

# RENOVATION DU RING D'ANVERS

## Approches et techniques innovantes

Le Ring d'Anvers ou 'R1' a été mis en service le 31 mai 1969. Le R1 est une autoroute urbaine située à environ 3 km du centre d'Anvers. D'une longueur de 14 km et comptant 3 à 6 voies dans chaque sens, le Ring inclut le tunnel J.F. Kennedy au Sud-Ouest et le viaduc de Merksem au Nord-Est. Il constitue la plaque tournante du trafic des 6 autoroutes radiales qui lui sont reliées par des échangeurs au moyen de 30 km de voies d'accès. Etant donné la proximité du centre-ville, des voies d'accès et de sortie locales ont également été réalisées.

Au fil des ans, l'intensité du trafic (de véhicules lourds surtout) a considérablement augmenté, jusqu'à atteindre 200.000 véhicules par jour dont 25% de camions, faisant du R1 l'une des autoroutes les plus chargées d'Europe. Les derniers travaux d'entretien structurels approfondis datent de 1977, époque à laquelle le R1 a également été élargi par endroits.

Par conséquent, le Ring d'Anvers nécessitait une solide rénovation structurelle. L'administration responsable, le Département des Routes et de la Circulation d'Anvers, a donc lancé en 2001 l'étude et la réalisation du projet "Entretien structurel du Ring d'Anvers".

Ce projet comportait non seulement la rénovation des revêtements de la chaussée mais également la réhabilitation de 170 km de conduites souterraines de drainage et d'évacuation des eaux de pluie, d'équipements de la chaussée, de ponts, de tunnels prévus pour les installations d'utilité publique, ...

Parmi les constructions récentes de routes en Belgique, le projet n'est pas seulement unique par son ampleur (coût total d'environ 100 millions d'euros) mais aussi par l'approche intégrée mise en exergue lors de sa réalisation. Outre les travaux techniques de rénovation, une grande attention a également été portée à la réalisation d'un programme poussé de mesures visant à "réduire les nuisances" dans et autour d'Anvers, associé à un recyclage maximal des matériaux démolis afin de préserver l'environnement. Grâce à cette approche, les travaux ont pu être réalisés en un temps record d'à peine 2 fois 5 mois.

Le revêtement original du ring était constitué d'asphalte sur une fondation en béton maigre ou en empierrement. Après une étude minutieuse des alternatives possibles, le nouveau revêtement, sur la majeure partie de l'autoroute, a été réalisé en béton armé continu (BAC) de 23 cm, posé successivement sur une couche intermédiaire bitumineuse de 5 cm d'épaisseur, 25 cm de débris d'asphalte recyclés stabilisés au ciment et 15 cm de béton maigre recyclé. Une composition de béton à granularité fine et un traitement de la surface par dénudage ont été appliqués pour obtenir d'une part une rugosité adéquate et limiter d'autre part le bruit de roulement.

Dans le tunnel Kennedy, le revêtement d'origine en dalles de béton a été remplacé par un nouveau revêtement du même type avec une fondation identique au BAC.

La réalisation de ce projet ambitieux a nécessité l'application de techniques innovantes pour la pose du revêtement en béton, qui contribueront certainement au développement du BAC en Belgique et dans d'autres pays.

	(94)	Ef2	(W7)
--	------	-----	------

BBS18



## DESCRIPTION GENERALE DU R1

### 1.1 Situation du R1 par rapport à l'environnement

A partir de l'échangeur situé près du tunnel Kennedy sur la rive droite et jusqu'au viaduc de Merksem, le Ring se trouve dans une large excavation d'environ 8 m sous le niveau général du terrain naturel.

Ce choix a été fait à dessein lors de la réalisation originale pour ne pas devoir modifier les voies existantes en termes de niveau, d'une part, pour des raisons esthétiques et pour satisfaire aux exigences urbanistiques dans l'agglomération proche traversée par la voie rapide, d'autre part.

Le tracé de cette excavation suit l'ancienne ceinture de fortifications. Ce choix était évident car ainsi, il était possible de disposer rapidement d'une zone libre de constructions et par conséquent, de limiter les expropriations au maximum.

Le niveau normal de la nappe phréatique dans cette zone variait entre 2 et 4 m sous le niveau du terrain naturel. Cet élément a nécessité la réalisation d'un abaissement permanent de la nappe phréatique pour maintenir celle-ci à niveau et assurer la préservation de la structure de la route pendant toute la durée de vie de cette dernière.

Le système de drainage est constitué de drains transversaux posés sous la sous-fondation drainante et d'un vaste réseau de drains longitudinaux dans les talus, les accotements et les terre-pleins centraux. Les drains sont reliés par un réseau de conduites de collecte à deux pompes au niveau des deux points les plus bas du profil longitudinal, notamment à proximité de l'Escaut d'une part et à proximité du dock de Lobroek d'autre part.

L'ensemble du réseau de conduites de drainage et d'égouts a une longueur totale d'environ 170 km.

### 1.2 Nombre de bandes et dévers

A l'origine, le Ring était constitué en majeure partie de 2 x 4 bandes de 3,75 m de large chacune. Au niveau des échangeurs, le nombre de voies était plus élevé en raison de la présence des voies d'accès et de sortie.

Les deux chaussées étaient séparées l'une de l'autre par un terre-plein central de 9 mètres de large et limitées à l'extérieur par une bande d'arrêt d'urgence de 2,50 m.

Trois bandes de circulation ont été prévues dans le tunnel Kennedy.

Pour faire face à l'augmentation du trafic, la chaussée a été élargie par endroits au fil des ans. Par conséquent, dans la situation actuelle, la bande d'arrêt d'urgence fait défaut à certains endroits et le nombre de bandes de circulation sur la partie du R1 réalisée en BAC, en fonction de l'emplacement du tracé, varie entre 4, 5 à 7 bandes et ce, sur une longueur totale de près de 7 km.

Le plus grand nombre de bandes se situe, bien entendu, dans les zones d'accès et de sortie à hauteur des échangeurs routiers.

Ce nombre variable de voies de circulation a exigé une attention particulière pour l'exécution de la partie de l'autoroute réalisée avec un revêtement en BAC.

Lorsque c'était possible, un profil-en-travers en toit a été appliqué pour obtenir un bon écoulement des eaux en surface. La pente transversale minimale est de 2,5 %. Lorsque c'était géométriquement nécessaire, un dévers a été appliqué.

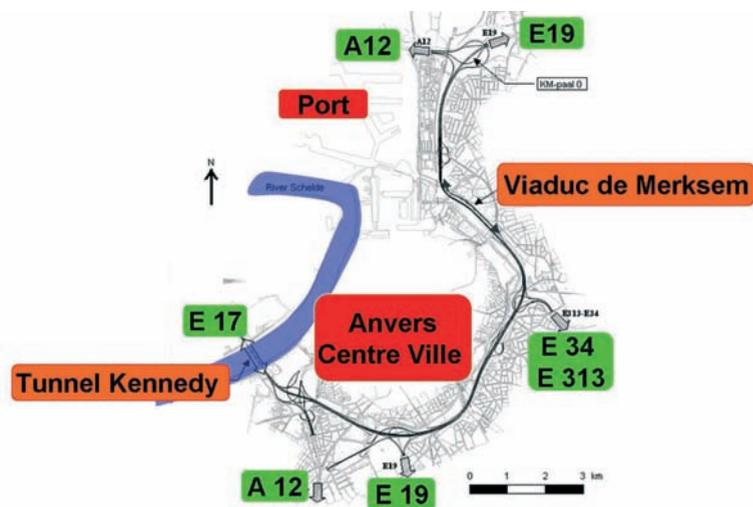


Fig. 1 – Situation du projet



Vue de l'environnement proche

## 2. ETUDE ET PROJET

### 2.1 Situation existante

L'entretien limité et la circulation très intense et très lourde (jusqu'à 25% de camions) ont fait leurs ravages au bout de 30 ans.

Visuellement, de graves défauts ont pu être constatés en plusieurs endroits comme :

- des fissures, pelades, et faïençage ... de l'asphalte ;
- des dalles de béton fissurées dans le tunnel Kennedy ;
- des glissières de sécurité en acier ou des barrières de sécurité en béton sérieusement endommagées ;
- un écoulement défectueux des eaux de pluie ;
- des affaissements des accotements suite à l'infiltration de sable dans les égouts.

Beaucoup de ces défauts devaient non seulement engendrer de graves perturbations du trafic dans un avenir proche mais également constituer un danger pour les milliers de véhicules qui empruntent le R1.

Ainsi, début 2003, un simple couvercle d'égout défectueux a causé un chaos monumental sur le Ring.



1



2



3

1 & 2 – Dalles fissurées dans le tunnel Kennedy

3 – Evacuation d'eau défectueuse – glissières de sécurité en acier endommagées

4 – Revêtement en asphalte endommagé

5 – Revêtement en asphalte et barrières de sécurité en béton endommagés



5



4

## 2.2 Programme d'essais

Etant donné l'ampleur du projet et l'intérêt international porté au R1 en tant qu'axe de circulation, l'étude technique a commencé par un programme d'essais.

En ce qui concerne le revêtement, le programme était constitué :

- d'une inspection visuelle ;
- de mesures au déflectomètre à boulet ;
- d'un examen de carottes forées dans le revêtement.

L'objectif était de déterminer l'ampleur des travaux de rénovation à réaliser, tant du revêtement que de la structure de la chaussée.

### 2.2.1 Inspection visuelle de la surface de la route

Le R1 a été soumis à une inspection visuelle au moyen de l'ARAN ou 'Automatic Road Analyser' du service d'études du Ministère flamand de la Mobilité et des Travaux publics. Celle-ci a permis de mesurer l'étendue des dégâts (fissures, trous, pelades, faïençage,...). Sur cette base, la suite du programme d'essais a été déterminée dans les détails.

### 2.2.2 Géoradar

Le géoradar a été appliqué au R1 pour obtenir une image de l'épaisseur des différentes couches et détecter les éventuelles zones de faiblesse.

Le géoradar est une méthode d'examen physique non destructive qui permet de passer en revue rapidement et en haute résolution les assises peu profondes au moyen d'ondes électromagnétiques. Le principe est le suivant : grâce à une antenne, une onde électromagnétique est envoyée à partir du niveau du sol, après quoi cette onde se propage dans l'assise. S'il y a des traces d'hétérogénéité dans l'assise, par exemple à l'interface entre l'asphalte et la couche de fondation sous-jacente, une partie de l'énergie électromagnétique de l'onde sera renvoyée par cette hétérogénéité. La partie réfléchi de l'onde se propage alors en direction du niveau du sol et la forme de l'onde est enregistrée par l'antenne de réception. La partie non réfléchi de l'onde s'enfonce plus profondément dans l'assise.

Fig.2 – Résultats des mesures au géoradar

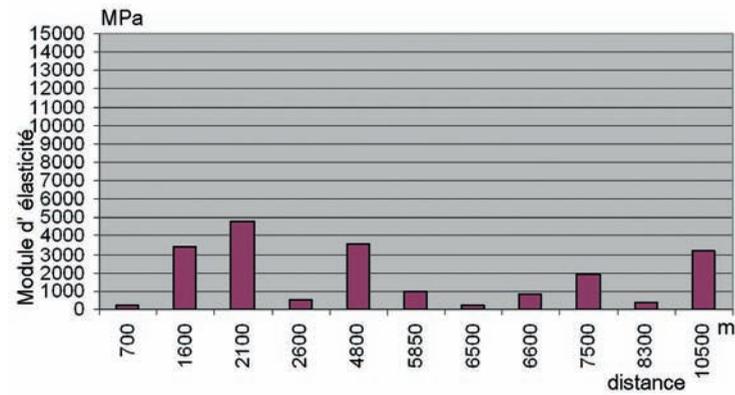


Fig.3 – Module d'élasticité (MPa) du béton maigre obtenu au moyen des mesures réalisées avec le déflectomètre à boulet

### 2.2.3 Mesures de la déflexion au déflectomètre à boulet

Les mesures de la déflexion au déflectomètre à boulet permettent de déterminer la portance de la structure routière.

L'appareil mesure la déflexion à la surface du revêtement en plusieurs points distants d'une charge dynamique engendrée par un boulet. La valeur la plus élevée de cette charge est caractéristique de la charge maximale de la roue d'un camion chargé circulant sur la voie.

Le module d'élasticité d'une nouvelle fondation en béton maigre se situe aux environs de 15000 MPa. Les mesures de la déflexion au déflectomètre à boulet sur le R1 ont révélé que le module d'élasticité de la fondation existante en béton maigre était souvent en-deçà de cette valeur.

### 2.2.4 Carottages

Tant sur la chaussée principale que sur les échangeurs, un programme de carottages a été appliqué. Le programme a été mis au point sur la base de données issues de l'inspection visuelle avec l'ARAN et des résultats obtenus avec le géoradar.

Cet examen était axé sur :

- la composition des différentes couches et de leurs caractéristiques en vue du recyclage ;
- la vérification de la qualité actuelle de la fondation.

Pour la chaussée principale et les échangeurs, 70 et 38 carottages ont été respectivement réalisés.

En vue du recyclage, la présence éventuelle de goudron a été contrôlée dans toutes les carottes. Il s'est avéré qu'aucune trace de goudron n'était présente dans les couches bitumineuses.

Les carottages ont également révélé que l'adhérence entre la fondation en béton maigre et l'asphalte était très bonne. Ce point pourrait poser des problèmes lors du fraisage ou de la démolition du revêtement en asphalte.

### 2.2.5 Conclusion

Sur la base de l'examen préalable, il a été décidé que la durée de vie restante était trop courte pour limiter les travaux à un remplacement complet ou partiel des couches d'asphalte. La rénovation de la totalité de la chaussée existante, fondation incluse, était nécessaire.

## 2.3 Choix du type de revêtement

### 2.3.1 Généralités

Pour le choix du type de matériau de revêtement, une étude comparative minutieuse a été réalisée entre les deux solutions envisagées, à savoir l'asphalte ou le béton armé continu (BAC).

Un revêtement bitumineux a été proposé pour le viaduc de Merksem ainsi que pour les voies d'accès et de sortie locales et les échangeurs. Ce choix était basé sur une réalisation plus facile étant donné le tracé sinueux, les nombreux passages inférieurs et le fait que les échangeurs ne pouvaient jamais être totalement fermés à la circulation.

Pour le reste de l'autoroute, une Analyse du Coût du Cycle de Vie a d'abord été réalisée. Ensuite, les aspects non budgétaires ont également été intégrés à l'étude comparative au moyen d'une analyse multi-critères.

### 2.3.2 Analyse du Coût du Cycle de Vie

Lors d'une Analyse du Coût du Cycle de Vie (LCCA – *Life Cycle Cost Analysis*), l'étude est réalisée au moyen de la "méthode de la valeur constante sur horizon infini". L'analyse permet de calculer le coût global actualisé de la construction et des travaux d'entretien et de reconstruction à venir.

Pour le R1, cette approche a donné pour résultat qu'un revêtement en BAC est plus coûteux à la construction qu'un revêtement en asphalte. A terme, en tenant compte de l'entretien et de la reconstruction, les coûts s'avèrent être à peu près les mêmes, avec un léger avantage pour le BAC.

### 2.3.3 Analyse multicritères

Lors de l'analyse multicritères (AMC), des aspects autres que l'aspect économique sont également intégrés, comme la durée de vie, l'adhérence, le bruit, l'orniérage, les possibilités de recyclage, le confort, la sécurité, l'entretien hivernal, etc.

Une note est attribuée pour chaque critère à chaque type de revêtement.

Outre l'attribution d'une note par critère, un poids relatif est également donné à chacun de ces critères. Bien entendu, ce poids est déterminé en partie par les conditions d'application spécifiques au R1.

Cette comparaison a révélé qu'un revêtement en BAC offre des résultats légèrement meilleurs qu'un revêtement en asphalte. Cependant, cette différence n'était pas encore déterminante.

### 2.3.4 Choix du béton armé continu (BAC)

La durée de vie plus longue et l'entretien extrêmement réduit ont finalement fait pencher la balance du côté d'un revêtement en BAC. En effet, le volume global des travaux et des mesures d'accompagnement d'un tel projet, avec l'impact socio-économique qu'elle entraîne, était telle qu'une autre intervention de ce type ne devait pas se reproduire trop vite.

Cette vision à long terme pour l'ensemble de la réhabilitation du R1 a été appliquée sur la base de l'approche du corridor. Ainsi, non seulement la structure existante de la chaussée a été rénovée mais également les égouts, les ouvrages d'art, les dispositifs de sécurité, la signalisation, la télématique, ... ont été examinés à la loupe et rénovés ou adaptés lorsque c'était nécessaire.

Cet investissement de base bien étudié et planifié, associé à un planning d'entretien opportun et coordonné offre non seulement un avantage important sur le plan économique mais aboutit également à une diminution de la nuisance globale en termes de circulation et d'environnement.

## 2.4 Options techniques de base

Une fois que le type de revêtement a été déterminé, les options techniques suivantes ont été adoptées pour le revêtement en BAC :

- 1) Le R1 jouxte une agglomération dense des deux côtés. Bien que le R1 se trouve en majeure partie dans une excavation, il a été décidé de limiter au maximum la nuisance sonore en appliquant un béton peu bruyant.
- 2) Les joints longitudinaux entre le béton de ciment d'une part et l'asphalte d'autre part ont été limités dans la mesure du possible. Ce sont des discontinuités, tant en termes de matériau que d'exécution, qui donnent souvent lieu à des dégradations précoces, surtout lorsque ces joints sont soumis à un trafic intense et lourd.
- 3) Pour limiter l'influence néfaste des effets de bord, une surlargeur du revêtement en BAC a été appliquée lorsque c'était nécessaire.
- 4) Indépendamment du nombre de voies variable sur le R1, il a été opté pour une réalisation du nouveau revêtement en béton de ciment sur toute la largeur de la route, c'est-à-dire du terre-plein central aux voies d'accès et de sortie et à la bande d'arrêt d'urgence. Cette méthode permet de transformer plus tard cette bande d'arrêt d'urgence, si on le souhaite, en une voie de circulation supplémentaire définitive ou une voie de circulation temporaire en cas de déviation (accident ou travaux) tout en satisfaisant également à l'option de base 2.

## 2.5 Recyclage

Étant donné les grandes quantités de matériaux de démolition, le court délai d'exécution et le souhait de ne pas charger davantage encore le réseau routier avoisinant avec l'évacuation et l'arrivée de matériaux, le projet incluait un maximum de recyclage. Bien entendu, cette mesure est également bénéfique pour l'environnement étant donné les plus petites quantités de matériaux à éliminer et de granulats neufs à utiliser.

Une étude détaillée des possibilités de recyclage a donc été réalisée. Dans ce cadre, la durée de vie visée de la nouvelle structure routière, les très grandes quantités de matériaux recyclables et l'expérience acquise en Belgique et à l'étranger ont été prises en compte. Le recyclage en soi n'était pas nouveau mais l'échelle de l'opération envisagée était inédite et exceptionnelle.

Le revêtement en asphalte existant a été recyclé :

- en partie dans les mélanges d'asphalte des nouvelles couches inférieures bitumineuses à poser ;
- en partie dans une fondation en débris d'asphalte liée au ciment. Pour parvenir à une distribution continue des granulats d'asphalte recyclé et à une densité aussi importante que possible de la fondation après compactage, l'ajout au mélange de 15 à 20% de sable est généralement nécessaire.

La fondation existante, principalement en béton maigre et dans une mesure limitée en empierrement, ainsi que les éléments linéaires et les dalles en béton du tunnel Kennedy ont été recyclés dans la sous-fondation de la nouvelle structure routière.

### 2.5.1 Recyclage du revêtement en asphalte existant dans la fondation liée au ciment

L'application de débris d'asphalte en tant que gravillons pour une fondation liée au ciment suscite de plus en plus d'intérêt, par exemple aux Pays-Bas, en France, en Allemagne et aux États-Unis. Elle donne en général de bons résultats. Les expériences en Belgique avec une fondation en granulats d'asphalte recyclé liée au ciment ne sont pas tellement nombreuses mais le principe est toutefois généralement connu.

Le produit se compose d'un mélange homogène de sable, de gravillons (dans ce cas de granulats de débris d'asphalte), d'eau de gâchage et d'un liant. Dans les cahiers des charges types belges, seul le ciment est autorisé comme liant pour l'utilisation de granulats de débris d'asphalte en couches de fondation. Un taux de ciment de 4% (de la masse sèche) permet d'atteindre la résistance à la compression prescrite de 3 MPa après 7 jours. Après 28 jours, la résistance à la compression doit être de 5 MPa.

Le mélange avec lequel les couches sont posées est préparé en centrale à béton.

Pour obtenir une distribution continue des granulats et une densité aussi importante que possible de la fondation après compactage, 15 à 20 % de sable doivent généralement être ajoutés aux débris d'asphalte afin d'améliorer la granulométrie.

En matière de composition, les exigences posées aux granulats d'asphalte recyclé destinés à une fondation liée sont moins sévères que pour une utilisation dans les mélanges bitumineux à chaud. Tout le granulat non homogène provenant de la démolition peut être utilisé ; la part minimale de débris d'asphalte est moins élevée et le mélange peut contenir plus de débris de béton (max. 30 %).

De manière générale, une fondation en débris d'asphalte liée au ciment est comparable à une fondation en empierrement stabilisé au ciment et ce, tant en ce qui concerne la résistance que le module d'élasticité, mais la présence d'un mortier bitumineux dans les granulats en débris d'asphalte donne aussi en partie à cette fondation un comportement viscoélastique dépendant de la température, avec une influence positive sur la souplesse de la couche de fondation.

- En raison de la dépendance à la température du bitume, la résistance à la compression de l'asphalte recyclé lié au ciment diminue lorsque la température augmente : une augmentation de la température de 20 °C à 40 °C engendre une perte d'environ la moitié de la résistance à la compression.
- Des essais de fluage révèlent que la résistance à la déformation plastique est au moins 10 fois plus élevée que celle de l'asphalte, ce qui améliore considérablement la résistance à l'orniérage.

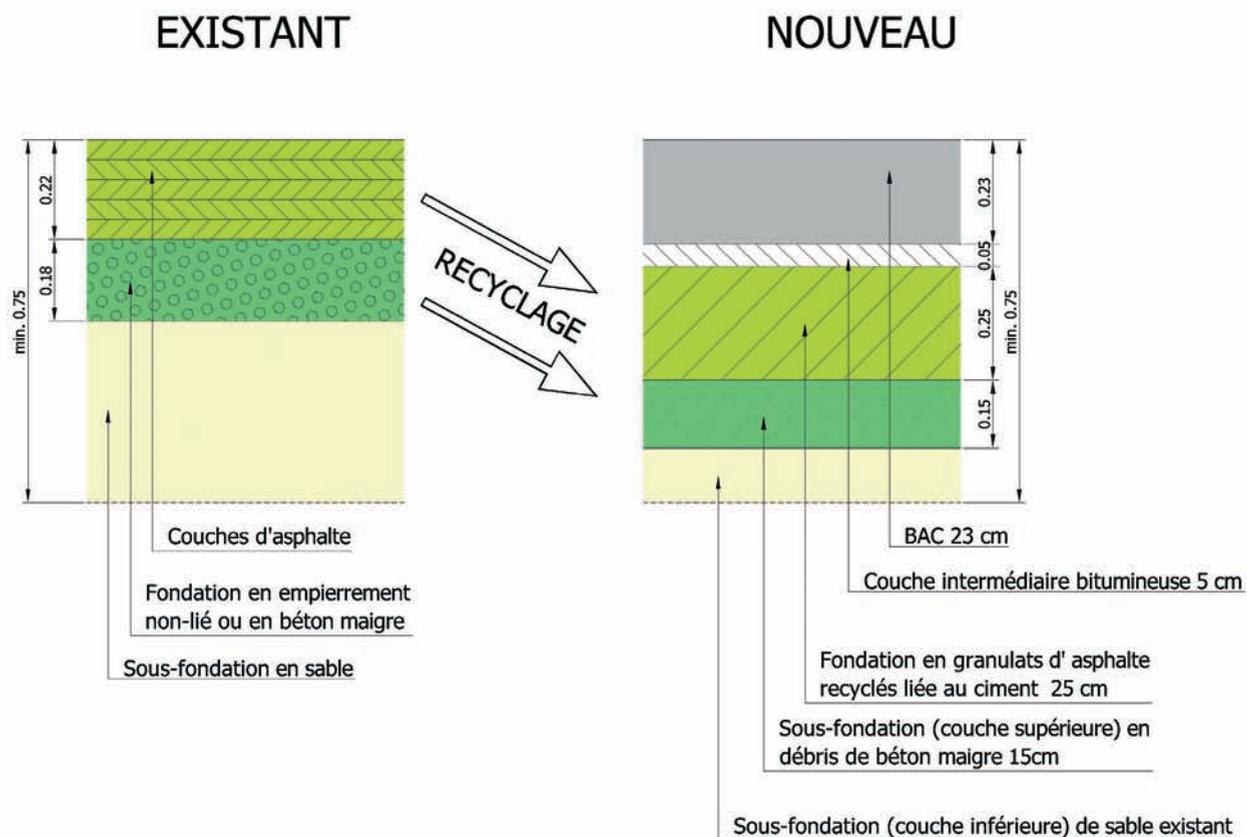
- L'asphalte recyclé lié au ciment offre une stabilité de départ supérieure au sable-ciment, ce qui permet d'y poser immédiatement la couche d'enrobés, mais à long terme l'augmentation de la résistance à la compression est relativement moins élevée.
- Etant donné le liant bitumeux résiduel, la flexibilité de la couche de fondation est un peu plus élevée. Le risque de fissuration est plus faible que pour d'autres fondations liées au ciment, grâce au comportement viscoélastique des granulats de débris d'asphalte. Pour la même raison, les contraintes dues au séchage, au durcissement et au retrait thermique seront plus facilement éliminées par relaxation.

### 2.5.2 Recyclage des débris de béton

Les granulats de béton concassé peuvent être utilisés, conformément au cahier des charges-type SB 250, en tant qu'empierrement pour la sous-fondation et pour quasiment tous les types de fondations (empierrements non liés, empierrements stabilisés, béton maigre, béton sec compacté).

Dans le projet du R1, les débris de béton ont été recyclés dans la sous-fondation non liée (fig.4).

Fig.4 – Recyclage de l'ancienne à la nouvelle structure routière



## 2.6 Conception type pour le BAC en Belgique

La conception du revêtement en BAC sur le R1 est basée sur la pratique courante appliquée depuis la fin des années 90 en Belgique pour les autoroutes en béton. Cette pratique est toujours basée sur l'expérience des premiers travaux importants en BAC du début des années 70. Elle est caractérisée par une structure composée d'un revêtement en béton armé continu posé sur une couche intermédiaire en asphalte et une fondation liée au ciment. Pour les routes modernes, la surface du revêtement est dénudée.

Le niveau ainsi que le diamètre des armatures dépendent de l'épaisseur du revêtement en béton.

Selon la publication du Ministère de la Communauté flamande "Structures routières, dimensionnement et choix du revêtement" (*Wegstructuren, dimensionering en keuze van de verharding*), le R1 fait partie de la classe de trafic la plus élevée, à savoir la catégorie B1. Pour le revêtement en BAC du R1, l'armature longitudinale est constituée de barres en acier de qualité BE 500 S d'un diamètre de 20 mm, espacées entre axes de 0,18 m. Elles ont une longueur minimale de 14 m et sont placées au-dessus de l'armature transversale. La longueur de recouvrement est de 35 fois le diamètre nominal des barres ( $35 \times 20 = 700$  mm ou 0,7 m) et les barres sont placées de telle manière que les recouvrements ne sont pas situés dans la même section transversale.

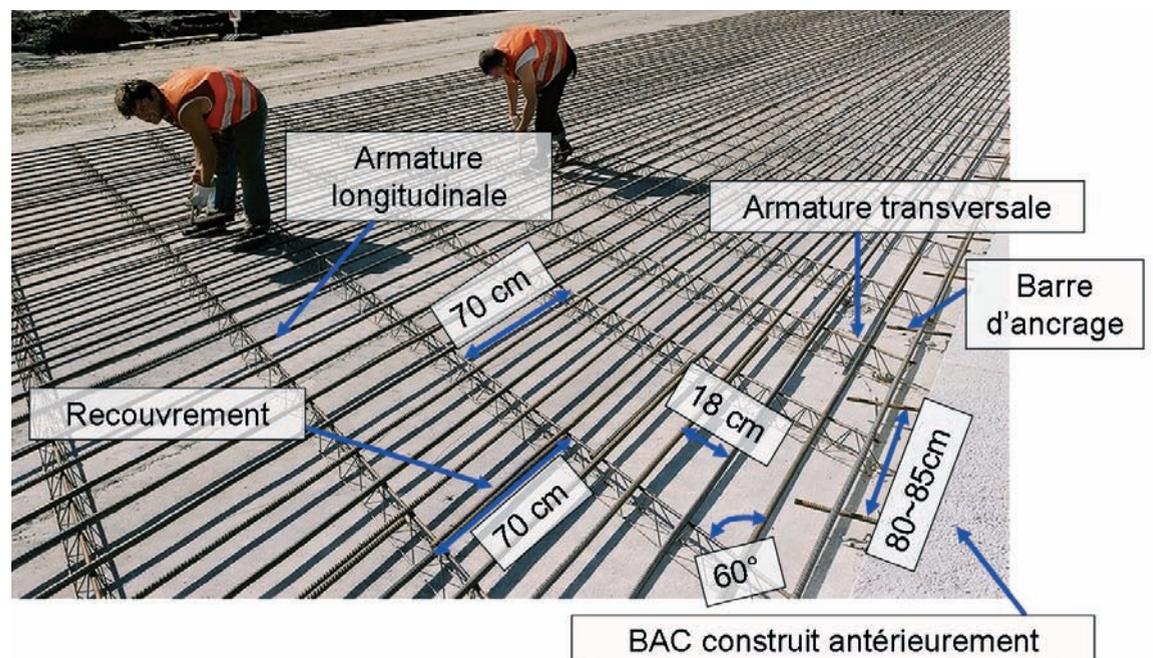
L'armature transversale, constituée de barres en acier BE 500 S d'un diamètre de 12 mm, est placée à intervalles de 0,70 m sur la couche intermédiaire bitumineuse au moyen de supports métalliques d'une hauteur de 0,12 m.

Cette armature transversale est posée avec un angle de  $60^\circ$  par rapport à l'armature longitudinale. Si l'armature transversale était perpendiculaire à l'axe de la chaussée, les barres pourraient engendrer des fissures transversales et se corroder sous l'effet de l'eau qui s'infiltrerait par ces fissures.

Le taux d'armature longitudinale (rapport entre la section des barres longitudinales et la section du béton) est d'environ 0,75 %.

Les joints longitudinaux de construction entre les différentes phases de bétonnage sont munis de barres d'ancrage d'un diamètre de 16 mm. Ces barres sont fixées par ancrage chimique dans des trous forés perpendiculairement et à mi-épaisseur de la bande adjacente en béton durci. L'espacement des barres est de 0,80 à 0,85 m afin de permettre le forage des trous entre les armatures transversales.

Exécution belge de l'armature dans le BAC



## 2.7 Dimensionnement du revêtement en BAC

La détermination de l'épaisseur du revêtement a été réalisée suivant la directive "Structures-type version 2" (*Standaardstructuren, versie 2*) du Ministère flamand de la Mobilité et des Travaux publics. Cette méthode est basée sur les données du trafic attendu sur le revêtement, exprimé en essieux équivalents cumulés de 100 kN, qui circuleront sur la chaussée pendant la durée de vie escomptée.

A partir de ces données et à l'aide de tableaux de conception, la catégorie de trafic est déterminée ainsi que l'épaisseur du revêtement correspondant. Les principaux paramètres d'entrée de cette méthode sont : la valeur CBR (*California Bearing Ratio*) ou portance de l'assise, la distribution du trafic sur les différentes voies, le volume du trafic et le pourcentage de véhicules lourds (jusqu'à 25% sur le R1), la vitesse moyenne du trafic et la durée de vie du projet.

Dimensionnement : le R1 fait partie de la classe de trafic la plus élevée en raison de la part importante de véhicules lourds



## 2.8 Propriétés du béton

Une fine texture de surface semble donner les meilleurs résultats en matière de réduction sonore. Le meilleur résultat est atteint si la distance entre les pointes des gravillons est comprise entre 5 et 10 mm maximum. Afin de satisfaire à l'option de base 1, on a appliqué, d'une part, un traitement de la surface du béton par dénudage du squelette pierreux, et, d'autre part, une composition de béton à granularité fine a été utilisée répondant aux spécifications suivantes:

- Les dimensions des granulats utilisés sont 4/7, 7/14 et 14/20 ; la quantité de 4/7 est au minimum de 20% du mélange sable-granulats. Afin de garantir une bonne ouvrabilité, le pourcentage de sable a été maintenu à un niveau aussi faible que possible (NB : Le calibre " 7 " des granulats a été remplacé entre-temps par du " 6,3 ").
- Le rapport eau-ciment est inférieur à 0,45.
- La quantité minimale de ciment est de 400 kg/m<sup>3</sup>.
- L'utilisation d'un entraîneur d'air est obligatoire.

## 2.9 Surlargeur de la voie extérieure

Les contraintes dans une dalle de béton augmentent considérablement lorsque la charge est plus proche du bord de la dalle. Cet effet de bord est encore renforcé par les charges croissantes des véhicules lourds (en particulier les camions avec des essieux tridem et les véhicules surchargés).

L'une des conséquences négatives de l'effet de bord est qu'il constitue l'un des facteurs augmentant le risque de *punch-out* au bord extérieur de la voie lente.

Ces contraintes peuvent être réduites en posant le BAC avec une surlargeur (voir option de base n° 3) aux endroits où la bande d'arrêt d'urgence est en asphalte ou absente. En effet, grâce à cette surlargeur, la distance entre la frayée du trafic et le bord du revêtement augmente.

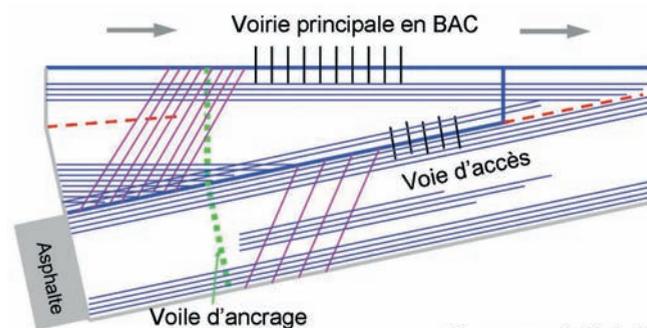


Figure non à l'échelle

Fig. 5 – Plan schématique de l'armature au niveau d'une voie d'accès ou de sortie

## 2.10 Voies en BAC à largeur variable

Pour éviter les joints longitudinaux entre le béton et l'asphalte, toutes les voies d'accès et de sortie ont également été réalisées en béton. Ainsi, seuls des joints transversaux sont présents entre le revêtement en asphalte sur les voies d'accès et de sortie d'une part, et le revêtement en béton d'autre part, et ces joints sont maintenus aussi courts que possible.

Les extrémités des voies d'accès et de sortie présentent souvent une largeur variable du revêtement. On constate des variations de la largeur tant linéaires que courbées.

Dans le cas de faibles variations de la largeur, il est possible de poser le revêtement avec une largeur constante et d'indiquer la variation de la largeur du revêtement au moyen d'un marquage. Cette technique est également appliquée dans le cas des revêtements en asphalte.

Dans le cas de fortes variations de la largeur sur une grande longueur, la seule solution consiste à réaliser le revêtement en béton en largeur variable.

La pose de BAC en largeur variable est tout à fait possible dans la pratique à condition de tenir compte de certaines mesures techniques d'exécution tant en ce qui concerne la disposition de l'armature que la pose du béton.

Etant donné la fonction de l'armature longitudinale, le tracé de l'armature longitudinale des voies élargies est pris parallèlement à la géométrie horizontale de ces voies.

Si la largeur du revêtement devient supérieure à 5 m, une fissure de retrait-flexion longitudinale peut se développer spontanément. C'est pourquoi, à partir d'une largeur de plus de 5 m, un joint longitudinal est réalisé par sciage. Lorsque la largeur de bétonnage redevient inférieure à 5 m, le joint est arrêté. Pour limiter le risque de propagation spontanée éventuelle de la fissure au-delà du joint, des barres transversales supplémentaires (tous les 0,35 m au lieu de 0,70 m) sont posées à l'extrémité du joint.

Pour limiter le risque d'ouverture du joint de construction longitudinal entre la voirie principale et la partie à largeur variable, des barres d'ancrage supplémentaires (tous les 0,40 m au lieu de 0,80 m) ont été jugées nécessaires.

Lorsque l'armature longitudinale d'une bande à largeur variable n'est pas parallèle au bord d'une bande bétonnée adjacente, 2 barres longitudinales sont posées parallèlement au bord pour éviter toute fissure non désirée.

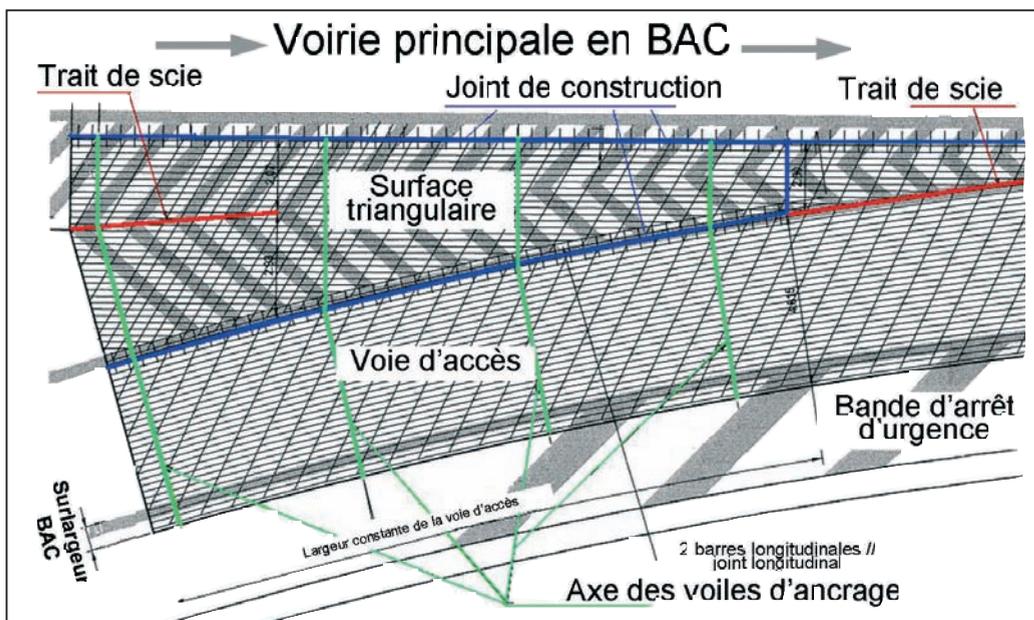


Fig. 6 – Présentation détaillée de l'armature dans une voie d'accès

## 2.11 Dispositifs aux extrémités du revêtement en BAC

### 2.11.1 Généralités

Un revêtement en béton se dilate ou se contracte en raison des variations de température. Le mouvement et la modification de volume s'orientent du centre de la dalle vers le bord si le coefficient de frottement de la dalle sur son support est constant sur toute la longueur. Au centre, le mouvement est donc théoriquement nul. La partie de la dalle où le mouvement est perceptible est appelée la "longueur active". Celle-ci dépend de différents facteurs comme le frottement entre la dalle et son support, la résistance du béton, le pourcentage d'armature, ... En règle générale, elle est comprise entre 100 et 200 m. La partie centrale du revêtement en béton ne bougera pas car à partir d'une longueur donnée les forces de frottement deviennent supérieures à la force d'entraînement.

Les mouvements aux extrémités peuvent causer des dommages notamment aux ponts, tunnels ou à un revêtement adjacent et peuvent donner lieu à des irrégularités de surface inconfortables et parfois dangereuses dans le revêtement. D'où l'importance de contrôler les mouvements aux extrémités d'un revêtement en BAC. Ceci est réalisé soit en empêchant au maximum ces mouvements de se produire, soit en les reprenant au moyen de joints de dilatation tels que ceux utilisés sur les tabliers de ponts.

### 2.11.2 Culées d'ancrage

La culée d'ancrage permet d'empêcher partiellement ou presque totalement le mouvement de la longueur active de la dalle. Le principe consiste à ancrer l'extrémité du revêtement dans le sol au moyen de voiles d'ancrage longitudinaux ou transversaux réalisés à la partie inférieure de la dalle. Le poids du sol présent entre les voiles, ajouté au poids de l'ancrage lui-même, offre une résistance par frottement aux poussées longitudinales engendrées par la dilatation du béton.

L'efficacité d'une telle culée d'ancrage dépend du nombre de voiles et de la dimension de ceux-ci. Il va de soi qu'un tel ancrage doit être suffisamment résistant pour que l'amplitude résiduelle du mouvement des extrémités soit pratiquement inexistante.

Les voiles sont réalisés en creusant des tranchées dans l'assise, après la pose de la fondation. L'armature et les barres d'attente nécessaires sont posées et le béton est coulé contre les parois de l'excavation (sans coffrage).



Vue de la culée d'ancrage constituée de quatre voiles



Pose de l'armature au-dessus de la culée d'ancrage

Fig. 7 – Section transversale d'un voile d'ancrage

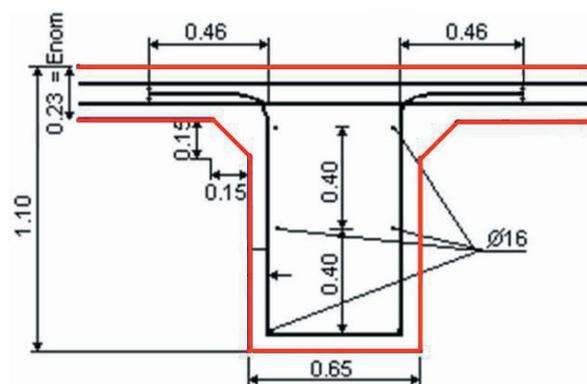
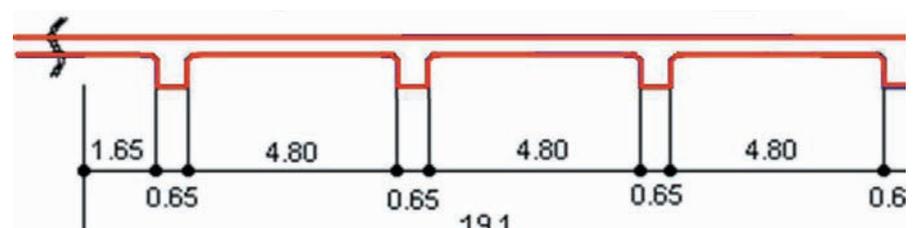


Fig. 8 – Section longitudinale et dimensions d'une culée d'ancrage



### 2.11.3 Joints d'extrémité

Contrairement à une culée d'ancrage, la mise en place d'un joint d'extrémité permet d'autoriser le mouvement de l'extrémité de la dalle tout en le reprenant.

La conception du joint d'extrémité utilisé sur le R1 est une version améliorée d'une précédente conception belge appliquée à Willebroek.

La dilatation et le retrait du revêtement en BAC sont rendus possibles au moyen d'un joint de dilatation classique appliqué aux revêtements de ponts. La bande de jointoiment est fixée dans des profilés ancrés des deux côtés du joint dans une poutre en béton armé.

Les deux côtés du joint sont munis d'une poutre en béton armé. La poutre en béton du côté du revêtement bitumineux s'appuie sur des pieux en acier pour réaliser un bon transfert des charges au droit du joint et pour éviter les tassements ou les glissements éventuels engendrés par les forces de freinage et d'accélération.

La poutre d'extrémité du côté du BAC est ancrée au BAC et repose sur une fondation en béton dont la partie supérieure est munie d'une surface de glissement afin de permettre les mouvements de la poutre d'extrémité sur cette fondation.

En cas de retrait du revêtement en BAC, la poutre d'extrémité doit pouvoir bouger librement avec le revêtement. C'est la raison pour laquelle un espace creux est prévu à l'arrière de la poutre d'extrémité pour permettre le mouvement en cas de retrait du revêtement en BAC.

En principe, la bande de jointoiment est étanche. L'eau qui s'infiltrerait malgré tout à travers la bande de jointoiment est évacuée, au point le plus bas du profil transversal, au moyen d'une conduite d'écoulement raccordée aux égouts.

### 2.11.4 Implantation des dispositifs d'extrémité

Aux USA, la solution avec joint d'extrémité (p. ex. : *Wide Flange Beam*) est appliquée presque aussi fréquemment que la solution avec voiles d'ancrage.

En Belgique, le cahier des charges-type SB 250 ne prescrit que l'utilisation de culées d'ancrage.

Néanmoins, en concertation avec l'Administration, il a été opté pour une construction d'extrémité avec joint de dilatation au début et à la fin du BAC de la voirie principale du R1 (4 voies de circulation + bande d'arrêt d'urgence). Les expériences précédentes positives à Willebroek et le prix moins élevé de ce type de construction justifient ce choix.

Contrairement aux extrémités de la voirie principale, on n'a pas eu le choix du type de construction pour les extrémités des voies d'accès et de sortie. En effet, il est nécessaire que le comportement du revêtement en BAC sur les voies d'accès et de sortie soit identique, autant que possible, à celui du revêtement en BAC adjacent de la chaussée principale.

Le revêtement en BAC de la chaussée principale ne bouge pas à l'emplacement des voies d'accès et de sortie. C'est la raison pour laquelle des culées d'ancrage ont été utilisées aux extrémités des voies d'accès et de sortie. Le nombre de voiles a été déterminé de telle sorte que l'amplitude résiduelle reste limitée à 4 mm.

Pour limiter au maximum l'ouverture des joints de construction longitudinaux, ceux-ci sont munis de barres d'ancrage supplémentaires.



Vue de l'armature du joint d'extrémité

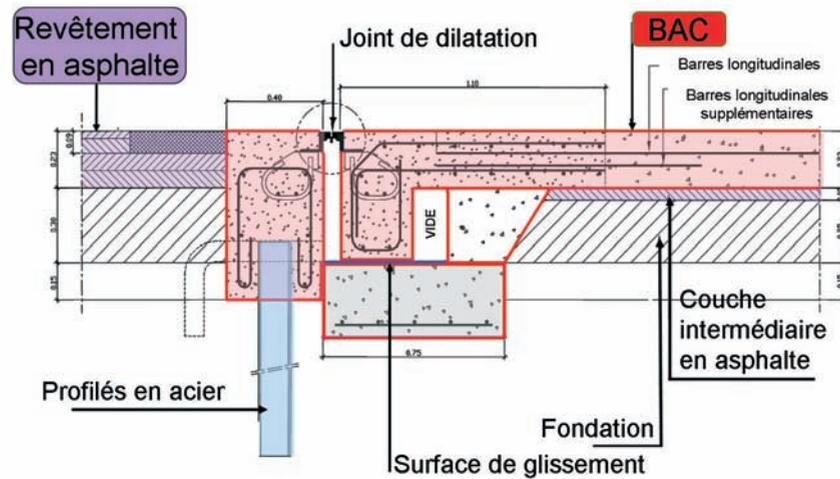


Fig. 9 – Section transversale du joint d'extrémité utilisé sur le R1

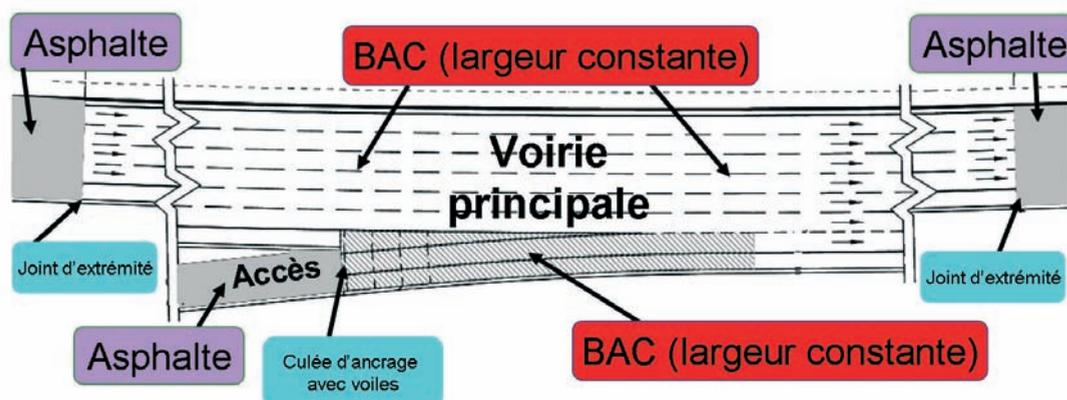


Fig. 10 – Vue générale de l'implantation des dispositifs d'extrémité

### 3. EXECUTION

#### 3.1 Délais

L'intérêt international porté au R1 et les volumes quotidiens exceptionnellement élevés du trafic sur le Ring ont rendu nécessaire un délai d'exécution des travaux aussi court que possible. Celui-ci a été limité à 140 jours calendrier pendant la phase principale 1 pour le ring extérieur et à 150 jours calendrier pour le ring intérieur.

En outre, le cahier des charges imposait pour les travaux sur le Ring une période de travail quotidienne de 16 heures par jour, 7 jours sur 7.

Les travaux d'entretien du tunnel Kennedy devaient être effectués en continu, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

En plus des travaux de voirie, 170 km d'égouts, 9 galeries et tous les ponts ont également été rénovés.

L'ensemble des travaux a exigé une organisation et une coordination poussées pour réaliser tant la qualité que la quantité des travaux conformément aux prescriptions du cahier des charges.

#### 3.2 Organisation du chantier

Sur toute la longueur du projet, une piste de chantier indépendante a été mise en place pour permettre, outre la circulation sur le chantier, le passage de véhicules d'intervention. Aux croisements avec le Ring, cette piste de chantier enjambait la circulation au moyen de ponts de chantier provisoires.

Il avait été imposé d'installer deux centrales sur le chantier même pour le traitement des matériaux de démolition à recycler et pour la fabrication du béton. Ceci a permis d'éviter au réseau routier environnant la charge supplémentaire du trafic de chantier.

Sur le terre-plein central, une paroi continue a été placée pour séparer visuellement la circulation concentrée d'un seul côté du Ring et les activités de chantier de l'autre côté, ceci afin d'éviter les bouchons dus à la curiosité des conducteurs.

#### 3.3 Pose du revêtement en BAC par phases

L'organisation de la circulation pendant les travaux et le choix des options techniques de base ont rendu nécessaires une organisation parfaitement réfléchie de l'exécution des travaux et un bétonnage en plusieurs phases, tant dans le sens de la largeur que dans celui de la longueur.

La pose du BAC sur le R1 a dû se faire en plus de phases que ce qui se fait habituellement. Les principaux aspects et difficultés de cette méthode d'exécution sont décrits ci-après.

#### 3.4 Zones à largeur constante

Il n'était pas possible de poser le revêtement en une seule fois sur toute la largeur, non seulement à cause de la largeur totale de la voirie, mais également du fait de la présence de l'armature du BAC qui aurait rendu l'approvisionnement impossible.

La machine à coffrages glissants utilisée permettait une largeur de construction maximale de 11 m. En principe, les 4 voies continues ont été posées en bandes de 2 voies (2 x 3,75 m) ou 1 voie + bande d'arrêt d'urgence, la pose se faisant depuis le terre-plein central vers l'accotement extérieur.

Le bétonnage des voies supplémentaires a ensuite été réalisé aux endroits prévus. La largeur de pose varie en fonction du nombre de voies, de la présence d'une bande d'arrêt d'urgence en BAC et/ou de la nécessité de prévoir une surlargeur pour la voie extérieure dans les cas où la bande d'arrêt d'urgence était localement absente ou devait être réalisée en asphalte.

#### 3.5 Zones à largeur variable

Comme il a été décrit plus haut, le R1 comporte un grand nombre de voies d'accès et de sortie. Au début et à la fin de ces voies, le BAC a été posé en largeur variable. Ceci a exigé non seulement un planning parfaitement réfléchi des phases de bétonnage mais également un plan détaillé des joints de construction avec toutes les dispositions concernant l'armature et les barres d'ancrage.

Tous les tronçons en largeur variable ont également été réalisés au moyen de coffrages glissants.

#### 3.6 Interruptions dans le sens de la longueur au niveau des traversées

Etant donné que les boucles de raccordement devaient rester ouvertes à la circulation en tout temps, il était inévitable de prévoir des traversées dans le chantier. Par conséquent, l'exécution du BAC n'a pas pu être réalisée en continu du début à la fin du chantier.

Il a été nécessaire d'interrompre la mise en œuvre du BAC sur une longueur d'environ 300 m au moyen de deux joints de construction transversaux.

Au total, 4 interruptions de ce type ont été réalisées sur une distance de près de 7 km. Grâce à un planning bien étudié et au bétonnage 24 heures sur 24, le nombre de joints de construction transversaux a été considérablement limité.



*Vue de la centrale à béton mise en place le long du chantier*

Le bétonnage de ces interruptions s'est déroulé différemment pendant la première phase de construction (travaux sur le ring extérieur en 2004) et pendant la deuxième phase de construction (travaux sur le ring intérieur en 2005).

En ce qui concerne le ring extérieur, chaque bande de bétonnage a été réalisée sur toute la longueur de la chaussée principale (par ex. 1, 2, 3), avant d'exécuter la phase de bétonnage suivante (4, 5, 6). Après bétonnage de l'ensemble des voies, la circulation traversante a été déplacée sur le béton nouvellement posé, et les interruptions ont ensuite été bétonnées. Cette procédure par phases a nécessité de réaliser provisoirement deux joints de construction transversaux dans le BAC, un à chaque extrémité de l'interruption, en plus des joints de fin de journée.

Pour les travaux du ring intérieur, l'entrepreneur a adapté les phases de pose du BAC et les horaires de travail, de manière à limiter au strict minimum le nombre de joints de construction transversaux, qui sont toujours des zones délicates dans un revêtement en BAC. Entre deux traversées consécutives, le béton a d'abord été posé sur toute la largeur (1, 2, 3).

La circulation traversante a ensuite été déplacée sur le nouveau béton, et la machine à coffrages glissants a été déplacée vers la section suivante où la même séquence de bétonnage a été pratiquée (4, 5, 6). Cette méthode de travail a résulté en un seul joint de construction transversal par interruption. Pour réduire encore le nombre de joints de construction transversaux, l'entrepreneur a éliminé les joints de fin de journée en effectuant les travaux en opération continue 24 heures sur 24. Ce mode d'exécution adapté a permis d'améliorer la finition du revêtement.

Un autre problème était posé par la circulation sur les traversées, qui ne pouvait être interrompue que brièvement et en dehors des heures de pointe pour permettre le passage de la machine à coffrages glissants d'un côté à l'autre de l'interruption. Le mode de travail adopté pendant la deuxième période de construction a également réduit le nombre de ces passages.

Quoi qu'il en soit, les deux méthodes d'exécution exigeaient en tout temps un planning détaillé et une coordination de la pose tant de l'armature que du béton.

## LIMITER LES NUISANCES

Le principal défi de la rénovation du R1 était (plus encore que de trouver les meilleures solutions techniques) de permettre la réalisation de ces travaux sur un axe de circulation qui reçoit quotidiennement jusqu'à 200 000 véhicules à certains endroits. Beaucoup craignaient un chaos total au niveau de la circulation et les entreprises anversoises se sont montrées extrêmement préoccupées lorsque des experts ont prévu une perte économique de 900 millions d'euros.

Par conséquent, parallèlement aux travaux, un programme de mesures d'accompagnement a été développé sous le nom de projet "Minder Hinder" (Limiter les Nuisances), dont l'objectif était de maintenir le flux de circulation sur le Ring à un certain niveau tout en garantissant l'accessibilité de l'agglomération anversoise. Les mesures étaient axées sur le transport public et privé et mettaient l'accent sur la multimodalité. Pour chaque euro dépensé pour les travaux de rénovation, un euro était consacré à ce programme. Certaines mesures avaient un caractère permanent, comme l'achat de bus et de trams supplémentaires.

### Mesures concernant la circulation des voitures particulières et des camions

Pendant les travaux de rénovation, la capacité du R1 a été ramenée à environ 60% de sa capacité maximale. Il a été choisi de diviser les flux de la circulation de transit et locale en fermant toutes les voies d'accès et de sortie locales du R1. La circulation de transit, d'une autoroute à une autre, a été maintenue sur le Ring tandis que la circulation locale a été encouragée à utiliser le Singel, le ring urbain parallèle au R1. Pour permettre une circulation plus fluide sur ce Singel, 35 carrefours ont été réaménagés et 5 ponts provisoires ont été installés.

#### Un pont provisoire sur le Singel



Grâce à l'utilisation optimisée du Singel, jusqu'à 25% de la capacité perdue a pu être récupérée. Les 15% restants ont dû être récupérés par le biais d'autres mesures.

Sur les voies d'accès à Anvers, de nouveaux panneaux de signalisation ont été placés pour indiquer la distinction entre le Ring et le Singel. A Anvers même, la signalisation était basée sur une division de la ville en zones et les anciens noms des portes de la ville ont été réintroduits sur les voies de sortie.

Une grande partie des véhicules circulant sur le Ring d'Anvers se déplace sur de longues distances. A une distance considérable d'Anvers, les usagers ont été encouragés à emprunter des routes alternatives. Ces conseils ont également été communiqués aux fédérations de transport belges et internationales.

### Mesures au profit des transports publics

Différentes actions ont été entreprises pour encourager la population à troquer la voiture contre les transports publics ou le vélo :

- la capacité accrue sur les liaisons ferroviaires, les trains supplémentaires, l'augmentation du nombre d'arrêts et l'extension des parkings aux abords des gares ;
- la capacité accrue des transports par tram et par bus, l'aménagement de voies libres pour les bus et de nouveaux parkings de dissuasion ;
- la mise au point d'un réseau cyclable à Anvers avec une signalisation et des stationnements supplémentaires pour les vélos.

#### Signalisation supplémentaire pour annoncer le chantier

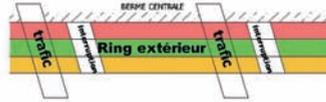


### PREMIERE PHASE DE CONSTRUCTION

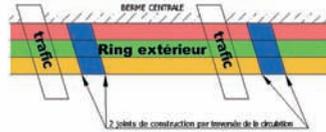
#### SEQUENCE DE POSE DU BAC SUR TOUTE LA LONGUEUR



#### DEPLACEMENT DE LA CIRCULATION TRAVERSANTE SUR LE NOUVEAU REVETEMENT EN BAC

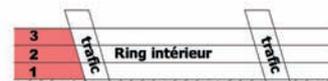


#### LES INTERRUPTIONS SONT COULEES



### DEUXIEME PHASE DE CONSTRUCTION

#### POSE DES VOIES 1, 2, 3



#### DEPLACEMENT DE LA CIRCULATION TRAVERSANTE SUR LE NOUVEAU REVETEMENT EN BAC ET POSE DE 4, 5, 6



#### DEPLACEMENT DE LA CIRCULATION TRAVERSANTE SUR LE NOUVEAU REVETEMENT EN BAC ET POSE DE 7, 8, 9



Fig. 11 - Mise en œuvre par phases : aperçu des phases successives de bétonnage dans la première (2004) et deuxième (2005) période

### La communication à son plus haut niveau

Sur le plan de la communication, toutes les initiatives imaginables ont été entreprises pour informer tant les citoyens individuels que les organisations professionnelles et socioculturelles ainsi que les autorités politiques locales des mesures prévues dans le cadre du projet "Minder Hinder". La campagne de communication a coûté pas moins de 3,1 millions d'euros.

Parmi les actions entreprises on peut citer :

- information par le biais du site web [www.antwerpen.be](http://www.antwerpen.be);
- implication de la presse parlée et écrite;
- collaboration avec les fédérations de transport nationales et internationales;
- création de points de contact spécifiques, qui ont été mis en place avec des "responsables accessibilité" en liaison avec les organisations clés de l'industrie et les autorités (locales).

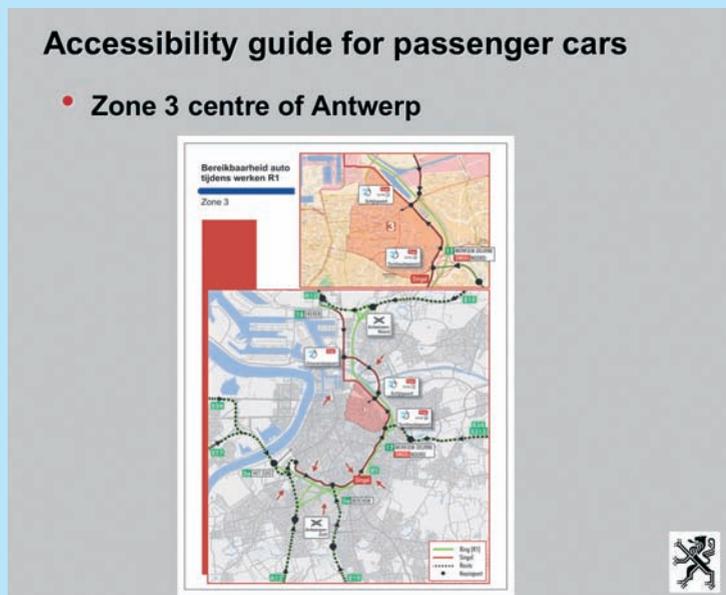
### Conclusion

Pour beaucoup, les travaux de rénovation du Ring d'Anvers n'étaient absolument pas réalisables : la vie économique d'Anvers allait être paralysée et le tourisme urbain réduit à néant.

Un effort et un investissement inédits jusqu'alors dans des mesures d'accompagnement et de communication ont permis de pallier ces inconvénients. La gêne provoquée par les travaux a été acceptée et était généralement prévisible. Les entreprises ont fait l'éloge de la manière dont les travaux ont été réalisés et la population s'est montrée satisfaite.

Une approche efficace dès le début du projet, avec application de mesures concrètes, une bonne préparation et une communication active ont montré qu'il est tout à fait possible d'exécuter des travaux de cette ampleur sur les axes de circulation les plus fréquentés avec un niveau de gêne acceptable pour toutes les parties.

Informations sur le site web concernant les voies d'accès à Anvers



Texte basé sur l'article

"Accompanying measures for rehabilitation of the Antwerp ring road" par Griet Somers, Responsable accessibilité, point de contact 'Minder Hinder', Région flamande, Belgique et Patrick Debaere, chef de projet, Ministère de la Communauté flamande, Belgique, dans le magazine PIARC-AIPCR ROUTES-ROADS, n° 329, 2006

### 3.7 Mesures au niveau de l'interruption provisoire

La présence des traversées pour la circulation a eu pour conséquence une interruption relativement longue (en moyenne plus de 7 jours) de la pose du BAC.

Jusqu'au moment où ces interruptions ont été colmatées, il était nécessaire de limiter le mouvement aux extrémités du BAC avant et après l'interruption, afin de ne pas rompre l'adhérence avec la sous-couche bitumineuse. Cela aurait pu être réalisé au moyen de voiles d'ancrage. Cependant, étant donné le coût élevé de tels voiles, il a été opté pour une solution moins coûteuse qui n'était de toute manière que provisoire.

Cette solution consiste à appliquer sur toute la largeur du revêtement en BAC une couche de sable humide de 0,50 m d'épaisseur sur une longueur de 50 m. Celle-ci fonctionne comme une couche isolante et limite par conséquent les variations de température dans le revêtement en béton. Une longueur de 50 m a été jugée suffisante étant donné la variation limitée de température qui pouvait être attendue pendant cette situation provisoire. Pour protéger le nouveau revêtement, une membrane plastique a été placée sous la couche de sable. La membrane plastique et la couche de sable ont été enlevées au plus tôt un jour avant le bétonnage du revêtement de raccord. Toutes ces opérations ont été effectuées avec la prudence nécessaire afin d'éviter d'endommager le revêtement. Si nécessaire, le revêtement existant a préalablement été nettoyé.

Lors de la pose du béton au droit des traversées, le sable n'a pas toujours pu être maintenu en place car il aurait empêché le passage des camions pour l'approvisionnement du béton. C'est la raison pour laquelle il a été décidé que l'entrepreneur pouvait enlever le sable sur une largeur et pendant une durée de temps limitée, à condition d'arroser la surface du béton afin de maintenir sa température aussi constante que possible.

### 3.8 Mise en œuvre et finition du revêtement en béton

Après la pose de la couche intermédiaire bitumineuse et la mise en place des armatures, la mise en œuvre du béton a été réalisée au moyen d'une machine à coffrages glissants de type CMI modèle HVW 2000 (aujourd'hui TEREX RB) avec une largeur de bétonnage pouvant atteindre 10 m.

La machine était équipée pour poser un revêtement en largeur variable. Cette opération est réalisée en largeur croissante pour éviter que le béton ne s'amoncèle devant la machine.

L'uni et la qualité des chemins de roulement des chenilles de la machine à coffrages glissants ont une grande influence sur l'uni de la surface finie du béton. Pour cette raison, des exigences strictes étaient imposées à ces chemins de roulement : une bonne portance, une rugosité suffisante et un uni équivalent à celui de la surface du béton.

Le béton a été approvisionné au moyen de camions-benne à partir des centrales à béton situées à proximité du chantier. Par temps chaud, des bâches ont été imposées.

Après pulvérisation du retardateur de prise, la surface du béton est protégée au moyen d'une membrane plastique. Le lendemain, le mortier de surface est éliminé par brosse. Le joint longitudinal est ensuite scié et chanfreiné, puis la masse de scellement est coulée.

Le béton est alors encore protégé contre la dessiccation par la pulvérisation d'un produit de cure (*curing compound*).



*Vue générale d'une interruption du BAC avec une couche de sable isolante aux extrémités*

*Vue rapprochée de la couche de sable isolante qui empêche le mouvement du BAC aux extrémités*



*Machine à coffrages glissants en action sur une largeur de pose de 7 m*



*Mise en place des barres transversales sur supports*



*Vue du recouvrement décalé des barres longitudinales*



*La machine à coffrages glissants guidée sur fils*



*Vue de la machine à coffrages glissants et de la vibration manuelle supplémentaire du béton le long des bords*



*Vue générale du train de bétonnage*



*Protection de la surface au moyen d'une membrane plastique*



*Forage des trous pour les barres d'ancrage*



*Scellement du joint longitudinal avec une masse coulée à chaud*



*Pulvérisation du retardateur de prise immédiatement après le bétonnage*



*Sciage du joint longitudinal*



*Élimination du mortier à la surface par brossage*



*Pose des goujons pour le revêtement en dalles de béton dans le tunnel Kennedy*



*Bétonnage dans le tunnel Kennedy*

## 4. ELEMENTS LINEAIRES

### 4.1 Caniveaux et filets d'eau en béton

Une évacuation efficace de l'eau de pluie était primordiale étant donné le grand nombre de voies et le drainage unilatéral des eaux de surface.

Dans le cas d'un filet d'eau classique avec des avaloirs, l'eau se déplace à la surface du filet d'eau vers l'avaloir. Lorsque celui-ci est bouché par des feuilles, à cause d'un manque d'entretien, etc. l'eau s'accumule sur la chaussée.

Pour cette raison, il a été opté pour un caniveau à fente du côté du terre-plein central. Ce type de caniveau se caractérise par l'évacuation souterraine de l'eau vers un raccordement au réseau d'égouts situé à proximité. Le diamètre du caniveau à fente offre une plus grande capacité de stockage en cas de fortes pluies. L'eau se répandra donc moins rapidement sur la chaussée. Le caniveau présente une surface plane, et est donc plus sécurisant en cas de franchissement qu'un filet d'eau classique. L'absence d'avaloirs réduit considérablement le risque d'obstruction, ce qui permet de limiter l'entretien et la gêne qui en découle pour le trafic.

Du côté des accotements latéraux, il a été opté pour un filet d'eau classique. L'accès à ce filet d'eau est nettement plus facile en vue de son entretien, ce qui limite la gêne à la circulation.

En outre, en cas de fortes pluies, d'obstructions, etc. l'eau peut s'accumuler sur la bande d'arrêt d'urgence avant d'empiéter sur la chaussée proprement dite.

### 4.2 Barrières de sécurité

#### 4.2.1 Barrière de sécurité en béton coulé en place

Etant donné le trafic particulièrement lourd et intense, le choix s'est porté dans le projet du R1 sur des barrières de sécurité en béton du type américain F, appliqués précédemment en Belgique sur l'autoroute A10 (E40) entre Grand-Bigard et Affligem.

Ce profil de type F existe en version haute (H = 1,07 m) et en version basse (H = 0,81 m). Pour le R1, le type F en version haute a été appliqué en raison de deux avantages importants :

- Un niveau de retenue plus élevé pour les camions grâce à la forme spéciale et à la hauteur de la barrière. En d'autres termes, il est pratiquement exclu qu'une voiture particulière, un autobus ou un camion se retrouvent sur la chaussée opposée en cas d'accident.
- Les conducteurs sont protégés au maximum contre l'éblouissement par les véhicules venant en sens inverse.

Naturellement, les nombreux autres avantages des barrières de sécurité en béton restent d'application, notamment :

- la stabilité et le caractère indéformable en cas d'impact, ce qui évite les collisions avec les éléments situés à l'arrière tels que les poteaux d'éclairage et les piliers de ponts ;
- la durée de vie de 50 ans sans entretien. L'entretien quasi inexistant est important car il évite à l'avenir des travaux gênants sur la route, ce qui profite à la sécurité et à la mobilité ;
- les rendements élevés lors de la pose ;
- le faible coût lié au cycle de vie ;
- l'aspect écologique (pas de peinture ou de couches de protection, pas de lixiviation, matériau recyclable, ...).

Aux USA, le profil de type F a été testé selon le "NCHRP Report 350" (National Cooperative Highway Research Program). Selon les critères de cette méthode d'essais, cette barrière satisfait au niveau d'essai 5, qui correspond aux essais d'impact suivants :

- voiture particulière – 100 km/h – angle d'impact 20° – masse 820 kg ;
- camionnette – 100 km/h – angle d'impact 25° – masse 2000 kg ;
- camion – 80 km/h – angle d'impact 15° – masse 36000 kg.

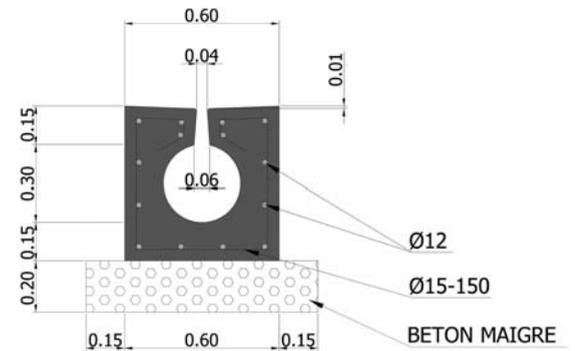
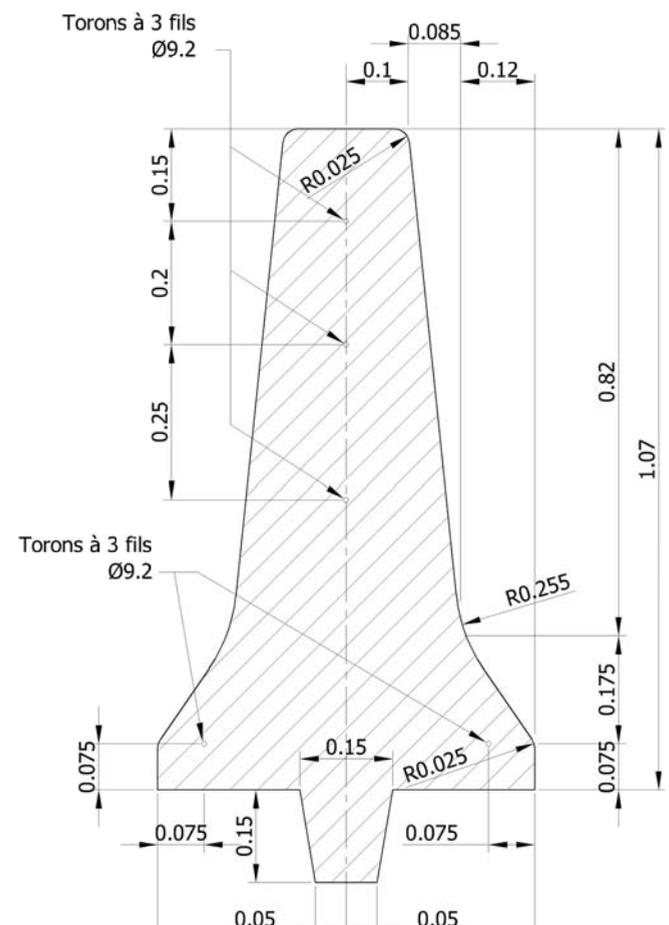


Fig. 11 – Section transversale du caniveau à fente



Vue de la barrière de sécurité en béton et du caniveau à fente

Fig. 12 – Section transversale de la barrière de sécurité de type F



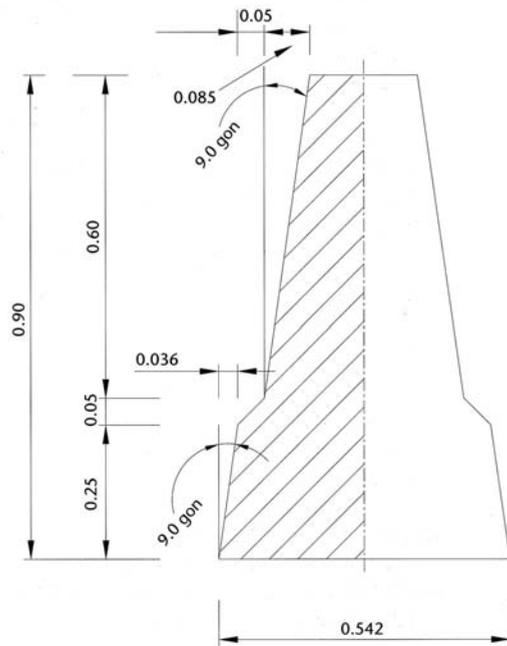
Ces critères diffèrent quelque peu des conditions d'essais de la norme européenne EN 1317-2, mais sur la base d'une interprétation comparative, on peut estimer que la barrière de type F satisfait très probablement au niveau de résistance H4.

L'application de la série de normes NBN EN 1317, dans les cahiers des charges-type belges ou les circulaires, impose cependant à l'avenir de satisfaire aux critères d'essais de ces normes en la matière. Le profil STEP, conçu aux Pays-Bas, offre ici une excellente alternative pour la construction de barrières de sécurité coulées en place. Ce type de barrière a été appliqué en Belgique entre autres sur l'autoroute A8 (E429) Bruxelles-Tournai et sur la N49 (E34) à hauteur d'Assenede.

Selon le rapport d'essais, le séparateur de type STEP satisfait au niveau de résistance H2 et à la largeur utile W2 ( $W \leq 0,8$  m). Le niveau de choc correspond à la catégorie B (*Acceleration Severity Index ASI*  $\leq 1,4$ ). Un niveau de retenue de catégorie H2 signifie que la barrière résiste aux essais suivants :

- essai TB11 - voiture particulière – 100 km/h – angle d'impact 20° – masse 900 kg ;
- essai TB51 - autobus – 70 km/h – angle d'impact 20° – masse 13.000 kg

Fig. 13 – Section transversale du séparateur de type "step-barrier"



Séparateur de type "step-barrier" le long de l'autoroute A8 Bruxelles-Tournai



#### 4.2.2 Barrière de sécurité en béton préfabriqué

Au droit des traversées, la barrière de sécurité coulée en place a été interrompue et remplacée par des éléments en béton préfabriqué. DELTA BLOC offre une gamme étendue d'éléments en béton préfabriqué, toutes testées suivant les normes européennes, dans différentes classes de niveau de retenue, de largeur utile et de niveau de choc. Le type placé sur le Ring d'Anvers est un profil New Jersey de 1 m de haut ayant un niveau de retenue H2, une largeur utile W6 et un niveau de choc B.

Un des avantages de ces éléments préfabriqués est qu'ils peuvent être utilisés pendant l'exécution des travaux pour assurer une protection efficace de la zone de travail, pour ensuite être replacés dans leur position définitive.

Un domaine d'application intéressant du DELTA BLOC est celui des ponts et des viaducs pour lesquels un type a été conçu avec un niveau de retenue H4b, la catégorie la plus élevée, une largeur utile W5 et un niveau de choc B. Un ancrage au revêtement sous-jacent permet de garantir une protection maximale en cas d'impact, sans que l'ouvrage d'art ne soit endommagé.

Pour le profil STEP décrit ci-dessus, il existe aussi une version préfabriquée qui satisfait aux normes européennes (H2 – W6 – B).

Deltabloc avec niveau de retenue H4b installé sur un viaduc (pont Siegtal à Siegen, Allemagne)



Deltabloc sur le Ring d'Anvers



## CONCLUSIONS

La rénovation du Ring d'Anvers est considérée comme une grande réussite, tant sur le plan technique que sur le plan de l'application des mesures d'accompagnement. Dans les deux domaines, un travail novateur a été effectué et l'approche intégrée peut indubitablement servir d'exemple à de futurs projets de même nature.

Sur le plan technique, la pose du BAC en largeur variable doit être considérée comme innovante dans la pratique belge. Ce constat s'applique également à la conception et à l'utilisation de joints de dilatation en tant que dispositifs d'extrémité pour le BAC, qui constitue une solution alternative à la pratique courante.

Un des avantages de ce projet était le fait que les travaux étaient répartis sur deux ans, avec des travaux de même envergure sur les deux périodes de construction. Cela a permis, tant au maître d'œuvre qu'à l'entrepreneur, d'améliorer les méthodes d'exécution et la qualité du travail.

Les observations lors de la conception et de l'exécution de ce projet ambitieux contribueront certainement au développement du BAC en Belgique et ailleurs.

Les travaux de rénovation du Ring d'Anvers démontrent qu'il est possible de construire un revêtement de qualité en BAC même dans des conditions difficiles, à condition de bien étudier au préalable les différentes phases et les détails de l'exécution et d'assurer un contrôle de qualité permanent pendant l'exécution des travaux.

## ÉPILOGUE

Ces dernières années, la rénovation du Ring d'Anvers n'a pas cessé de figurer dans les actualités. Non seulement parce que la réalisation d'un projet d'une telle envergure entraîne une série de problèmes qui paraissent parfois insurmontables, tant sur le plan de l'organisation que sur le plan technique, mais aussi en raison de l'intérêt économique et social exceptionnel que représente aujourd'hui ce chaînon de l'infrastructure pour la mobilité en Flandre.

Dans une certaine mesure, cette situation n'est cependant pas inédite. En relisant les annales de l'Association Intercommunale pour l'Autoroute E3, on peut constater de nombreux parallèles entre la situation lors de la réalisation originale du "Petit" Ring d'Anvers de 1963 à 1969 et la récente rénovation du R1 entre 2002 et 2005.

Les budgets étaient alors également limités, de telle sorte qu'il a fallu passer par un financement par le biais de la création d'une intercommunale et l'émission d'emprunts publics...

Les annales renseignent :

"Le Gouvernement... ne pouvait supporter aucune charge supplémentaire à cette époque. ... Après de longues discussions, il a été décidé de confier la construction de l'autoroute E3 à une Association intercommunale créée à cet effet."

Bien que l'échelle et les difficultés des travaux dans les années soixante (même avec les moyens actuels) étaient bien plus importantes qu'aujourd'hui, la réalisation réussie de cet exploit à l'époque (comme aujourd'hui) était le résultat d'une collaboration fructueuse entre entrepreneurs, administration et bureaux d'étude...

Les annales renseignent :

"Après cinq ans de collaboration exemplaire entre les entrepreneurs et le Conseil d'Administration et les fonctionnaires de l'Association intercommunale, l'un des plus gros travaux d'ingénierie de ce siècle s'est achevé."

Dans les années soixante, l'opinion publique se faisait du souci également et elle exigeait une infrastructure solide pour remédier à la saturation de l'unique raccordement, à l'époque, des rives de l'Escaut, à savoir le tunnel Waasland...

Les annales renseignent :

"Entre-temps, l'opinion publique s'était également intéressée à l'E3 en dehors du passage de l'Escaut. A partir de 1960, la presse spécialisée et la presse courante ont dédié des articles à l'autoroute tellement nécessaire et aux associations comme la VEV et la KVIV tandis que d'autres se souciaient de la longueur de la réalisation des travaux."

Même si les fonctions de "Responsable des communications" et de "Responsable accessibilité" n'existaient pas encore dans les années soixante, les responsables politiques de l'époque étaient aussi attentifs qu'aujourd'hui à l'implication du grand public grâce à l'organisation d'événements divers destinés au public...

Les annales renseignent :

"Pendant ce banquet, des ordres nationaux ont été remis aux fonctionnaires E3 et aux membres du personnel des entrepreneurs méritoires. Entre-temps, la population anversoise pouvait se promener à pied dans le tunnel, ce qui a été largement fait, de telle sorte que le tunnel a été ouvert à la circulation automobile avec un peu plus d'une heure de retard."

Toutes les parties étaient aussi satisfaites du résultat obtenu après avoir vécu les contrariétés d'une accessibilité déficiente de la ville d'Anvers pendant les années des travaux...

Les annales renseignent :

"Néanmoins, quelque chose a changé à Anvers. Tous les jours, 30.000 véhicules traversent le nouveau tunnel. Les centaines de personnes qui se sont fait du souci tous les jours pendant cinq ans, se montrent aujourd'hui fières de la

nouvelle situation et elles sont heureuses d'avoir contribué grâce à leurs efforts à l'amélioration des conditions de vie de leurs semblables."

L'expérience des années soixante n'a finalement différée de celle de la rénovation du R1 que sur un point, à savoir le faste de l'ouverture officielle. Cette différence est sans doute due à l'aspect "exploit" de la réalisation d'alors, compte tenu de l'évolution des moyens techniques depuis lors.

Les annales renseignent :

"Après les discours, les personnes présentes se sont dirigées vers le tunnel sous la Place Bolivar. Un ruban tricolore a été coupé par le Roi et le couple royal (ndlr : le Roi Baudouin et la Reine Fabiola), suivi par les invités dans leurs voitures et dans des bus, a atteint le tunnel en empruntant le complexe routier.

Une minute plus tard, tout le monde était sur la rive gauche..."

"Enfin, la journée s'est terminée par un feu d'artifice grandiose sur l'Escaut... Les dernières lumières du feu d'artifice se sont à présent éteintes et la vie de tous les jours a repris ses droits."

La vie a également repris son cours à l'époque, comme aujourd'hui !

## BIBLIOGRAPHIE

FUCHS F. ; JASIENSKI A.

*Le phénomène "punch-out" sur les autoroutes belges en béton armé continu*

Bruxelles, 1997

HENDRIKX L.

*Revêtements en béton silencieux*

Dossier Cement, bulletin 18

Bruxelles: FEBELCEM, 1998

SOMMER H.

*Developments for the exposed aggregate technique in Austria*

STET M.J.A.

*Betonverhardingen*

Doetinchem : Reed Business Information bv, 2003

STINGLHAMMER H. ; KRENN H.

*Noise reducing exposed aggregate surfaces experience and recommendations*

*Continuously reinforced concrete pavement (T 5080.14 & T 5040.29)*

Washington DC (USA) : Federal Highway Administration, 1990

*Cementbetonwegen*

Wegenbouw specialisatiekursus Deel II

Antwerpen : Studiecentrum Technische Ingenieurs, 1976

*Joints d'extrémité et culées d'ancrage*

Revêtements en béton armé continu en Belgique, Partie IV

Bruxelles : Ministère des Travaux publics – Administration des Routes

*Standaardbestek 250 voor de wegenbouw*

Versie 2.0 (2000) & versie 2.1 (2006)

Bruxelles : Ministerie van Vlaamse Gemeenschap -  
Departement Leefmilieu en Infrastructuur

*Wegstructuren, Dimensionering en Keuze van de verharding*

Bruxelles : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

*Cold in-place recycling of pavements with cement*

Association Mondiale de la Route (AIPCR)

World Road Association (PIARC)

Août 2002

*Stabilisation de débris provenant de la démolition de revêtements bitumineux au ciment*

Bruxelles : Centre national de Recherches scientifiques et techniques de l'Industrie cimentière (CRIC)

## PARTIES CONCERNÉES

La réussite de cette rénovation ambitieuse a exigé une collaboration intensive entre toutes les parties impliquées. En premier lieu le maître d'ouvrage : le Ministère de la Communauté flamande représenté par le Département des Routes et de la Circulation d'Anvers (qui fait partie depuis 2006 de l'Agence pour l'Infrastructure du Ministère flamand de la Mobilité et des Travaux publics).

Pendant la phase d'étude et de conception, un groupe de travail a été mis en place. Il était constitué d'experts dans différentes disciplines techniques, venant de l'Administration des Routes (services locaux et centraux), du Centre de Recherches Routières et du bureau pluridisciplinaire d'étude et de conseil TECHNUM, qui était également chargé de la rédaction des documents d'adjudication.

Pendant l'exécution, TECHNUM a été chargé du contrôle et de l'approbation des plans d'exécution et a donné des conseils techniques à l'Administration des Routes.

Le groupe d'entrepreneurs adjudicataires était constitué de l'Association momentanée VAN BROECKHOVEN – VAN GORP – WEGEBO, constituée par trois entrepreneurs routiers faisant partie de la section belge du groupe Colas. Entre-temps, les entreprises Van Broekhoven et Van Gorp ont fusionné pour former une nouvelle entreprise VBG. Les travaux de bétonnage ont été principalement exécutés par l'entreprise WEGEBO.

Une grande partie des plans d'exécution a dû être élaborée par l'entrepreneur avant et pendant les travaux. A cet effet, les entrepreneurs ont fait appel au bureau d'étude ARCADIS-BELGIUM.

En ce qui concerne les contrôles sur le chantier, le personnel de l'Administration des Routes a été assisté par une équipe du bureau d'études GRONTMIJ.

En outre, un plan qualité détaillé a été rédigé et suivi par l'organisme de certification et de contrôle pour la construction routière COPRO.

Les bureaux-conseils TRITEL et LIBOST ont été chargés de l'étude de l'implémentation du plan visant à limiter les nuisances.



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

auteurs:  
Ir M. Diependale  
Ir D. De Groof  
(TECHNUM)  
Ir L. Rens

éditeur responsable:  
J.P. Jacobs

dépot légal:  
D/2006/0280/11



Photos et illustrations :  
Ministère de la Communauté flamande  
THV Van Broekhoven-Van Gorp-Wegebo  
Manu Diependaele  
Ken Moons  
Omnibeton & Delta Bloc Europe GmbH  
Paul Van Audenhove