

LES CHAUSSEES EN BETON : IMPORTANCE DES TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES TRANSNATIONAUX DANS L'EVOLUTION D'UNE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION ROUTIERE AU XXE SIECLE

A. Jasienski
Directeur Promotion, Recherche et Développement
FEBELCEM (Belgique)
a.jasienski@febelcem.be

RÉSUMÉ

Les chaussées en béton sont une technique centenaire qui a fortement évolué au cours du XXe siècle tant du point de vue de la conception des structures de chaussées que des matériaux utilisés et des divers domaines d'applications. Cette évolution est pour une large part le résultat de transferts technologiques et des échanges d'expériences entre différents pays et en particulier, entre les Etats-Unis et certains pays européens. Cette communication se propose de montrer comment ces échanges internationaux se sont opérés, quels acteurs ont été impliqués, et quels ont été leurs impacts sur l'évolution de l'une des techniques maîtresse de construction routière.

La Belgique, comme certains autres pays européens, a œuvré à l'essor et au développement de ces chaussées par les nombreux contacts qu'elle a entretenus, notamment au sein des Comités Techniques de l'AIPCR, par les publications techniques éditées par l'AIPCR et par les transferts technologiques assurés par de nombreux experts dans différents pays.

1. INTRODUCTION

La majorité des routes dans le monde, et en particulier dans les régions en développement, est constituée de routes non revêtues. Les routes revêtues le sont pour la plupart par des revêtements bitumineux : enduits superficiels et tapis d'enrobés. Par ailleurs, plusieurs pays industrialisés ou en voie de développement possèdent une expérience, parfois très ancienne ou plus récente, en matière de construction de routes en béton de ciment.

Les chaussées en béton sont une technique centenaire qui a fortement évolué au cours du XXe siècle, tant du point de vue de la conception des structures de chaussées que des matériaux et des moyens d'exécution utilisés et des divers domaines d'application. Cette expérience est pour une large part le résultat de transferts technologiques et des échanges d'expériences entre différents pays et en particulier entre les Etats-Unis et certains pays européens. Ces chaussées sont appliquées, soit pour la construction d'autoroutes ou de routes principales, soit pour la voirie secondaire ou tertiaire tels les chemins d'exploitation agricole. C'est le cas notamment de nombreux pays européens tels la Belgique, la France, l'Allemagne, la Suisse, les Pays-Bas, l'Espagne, le Royaume Uni, l'Autriche, l'Italie, la Suède, le Danemark, la Norvège, la Russie, la République Tchèque, d'Amérique du nord et du sud tels les Etats-Unis, le Canada, le Mexique, l'Argentine, le Chili, d'Asie tels la

Chine, le Japon, la Malaisie, la Thaïlande, l'Inde, la Corée du Sud, de l'Afrique du Sud et de l'Australie.

L'application des chaussées en béton est conditionnée notamment par l'examen de facteurs tels que :

- les coûts de construction et d'entretien pendant la durée de vie totale de la chaussée,
- l'emploi de matériaux locaux, y compris le ciment, et son incidence sur la balance des paiements,
- le développement d'une technique de construction alternative pouvant être mise en concurrence pour certaines applications avec les techniques plus traditionnelles à base de liants bitumineux.

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons essayer de retracer brièvement l'histoire de la route en béton au XXe siècle ainsi que l'évolution de la conception et de la réalisation de ces revêtements. Le développement de ces routes en béton n'a pu se faire que par le biais d'échanges internationaux qui se sont opérés et qui ont été largement amplifiés ces dernières décennies, et grâce aussi à l'implication des maîtres d'ouvrage, des entreprises et des industries concernées.

La Belgique, comme certains autres pays, a œuvré à l'essor et au développement de ces chaussées par les nombreux contacts qu'elle a entretenus notamment au sein des Comités techniques de l'AIPCR, par ses contributions aux publications techniques éditées par l'AIPCR, et par les transferts technologiques assurés par de nombreux experts dans différents pays.

2. HISTOIRE DE LA ROUTE EN BÉTON

Jusqu'en 1900, le réseau routier dans les pays industrialisés était constitué principalement par des chemins pavés ou empierrés. L'apparition du véhicule automobile vers la fin du 19ième siècle et le développement progressif du transport routier ont conduit, d'une part, à l'amélioration et au développement du réseau routier, et ont nécessité, d'autre part, une adaptation des techniques de construction destinées à rendre la circulation plus confortable.

Jusqu'à la première guerre mondiale, c'est surtout à l'amélioration des revêtements qu'on s'intéresse. Afin de répondre aux contraintes liées à l'utilisation de l'automobile (pressions verticales et tangentielles, effets d'arrachement, production de poussières), de nouveaux procédés de construction ont été introduits, qui contiennent en germe les techniques en usage de nos jours : fondations à résistance plus grande, enrobage de la pierraille dans du goudron, macadam-mortier, pavés retaillés, petits pavés en éventail, et béton de ciment [1].

Les premières routes en béton ont été répertoriées dès la fin du 19ième siècle aux Etats-Unis et en Ecosse. La plus ancienne route des Etats-Unis date de 1891 et se situe à Bellefontaine dans l'Ohio [2]. Au début du XXe siècle, ce sont les Américains qui ont le plus étudié et développé la route en béton. En Belgique, les premières réalisations de revêtements en béton remontent aux années 1913-1914. Toutefois, l'application des revêtements en béton en Europe ne s'est développée qu'après la

première guerre mondiale au cours des années 1920, notamment en Angleterre, en Allemagne, en France, en Italie, aux Pays-Bas, et en Belgique. Le plus généralement, à cette époque, ces revêtements ont été posés comme revêtement de surface sur d'anciens empièvements jugés insuffisants pour résister au trafic des véhicules automobiles [3,4].

La longueur des dalles varie habituellement de 10 à 15 m. Les joints transversaux sont réalisés dans le béton frais sur toute l'épaisseur du revêtement, et scellés à la partie supérieure. Bien que le goujonnage des joints soit déjà pratiqué à cette époque dans certains pays, cette pratique n'était pas appliquée de manière courante. En revanche, la mise en place de barres d'ancrage dans les joints longitudinaux, pour éviter des dénivellations entre les deux bandes ainsi que l'ouverture du joint, commençait à être utilisée. En règle générale, les dalles n'étaient pas armées. Dans le cas de mauvais sols, ou si des tassements du sous-sol étaient à craindre, un treillis de 2,5 à 3 kg/m² d'acier était placé dans la partie inférieure des dalles [5].

Dans certains cas, peu nombreux, la route en béton a été réalisée directement sur le terrain naturel. A titre d'exemple, on peut citer la Drève de Lorraine, construite en 1925 dans la forêt de Soignes en périphérie de Bruxelles. Le profil en travers-type de cette route est donné à la figure 1. La mise en œuvre du béton a été réalisée manuellement entre coffrages fixes et en dalles alternées, c'est-à-dire une dalle sur deux en première phase, et les dalles intermédiaires dans une deuxième phase. Le compactage a été réalisé en deux couches ayant une épaisseur totale de 15 cm, avec renforcements latéraux. Le revêtement n'est pas armé, et malgré une conception dépassée, il est resté en service pendant une durée de 78 ans sans travaux de réparation majeurs.

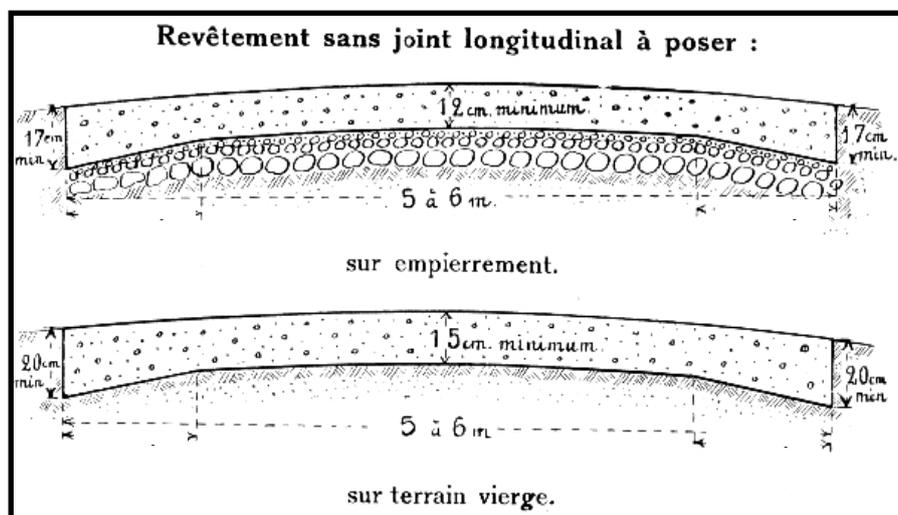


Figure 1 – Profil en travers type de la Drève de Lorraine

Au cours des années 1930, et toujours sur base du modèle américain, on assiste à l'émergence d'un réseau de routes nouvelles réservées aux seuls véhicules automoteurs rapides : les autoroutes. A titre d'exemple, on peut citer la construction d'un important réseau d'autoroutes en béton en Allemagne entre 1934 et 1939 [6], ainsi que les premiers tronçons autoroutiers en béton en Angleterre et en Belgique [7].

Tous ces efforts de rénovation sont malheureusement interrompus par la deuxième guerre mondiale. Durant cette guerre les routes souffrent énormément, mais ce sont les routes en béton de ciment qui résistent le mieux. Après la guerre et jusqu'en 1950, les efforts se concentrent surtout sur la réparation des dommages encourus.

Ce n'est qu'après 1950 que les grands moyens sont mis en œuvre pour l'amélioration du réseau routier existant et la construction d'un réseau de nouvelles routes et d'autoroutes, adaptées aux exigences toujours croissantes de la circulation et des transports routiers. A cet égard, la route en béton occupe une place de choix dans certains pays, dont la Belgique, notamment en raison de ses nombreux avantages sur les plans technique et budgétaire [8].

C'est surtout à partir de 1960 qu'un effort important est consacré à la réalisation d'un réseau autoroutier européen de grande envergure. Deux techniques sont utilisées principalement pour la réalisation du revêtement en béton :

- les revêtements en dalles courtes non armées, séparées par des joints de retrait transversaux munis d'un dispositif de transfert des charges par goujons,
- les revêtements en béton armé continu, qui ont connu un développement important à partir de 1970, principalement en Belgique.

Cette dernière technique, visant à supprimer les joints transversaux et à contrôler la fissuration par une armature continue, a été appliquée pour la première fois aux Etats-Unis à la fin des années 1930. Ces revêtements sont caractérisés par l'absence de joints transversaux, à l'exception toutefois des joints de construction et des joints de dilatation aux approches de certains ouvrages d'art. Les mouvements de retrait du béton, au lieu d'être concentrés dans les joints, sont répartis dans un réseau de fissures transversales fines ne mettant pas en danger le bon comportement du revêtement. L'espacement et l'ouverture de ces fissures est contrôlée par une armature longitudinale continue calculée de manière à obtenir un réseau de fissures d'ouverture inférieure à 0,3 mm, espacées en moyenne de 1 à 3 m.

En ce qui concerne la Belgique, c'est dans les années soixante que plusieurs voyages d'étude ont été effectués aux Etats-Unis par des délégations de hauts fonctionnaires et d'industriels belges afin d'étudier et ensuite de transposer la technique américaine du béton armé continu. Après la réalisation de quelques sections expérimentales entre 1965 et 1967, cette technique a été généralisée pour la construction des autoroutes belges à partir de 1970 [9]. Le béton armé continu constitue aujourd'hui environ 40% de la longueur totale du réseau autoroutier belge.

D'autres techniques ont été appliquées ou expérimentées dans certains pays, à savoir les dalles en béton armé, le béton précontraint ou le béton armé de fibres d'acier. Ces techniques ont cependant été soit abandonnées, soit réservées à des applications tout à fait particulières.

Depuis le début des années 1970, on assiste aussi à l'émergence d'une série de préoccupations nouvelles, à savoir l'amélioration de la sécurité et du confort des usagers et un souci toujours croissant pour l'environnement et le développement

durable. Celles-ci ont conduit, d'une part, au développement de nouveaux traitements de surface destinés à améliorer la qualité antidérapante des revêtements et à réduire les nuisances sonores provoquées par le trafic et, d'autre part, à l'application de techniques de recouvrement ou de recyclage visant à valoriser au maximum les matériaux en place. Ces techniques seront traitées plus en détail au paragraphe 4 ci-dessous.

3. ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES ROUTES EN BÉTON : ASPECTS TECHNIQUE, ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

A partir des années 1970, et notamment à la suite des crises pétrolières successives, on assiste à un regain d'intérêt pour les chaussées en béton dans de nombreux pays. C'est ce qui a motivé le Comité technique des Routes en béton de l'AIPCR, alors présidé par le Professeur C. Kraemer (Espagne), de publier en 1987, à l'occasion du XVIII^e Congrès Mondial de l'AIPCR qui a eu lieu à Bruxelles (Belgique), un document visant à rassembler l'état des connaissances en matière de routes en béton dans les pays qui utilisent la technique avec un minimum de consensus international [10], afin de permettre aux autres pays, industrialisés ou en développement, d'envisager leur application.

Le document comporte les parties suivantes :

- une partie destinée aux maîtres d'ouvrage décideurs : description des points essentiels de la technique pour aider à identifier plus facilement dans un contexte national particulier ses domaines d'emploi les plus spécifiques, choix technologiques principaux liés aux données du contexte économique,
- une partie destinée aux maîtres d'œuvre projeteurs, chargés de l'adaptation de la technique à leur propre contexte : conception et dimensionnement, choix des techniques à appliquer, éléments sensibles de la technique,
- une partie destinée aux entreprises et aux praticiens responsables de la mise en œuvre : caractéristiques des matériaux à utiliser, choix du mode de mise en œuvre, recommandations pour une bonne exécution,
- une partie sur les méthodes de suivi et les techniques d'entretien.

Sur un plan technique, la qualité principale d'une chaussée en béton est sans doute sa grande rigidité qui permet d'assurer une bonne répartition des charges sur les couches inférieures, et sa bonne tenue à la fatigue. Ces propriétés rendent le coût global d'une chaussée rigide souvent compétitif dans le cas de routes à trafic lourd ou intense (autoroutes et routes principales, routes industrielles, revêtements portuaires ou aéroportuaires,...), ainsi que pour les routes à faible trafic en particulier dans le cas de sols de faible portance.

L'évaluation des coûts sur toute la durée de service des chaussées en béton, tenant compte des différents paramètres pouvant être pris en compte pour l'établissement de ce coût (coût de construction et d'entretien, coûts de l'usager, accidents, environnement,...), fait l'objet d'une publication récente du Comité technique des

Routes en béton de l'AIPCR [11]. Des exemples de méthodes de calcul sont cités, qui sont utilisés notamment en Suède, au Royaume-Uni, aux Etats-Unis, au Chili (modèle HDM-4), en Australie et en Autriche.

En Belgique, une étude a été réalisée visant à établir une comparaison entre les coûts globaux de différentes structures de chaussées d'autoroutes à revêtements en béton armé continu ou en béton bitumineux [12]. Cette étude montre que, dans le contexte belge, le coût de construction d'une structure à revêtement en béton armé continu est de manière générale plus élevé que celui d'une structure à revêtement en matériaux bitumineux. Toutefois, en y incluant les frais d'entretien, les structures à revêtement en béton armé continu conduisent dans tous les cas à des économies substantielles, et ce à partir de sept, voire de quatorze ans, suivant les hypothèses. Ces conclusions justifient donc pleinement la décision prise par l'Administration des routes de construire une partie significative du réseau autoroutier en béton armé continu, eu égard aux faibles coûts d'entretien qu'il nécessite.

Les routes en béton cadrent aussi parfaitement avec le concept du développement durable. En effet, il est bien connu que la longue durée de vie des revêtements en béton a une influence bénéfique aussi bien sur les modèles comparatifs du point de vue économique que sur les analyses environnementales. La pose d'un nouveau revêtement ou une rénovation moins fréquente, de même qu'un entretien quasiment inexistant pendant leur durée de vie conduisent en effet à une moindre utilisation de matériaux et d'énergie et de plus, d'un point de vue global, à moins de désagréments pour les utilisateurs.

Sur le plan de l'environnement, parmi d'autres avantages importants, nous pouvons encore citer les suivants :

- les routes en béton sont à 100% recyclables. La réutilisation de déchets de béton dans les fondations est couramment appliquée depuis des années dans la construction des routes.
- les techniques modernes de béton lavé permettent actuellement de réaliser des revêtements en béton présentant un niveau sonore équivalent à celui des revêtements classiques en enrobés bitumineux. Elles constituent donc des routes qui conservent une excellente rugosité dans le temps et qui sont et restent donc confortables et sûres pour les utilisateurs.

4. CONCEPTION ET EXÉCUTION DES CHAUSSÉES EN BÉTON

Dans les paragraphes suivants, nous allons essayer de retracer l'évolution des pratiques en matière de conception et d'exécution des chaussées en béton, qui ont conduit aux pratiques actuelles.

4.1. Choix du type de chaussée

Jusque dans les années 1950, les revêtements en béton étaient constitués généralement de dalles relativement longues (de l'ordre de 10 à 15 m), et les joints transversaux étaient du type joints de dilatation ou de retrait non goujonnés. Cette conception dépassée des revêtements en béton, conjuguée à un trafic lourd, une

fondation non liée et la présence d'eau au contact dalle-fondation, aboutissait à plus ou moins brève échéance au phénomène de « pompage » aux joints et à la mise en escalier des dalles.

Grâce à l'expérience acquise dans les différents pays utilisateurs et les échanges à l'occasion de rencontres internationales, la conception des chaussées en béton a évolué à partir des années 1960 vers les pratiques actuelles suivantes :

- les revêtements en dalles courtes non armées avec joints transversaux de retrait. La longueur des dalles est limitée à 5 m. Pour les routes à fort trafic, le goujonnage des joints a été généralisé. D'autres mesures visant à réduire le risque de pompage et les contraintes dans les dalles sont l'application d'un drainage latéral et d'une surlargeur du revêtement [13];
- les revêtements en béton armé continu, qui sont généralement réservés pour la construction d'autoroutes ou de routes à fort trafic. Le taux d'armature longitudinale est généralement compris entre 0,67 et 0,76%. Un document de synthèse a été établi par le Comité technique des Routes en béton de l'AIPCR sur les différents aspects de ce type de revêtement, sur base d'une enquête auprès des pays utilisateurs de la technique [14].

4.2. Choix des matériaux de fondation

L'expérience acquise au fil des années montre l'importance des matériaux de fondation dans le comportement d'une chaussée en béton. Les anciennes chaussées en béton étaient construites le plus souvent sur des fondations en sable ou en grave non traitée ou même sur le terrain naturel. Dans le cas d'un trafic lourd et de la présence d'eau à l'interface entre le revêtement et la fondation, il en résulte une érosion de la fondation suite au phénomène de pompage précité.

On s'est donc orienté à partir des années 1960, dans le cas de trafics élevés et/ou d'un climat défavorable, vers des fondations liées moins érodables, à savoir la grave-ciment (avec une teneur en ciment comprise entre 2.5 et 4%), la grave-bitume ou le béton maigre.

Dans le cas du béton armé continu, une particularité de la conception qui a été initiée en Belgique au début des années 1970 et a ensuite été adoptée dans de nombreux pays tels les Pays-Bas, la Pologne... C'est la présence d'une couche d'enrobés bitumineux entre la fondation en béton maigre et le revêtement en béton armé continu (figure 2). Le rôle de cette couche s'est avéré déterminant dans le bon comportement de ces revêtements, car elle permet de réaliser une bonne adhérence du revêtement sur son support et évite ainsi la présence d'eau sous la dalle.

Pour les routes à faible trafic, comme par exemple les chemins d'exploitation agricole, viticole ou forestière, le revêtement peut être posé directement sur le terrain naturel, à condition que le sol soit de qualité suffisante (par exemple $CBR > 2$). Si ce n'est pas le cas, la fondation est habituellement réalisée en grave non traitée.

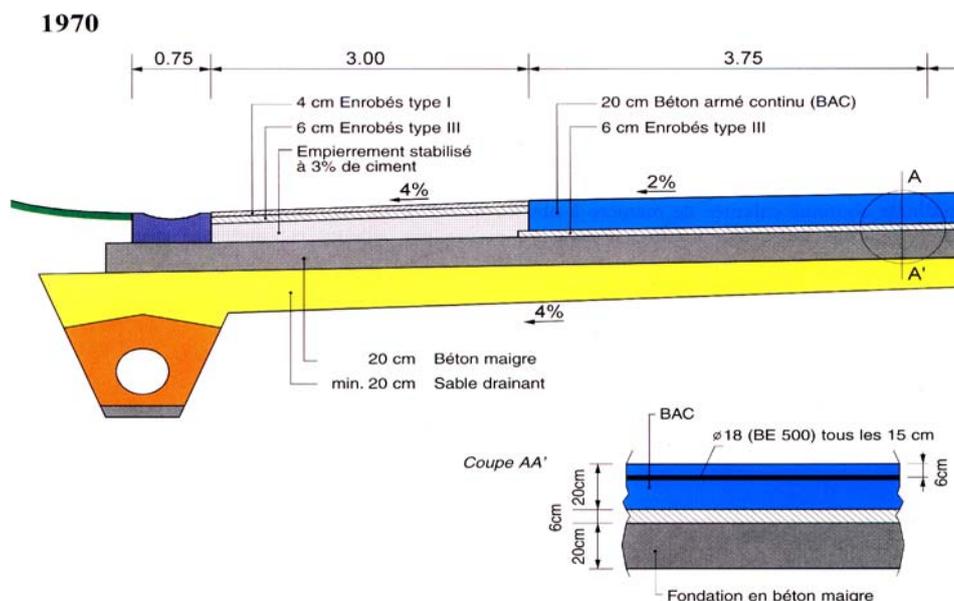


Figure 2 – Structure d'une autoroute en béton armé continu en Belgique (1970)

4.3. Matériel de mise en œuvre du béton

Les routes en béton sont réalisées à l'aide de machines qui répandent le béton, le vibrent et le lissent. Un traitement de surface est ensuite appliqué pour conférer au revêtement une rugosité suffisante.

Pour la réalisation des premières routes en béton, jusque dans les années 1930, le béton était en règle générale compacté par damage ou au moyen de machines pilonneuses [5]. Ensuite, et jusque dans les années 1960, la mise en œuvre du béton était réalisée presque exclusivement à l'aide de machines vibro-finisseuses circulant sur les rails de coffrages fixes [8]. En fonction de l'importance du chantier, le train de bétonnage pouvait comporter un certain nombre de machines pour la répartition du béton, le serrage, la réalisation des joints dans le béton frais, le profilage, le traitement de surface et l'épandage d'un produit de cure.

A partir des années 1960, ces machines ont été remplacées progressivement par les machines à coffrages glissants « slipform-paver », à commencer par les grands chantiers autoroutiers. L'invention de ces machines remonte à 1946 aux Etats-Unis, et a permis d'atteindre des performances nettement supérieures par rapport aux machines sur coffrages fixes. Elles ont été introduites progressivement dans les différents pays européens à partir du milieu des années 1960 [15,16], et ont depuis lors subi de nombreuses adaptations, par exemple l'ajout d'un équipement spécifique permettant d'insérer les goujons dans le béton frais par vibration. Elles se sont ensuite étendues à partir du milieu des années 1970 sur l'ensemble des réseaux, et sont actuellement utilisées presque exclusivement par l'ensemble des pays.

4.4. Traitements de surface

Le but du traitement de surface est de conférer au revêtement une rugosité élevée et durable, en particulier sur chaussée mouillée. Le traitement de surface le plus répandu est le brossage transversal ou longitudinal de la surface du béton frais.

Depuis la fin des années 1960, des recherches ont été conduites dans différents pays européens, dont la Belgique, visant à améliorer les propriétés antidérapantes des chaussées en béton. Une première technique, qui a été appliquée sur un certain nombre d'autoroutes au début des années 1970, est le rainurage transversal profond. Le résultat au niveau de l'adhérence s'est avéré excellent, toutefois ce traitement génère un bruit de roulement élevé tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des véhicules. D'autres techniques ont été expérimentées au cours des années 1970, à savoir le cloutage et le dénudage [17](figure 3).



Figure 3 – Aspect d'une surface traitée par dénudage

Le cloutage consiste à distribuer sur la surface du béton frais des granulats durs et peu polissables, et à les enchâsser ensuite partiellement dans le béton de manière à obtenir la rugosité souhaitée. L'avantage de cette technique est de permettre l'emploi de granulats polissables tels que le calcaire dans la masse du béton sans nuire à l'adhérence. Elle a été développée en Belgique dans les années 1970, et a ensuite été appliquée sur différents chantiers autoroutiers en France et au Canada. Elle est aujourd'hui abandonnée.

Depuis une vingtaine d'années, un autre traitement de surface est appliqué dans plusieurs pays, visant à réaliser une texture superficielle avec granulats apparents. Il s'agit du dénudage (figure 3), qui est appliqué en Belgique depuis le début des années 1980. Ce traitement consiste à pulvériser un retardateur de prise sur la surface du béton frais et à éliminer la pellicule de mortier superficiel après durcissement du béton, de manière à mettre à nu les granulats du béton. La surface ainsi réalisée présente à la fois des qualités optimales en matière d'adhérence et de bruit de roulement, et une grande durabilité à condition de disposer de pierres dures et peu polissables pour la fabrication du béton. Cette technique a ensuite été diffusée dans un certain nombre d'autres pays tels que la France, l'Autriche, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et plus récemment l'Allemagne.

4.5. Recouvrements et inlays en béton

Le recouvrement « overlay » consiste à recharger une chaussée existante, quelle que soit sa nature, d'un nouveau revêtement en béton. L'ancienne structure est ainsi

directement revalorisée comme fondation. L'insert « inlay », quant à lui, consiste à enlever tout ou partie de l'épaisseur du revêtement existant et à le remplacer par un nouveau revêtement en béton. Ces deux techniques font appel, soit aux dalles de béton, soit au béton armé continu. Elles ont été utilisées dans différents états des Etats-Unis à partir des années 1960, ainsi que dans de nombreux pays européens [18,19].

Les recouvrements en béton de ciment (figure 4) répondent particulièrement bien aux impératifs des travaux de rénovation routière, notamment là où les niveaux des seuils des bâtiments riverains ou le gabarit des ponts ne s'opposent pas au relèvement de la chaussée. Dans le cas d'une ancienne chaussée en béton, il convient préalablement de stabiliser le revêtement existant en fracturant les dalles en place. Il est aussi vivement recommandé de réaliser une couche de profilage entre l'ancienne structure et le recouvrement en béton. Dans le cas d'un revêtement bitumineux, on procède généralement au rabotage de la surface existante de manière à réaliser un recouvrement d'épaisseur uniforme.



Figure 4 – Recouvrement réalisé en 2003 de la Drève de Lorraine, construite en 1925

La technique de l'inlay est utilisée là où il n'est pas possible de remonter le niveau de la voirie existante, soit si seulement une partie de la chaussée doit être réfectionnée. Elle est particulièrement adaptée pour les voies de droite ou voies lentes des routes et autoroutes soumises à trafic lourd, et donc plus sujettes aux déformations que les voies de dépassement utilisées principalement par les véhicules légers et dont l'action sur les structures est considérablement plus faible.

Une application récente de cette technique sont les recouvrements ultra-minces, qui ont été développés aux Etats-Unis sous l'appellation UTW (« ultra-thin whitetopping ») au début des années 1990, et expérimentés depuis lors dans un certain nombre de pays. La technique consiste à raboter la couche supérieure d'un revêtement bitumineux orniéré sur une épaisseur de 5 à 10 cm et à la remplacer par une couche mince de béton adhérent, par exemple à l'approche de carrefours.

Différents essais ont été réalisés en Belgique au début années 2000, mais l'expérience est trop récente que pour pouvoir déjà en tirer des conclusions.

5. APPLICATIONS INNOVANTES

Les années 1990 ont aussi été marquées par l'émergence d'une série d'applications innovantes des revêtements en béton, qui sont brièvement décrites ci-dessous. Grâce aux échanges notamment dans le cadre des Comités techniques de l'AIPCR ou de rencontres internationales, ces technologies nouvelles ont pu être transférées rapidement dans les différents pays intéressés. Ces applications font l'objet de rapports détaillés, qui sont publiés dans les rapports des congrès mondiaux de l'AIPCR.

5.1. Giratoires en béton armé continu (figure 5)

En Belgique, comme dans de nombreux pays européens, la gestion du trafic aux carrefours importants est de plus en plus souvent organisée par des giratoires prioritaires, plus sûrs et plus fluides. Les revêtements y sont particulièrement sollicités, tant par les efforts tangentiels résultant de la force centrifuge et induisant des efforts de torsion à la surface que par la surcharge apportée par les roues extérieures suite au déversement latéral des véhicules. Pour toutes ces raisons, un certain nombre de pays réalisent ces giratoires avec un revêtement en dalles de béton.



Figure 5 – Giratoire en béton armé continu

Une première réalisation d'un giratoire en béton armé continu a eu lieu en Belgique au milieu des années 1990. Depuis lors, cette pratique y est devenue courante. La conception et le comportement sont identiques à ceux d'un revêtement en béton armé continu en alignement droit. Selon le dimensionnement et le rayon de courbure du giratoire, la pose s'effectue à l'aide d'une machine à coffrages glissants ou d'une poutre vibrante entre coffrages fixes. Le traitement de surface, ainsi que l'utilisation éventuelle de pigments colorés, peuvent aussi être adaptés aux caractéristiques du site concerné.

Cette application ouvre ainsi de nouvelles perspectives, en particulier dans les pays utilisateurs du béton armé continu.

5.2. Revêtements en béton silencieux

Différentes recherches ont été menées dans un certain nombre de pays, notamment en Belgique, aux Pays-Bas, en Autriche et en Allemagne visant à réduire le bruit de roulement au contact pneu-chaussée.

Pour la réalisation de revêtements en béton silencieux, il convient de réaliser une surface unie et à texture fine et dense. Celle-ci peut être obtenue, d'une part, par un traitement de surface par dénudage, et d'autre part, par une granularité adaptée du béton avec une limitation de la dimension des granulats par exemple à 20 ou 14 mm.

Des essais ont aussi été réalisés avec des revêtements en béton bicouches avec une dimension maximale des granulats dans la couche supérieure de 7 mm, celle-ci étant réalisée en béton fin dénudé. Les Autrichiens appliquent aujourd'hui cette technique de façon systématique pour la construction de leurs autoroutes. Contrairement à l'idée parfois répandue, ces résultats montrent qu'il est possible d'atteindre des niveaux de bruit de roulement avec des revêtements en béton comparables à ceux obtenus avec des revêtements en béton bitumineux.

5.3. Revêtements composites

Ces revêtements sont constitués d'une structure en béton (béton armé continu, dalles de béton ou béton sec compacté) et d'une couche de roulement en béton bitumineux. Le principe consiste à combiner de manière optimale divers matériaux de revêtement dans une structure routière, le béton devant assurer la qualité structurelle du revêtement et la couche de surface en béton bitumineux les qualités de la surface de roulement.

Cette technique est utilisée dans un certain nombre de pays, soit pour la construction de chaussées neuves en particulier sur le réseau autoroutier, soit dans le cadre de la rénovation ou de la réhabilitation de revêtements existants.

5.4. Aménagements urbains en béton coloré désactivé ou en béton imprimé

Ces dernières années, un effort important a été consacré dans plusieurs pays à la rénovation de voiries en milieu urbain. Afin de réaliser au mieux son intégration dans le contexte urbain, l'aspect du revêtement joue un rôle important.

Une technique, souvent utilisée en combinaison avec des pavages ou des dallages en pierre naturelle ou en béton, est le béton coloré désactivé. Il consiste à utiliser des granulats colorés et éventuellement un pigment dans le revêtement en béton. La mise en œuvre du béton est réalisée en une ou en deux couches. La surface est ensuite traitée par dénudage, de manière à mettre en valeur les granulats du béton. Cette technique a connu un développement important notamment en France et en Belgique.



Figure 6 – Exemple de béton coloré désactivé (Dinant – Belgique)

La technique du béton imprimé, qui a été développée principalement aux Etats-Unis, vise à conférer à la surface du revêtement l'aspect d'un pavage en pierre naturelle ou en béton. Elle consiste à épandre à la surface du béton frais une poudre colorante et durcissante, et à imprimer ensuite le béton au moyen de moules adéquats qui lui confèrent le motif souhaité. Cette technique est utilisée principalement en milieu urbain, et est réservée à des applications particulières, telles que les passages pour piétons, les giratoires, les dispositifs surélevés de voirie, les arrêts d'autobus,...

6. LES SYMPOSIUMS DES ROUTES EN BETON DE CEMBUREAU

6.1. Historique du Symposium

Au début des années 1960, le Secrétariat de CEMBUREAU, l'Association Européenne du ciment (fondée à Malmö, Suède en 1947) s'est installé à Paris. M. Henry Collis, Directeur en charge notamment de la promotion du ciment, a créé un groupe de travail « Promotion de la Route en Béton ». Conscient de ce qu'un tel groupe correspondait à un besoin du fait qu'on assistait à ce moment au développement du réseau autoroutier en Europe, il a contacté l'AIPCR dont le Secrétariat se trouvait à Paris. L'AIPCR fut très heureux de participer à ces travaux. Un « Joint Committee CEMBUREAU/AIPCR » présidé par M. Raymond Pelletier fut créé et fut chargé de la promotion des routes en béton.

En 1967, un 1^{er} « Congrès » fut organisé avec le soutien technique et scientifique de l'Administration française des Routes, CEMBUREAU ayant pris en charge tous les aspects logistiques et matériels. Une visite du chantier de l'Autoroute du Sud vers Dijon fit partie du programme.

C'est en 1969 que le 1^{er} Symposium International de la Route en Béton fut officiellement organisé à Paris en collaboration avec le Syndicat français de l'Industrie Cimentière (SFIC) et avec le parrainage de l'AIPCR. Des représentants désignés par CEMBUREAU et d'autres désignés par l'AIPCR étaient chargés de

l'élaboration du programme technique. Aujourd'hui, ce groupe est devenu l'ITPC (International Technical Programme Committee).

A partir de ce moment, le Symposium fut organisé par CEMBUREAU tous les 4 ans environ dans différents pays avec la collaboration locale de l'Association Membre de CEMBUREAU et toujours avec le parrainage de l'AIPCR.

1973	Berne	1994	Vienne
1978	Besançon	1998	Lisbonne
1982	Londres	2004	Istanbul
1986	Aix-La-Chapelle	...et	
1990	Madrid	2006	Bruxelles

La Belgique a eu l'honneur d'organiser le 10^{ème} anniversaire de cet événement. Du 18 au 22 septembre 2006 plus de 600 participants venus de 49 pays de tous les coins de la planète se sont réunis. Ce succès démontre l'intérêt pour les techniques de construction en béton de ciment et qui correspond aux préoccupations actuelles en matière de respect de l'environnement, ceci d'autant plus qu'un nouveau défi se présente en ce qui concerne le renouvellement et l'amélioration des réseaux routiers, notamment en Europe de l'Est.

6.2. Normes et pratiques pour les routes en béton

A l'occasion du 1^{er} Symposium International de la Route en Béton, un tableau synoptique des normes et pratiques pour les routes européennes en béton a été établi avec la collaboration du Comité technique des routes en béton de l'AIPCR et des experts d'une dizaine de pays. Ce tableau concerne aussi bien les normes de conception et d'exécution des revêtements en béton dans les différents pays, et notamment le dimensionnement vertical et horizontal, la conception des joints, les caractéristiques des matériaux et du béton, la fabrication et la mise en œuvre du béton [20].

Comme on pouvait le prévoir, il existe un grand nombre d'analogies dans la pratique des différents pays, mais on trouve aussi de grandes différences. Celles-ci ne sont pas inattendues puisque l'expérience montre qu'il est possible de calculer et de construire des routes en béton selon une grande variété de méthodes. Ce tableau a ensuite fait l'objet de plusieurs révisions, la dernière à l'occasion du Symposium de Vienne en 1994 [21].

Comme pour les travaux des Comités techniques de l'AIPCR, il est à signaler que dès la fin des années 1980, les Symposiums organisés par Cembureau se sont élargis aux experts des autres continents en dehors de l'Europe, facilitant ainsi les transferts technologiques transnationaux en matière de chaussées en béton à travers le monde.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ministère des Travaux Publics, Administration des Routes. AIPCR, Bruxelles (1987). Routes de Belgique : de l'antiquité à 1980
2. Snell Luke M. et Snell Billie G. (mars 2002). Oldest Concrete Street in the United States. Concrete International. pp 72-74
3. M. Despa, Groupement professionnel des fabricants de ciment Portland artificiel de Belgique, Bruxelles (juin 1929). La route en béton, ses principes d'établissement, son développement
4. R. Dutron, E. Despa. Premier Congrès national de la Route, Liège (1930). La route en béton en Belgique – 15 années d'expérience – Conclusions – Propositions
5. Groupement professionnel des fabricants de ciment Portland artificiel de Belgique, Bruxelles (1939). Exécution de la route en béton en Belgique
6. Kirschbaum Verlag, Bonn (août 1985). Autobahnen in Deutschland
7. J.M. Grégoire, Bruxelles (mars 1985). Autoroutes en Belgique : origine et réalisation
8. Centre d'Information de l'Industrie cimentière belge, Bruxelles (1950). La route en béton de ciment
9. Y. Dechamps, R. De Paepe, P. Dutron. International Conference on Concrete Pavement Design, Purdue University, USA (1977). Belgian experience with continuously reinforced concrete pavements
10. Comité technique des routes en béton de l'AIPCR, Paris.(1987). La route en béton de ciment : guide pratique pour le transfert des technologies
11. Comité technique des routes en béton de l'AIPCR, Paris (2000). Coûts des routes sur toute leur durée de service : chaussées en béton.
12. Ministère de l'Équipement et des Transports de Wallonie, Belgique (juin 2002). Revêtements hydrocarbonés et en béton armé continu sur les autoroutes. Comparaison économique.
13. Comité technique des routes en béton de l'AIPCR, Paris (1987). La lutte contre le pompage des chaussées en béton par drainage des interfaces et emploi de matériaux peu érodables
14. Comité technique des routes en béton de l'AIPCR, Paris. (1994). Revêtements en béton armé continu
15. Ponts et Chaussées de Seine et Marne, Société de l'autoroute Paris-Lyon, Paris (mars 1965). Autoroute A6 Saint-Germain sur Ecole-Nemours
16. A. E. Burks, M. F. Maggs. The Institution of civil engineers, London (1967). The Cromwell slip-form paver trials
17. F. Fuchs. International symposium on concrete roads, Cembureau, London (1982). Traitement de surface du béton frais par cloutage ou par dénudage
18. P. Sion. Fédération de l'Industrie cimentière, Bruxelles (1962). Route d'Etat Louvain-Diest. Resurfacement en couche épaisse de béton de ciment
19. L. Pirsch. La route en béton, janvier-avril 1965, Wildegg (Suisse). Resurfacement d'un ancien revêtement en béton
20. Comité technique des routes en béton de l'AIPCR, Symposium international de la route en béton, Cembureau, Paris (1969), Tableau synoptique des normes et pratiques pour les routes européennes en béton
21. International symposium on concrete roads, Cembureau, Vienna (October 1994). Synoptic table on standards and practices for concrete roads