour une reprise d'une dégradation ponctuelle ou après l'ouverture d'une tranchée pour un réseau.

7.2.1 - Réparation de dalles isolées en béton goudonné ou non

- Démolition des dalles

Pour la démolition d'une dalle isolée ou d'un ensemble de dalles isolées, un sciage est réalisé dans les joints périphériques et sur toute l'épaisseur pour isoler la ou les dalle(s). Afin de ne pas scier les dalles adjacentes à conserver, il est judicieux d'effectuer des carottages à l'angle de certaines dalles périphériques à démolir. Un carottage réalisé au centre de la dalle ou d'une des dalles permet de créer une zone de décompression. Le béton est ensuite démolé sous forme de blocs avec des pelles équipées de Brise Roche Hydraulique (BRH) (photo 15).



Photo 15 : Démolition au BRH

(Crédit photo : CMR Exedra)

Lorsque cela est nécessaire, la couche de fondation est également démolie avec une pelle avec ou sans BRH.

- **Reconstruction des dalles béton**

Après réalisation éventuelle de la fondation et s'il est prévu des goujons, des forages sont réalisés sur les dalles conservées pour le scellement de ces derniers. Le béton est ensuite coulé manuellement selon les règles de l'art.

7.2.2 – Réfection partielle de béton armé continu

- **Démolition partielle du BAC**

Après la délimitation de la zone à démolir, deux cas sont possibles selon le choix retenu pour le rétablissement de la continuité des armatures longitudinales du BAC :

- Si le rétablissement de la continuité des armatures est prévu par forage et scellement, un sciage est réalisé sur le périmètre de la zone à démolir et sur toute l'épaisseur du BAC et de la fondation éventuelle. Le béton est ensuite démolí sous forme de blocs avec des pelles équipées de brise roche hydraulique (BRH). Les aciers sont découpés par la pelle équipée d'une pince coupante, ou manuellement au chalumeau selon la surface à démolir.
- Si le rétablissement de la continuité des armatures est prévu par recouvrement, le sciage et la démolition sont réalisés en deux temps :
 - d'abord en sciant comme indiqué ci-dessus mais à l'intérieur de la zone délimitée, en laissant un mètre de part et d'autre,
 - ensuite en dégagant les aciers sur une longueur d'un mètre de part et d'autre pour le recouvrement des nouvelles armatures (photo 16).



Photo 16 : Dégagement d'armatures de béton armé continu
(Crédit photo : CMR Exedra)

Lorsque cela est prévu, la couche de fondation est également démolie avec une pelle avec ou sans BRH.

Pour les réparations de petites surfaces et lorsque cela est possible sans dégradation des aciers, on s'efforcera de démolir le béton en gardant les armatures en place. L'intégrité de ces dernières sera conservée par tout dispositif approprié.

- **Rétablissement des armatures longitudinales**

Deux méthodes sont possibles :

- Par forage :
Parallèlement à la surface et à l'axe du revêtement en béton à hauteur et au voisinage immédiat des armatures longitudinales en place, des barres d'acier haute adhérence, d'1 m de long, de même diamètre que les armatures longitudinales, sont scellées à la résine et à refus dans des trous réalisés manuellement par forages rotatifs (photo 17) sur une profondeur de 400 mm. Le diamètre de ces trous est égal à celui des aciers augmenté de 6 mm. La résistance à la traction des ancrages doit être supérieure à 100 KN après 24 heures. Le maintien du niveau altimétrique des armatures longitudinales est assuré par tout dispositif adapté.
- Par recouvrement :
Les nouvelles barres d'aciers sont liaisonnées aux armatures en attente par ligature avec un recouvrement de 40 fois le diamètre de la barre d'acier.

- **Ancrages transversaux**

De manière analogue au rétablissement des armatures longitudinales, parallèlement à la surface et perpendiculairement à l'axe du revêtement béton, des barres en acier

de 75 cm de long sont scellées dans le béton adjacent avec un espacement de 40 cm.

Les ancrages transversaux doivent se situer le plus près possible sous la nappe d'armatures longitudinales existantes et sous le nu inférieur des armatures longitudinales du revêtement à construire.



Photo 17 : Forage pour ancrage de barres d'aciers
(Crédit photo : CMR Exedra)

- **Reconstruction partielle de BAC**

Après la réalisation éventuelle de la fondation et la mise en place des aciers, le béton est ensuite coulé manuellement selon les règles de l'art.

Le délai de remise en circulation sera fonction du trafic et des résistances mécaniques du béton. Ce délai peut être fortement réduit par l'utilisation d'un accélérateur de prise.

7.3 - Recyclage

A la fin de la durée de service, le béton des giratoires peut être recyclé de deux manières :

- soit en utilisant la couche de béton en place comme sous-couche d'une nouvelle chaussée renforcée (sous conditions) ;
- soit par démolition des dalles béton, concassage et élaboration de coupures utilisables en l'état, ou incorporées dans des mélanges traités au liant hydraulique.

7.3.1 - Réutilisation en place en sous-couche

Si la configuration du giratoire permet une simple hausse de son niveau fini, les anciennes dalles de béton peuvent servir de sous-couches dans le cadre d'un renforcement par rechargement du giratoire. Ce rechargement dont l'épaisseur sera

de l'ordre de 6 à 12 cm peut être en matériaux bitumineux ou en Béton Haute Performance (BHP).

- **rechargement en matériaux bitumineux**

Quelle que soit la nature des dalles en béton à réutiliser (BAC, goujonné ou non) celles-ci seront couvertes d'un géotextile ou d'une géogridde anti-fissure imprégné(é) de bitume afin de retarder la remontée des fissures dans les matériaux bitumineux. En cas de battements des anciennes dalles, il est conseillé « d'asseoir » celles-ci par fragmentation avant le rechargement.

- **rechargement en Béton Haute Performance (BHP)**

Cette technique n'est pas développée à l'heure actuellement en France, mais a été utilisée avec succès dans plusieurs pays européens [réf. 14]

Il s'agit d'un béton de classe C60/75 au minimum armé d'un treillis soudé de fabrication spéciale (cintrage) de mailles minimales 5 cm x 5 cm ; le diamètre des aciers allant de 6 à 10 mm. Compte tenu des épaisseurs mises en œuvre, le BHP aura une granulométrie 0/6 ou 0/10 ; les granulats étant de code B selon la norme NF P 18-545.

Sur des dalles goujonnées ou non, le treillis soudé sera fixé en bords de dalles à l'aide de tiges en acier haute adhérence de diamètre 10 mm. Le BHP sera séparé de son support par un polyane et un géotextile non tissé, dispositifs destinés à empêcher les pénétrations d'eau dans le support et à assurer le drainage entre les deux bétons.

Sur un support en BAC, le treillis soudé du BHP sera fixé sur toute sa surface à l'aide de tiges en acier haute adhérence de diamètre 10 mm (photo 18).

Dans tous les cas la surface du BHP sera traitée (striage transversal, grenailage, sablage ou dénudage).

Un soin particulier sera observé lors du coulage du BHP et sa formulation adaptée afin d'éviter sa prise rapide et assurer sa mise place sous les treillis soudés.



Photo 18 : Fixation du treillis soudé sur le support du BHP

(Crédit photo : 11^{ème} Symposium Séville 2010)

7.3.2 - Recyclage après démolition et concassage

- **Démolition du béton**

Le procédé de démolition doit tenir compte de la présence ou non d'acier dans le béton. Pour les dalles goujonnées les seuls éléments métalliques à gérer sont les goujons qui peuvent être isolés relativement facilement. Dans le cas du béton armé continu, la présence des aciers, liée à la nécessité de tri en vue du recyclage impose une méthode de démolition spécifique.

Pour les dalles en béton goujonné ou non, après la réalisation des travaux préalables d'isolement et de décompression des dalles à démolir (saignée à la trancheuse et/ou sciage sur toute l'épaisseur du béton, carottages), le béton est démoli à la pelle équipée de BRH.

Cependant si la configuration du chantier le justifie les dalles béton peuvent être préalablement fragmentées à l'aide d'une machine à masses tombantes avant l'intervention des pelles équipées de BRH pour réduire les blocs à des tailles transportables.

Pour le Béton Armé Continu, si la nature des granulats du béton le permet, un premier rabotage est réalisé jusqu'à la nappe d'aciers, ce qui permet d'extraire ces derniers et de terminer la démolition soit par un second rabotage soit à l'aide d'une pelle équipée de BRH. Ce procédé d'exécution permet un tri du béton et des aciers avant leur évacuation vers les centres de recyclage.

Cependant, si la dureté des granulats du béton à démolir ne permet pas un rabotage, on procède à un découpage du BAC en dalles et ensuite à sa démolition à l'aide du BRH et d'une pelle munie d'une pince coupante pour la découpe des aciers. Le tri entre le béton et l'acier, plus difficile dans ce cas, a lieu au moment du concassage.

- **Concassage**

Compte tenu du volume de béton existant sur un giratoire, le béton démoli sera le plus souvent évacué vers un centre de recyclage pour y être concassé. Cependant, si le giratoire fait partie d'un chantier de démolition plus important, il peut s'avérer économique d'installer un concasseur mobile sur le site de démolition (photo 19).

Les blocs béton sont éventuellement réduits en taille plus petite à l'aide d'une pelle avec BRH avant leur passage dans le concasseur approvisionné par une pelle ou un chargeur et après un éventuel tri d'éléments impropres.

Les matériaux concassés sont stockés en tas et par classe granulaire. Les coupures granulométriques (0/d ou d/D) sont produites selon leur destination d'usage et doivent répondre à des fuseaux de spécifications.



Photo 19 : Concasseur mobile

(Crédit photo : RDS France)

- **Recyclage du béton concassé**

Les matériaux issus du concassage du béton peuvent être utilisés en l'état comme grave non traitée (GNT) en couche de forme, fondation ou comme matériau drainant. Après une étude en laboratoire, ces matériaux peuvent être utilisés en partie ou en totalité pour la fabrication de grave traitée au liant hydraulique.

Par ailleurs, les granulats de béton concassé (après enlèvement du sable) peuvent être utilisés dans les bétons pour la couche de fondation.

Des études sont actuellement en cours pour une incorporation des granulats de béton concassé dans le béton pour couche de roulement.

8 – Analyse du cycle de vie d'un giratoire en béton

8.1 – La méthodologie

Elle consiste à comptabiliser les impacts environnementaux durant la vie d'un ouvrage, depuis la fabrication des constituants de base jusqu'à la démolition de l'ouvrage et le traitement des déchets. Les inventaires de fabrication des constituants, sont issus des données fournies par l'ATILH (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques) en ce qui concerne le ciment, l'UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats) en ce qui concerne les granulats, EUROBITUME (Association européenne du bitume) en ce qui concerne le bitume et la base de données ECOINVENT (base de données environnementales universitaire Ecole Polytechnique de Zurich en Suisse et Université de Karlsruhe en Allemagne) en ce qui concerne l'eau, les goujons et les armatures. Le nombre important des flux élémentaires correspondant à un inventaire de cycle de vie d'un produit (plusieurs centaines de données) rend la manipulation des paramètres très lourde. Pour simplifier leur utilisation, on passe par un stade intermédiaire dans lequel les inventaires sont stockés sous forme agrégée. Cette agrégation a pour but de condenser les informations en les regroupant par thèmes. La méthodologie considère ainsi huit thèmes ou indicateurs environnementaux : la consommation d'énergie, la consommation d'eau, l'épuisement des ressources, la production de déchets, la production de déchets radioactifs, les émissions de gaz à effet de serre, l'acidification et l'eutrophisation.

8.2 - Les hypothèses de calcul

Dans le but de comparer les impacts environnementaux, une analyse de cycle de vie a été menée avec les hypothèses suivantes :

8.2.1 - Caractéristiques géométriques

Le projet à étudier est un carrefour giratoire de rayon extérieur 26 m et dont la largeur de la chaussée annulaire est de 8 m.

8.2.2 - Structures prises en compte

Les calculs sont réalisés pour 4 structures de chaussées avec les hypothèses suivantes :

- classe de trafic : TC6 (1000 poids lourds / jour, NE=15 000 000)
- classe de la plateforme support : PF3
- durée de dimensionnement : 30 ans.

Le dimensionnement des structures béton ont été effectués à partir des abaques figurant au § 3.1 de ce guide, avec une majoration de 10 % des épaisseurs de la couche de roulement pour tenir compte des sollicitations particulières en giratoire.

Structure 1 : Dalles goujonnées sur béton maigre : BC5g 22 cm / Bm 15 cm

Structure 2 : Dalles goujonnées sur Grave Bitume : BC5g 20 cm / GB3 10 cm

Structure 3 : Béton Armé Continu sur béton maigre : BAC 20 cm / Bm 15 cm

Structure 4 : Béton Armé Continu sur grave bitume : BAC 18 cm / GB3 10 cm

Nota

- *Il a été retenu une densité de 2,45 t/m³ pour tous les bétons et une densité de 2,35 t/m³ pour la grave bitume.*
- *Pour la dalle goudonnée, le calcul a été fait à raison de 12 goujons par voie de circulation. Ces goujons ont une longueur de 45 cm et un diamètre de 30 mm (conformément à la norme NF P 98-170). Ceci donne, au mètre carré de chaussées, un pourcentage en poids de l'acier par rapport au béton de 0,4%.*
- *Pour le béton armé continu, le calcul a été fait sur la base d'un taux d'acier de 0,67% par rapport à la section béton. Ceci donne, au mètre carré de chaussées, un pourcentage en poids de l'acier par rapport au béton de 2,36%.*

8.2.3 - Les séquences d'entretien

En l'état actuel de nos connaissances, il est très difficile d'établir avec précision des scénarios d'entretien pour des périodes longues, le sujet restant fort controversé. Cependant, à partir des constatations effectuées sur les chaussées neuves, et compte tenu de l'amélioration des méthodes et techniques de construction et d'entretien, il a été établi de façon pragmatique des scénarios plausibles pour les différentes structures envisagées, sur une période de 30 ans, qui s'établissent comme suit :

- **Pour la structure 1 (BC5g/BC3) et la structure 2 (BC5g/GB3) :**
 - Garnissage périodique des joints tous les 8 ans ;
 - Régénérescence de l'adhérence, tous les 15 ans, par grenailage ;
- **Pour la structure 3 (BAC/BC3) et la structure 4 (BAC/GB3) :**
 - Régénérescence de l'adhérence, tous les 15 ans, par grenailage.

8.2.4 - Le recyclage en fin de vie

En fin de vie, on fait l'hypothèse que, après démolition, tous les matériaux constitutifs sont transportés sur 20 km afin d'être recyclés en totalité pour d'autres ouvrages.

8.3 - Les hypothèses et les données de l'étude ACV d'un carrefour giratoire

Les hypothèses et les données relatives au transport des constituants de base, à la fabrication des mélanges en centrales, au transport des mélanges jusqu'au chantier, à la mise en œuvre, à l'entretien et au recyclage en fin de vie sont données en annexe B.

8.4 - Résultats comparatifs de l'analyse du cycle de vie

8.4.1 – Introduction

Un bilan par analyse de cycle de vie ACV a été effectué pour un carrefour giratoire, représentatif d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée

consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus de différentes bases de données et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie. Les résultats de ce bilan sont présentés sous forme d'un diagramme constitué de huit axes correspondant aux huit indicateurs environnementaux sélectionnés pour cette étude. Chaque axe porte une unité de mesure spécifique à l'indicateur étudié, permettant de comparer visuellement les écarts relatifs entre les différentes structures de chaussées sélectionnées dans le cadre de cette étude. Ainsi, plus le point visualisant l'indicateur étudié est proche de 0, plus l'impact environnemental de la structure est faible.

Les indicateurs environnementaux ont été calculés pour :

- la fabrication des matériaux de base (ciment, granulats, bitume, goujons et armatures),
- le transport des matériaux en phase de construction (transport des matériaux de base vers les centrales, transport des mélanges de la centrale vers le chantier),
- la fabrication des mélanges (Béton Maigre BC3, Béton BC5 et grave bitume),
- les opérations de chantier,
- l'entretien (y compris le transport des matériaux et des déchets),
- la fin de vie.

Nous rappelons ici la liste des indicateurs considérés :

- consommation d'énergie primaire, en Mégajoule (1 MJ = 0,277778 kWh) ;
- consommation d'eau, en kg ;
- contribution à l'épuisement des ressources, quantités de combustibles et de matières premières rares utilisées par le projet divisées par les réserves mondiales correspondantes, ce rapport est exprimé en kg de lantane ;
- déchets générés en kg ;
- déchets radioactifs générés en kg ;
- contribution à l'effet de serre (potentiel de réchauffement global, GWP), en kg d'équivalent CO₂ ;
- contribution à l'acidification, en kg d'équivalent SO₂ ;
- contribution à l'eutrophisation, en kg d'équivalent phosphate (PO₄³⁻).

Ces indicateurs peuvent être globaux, c'est-à-dire à l'échelle planétaire, comme les indicateurs énergie et gaz à effet de serre, ou locaux/régionaux tels l'acidification, l'eutrophisation, etc.

Tous ces indicateurs sont équivalents en matière d'impact sur l'environnement, le caractère local ou régional n'enlevant rien à l'importance de chacun.

8.4.2 - Présentation comparative des résultats

8.4.2.1 - Comparaison des structures sur la phase de construction.

La figure 18 présente les résultats de la comparaison des quatre structures retenues sur les carrefours giratoires, dont deux sont totalement en béton et deux sont mixtes (couche de roulement en béton et couche de fondation en grave bitume). Ces résultats, présentés dans le tableau 6, correspondent uniquement à la phase « Construction ».

En matière de consommation énergétique, au mètre carré de chaussées, la structure 1 « BC5g/BC3 » en dalles à joints goujonnés est plus favorable successivement que les structures 2, 3 et 4. (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 1 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 100**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 139**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 143**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 177**

En matière de consommation d'eau, au mètre carré de chaussées, la structure 2 est plus favorable successivement que les structures 1 en dalles à joints goujonnés et les structures 4 et 3 en béton armé continu (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 129**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 188**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 152**

En matière d'épuisement des ressources naturelles, au mètre carré de chaussées, la structure 1 « BC5g/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 3, 2 et 4 (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 1 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 100**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 161**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 125**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 183**

En matière de production de déchets au mètre carré de chaussées, la structure 4 «BAC/GB3 » est plus favorable successivement que les structures 2,3 et 1 (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 4 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 122**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 107**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 114**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 100**

Tableau 6 a : ACV phase Construction des quatre structures routières en béton (au m²)				
Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	6,9146E+02	9,6015E+02	9,8781E+02	1,2224E+03
Eau (Kg)	3,7567E+02	2,9210E+02	5,4885E+02	4,4567E+02
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	2,4497E-01	3,9477E-01	3,0579E-01	4,4797E-01
Déchets (kg)	3,3763E+00	2,9780E+00	3,1767E+00	2,7776E+00
Déchets radioactifs (kg)	6,9061E-01	6,5805E-01	6,5305E-01	6,2063E-01
GES (kg CO₂)	8,2603E+01	6,0593E+01	9,3953E+01	7,0286E+01
Acidification (kg SO₂)	2,3000E-01	1,7296E-01	2,5738E-01	1,9615E-01
Eutrophisation (kg PO₄³⁻)	3,4822E-02	2,4375E-02	3,7015E-02	2,6130E-02

Tableau 6 b : ICV Construction - Au m² – Bitume, EUROBITUME 2011				
Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	100	139	143	177
Eau (Kg)	129	100	188	152
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	100	161	125	183
Déchets (kg)	122	107	114	100
Déchets radioactifs (kg)	111	106	105	100
GES (kg CO₂)	136	100	155	116
Acidification (kg SO₂)	133	100	149	113
Eutrophisation (kg PO₄³⁻)	143	100	152	107

Tableau 6 : ACV et ICV phase Construction des quatre structures routières en béton (au m²)

ACV - Phase de construction

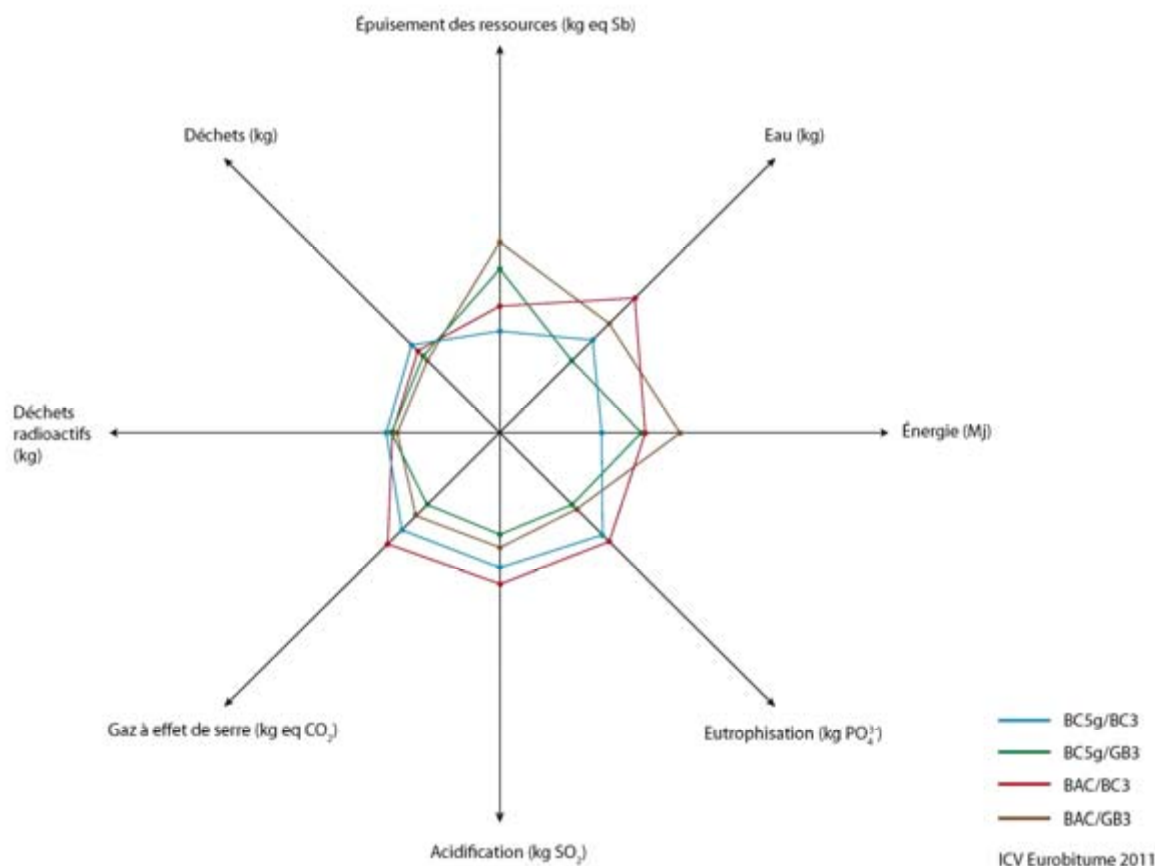


Figure 18 : Diagramme synthétique des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton, pour la construction de la chaussée

En matière de production de déchets radioactifs, au mètre carré de chaussées, la Structure 4 est plus favorable successivement que les structures 3, 2 et 1 (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 4 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 111**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 106**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 105**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 100**

En matière de Gaz à Effet de Serre « GES », évalué au mètre carré de chaussées, La structure 2 est plus favorable successivement que les structures 4, 1 et 3 (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 136**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 155**

- **Structure 4 (BAC/GB3) : 116**

En matière d'acidification, ramenée au mètre carré de chaussées, la structure 2 « BC5g/GB3 » est plus favorable successivement que les structures 4, 1 et 3 (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 133**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 149**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 113**

En matière d'eutrophisation, au mètre carré de chaussées, la structure 2 « BC5g/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 4, 1 et 3 en béton armé continu et la structure 5 en matériaux bitumineux. (cf. figure 18).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 143**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 152**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 107**

8.4.2.2 - Comparaison des structures routières sur le cycle complet : phases de construction, d'entretien et de fin de vie.

La figure 19 présente les résultats de la comparaison des quatre structures retenues sur les carrefours giratoires, sur le cycle complet construction, entretien et fin de vie. Ces résultats sont présentés dans le tableau 7.

En matière de consommation énergétique, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 1 « BC5g/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 2, 3 et 4 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 1 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 100**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 138**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 140**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 173**

En matière de consommation d'eau, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 2 « BC5g/GB3 » est plus favorable successivement que les structures 1, 4 et 3 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 128**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 187**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 152**

En matière d'épuisement des ressources naturelles, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 1 « BC5g/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 3, 2 et 4 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 1 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 100**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 159**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 122**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 178**

Tableau 7 a : ACV cycle construction + entretien + fin de vie - 1 m² Bitume, EUROBITUME 2011				
Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	7,0792E+02	9,7687E+02	9,9331E+02	1,2282E+03
Eau (Kg)	3,7692E+02	2,9337E+02	5,4937E+02	4,4621E+02
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	2,5269E-01	4,0262E-01	3,0835E-01	4,5067E-01
Déchets (kg)	3,3875E+00	2,9893E+00	3,1783E+00	2,7792E+00
Déchets radioactifs (kg)	7,0899E-01	6,7683E-01	6,6147E-01	6,2945E-01
GES (kg CO₂)	8,3511E+01	6,1522E+01	9,4361E+01	7,0714E+01
Acidification (kg SO₂)	2,3188E-01	1,7487E-01	2,5819E-01	1,9699E-01
Eutrophisation (kg PO₄³⁻)	3,4954E-02	2,4510E-02	3,7071E-02	2,6188E-02

Tableau 7 b : ACV cycle construction + entretien + fin de vie - 1 m² Bitume, EUROBITUME 2011				
Indicateur	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4
Energie (MJ)	100	138	140	173
Eau (Kg)	128	100	187	152
Epuisement des Ressources (kg eq Sb)	100	159	122	178
Déchets (kg)	122	108	114	100
Déchets radioactifs (kg)	113	108	105	100
GES (kg CO₂)	136	100	153	115
Acidification (kg SO₂)	133	100	148	113
Eutrophisation (kg PO₄³⁻)	143	100	151	107

Tableau 7 : ACV et ICV phase de construction, d'entretien et de fin de vie des quatre structures routières en béton (au m²)

ACV - Cycle complet

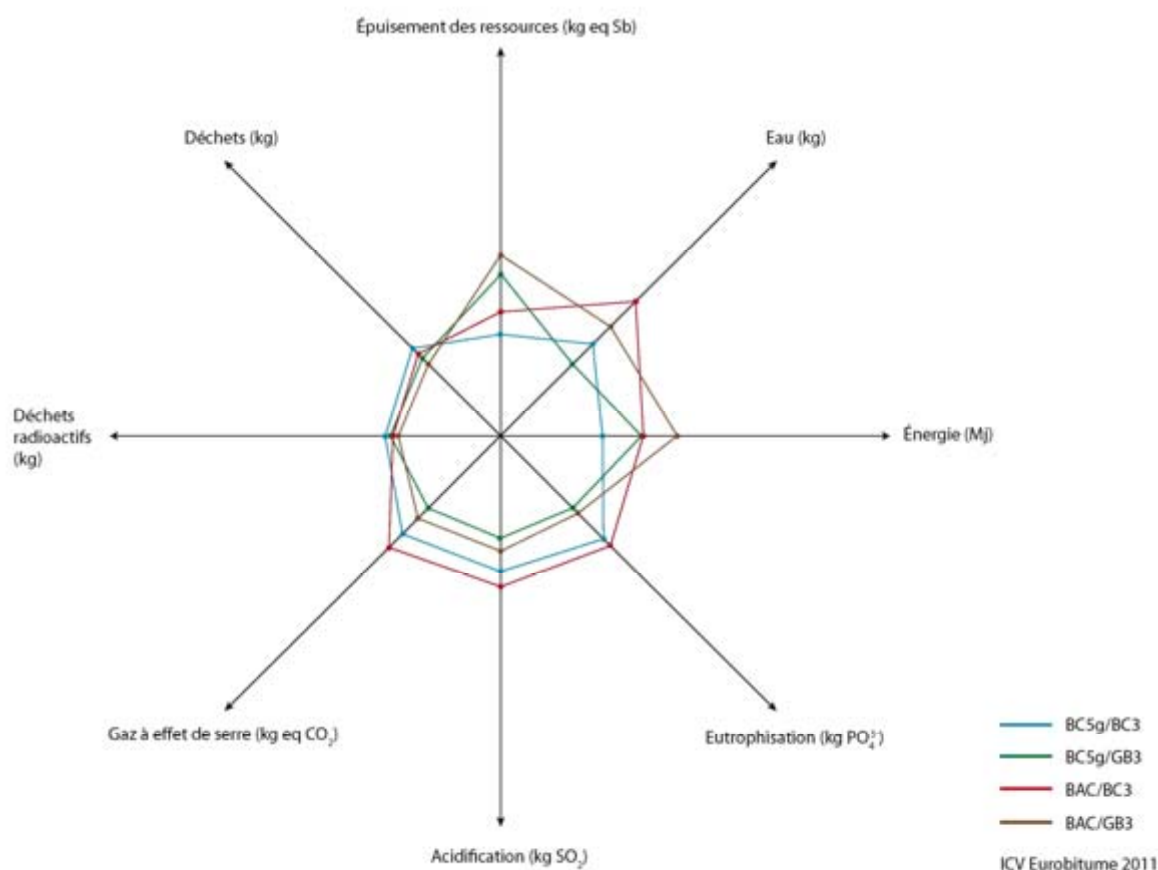


Figure 19 : Diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures en béton – phase de construction, d'entretien et de fin de vie

En matière de production de déchets, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 4 « BAC/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 2, 3 et 1 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 4 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 122**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 108**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 114**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 100**

En matière de production de déchets radioactifs, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 4 « BC5g/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 3, 2 et 1 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 4 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 113**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 108**

- **Structure 3 (BAC/BC3) : 105**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 100**

En matière de gaz à effet de serre, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 2 est plus favorable successivement que les structures, 4, 1 et 3 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 136**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 153**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 115**

En matière d'acidification, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 2 « BC5g/GB3 » est plus favorable successivement que les structures 4, 1 et 3 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 2 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 133**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 148**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 113**

En matière d'eutrophisation, au mètre carré de chaussées et sur le cycle complet, la structure 2 « BC5g/BC3 » est plus favorable successivement que les structures 4, 1 et 3 (cf. figure 19).

Si on prend comme référence la structure 1 et on lui affecte la valeur 100, les autres structures auront respectivement les valeurs suivantes :

- **Structure 1 (BC5g/BC3) : 143**
- **Structure 2 (BC5g/GB3) : 100**
- **Structure 3 (BAC/BC3) : 151**
- **Structure 4 (BAC/GB3) : 107**

8.4.3 – Conclusion

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué pour un carrefour giratoire, représentatif d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus de différentes bases de données, et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

- Sur les phases **de construction** uniquement, les structures 1 et 3 « tout béton » sont plus favorables sur l'indicateur « Epuisement des ressources » que les

structures 2 et 4 à fondation bitumineuse (à cause du bitume). En outre, les structures 1 et 2 en dalles goujonnées sont plus favorables sur les indicateurs « Energie » et « Eau » que les structures 3 et 4 en BAC (à cause de l'armature du BAC). En revanche, les structures 2 et 4 à fondation bitumineuse sont plus favorables sur les indicateurs de déchets, de déchets radioactifs, de Gaz à Effet de Serre, d'acidification et d'eutrophisation que les structures « tout béton ».

Globalement, la structure 2 « dalle goujonnée sur grave bitume » présente le meilleur bilan en matière d'analyse de cycle de vie.

- **Sur un cycle complet** (phase de construction + phase d'entretien + phase de fin de vie), on peut tirer exactement le même bilan et les mêmes conclusions que pour les phases de construction.
Aussi, la structure 2 « dalle goujonnée sur grave bitume » présente-t-elle le meilleur bilan en matière d'analyse de cycle de vie.
- **Les impacts générés par l'entretien et le recyclage en fin de vie des chaussées béton est faible par rapport aux impacts générés durant la phase de construction.**

Il est à noter que cette étude de comparaison ne prend pas en compte ni la réduction de la consommation des véhicules quand ils roulent sur un revêtement en béton, ni la réduction du réchauffement climatique par l'effet « albédo » (propriété de réflexion de la lumière limitant l'effet de serre) qu'offrent les revêtements clairs. Ces deux avantages, non intégrés à cette comparaison, auraient engendré des réductions très importantes des impacts environnementaux des structures béton, compensant ainsi largement les impacts engendrés lors de la phase de construction, entretien et fin de vie.

Annexe A : Références bibliographiques

Documents cités dans l'ouvrage

- [réf. 1] Aménagement des carrefours interurbains du CERTU ; (décembre 1998)
- [réf. 2] Norme NF P 98-086 dimensionnement des chaussées neuves (octobre 2011)
- [réf. 3] Catalogue des structures types de chaussées neuves du SETRA, LCPC ; (1998)
- [réf. 4] Conception structurelle d'un giratoire en milieu urbain du CERTU ; (janvier 2000)
- [réf. 5] Logiciel Struct-Urb du CERTU ; (2008)
- [réf. 6] Guide de dimensionnement des giratoires en béton de Cimbéton T63 ; (2003)
- [réf. 7] Carrefours giratoires ; des solutions durables en béton de ciment de Cimbéton T56 ; (2005)
- [réf. 8] Revues Routes de Cimbéton, n° 78, 82, 85, 103, 107, 112, 113, 115
- [réf. 9] Guide de dimensionnement des Structures BCMC CIMBETON référence T 60 ; (2005)
- [réf. 10] Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussées SETRA-LCPC ; (1994)
- [réf. 11] Norme NF P 98-170 ; Chaussées en béton de ciment, exécution et contrôle
- [réf. 12] Giratoire en béton FEBELCEM (octobre 2011)
- [réf. 13] 11ème Symposium de la route en béton (Séville 2010)

Autres documents de référence

- Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière (Livre I - 8 parties) - (JO / mise à jour régulière) ;
- Manuels du Chef de Chantier pour les travaux sur giratoire – voir volume 1 (Routes bidirectionnelles – SETRA / 2000) et volume 3 (Voiries Urbaines – CERTU / 2003) ;
- Guide pratique d'entretien, voiries urbaines et espaces publics en béton de ciment du SPECBEA ; (2008) ;
- Guide Carrefours Urbains du CERTU ; (2010)

Annexe B : Les données environnementales de l'étude

1 - Les inventaires de fabrication des constituants de base (données environnementales)

Ils sont issus de différentes sources ou bases de données.

En ce qui concerne le ciment, il a été retenu un ciment CEM II/B-L. Ce choix a été fait pour deux raisons :

- Ce ciment est produit dans toutes les usines, donc disponible sur tout le territoire français ;
- Ce ciment est représentatif de la production française en matière d'impacts environnementaux. Il en constitue une bonne moyenne. En effet, il se situe entre le ciment CEM I (impacts élevés) et les CEM III ou CEM V (impacts faibles).

Les impacts environnementaux du CEM II/B-L ont été calculés, en respectant les exigences de la norme NF P 01-010, à partir de son Inventaire de Cycle de Vie « ICV », calculé avec le logiciel TEAM (Source ATILH – 2011).

En ce qui concerne le bitume, il a été retenu comme source la base de données EUROBITUME (Source EUROBITUME 2011). On précise toutefois que, pour se conformer aux stipulations de la norme NF P 01-010, il a été retenu comme « Energie » l'énergie primaire totale qui est la somme de l'énergie de production du bitume et de l'énergie matière.

En ce qui concerne les granulats, il a été choisi comme source de données l'Union Nationale des Producteurs de Granulats « UNPG » (Source UNPG – 2000).

En ce qui concerne les goujons et les armatures, il a été choisi comme source la base de données suisse « ECOINVENT », ne disposant pas en France de données sur ces produits.

En ce qui concerne l'eau, il a été choisi comme source la base de données suisse « ECOINVENT », ne disposant pas en France de données sur ce produit.

En ce qui concerne le fioul, il a été choisi comme source la base de données suisse « ECOINVENT », ne disposant pas en France de données sur ce produit.

2 - Les inventaires de fabrication des mélanges (données environnementales)

Les consommations de fuel par les centrales de fabrication des mélanges sont données dans le tableau B1.

Type de centrale de fabrication	Consommation de fioul (litre fioul / kg de produit fabriqué)
Centrale à Béton	0,001
Centrale d'enrobage	0,007

Tableau B1 : Consommation de fioul par les centrales de malaxage

Les inventaires de fabrication de la grave-bitume GB3

Les constituants de base (granulats et bitume) sont mélangés dans une centrale d'enrobage, dont la consommation est donnée dans le tableau B2. Les indicateurs correspondant à l'utilisation du diesel sont obtenus de la base ECOINVENT.

À partir de ces données, les impacts de la Grave-Bitume GB3 sont évalués, pour une quantité correspondant à 1 mètre carré de chaussée (10 cm de GB3), en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base.

Les inventaires de fabrication du béton maigre BC3

Les constituants de base (Ciment, Granulats et eau) sont mélangés dans une centrale à béton, dont la consommation est donnée dans le tableau B2. Les indicateurs correspondant à l'utilisation du diesel sont obtenus de la base ECOINVENT.

À partir de ces données, les impacts du Béton Maigre BC3 sont évalués, pour une quantité correspondant à 1 mètre carré de chaussée (15 cm de BC3), en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base.

Les inventaires de fabrication du béton de ciment à joints goujonnés BC5g

Les constituants de base (Ciment, Granulats et eau) sont mélangés dans une centrale à béton, dont la consommation est donnée dans le tableau B2. Les indicateurs correspondant à l'utilisation du diesel sont obtenus de la base ECOINVENT.

À partir de ces données, les impacts du Béton de Ciment à joints goujonnés BC5g sont évalués, pour des quantités correspondant à 1 mètre carré de chaussée dotée de goujons (pour 18 et 20 cm de BC5g), en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base du béton et selon le pourcentage en masse du béton et de l'acier des goujons.

Les inventaires de fabrication du béton armé continu BAC

Les constituants de base (Ciment, Granulats et eau) sont mélangés dans une centrale à béton, dont la consommation est donnée dans le tableau B2. Les indicateurs correspondant à l'utilisation du diesel sont obtenus de la base ECOINVENT.

À partir de ces données, les impacts du Béton Armé Continu BAC sont évalués, pour des quantités correspondant à 1 mètre carré de chaussée en béton armé (pour 16 et 18 cm de BAC), en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base du béton et selon le pourcentage en masse du béton et de l'acier des armatures.

3 - Les inventaires de transport des constituants et des mélanges (données environnementales)

Les distances de transport, considérées dans la présente étude, pour les constituants de base et les mélanges sont données dans le tableau B2.

On fait l'hypothèse que les constituants de base et les mélanges sont transportés par camion de 40 t.

Trajet	Distance
Raffinerie-centrale (bitume)	300 km
Cimenterie-centrale (ciment)	150 km
Carrière-centrale (granulats)	100 km
Aciérie-chantier (goujons et armatures)	500 km
Eau	0 km
Centrale-chantier (béton prêt à l'emploi et matériaux bitumineux)	20 km
Fin de vie (tous les matériaux)	20 km

Tableau B2 – Distance de transport des constituants et des mélanges

Pour obtenir les impacts correspondant au transport des constituants de base et des mélanges (béton maigre BC3, béton de ciment à joints goujonnés BC5g, béton armé continu BAC et grave bitume GB3), nous avons retenu les hypothèses suivantes :

- Les constituants de base (granulats, ciment, eau, goujons ou armatures, bitume) sont transportés de leurs lieux de production jusqu'à la centrale de malaxage, sur des distances évaluées et fournies dans le tableau B2.
- Les mélanges sont transportés de la centrale (centrale d'enrobage, centrale à béton) jusqu'au chantier, sur une distance moyenne, évaluée à 20 km,
- Le transport s'effectue en camion de 40 t, dont la charge utile est de 25 t et dont la consommation s'élève à 39 litres de fuel aux 100 km. Les indicateurs correspondant à la consommation du fuel sont obtenus de la base ECOINVENT. On considère un pouvoir calorifique de 42,8 MJ/kg et une masse volumique de 0,84 kg/l.

À partir de ces données, les impacts générés par le transport, des constituants élémentaires et des mélanges nécessaires à la réalisation d'un mètre carré de chaussée, sont évalués (y compris l'armature pour le BAC ou le goujon pour le BC5g), en prenant en compte les pourcentages des différents constituants de base du béton et selon le pourcentage en masse du béton et de l'acier.

4 - Les inventaires de mise en œuvre

Les consommations de combustibles pour les différentes machines utilisées durant le chantier sont données dans le tableau B3.

Type de machine	Consommation (par jour)	Rendement (par jour)
Pelle ou chargeur	75 litres fioul	5 000 m ²
BRH	75 litres fioul	5 000 m ²
Camion 40 t	39 litre fioul	100 km
Machine à Coffrage glissant	75 litres fioul	BC3 : 4 000 m ² BC5g : 3 000 m ² BAC : 2 500 m ²
Finisseur grave-bitume	82 litres fioul	1 500 m ²
Compacteur grave-bitume	64 litres fioul	1 000 m ²
Guillotine pour fragmenter les dalles béton	75 litres fioul	5000 m ²
Machine de grenailage	275 litres fioul	13 000 m ²
Entretien des joints	75 litres fioul	300 ml
	0,05 litres bitume/m ² de chaussée	

Tableau B3 : Les données environnementales des machines de mise en œuvre, d'entretien et de recyclage en fin de vie

Annexe C : Fiches des références de giratoire béton en France

- Giratoires de Thoiras – RD 735
- Giratoire Euro Chanel – RD 925
- Aménagement de sécurité en traversée d'agglomération RD 13 / RD 45
- Giratoire de Perpignan RD 617
- Giratoire des Campani – RD 735
- Giratoire nord – Échangeur de la Vaupalière
- Giratoire sud – Échangeur de la Vaupalière
- Giratoire Airvault – Deux-sèvres (79)
- Giratoire des Landiers nord Chambéry – Savoie (73)
- Giratoire de Gron – Yonne (89)
- Giratoire de Saint Jean de Cardonnay (76)
- Giratoires (3) de Saint-Pierre-La-Cour (53)
- Giratoire des Landiers - Chambéry (73)
- Giratoire de la Houille Blanche - Chambéry (73)
- Giratoire du Phare - Chambéry (73)
- Giratoire D'Eulmont – Meurthe-et- Moselle (54)
- Giratoire de Diors – Indre (36)
- Giratoire de Crouy – Aisne (02)
- Giratoires (3) de la ZI de Bassens – Gironde (33)

GIRATOIRE DE THOIRAS – RD 735 (17)

- **Lieu** : Saint Martin de Ré (17)
- **Maître d'ouvrage** : Conseil Général Charente Maritime
- **Maître d'œuvre** : Direction Départementale Équipement – Subdivision Ars en Ré
- **Entreprise** : SACER - COLAS
- **Classe de trafic** : T2
- **Plateforme** : PF2
- **Rayon intérieur** : 12 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 8 m
- **Voies d'accès** : béton bitumineux
- **Structure** : BC5 24 cm / GTLH 15 cm / GNT 15 cm
- **Mise en œuvre du béton** : règle et aiguilles vibrantes
- **Traitement de surface** : désactivation
- **Joints de retrait/flexion transversaux** : sciés
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : coffré et goujonné
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : mai 1993

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/3** : 535 Kg
- **Gravillons**
 - **Calcaire 10/20** : 750 kg
 - **Diorite 10/20** : 500 Kg
- **Ciment CEM II/A 42,5 R PM** : 330 Kg
- **Eau** : 180 litres
- **Agent plastifiant** : 0,2% (*)
- **Entraîneur d'air** : 0,03% (*)

(*) du poids de ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 28 jours** : 35 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** -
- **Affaissement au cône d'Abrams** -
- **Air occlus** -

CONSTATATIONS A 18 ANS

Usure des gravillons en calcaire trop tendre, choisis pour leur aspect esthétique.

GIRATOIRE EURO CHANEL – RD 925 (76)

- **Lieu** : Neuville lès Dieppe (76)
- **Maître d'ouvrage** : Conseil Général Seine Maritime
- **Maître d'œuvre** : Direction Départementale des Infrastructures
- **Entreprise** : non identifiée
- **Classe de trafic** : T1
- **Plateforme** : PF1
- **Rayon intérieur** : 30 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 10 m
- **Voies d'accès** : béton bitumineux
- **Structure** : BC5 28 cm / GNT 30 cm / Géotextile
- **Mise en œuvre béton** : règle et aiguilles vibrantes
- **Traitement de surface** : balayage
- **Joint de retrait/flexion transversaux** : sciés
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joint de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : 1995

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/5** : 850 Kg
- **Graviers 6/20** : 970 Kg
- **Ciment CEM II/A 32,5 R** : 370 Kg
- **Eau** : 180 litres
- **Agent plastifiant** : 1,5% (*)
- **Entraîneur d'air** : 0,012% (*)

(*) du poids de ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** : 23 MPa
- **Résistance en fendage à 7 jours** : 2,9 MPa
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 30 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** : 3,53 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** : 7 cm
- **Air occlus** : -

CONSTATATIONS A 15 ANS

Aucune dégradation.



(Crédit photo : CIMBETON)

AMÉNAGEMENT DE SÉCURITÉ EN TRAVERSÉE D'AGGLOMÉRATION RD 13/ RD 45 (68)

- **Lieu** : Commune de Sundhoffen (68)
- **Maître d'ouvrage** : Commune de Sundhoffen
- **Maître d'œuvre** : Direction Départementale de l'Équipement-
- **Entreprise** : RICHERT
- **Classe de trafic** : T2
- **Plateforme** : PF3
- **Rayon intérieur** : 10 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 8 m
- **Voies d'accès** : béton bitumineux
- **Structure** : BC5 22 cm / fondation en béton maigre 15 cm
- **Mise en œuvre béton** : règle et aiguilles vibrantes
- **Traitement de surface** : désactivation
- **Joints de retrait/flexion transversaux** : sciés
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : coffré et fers de liaison
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : juin 1997

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/8 concassé** : 730 Kg
- **Gravillons 10/25** : 1070 Kg
- **Ciment CEM II/A 42,5 CP 2** : 330 Kg
- **Eau** : 160 litres
- **Agent plastifiant** : 0,3% (*)
- **Entraîneur d'air** : 0,3% (*)

(*) du poids de ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance en fendage à 7 jours** : 2,8 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** : 3 MPa
- **Affaissement au cône d'Abrams** : 7 cm
- **Air occlus** : 4,5%

CONSTATATIONS A 14 ANS

Aucune dégradation.

GIRATOIRE DE PERPIGNAN – RD 617 (66)

- **Lieu** : RD 617
- **Maître d'ouvrage** : Conseil Général des Pyrénées Orientales
- **Maître d'œuvre** : Direction Départementale de l'Équipement
- **Entreprise** : TSS
- **Classe de trafic** : T0
- **Plateforme** : PF3
- **Rayon intérieur** : 5 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 10 m
- **Voies d'accès** : béton goudonné et béton armé continu
- **Structure** : béton goudonné 20 cm / béton bitumineux 6 cm
- **Mise en œuvre béton** : machine à coffrage glissant
- **Traitement de surface** : balayage
- **Joints de retrait/flexion transversaux** : sciés et goudonnés
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joints de construction** : coffrés et goudonnés
- **Date de réalisation** : 1999

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** : 770 Kg
- **Graviers 4/20** : 1080 Kg
- **Ciment CEM II/B 32,5 R (LS)** : 330 Kg
- **Eau** : 155 l
- **Agent plastifiant** : 0,30% (*)
- **Entraîneur d'air** : 0,04% (*)

(*) du poids de ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** : 26 MPa
- **Résistance en fendage à 7 jours** : 3 MPa
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 32,6 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** : 3,4 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** : 4 cm
- **Air occlus** : 4,5%

CONSTATATIONS A 10 ANS

Aucune dégradation.

GIRATOIRES NORD ET SUD – ÉCHANGEUR DE LA VAUPALIÈRE (76)

- **Lieu** : La Vaupalière
- **Maître d'ouvrage** : Conseil Général Seine Maritime
- **Maître d'œuvre** : Direction Départementale des Infrastructures
- **Entreprise** : COLAS – sous-traitant béton : ROCLAND
- **Classe de trafic** : T0+ – 14000 V/j
- **Plateforme** : PF3 (matériaux traités avec un liant hydraulique routier)
- **Rayon intérieur** : 21 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 9 m
- **Voies d'accès** : béton bitumineux
- **Structure** : BC5 28 cm / couche non érodable en BBSG 5 cm
- **Mise en œuvre béton** : règle et aiguilles vibrantes
- **Traitement de surface** : Balayage
- **Joint de retrait/flexion transversaux** : sciés
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joint de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : novembre 1999.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** : 780 Kg
- **Gravillons 10/20** : 1000 Kg
- **Ciment CEM II/B 32,5 R (LS)** : 350 Kg
- **Eau** : 159 litres
- **Agent plastifiant** : 0,25% (*)
- **Entraîneur d'air** : 0,04% (*)

(*) du poids de ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** : 26 MPa
- **Résistance en fendage à 7 jours** : 2,1 MPa
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 32,6 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** : 2,7 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** : 7 à 9 cm
- **Air occlus** : 4,6%.

CONSTATATIONS A 10 ANS

Quelques fissures sans gravité.



(Crédit photo : CIMBETON)

GIRATOIRE AIRVAULT – DEUX-SÈVRES (79)

- **Lieu** : Commune d'Airvault
- **Maître d'ouvrage** : Commune d'Airvault – Cofinanceur : C.G des Deux-Sèvres
- **Maître d'œuvre** : DDE – Subdivision d'Airvault – Assistance technique au maître d'oeuvre : CETE ouest
- **Entreprise** : Colas centre-ouest - Sous-traitant béton : Claude Niveleau – Airvault
- **Classe de trafic** : T1 trafic = 700 poids lourds par jour
- **Plateforme** : PF3
- **Rayon intérieur** : 14 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 8 m
- **Voies d'accès** : béton à joints goujonnés : 22 cm – larg. 15 m, long. 20 m
- **Structure** : béton armé continu 20 cm / grave bitume 10 cm
- **Mise en œuvre béton** : règle et aiguilles vibrantes
- **Traitement de surface** : balayage
- **Joints de retrait/flexion transversaux** : néant
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés / jonction enrobé : béton voie d'accès, dalle de transfert de forme trapézoïdale
- **Date de réalisation** : avril 2001.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/2** : 280 Kg
- **Sable 0/4** : 630 Kg
- **Gravillons** :
 - **4/10** : 260 Kg
 - **10/20** : 820 Kg
- **Ciment CEM I 52,5** : 380 Kg
- **Eau** : 180 litres
- **Agent plastifiant réducteur d'eau** : 1,61 kg
- **Entraîneur d'air** : 0,18 kg.

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** : 26 MPa
- **Résistance en fendage à 7 jours** : 2,1 MPa
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 32,6 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** : (moyenne) > 3,3 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** : 7 à 9 cm
- **Air occlus** : 4,5%

CONSTATATIONS A 10 ANS

Aucune dégradation.



(Crédit photo : CIMBETON)

GIRATOIRE DES LANDIERS NORD CHAMBÉRY – SAVOIE (73)

- **Lieu** : Zone d'activités des landiers nord – Chambéry
- **Maître d'ouvrage** : Ville de Chambéry
- **Maître d'œuvre** : Service technique de la ville de Chambéry
- **Entreprise** : Groupement GERLAND/Jean Lefebvre – Sous-traitant béton : Mauro
- **Classe de trafic** : T3⁺ (trafic \geq 150 poids lourds par jour)
- **Plateforme** : PF3
- **Rayon intérieur** : 7,50 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 8 m
- **Voies d'accès** : béton bitumineux
- **Structure** : **BCMC neuf** 10 cm BCMC / 10 cm GB 0/14 / 5 cm couche de réglage / 80 cm tout venant 0/100
- **Mise en œuvre béton** : règle et aiguilles vibrantes
- **Traitement de surface** : désactivation
- **Joint de retrait/flexion transversaux** : sciés
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joint de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : mars 2001.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** : 805 Kg
- **Gravillons 5/10** : 1005 Kg
- **Ciment CEM I 52,5 PM CP2** : 370 Kg
- **Eau** : 175 litres
- **Agent plastifiant HI** : 0,5% du poids du ciment
- **Entraîneur d'air SIKA AER** : 0,18% du poids du ciment.

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** : 26 MPa
- **Résistance en fendage à 7 jours** : 2,1 MPa
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 32,6 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** : 2,7 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** : 7 à 9 cm
- **Air occlus** : 4,5%

CONSTATATIONS A 10 ANS

Aucune dégradation.

GIRATOIRE DE GRON – YONNE (89)

- **Lieu** : Déviation sud de Sens – intersection RNG et RNGO
- **Maître d'ouvrage** : État - Direction des Routes
- **Maître d'œuvre** : DDE de l'Yonne
- **Entreprise** : Routes et Chantiers Modernes (titulaire) – SABA, sous-traitant béton
- **Classe de trafic** : TC6₂₀ : 15 à 20 millions de poids lourds
- **Plateforme** : PF3
- **Rayon extérieur** : 30 mètres
- **Largeur chaussée annulaire** : 9 mètres – trottoir 2 mètres
- **Voies d'accès** :
- **Structure** : 23 cm BC5 goujonné / 15 cm BC3 (interface décollée)
- **Mise en œuvre béton** : machine à coffrage glissant
- **Traitement de surface de l'anneau** : brossage – trottoir désactivé
- **Joints de retrait/flexion transversaux** :
 - joints dans le béton de surface sciés et goujonnés
 - joints dans le béton de fondation marqués avec un fer à joints
- **Espacement de joints transversaux** : de 4 à 5,75 m selon le rayon
- **Joints retrait/flexion longitudinal** :
 - joint dans le béton de surface sciés et goujonnés
 - joint dans le béton de fondation marqué avec un fer à joints
- **Joints de construction** : goujonnés
- **Date de réalisation** : avril 2002.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- Sable 0/4
- Gravillons 10/20
- Ciment CEM II/B 32,5 R (LS)
- Eau
- Agent plastifiant
- Entraîneur d'air

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- Résistance à la compression à 7 jours
- Résistance en fendage à 7 jours
- Résistance à la compression à 28 jours
- Résistance en fendage à 28 jours : $\geq 2,7$ MPa
- Affaissement au cône d'Abbrams : 4,5 cm
- Air occlus : entre 4 et 6%

CONSTATATIONS A 9 ANS

Globalement satisfaisant, malgré l'apparition de quelques cassures au niveau des zones de raccordement dues à un problème de calepinage.



(Crédit photo : CIMBETON)

GIRATOIRES DE SAINT-PIERRE-LA-COUR (53) Trois giratoires : VC 8 – Central – RD 163

- **Lieu** : Contournement de Saint-Pierre-La-Cour
- **Maître d'ouvrage** : Conseil Général de la Mayenne, RFF et LAFARGE Ciments
- **Maître d'œuvre** : SNCF - Direction Départementale des Infrastructures routières
- **Entreprise** : Eurovia Béton
- **Classe de trafic** : T1 (5 000 véhicules par jour)
- **Plateforme** : PF3 / PF4 (couche de forme traitée aux liants hydrauliques)
- **Rayon extérieur** : 26 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 9 m
- **Voies d'accès** : béton armé continu BAC (15 cm) / grave bitume GB3 (9 cm)
- **Structure** : base/roulement : béton à joints goujonnés BC5g (20 cm) – fondation : grave bitume GB3 (9 cm)
- **Mise en œuvre béton** : aiguilles et règle vibrantes
- **Traitement de surface de l'anneau** : brossage
- **Joints de retrait/flexion radiaux** : sciés
- **Espacement de joints radiaux** : de 2,75 m à 5 m
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : juillet / août 2005.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** :
- **Gravillons 10/20** :
- **Ciment CEM II/B 42,5 R (LS)** : 350 kg
- **Eau** :
- **Agent plastifiant** :
- **Entraîneur d'air** :

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** :
- **Résistance en fendage à 7 jours** :
- **Résistance à la compression à 28 jours** :
- **Résistance en fendage à 28 jours** :
- **Affaissement au cône d'Abbrams** :
- **Air occlus** :

CONSTATATIONS A 6 ANS

Bon comportement général.
Quelques fissures d'angle localisées.



(Crédit photo : CIMBETON)

GIRATOIRE DU PHARE - CHAMBERY (73)

- **Lieu** : Bissy
- **Maître d'ouvrage** : Communauté d'Agglomération de Chambéry Métropole
- **Maître d'oeuvre** : Sitétudes
- **Entreprise** : Sols Alpes
- **Classe de trafic** : T1 (400 P.L. par jour)
- **Plateforme** : PF3 (couche de forme traitée aux liants hydrauliques)
- **Rayon extérieur** : 26 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 9 m
- **Voies d'accès** : enrobés
- **Structure** : BC5 27 cm / structure ancienne rabotée
- **Mise en œuvre béton** : aiguilles et règle vibrantes
- **Traitement de surface de l'anneau** : grenailage
- **Joints de retrait/flexion radiaux** : sciés
- **Espacement de joints radiaux** : de 2,75 m à 6 m
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : août 2008.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** : 670 kg
- **Gravillons 4/10** : 365 kg
- **Gravillons 10/20** : 720 kg
- **Ciment CEMI 52,5 N CE PM-ES-CP2 NF C35 0/20 S3 XF4**: 410 kg
- **Eau** :
- **Agent plastifiant** :
- **Entraîneur d'air** :

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** :
- **Résistance en fendage à 7 jours** :
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 49,5 MPa
- **Résistance en fendage à 14 jours** : 4,2 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** :
- **Air occlus** :

CONSTATATIONS A 3 ANS

Aucune dégradation.

GIRATOIRE D'EULMONT – MEURTHE-ET- MOSELLE (54)

- **Lieu** : Eulmont – Raccordement d'une nouvelle RD à deux RD existantes
- **Maître d'ouvrage** : Conseil Général de Meurthe-et-Moselle
- **Maître d'œuvre** : Conseil Général de Meurthe-et-Moselle
- **Entreprise** : Eurovia – Agence de Ludres et Eurovia Béton
- **Classe de trafic** : T1 (9 000 véhicules par jour)
- **Plateforme** : PF2 / PF3 (couche de forme en grave non traitée 40 cm)
- **Rayon extérieur** : 26 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 9 m
- **Voies d'accès** : Béton sur 50 m
- **Structure** : BC5g 22 cm/ grave bitume GB3 10 cm
- **Mise en œuvre béton** : aiguilles et règle vibrantes
- **Traitement de surface de l'anneau** : balayage
- **Joints de retrait/flexion radiaux** : sciés
- **Espacement de joints radiaux** : de 2,75 à 5 m
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : scié
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : été 2008.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** :
- **Gravillons 10/20** :
- **Ciment CEM**: kg
- **Eau** :
- **Agent plastifiant** :
- **Entraîneur d'air** :

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** :
- **Résistance en fendage à 7 jours** :
- **Résistance à la compression à 28 jours** :
- **Résistance en fendage à 28 jours** :
- **Affaissement au cône d'Abbrams** :
- **Air occlus** :

CONSTATATIONS A 3 ANS

Aucune dégradation.

GIRATOIRE DE DIORS – INDRE (36)

- **Lieu** : Entrée de la ZI de la Martinerie – Remplaçant un ancien carrefour
- **Maître d'ouvrage** : Communauté d'Agglomération Castelroussine CAC
- **Maître d'œuvre** : Communauté d'Agglomération Castelroussine CAC
- **Entreprise** : Setec (Groupe Roger Martin)
- **Classe de trafic** : T1 (400 P.L. par jour)
- **Plateforme** : PF2 / PF3 (couche de forme non traitée 0/60 : 30 cm)
- **Rayon extérieur** : 40 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 8 m
- **Voies d'accès** : béton (routes en béton datant des années 50)
- **Structure** : BC5g 20 cm / grave ciment 18 cm
- **Mise en œuvre béton** : aiguilles et règle vibrantes
- **Traitement de surface de l'anneau** : balayage
- **Joints de retrait/flexion radiaux** : sciés
- **Espacement de joints radiaux** : de 3 à 5 m
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : Coffré et goujonné
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : été 2008.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable 0/4** :
- **Gravillons 10/20** :
- **Ciment CEM**: kg
- **Eau** :
- **Agent plastifiant** :
- **Entraîneur d'air** :

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** :
- **Résistance en fendage à 7 jours** :
- **Résistance à la compression à 28 jours** :
- **Résistance en fendage à 28 jours** :
- **Affaissement au cône d'Abbrams** :
- **Air occlus** :

CONSTATATIONS A 3 ANS

Aucune dégradation.

GIRATOIRE DE CROUY – AISNE (02)

- **Lieu** : Rue Léo Nathié – sur l'ancien RD 91 – à Crouy
- **Maître d'ouvrage** : Mairie de Crouy
- **Maître d'œuvre** : DDE de l'Aisne – Bureau d'études et d'ingénierie – Service d'aménagement Sud
- **Entreprise** : Hublin TP
- **Classe de trafic** : T3 (150 P.L. par jour)
- **Plateforme** : PF3 (couche de forme traitée aux liants hydrauliques: 40 cm)
- **Rayon extérieur** : 13 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 4 m
- **Voies d'accès** : enrobés
- **Structure** : BC5g 23 cm / couche de forme traitée
- **Mise en œuvre béton** : aiguilles et règle vibrantes
- **Traitement de surface de l'anneau** : désactivation
- **Joints de retrait/flexion radiaux** : sciés
- **Espacement de joints radiaux** : de 3 à 5 m
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : -
- **Joints de construction** : coffrés et goujonnés
- **Date de réalisation** : 2007.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable de la vallée de l'Aisne 0/4** : 520 kg
- **Gravillon bleu-gris 6,3/10 d'Anay-Le-Duc** : 540 kg
- **Gravillon rose 10/14 d'Anay-Le-Duc** : 740 kg
- **Ciment CEMIII/A 42,5 N CE CP1 NF** : 355 kg
- **Eau** : 130 litres
- **Agent plastifiant réducteur d'eau** : 0,3% du poids du ciment
- **Entraîneur d'air** : 0,15% du poids du ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTRÔLÉES DU BÉTON

- **Résistance à la compression à 7 jours** :
- **Résistance en fendage à 7 jours** :
- **Résistance à la compression à 28 jours** : 30 MPa
- **Résistance en fendage à 28 jours** :
- **Affaissement au cône d'Abbrams** :
- **Air occlus** :

CONSTATATIONS A 3 ANS

Aucune dégradation.

LES TROIS GIRATOIRES DE LA ZIP de Bassens – Gironde (33)

- **Lieu** : Voirie de la ZI et portuaire de Bassens
- **Maître d'ouvrage** : Communauté Urbaine de Bordeaux
- **Maître d'œuvre** : Communauté Urbaine de Bordeaux
- **Entreprise** : CMR Exedra / Colas / Sotrap / Fayat TP
- **Classe de trafic** : T0 (+750 P.L. par jour)
- **Plateforme** : PF3
- **Rayon extérieur** : 30 m
- **Largeur chaussée annulaire** : 8 m
- **Voies d'accès** : béton armé continu BAC 18 cm / grave bitume 10 cm
- **Structure** : BAC 22 cm / grave bitume 15 cm
- **Mise en œuvre béton** : aiguilles et poutre vibrantes
- **Traitement de surface de l'anneau** : striage
- **Joint de retrait/flexion radiaux** : -
- **Espacement de joints radiaux** : -
- **Joint de retrait/flexion longitudinal** : -
- **Joints de construction** : -
- **Date de réalisation** : été 2008.

COMPOSITION DU BÉTON (POUR UN MÈTRE CUBE DE BÉTON)

- **Sable roulé alluvionnaire 0/4** : 600 kg
- **Sablon correcteur quartzite 0/0,63** : 160 kg
- **Gravillon concassé diorite 4/10** : 495 kg
- **Gravillon concassé diorite 10/20** : 550 kg
- **Ciment CEM II/A –LL 42,5 N CE CP2 NF** : 350 kg
- **Eau totale**: 148 litres
- **Agent plastifiant** : 0,6% en poids du ciment
- **Entraîneur d'air** : 0,5% en poids du ciment

CARACTÉRISTIQUES CONTROLÉES DU BÉTON (moyennes)

- **Résistance à la compression à 7 jours** :
- **Résistance en fendage à 7 jours** : 2,81 MPa
- **Résistance à la compression à 28 jours** :
- **Résistance en fendage à 28 jours** : 3,36 MPa
- **Affaissement au cône d'Abbrams** : 8,7 cm
- **Air occlus** : 5,5%

CONSTATATIONS A 3 ANS

Aucune dégradation.



(Crédit photo : CMR Exedra)

Collection SPECBEA

Publié par :

SPECBEA, 9 rue de Berri 75008 Paris (France)
www.specbea.com - specbea@fnpt.fr

Illustrations & photos :

11ème Symposium Séville 2010
J. ABDO
CIMBETON
CMR Exedra
G. Laurent
RDS France
SIGNATURE SAS

Conception & réalisation :

CORSAIRE Production / C-PROD (France)
www.c-prod.fr - contact@c-prod.fr

Diffusion gratuite

Dépôt légal : 3^{ème} trimestre 2012

A l'exclusion des illustrations, la reproduction totale ou partielle des informations contenues dans ce fascicule est libre de tous droits, sous réserve de l'accord de la rédaction et de la mention d'origine.

© 2012 SPECBEA

Guide technique

Carrefours giratoires en béton

Résumé

La France est sans doute le pays européen qui compte le plus de giratoires. Si la plupart a une structure classique à base de matériaux bitumineux, il est possible et parfois recommandé de réaliser ces giratoires avec une chaussée en béton. Ce document a pour vocation d'aider le maître d'ouvrage, le concepteur et les entreprises d'une part à choisir la structure de chaussée béton la mieux adaptée au regard des contraintes et des exigences à prendre en compte pendant les phases de réalisation, d'exploitation et de fin de vie, et d'autre part à adopter les bonnes règles pour une meilleure réalisation d'un giratoire comportant une chaussée en béton.

Le guide est une monographie complète sur la technique des giratoires en béton et traite de tous les aspects techniques tels que : règles de conception et dimensionnement, dispositions constructives, entretien et réparation, et aspects environnementaux comme l'analyse du cycle de vie.

Abstract

France is probably the European country with the most number of roundabouts. If most of them are built with bituminous materials, it is possible and sometimes recommended to realize these roundabouts with concrete road. This document has for vocation to help the owner, the designer and the companies on one hand to choose the structure of road concrete the best adapted with regard to the constraints and the requirements to take into account during the phases of realization, operation, and the end of life, and on the other hand to adopt the good rules for a better realization of roundabout supporting a road in concrete.

The guide is a complete monograph on the technique of the roundabout in concrete and deal with all the technical aspects such as: rules of conception and design, constructive measures, maintenance and repair, and environmental aspects as the analysis of the life cycle.