

CONSTRUCTION DE REVETEMENT DURABLE AU MOYEN D'UN BETON ARME CONTINU A FAIBLE BRUIT DE ROULEMENT SUR AUTOROUTES EN BELGIQUE

L. Rens

Fédération de l'Industrie cimentière belge, Bruxelles, Belgique
l.rens@febelcem.be

C. Caestecker

Ministère de la Communauté flamande – Administration des routes et de la circulation du
Brabant flamand, Vilvorde, Belgique
christian.caestecker@lin.vlaanderen.be

H. Decramer

Ministère de la Communauté flamande – Administration des routes et de la circulation de
la Flandre-Occidentale, Bruges, Belgique
hubertjm.decramer@lin.vlaanderen.be

RESUME

Depuis plus de 30 ans, une grande partie des autoroutes belges est construite en béton armé continu. Le réseau autoroutier belge étant presque complètement achevé, une part importante des investissements routiers actuels est consacrée à la rénovation des chaussées en béton les plus anciennes. Certaines routes en asphalte sont également remplacées par des revêtements en béton, soit par une reconstruction généralisée, soit par un inlay limité à la voie lente.

Cette communication présente quelques travaux de rénovation effectués en Flandres (Nord de la Belgique) en 2001. Ces travaux sont tous réalisés à l'aide de béton armé continu et la surface est traitée par dénudage chimique afin d'obtenir un revêtement silencieux. Pour permettre une réduction du bruit de roulement, le diamètre maximum des granulats est, depuis plus de 10 ans, limité à 20 mm et en général plus de 20 % de ceux-ci appartiennent à la fraction 4/7.

Le premier chantier consiste en un inlay sur la voie droite d'une route principale à trafic dense (N31) présentant un orniérage important. La communication donnera des recommandations générales relatives aux inlays en béton ainsi qu'aux données concrètes spécifiques à ce chantier (trafic, conception géométrique, spécifications du béton, composition du béton et résultats des essais).

Le second chantier concerne la réhabilitation d'une section d'autoroute vieille de 40 ans (A12) constituée en dalles de béton non goudonnées en une nouvelle route fort confortable.

Outre les caractéristiques silencieuses, la communication mettra également en évidence d'autres aspects de la construction durable au travers de ce projet (recyclage, aspects de sécurité, choix du type de ciment).

Alors que la plupart des gens sont actuellement convaincus que le béton constitue une solution économiquement favorable, en tenant compte des coûts sur toute la durée de service y compris l'entretien et si possible, les coûts à l'utilisateur, il est aujourd'hui également important de montrer que le béton s'inscrit parfaitement dans le contexte global du développement durable.

MOTS-CLES

BETON ARME CONTINU / DURABLE / BRUIT DE ROULEMENT / INLAY

1. HISTORIQUE

L'histoire de la construction de routes en béton en Belgique est déjà ancienne. La Drève de Lorraine à Bruxelles, construite en 1925 et toujours en service aujourd'hui, en est un témoignage. C'est d'autant plus remarquable que cette route a été construite au moyen de dalles de béton d'une épaisseur de seulement 15 cm, posées sur une ancienne fondation en empierrement. En dépit de son mauvais état actuel, cette route fait toujours l'objet d'une utilisation intensive comme voie de transit dans la banlieue de Bruxelles. La figure 1 montre que la conception technique était déjà bien développée à cette époque. Les sections plus épaisses sur les bords du profil de la route montrent que l'effet de bord (l'apparition de contraintes maximales au bord d'une dalle rigide) était déjà bien connu.

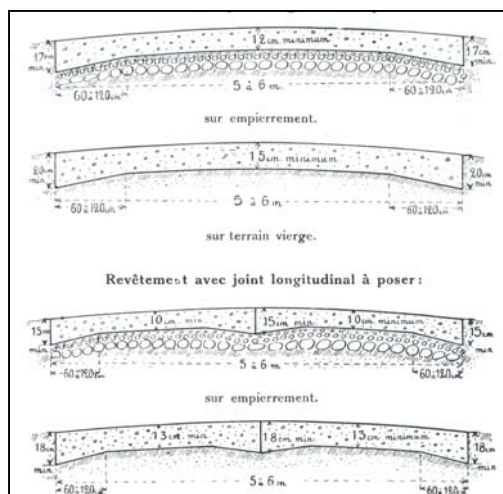


Figure 1 - Conception technique de 1930

La Drève de Lorraine n'a rien d'exceptionnel; en Belgique, beaucoup de routes en béton ont plus de 50 ans, même si certaines ont été recouvertes d'une couche de bitume pour des raisons de confort et de bruit.

Depuis la fin des années 60, la technique du revêtement en béton armé continu, empruntée aux Américains, a été largement utilisée pour la construction d'autoroutes et de routes principales.

Aujourd'hui, le réseau autoroutier belge est presque complètement achevé. En outre, il est devenu très difficile de construire de nouvelles routes pour des raisons politiques et environnementales. D'autre part, un certain nombre (de sections) d'autoroutes doivent être rénovées. Certaines sont en béton (dalles de plus de 30 ans), d'autres sont en asphalte. L'orniérage est souvent la raison pour laquelle des routes en asphalte relativement neuves doivent être rénovées. La présence de revêtements en béton armé continu sur des autoroutes qui ont plus de 30 ans et sont toujours en bon état? simplifie le choix des autorités responsables des routes, en particulier lorsque les coûts du cycle de vie sont pris en compte lors de l'examen de solutions de réhabilitation.

2. INLAYS

2.1. Introduction

Les overlays et les inlays sont deux techniques importantes pour la rénovation des routes principales. Toutes deux peuvent être réalisées en utilisant un revêtement en béton armé continu ou un revêtement en dalles de béton. Avec un overlay, la route existante, de tout type, est dotée d'une nouvelle surface routière en béton à un niveau supérieur. L'ancienne structure sert de fondation. Avec un inlay, le revêtement en béton est placé après avoir fraisé jusqu'à une certaine profondeur la surface en asphalte existante.

Il est évident que la voie de droite, sur laquelle roulent la plupart des poids lourds, aura une durée de vie beaucoup plus courte que les voies plus rapides, principalement utilisées par le trafic léger. C'est pourquoi utiliser la technique de l'inlay avec un revêtement en béton pour la voie de droite représente la solution idéale.

Lorsque l'on observe un inlay, certains détails de conception nécessitent une attention particulière.

En premier lieu, il faut s'assurer que la structure restante a une capacité de portance adéquate afin de garantir que la nouvelle route ait la durée de vie recherchée. Le plus important est que la nouvelle couche de liaison en asphalte ait toujours une épaisseur d'au moins 5 cm. Cette couche est toujours requise en Belgique lorsqu'un revêtement en béton armé continu est utilisé et il devrait en être de même pour des dalles en béton afin de garantir une conception durable et de haute qualité. Avec les inlays en particulier, on ne peut pas se baser sur les couches d'asphalte inférieures restantes qui ont le plus souffert de la fatigue et sont donc moins résistantes à l'érosion.

2.2. Etude de cas : la N31 Bruges-Zeebrugge

La route régionale N31 est une route principale située en province de Flandre-Occidentale, entre Oostkamp et Zeebrugge. L'intensité moyenne du trafic quotidien se situait entre 16 900 et 37 000 véhicules en 2000. La plus grande partie de cette route est constituée de deux voies dans chaque sens.

Avec le développement du port de Zeebrugge, le nombre de poids lourds sur la N31 a augmenté et entraîné l'apparition d'ornières sur la voie de droite, qui est la plus fréquentée. Une étude réalisée par l'administration des routes a montré que l'orniérage se formait dans les couches inférieures de l'asphalte rendant ainsi une rénovation structurelle nécessaire pour pallier ce problème.

Afin d'apporter une solution définitive au problème d'orniérage, les autorités ont décidé d'effectuer un inlay en béton armé continu sur la voie de droite entre Bruges et Zeebrugge. Le projet prévoyait une couche interface de 4 cm de béton bitumeux chaud (couche de liaison 0/14) et une couche supérieure en béton armé continu de 20 cm.

La largeur projetée était de 4,25 m, soit la voie elle-même de 3,5 m, plus une largeur additionnelle de 0,75 m. La largeur additionnelle augmente la distance entre les charges d'essieu et le bord du revêtement afin d'éviter le problème du "punch-out".

Quant à la voie de gauche, sa rénovation s'est limitée au remplacement de la couche supérieure d'asphalte à squelette pierreux (SMA). Le joint longitudinal entre le béton et le SMA a été réalisé au moyen d'une bande préfabriquée extrudée à chaud.

Sur une partie de la route, l'épaisseur de l'asphalte existant était insuffisante pour appliquer un inlay en béton armé continu et il fut décidé de pratiquer une rénovation classique à l'aide de couches bitumeuses.

Les exigences du cahier des charges type flamand (SB 250) ont été respectées pour la composition du béton. Ces spécifications sont :

- une teneur en ciment minimum de 375 kg/m³
- un rapport eau-ciment inférieur à 0,45

- une résistance à la compression caractéristique sur carottes (hauteur = 113 mm, $\varnothing = 100$ mm) après 90 jours supérieure à 60 N/mm²
- une absorption d'eau maximale de 6% en moyenne et de 6,5% individuellement.

L'entrepreneur a proposé la composition de béton suivante :

Porphyre 20/32	290 kg/m ³
Porphyre 7/20	570 kg/m ³
Porphyre 2/7	395 kg/m ³
Sable de rivière 0/5	580 kg/m ³
CEM III A 42,5 LA	390 kg/m ³
Eau	167 l/m ³
Plastifiant	1 l/m ³

Des essais de contrôle ont été effectués sur des carottes pour vérifier les valeurs de résistance à la compression et d'absorption d'eau.

La moyenne des 50 échantillons a donné une résistance à la compression caractéristique de 62,2 N/mm² (> 60 N/mm²).

L'absorption d'eau moyenne par immersion a été de 5,77% (<6%). Deux valeurs (sur 50) étaient supérieures au maximum requis de 6,5%.

Le traitement de surface choisi était un dénudage chimique comprenant :

- la vaporisation d'un retardateur de prise immédiatement après le bétonnage
- la protection du béton nouvellement coulé contre la dessiccation et la pluie en le recouvrant d'une feuille de plastique
- le dénudage de la surface en utilisant une brosse dure

Malgré l'utilisation de granulats jusqu'à 32 mm, le résultat est une belle surface à faible bruit de roulement, la fraction 2/7 apparaissant à la surface.

Le niveau sonore des deux voies (SMA et dénudage chimique) semble, en effet, être comparable. (Des mesures de bruit n'ont pas été réalisées).

En raison du volume du trafic touristique vers la côte belge pendant les mois de juillet et août, il était interdit de travailler durant ces deux mois. En outre, le travail n'était autorisé que dans un sens à la fois. Afin de réduire le problème d'accessibilité pendant les travaux, des zones de passage ont été aménagées à certains endroits. Malheureusement, il n'a pas toujours été possible d'éviter des dégâts aux armatures.

Pour diverses raisons, les carrefours routiers ont été rouverts au trafic après 7 jours. La résistance moyenne à la compression à ce moment-là était de 45 N/mm².

Avec ce projet, les autorités responsables des routes en Flandre-Occidentale ont opté pour une solution durable au problème des voies en asphalte orniérées. L'utilisation différenciée de béton pour la voie lente et du SMA pour la voie rapide montre clairement un choix conscient, lié à l'intensité du trafic. Par ailleurs, la surface à dénudage chimique garantit de bonnes performances eu égard à l'adhérence et au bruit de roulement.

En conclusion, ce projet est un exemple parmi beaucoup d'autres situations dans lesquelles un inlay en béton armé continu peut être une solution adéquate.

3. CONSTRUCTION ROUTIERE DURABLE

3.1. Aspects de la construction durable

Le concept de durabilité, pris dans le sens d'une qualité technique et économique, associé à une fonctionnalité raisonnée, a fait son chemin en construction et interpelle tout un chacun.

Un concept plus large de durabilité est utilisé dans un contexte environnemental : on tient compte de l'utilisation de matières premières non renouvelables, de l'utilisation de l'énergie et de l'impact sur l'air, l'eau et le sol. "Développement durable", dans ce sens élargi, signifie que l'on pense à l'avenir, aux générations à venir, même après 2050, date à laquelle la population mondiale pourrait avoir atteint 12 milliards d'individus. A l'instar de son sens écologique et économique, le sens social de la durabilité jouera un rôle de plus en plus important.

L'industrie belge du béton enregistre une production annuelle de l'ordre de 30 millions de tonnes de béton et de produits dérivés. Ces 30 millions de tonnes suffiraient à fabriquer un cube de 230 m de côté. Pour le béton, le flux de matières premières est aussi, à l'évidence, celui qui est le plus nocif pour l'environnement. Ces matières premières subissent toutes un traitement, le béton est fabriqué, transporté et mis en œuvre ; et tôt ou tard, il sera réduit en débris qui pourront être réutilisés. Cette séquence du "berceau à la tombe" peut être considérée comme un cycle de vie.

En ayant recours à une méthode scientifique d'analyse du cycle de vie, tous ces aspects environnementaux peuvent être quantifiés et ordonnés.

L'étude du cycle de vie peut se définir comme un instrument objectif pour évaluer les dégâts environnementaux associés à un produit en identifiant et en quantifiant l'énergie, les matériaux utilisés et les émissions dans l'environnement. De nouvelles techniques plus respectueuses de l'environnement peuvent ainsi être évaluées.

Etant donné que les revêtements en béton peuvent avoir une longue durée de vie dans le cycle de consommation et de production économique, ils peuvent obtenir des résultats positifs dans le cadre d'une analyse du cycle de vie.

Une analyse du cycle de vie est toujours effectuée sur une unité fonctionnelle dans laquelle le matériau est produit, par exemple, 1 m² de revêtement. Lorsqu'une analyse du cycle de vie est réalisée pour une route, trafic compris, il apparaît que la consommation de carburant représente 90% de son incidence sur l'environnement. Les 10% restants sont constitués par l'éclairage (5%) et le matériau de construction (5%). (référence (3)). Cela montre évidemment l'importance du matériau utilisé dans ce contexte. Toute contribution positive au développement durable est un pas dans la bonne direction.

Dans la phase finale du cycle de vie, c'est-à-dire le recyclage, le béton jouit d'une bonne réputation. Aujourd'hui, en Flandre, environ 85% de tous les débris de construction similaires à la pierre sont recyclés. Des douzaines d'installations de concassage effectuent le concassage et le criblage des débris de manière à pouvoir les réutiliser pour diverses applications. Actuellement, ces débris sont encore largement réutilisés pour le revêtement de nos routes. Il est évident que des quantités énormes de matières premières naturelles sont ainsi économisées.

Cependant, on peut encore aller plus loin. Les débris de béton peuvent aussi être utilisés comme matière première pour un béton neuf, en particulier, pour remplacer le gravier ou le concassé. Le cahier des charges type flamand permet déjà l'utilisation de débris de béton dans du béton maigre mélangé pour le revêtement des routes. Depuis, les projets

de recherches et de conception achevés et en cours établissent dans quelle mesure cela serait aussi possible pour le béton de construction et routier sans compromettre ses qualités qui l'ont toujours distingué. Beaucoup de progrès doivent sans aucun doute encore être accomplis. Le recyclage sélectif sur place ("concassage mobile") d'anciennes routes en béton avec réutilisation in situ pour la création d'une nouvelle route en béton de haute qualité constitue certainement l'une des possibilités, dont la principale est celle de la technologie du béton à 2 couches. Il est toujours plus facile, dans la couche inférieure, d'utiliser des granulats recyclés de "valeur inférieure" tout en réservant le matériau de meilleure qualité à la couche supérieure qui répond aux exigences sévères de résistance au polissage.

Une récente étude belge (réalisée par le CRIC - le Centre national de recherche scientifique et technique pour l'industrie cimentière) a également montré que la lixiviation d'un revêtement en béton traditionnel belge était totalement inoffensif pour l'environnement. Les quantités de métaux lourds lixiviés étaient inférieures aux quantités présentes dans l'eau minérale destinée à la consommation humaine.

Un autre problème environnemental important est celui du bruit. Les routes en béton ont la mauvaise réputation d'être très bruyantes par comparaison avec l'asphalte. Toutefois, cette idée est désormais dépassée en raison des techniques modernes de dénudage chimique de la surface du béton et de l'utilisation de graviers à grains fins (0/20 avec une haute proportion de 4/7). Les réalisations flamandes sont en la matière un modèle pour les concepteurs et entrepreneurs routiers partout dans le monde. Avec des surfaces en béton lavé, les niveaux sonores sont comparables à ceux de l'asphalte silencieux. En outre, les caractéristiques acoustiques du béton lavé sont constantes dans le temps alors que dans le cas de structures ouvertes (asphalte ou béton poreux), les pores sont bouchés après quelques années.

Les aspects de sécurité d'une surface routière peuvent aussi être considérés comme un critère pour le développement durable.

La texture du béton et la finition correcte de la surface garantissent une résistance optimale au dérapage même par temps de pluie. L'absence complète d'ornières est un atout, en particulier pour les surfaces à trafic très dense.

La planéité parfaite de la route assure un bon confort de conduite. Avec les machines à coffrages glissants modernes, les surfaces en béton armé continu peuvent être posées avec la certitude qu'elles auront la planéité requise.

Une bonne visibilité nocturne est également un facteur déterminant pour la sécurité routière. La haute réflectivité d'une route en béton fait que celle-ci est clairement démarquée pour l'utilisateur ce qui lui permet d'éviter plus facilement des obstacles éventuels.

3.2. Etude de cas : l'A12 de Meise

Pendant l'été 2001, l'autoroute A12 Bruxelles-Anvers a été complètement rénovée à hauteur de Meise (nord de Bruxelles) sur une distance de 3 km dans les deux sens. La surface existante, construite en dalles de béton, était âgée d'environ 40 ans.

Les données les plus importantes sur ce projet sont résumées ci-dessous :

- La surface en béton et la couche de fondation ont été totalement démolies et remplacées.
- Les dalles en béton (20.000 tonnes au total) ont été démolies sur place et criblées pour donner des granulats réutilisables que l'on retrouvera dans la nouvelle couche de fondation.

- Une installation de fabrication du béton, contrôlée par ordinateur et d'une capacité théorique de 120 m³/h, était présente sur place .
- La composition du béton utilisait deux types de sable (sable de rivière 0/5 et sable fin de l'Escaut 0/1) et des fractions de porphyre 4/7, 7/14 et 14/20 de manière à fournir une granulométrie continue.
- Un entraîneur d'air a été utilisé pour parvenir à une bonne résistance contre l'écaillage par les sels de déverglaçage. La teneur en air moyenne était comprise entre 3,5 et 5,5 %. Des essais selon la norme ISO/DIS 4846.2 ont montré une perte moyenne de 2,6 g/dm² après 30 cycles, ce qui illustre une résistance exceptionnelle. (Pour les routes régionales, une perte de plus de 5 g/dm² est acceptable, mais il n'existe aucune disposition à ce sujet dans le cahier des charges type flamand. Même sur du béton neuf (20 jours d'âge), une perte de seulement 4,7 g/dm² a été mesurée. Les sels de déverglaçage peuvent donc être utilisés lors des premières gelées qui suivent la pose du revêtement sans risque de dégradation.
- Les anciennes barrières de sécurité en acier ont été remplacées par de nouvelles barrières de type F "New Jersey", d'une hauteur de 80 cm.
- La finition de la surface consiste en le lavage du béton. Vu que 25 % des inertes étaient d'une fraction 4/7, la structure exposée était constituée de granulats fins donnant un bruit de roulement très faible.

Les niveaux sonores ont été mesurés (voir tableau 1) sur le nouveau revêtement en béton lavé fin, sur une section de béton plus vieux avec de plus gros granulats en surface, sur une section de vieux béton bitumineux et sur une nouvelle section d'asphalte à squelette pierreux. Les mesures sont faites au moyen d'une remorque acoustique équipée de quatre roues différentes et à une vitesse de 80 et 120 km/hr.

La conclusion était que le nouveau béton fin (ca. 102,5 db(A)) et le nouvel asphalte à squelette pierreux (ca. 102 db(A)) étaient très comparables. Une différence de 0,5 db(A) n'est en effet pas audible.

Les niveaux sonores des vieilles sections en asphalte et en béton étaient de 3 à 4 db(A) supérieurs ce qui démontre encore une fois que le bruit de roulement augmente avec le calibre des granulats en surface.

- Les caractéristiques de résistance à la compression obtenues variaient entre 58,0 et 75,7 N/mm², ce qui est largement supérieur aux 52,5 N/mm² requis. Cela montre clairement que, malgré l'utilisation d'un entraîneur d'air, un revêtement en béton extrêmement résistant peut être créé par une composition correcte et une teneur en ciment adéquate, soit 400 kg/m³ .

	Direction Bruxelles - Anvers	Direction Anvers - Bruxelles
Béton bitumineux 0/22	105.5	105
Béton lavé (granulats 32/40)	105.7	105.6
Béton lavé (granulats fins 4/7)	101.8	102.1
Asphalte à squelette pierreux 0/10	102.4	102.6

Tableau 1 – Mesures de bruit sur la A12
(niveaux sonores moyens en db(A) à une vitesse de 120 km/hr)

4. CONCLUSIONS

Les divers projets qui ont eu recours à la technique de l'inlay ont démontré sa faisabilité. Diverses options existent : dalles en béton avec goujons, béton armé continu, béton lavé à faible bruit ou surface composite (couche supérieure en asphalte (ouvert)). Néanmoins, il est très important d'évaluer la structure à revêtir quant à sa capacité de portance résiduelle et de toujours prendre des dispositions pour renouveler la couche d'asphalte intermédiaire. Le renforcement structurel de la voie de droite, qui est la plus chargée, peut dans nombre de cas se révéler économiquement avantageux.

Les caractéristiques qui font du béton un matériau respectueux de l'environnement, les surfaces routières modernes en béton lavé résistantes au dérapage, la couleur claire, les bonnes caractéristiques au niveau du bruit et l'absence totale d'orniérage sont des facteurs qui militent en faveur d'un revêtement en béton armé continu.

Le développement durable sera un aspect de plus en plus important de la construction routière et toutes les parties concernées sont donc invitées à faire un effort. Les analyses du cycle de vie permettent à chacun d'optimiser sa performance environnementale.

REFERENCES

- FUCHS, F. & JASIENSKI, A. (2001) Concrete Road paving. FEBELCEM Cement Information nr. 26. Belgium
- FUCHS, F. & JASIENSKI, A. (1996) Concrete Inlays on heavily trafficked lanes. Belgium
- HENDRIKX, L. (1998) Low-noise concrete pavements. FEBELCEM Cement Information nr. 18. Belgium
- JASIENSKI, A (1998) Concrete overlays and inlays. FEBELCEM Cement Information nr. 14, Belgium
- LOFSJOGARD, M. (2000) Functional Properties of Concrete Roads- General Interrelationships and Studies on Pavement Brightness and Sawcutting Times for Joints. Royal Institute of Technology, Department of Structural Engineering. Stockholm
- MARION, A.M. & DE LANEVE M. & DE GRAUW A. Research to the leaching behaviour of road concrete. CRIC-OCCN Report 1999-2000. Belgium
- KOLMANN, A. (2002) Mesures et évaluation du bruit de roulement sur différents sections d'essai sur la A12 près de Meise, RWTUV Fahrzeug GmbH, Allemagne