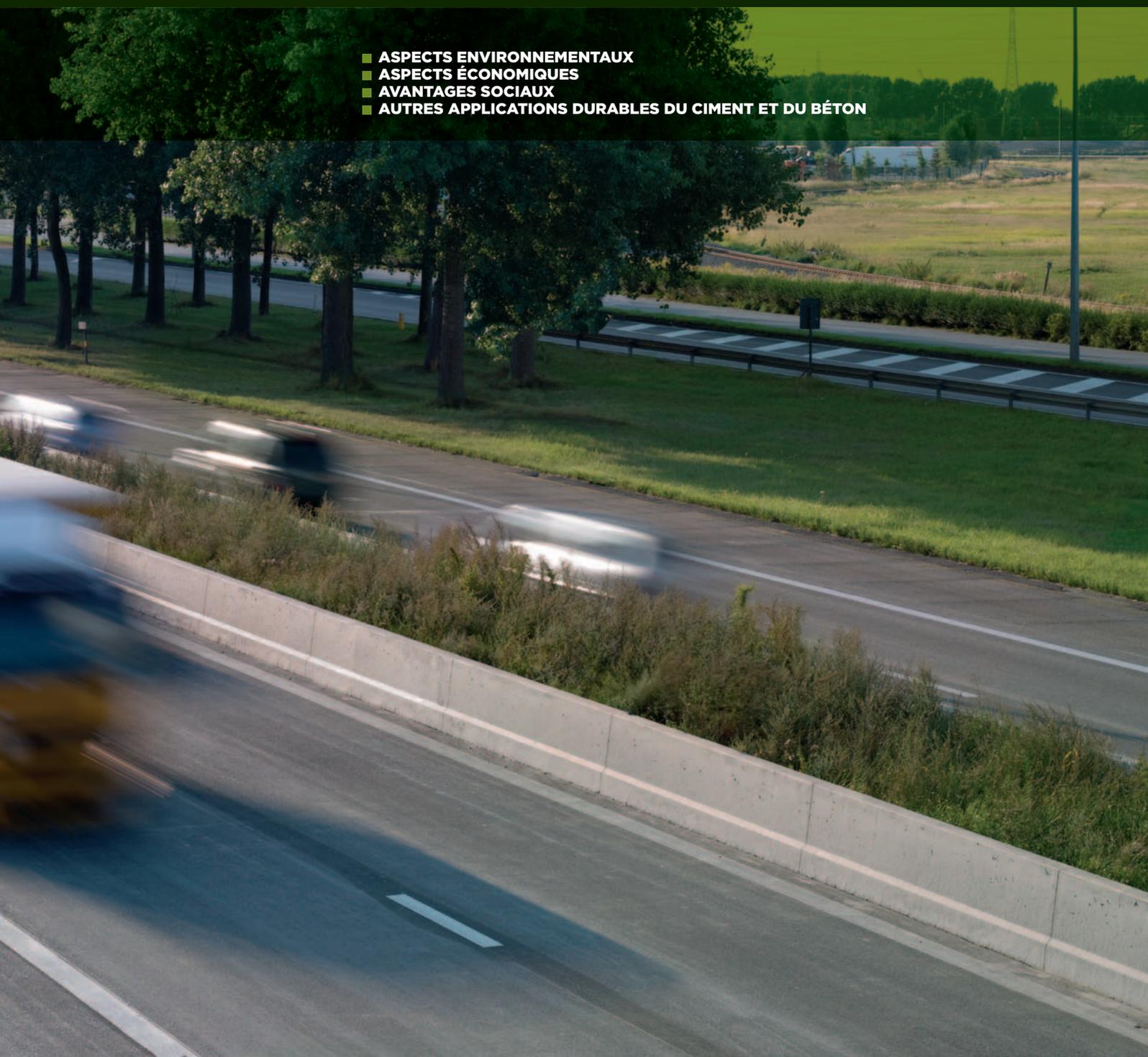


# LA ROUTE EN BETON : UN CHOIX REFLECHI ET DURABLE

- ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX
- ASPECTS ÉCONOMIQUES
- AVANTAGES SOCIAUX
- AUTRES APPLICATIONS DURABLES DU CIMENT ET DU BÉTON



# TABLE DES MATIERES

Préambule	3
Aspects environnementaux des routes en béton	4
Empreinte écologique & ACV	4
Impact du type de revêtement sur la consommation en carburant des poids lourds	8
Utilisation de « ciment basse énergie »	9
Réduction des émissions de CO <sub>2</sub> grâce à la valorisation de combustibles de substitution	9
Fixation de CO <sub>2</sub> par le béton	10
Inoffensif en termes de lixiviation	11
Recyclable	11
<i>Rénovation de la N49/E34 à hauteur de Zwijndrecht au moyen d'un revêtement bicouche en béton armé continu avec des granulats recyclés dans la couche inférieure</i>	12
Plus importante réflexion de la lumière et plus faible réchauffement climatique dans les zones urbaines	12
Aspects économiques des routes en béton	14
Durée de vie – Entretien – Coûts générés pendant la durée de vie de la route (analyse du coût en fonction du cycle de vie)	14
Résistance aux conditions climatiques	15
Coûts relatifs à l'éclairage	15
Stabilité des prix	15
Importance de la concurrence entre les différents types de revêtements	15
<i>Comparaison, sur le plan économique, entre les revêtements bitumineux et ceux en béton pour les autoroutes</i>	16
Avantages sociaux des routes en béton	18
Réduction des embouteillages en raison de travaux de maintenance moins fréquents	18
Caractéristiques de surface améliorées sur toute la durée de vie de la route	18
Confort de roulement	18
Sécurité	20
Bruit	21
<i>Cas de Herne</i>	22
<i>Cas d'Estaimpuis</i>	23
<i>Cas de Zwijndrecht</i>	23
Autres applications durables du ciment et du béton	24
Un éventail de solutions au profit de la mobilité	24
Sécurité incendie dans les tunnels	25
Techniques de traitement des sols, recyclage en place et immobilisation des sols pollués	26
Revêtements perméables	26
Revêtements en béton dépolluant	27
Conclusions	28
Références bibliographiques	29

## PRÉAMBULE

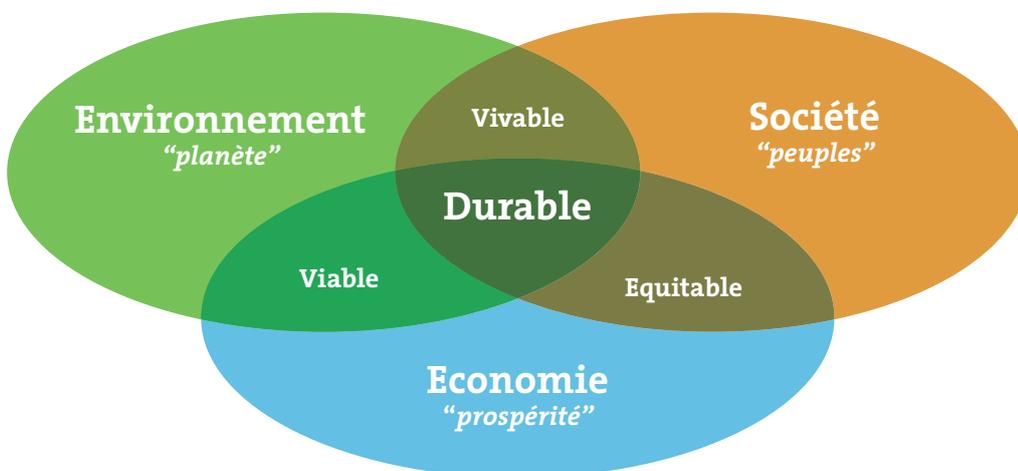
De nos jours, chacun est conscient du défi universel que nous devons relever : comment adapter notre mode de vie et quels sont les mesures à prendre pour lutter efficacement contre le réchauffement climatique tout en s'assurant que les générations futures puissent vivre une vie épanouie. Voici le principal argument du développement durable : combler les besoins d'aujourd'hui, en tenant compte à la fois des aspects économiques, écologiques et sociaux dans chaque processus décisionnel, afin de pouvoir offrir une réponse adaptée aux besoins de demain. Dans notre secteur, nous qualifions cela de « construction durable ».

Depuis toujours, les constructions en béton et les routes en béton ont la réputation d'être durables. Par le passé, les caractéristiques importantes étaient principalement l'aspect robuste et le fait que ces revêtements ont une longue durée de vie. Toutefois, aujourd'hui, l'équation devient plus complexe. L'exploitation des matières premières, la fabrication des constituants, leur transport, le processus de construction dans son intégralité, la phase d'utilisation et les possibilités de recyclage ou de réutilisation sont examinés de près en vue de parvenir à une évaluation globale. Nous ne nous bornons donc plus à parler de matériaux durables uniquement en fonction de l'exploitation ou de la production de ceux-ci, mais nous tentons d'avoir une vision plus globale des divers processus qui entrent en ligne de compte. L'objectif est de trouver des solutions durables pour le transport des personnes et des marchandises.

Pour les infrastructures de transport et pour les routes en particulier, nous pourrions proposer la définition suivante de durable :

« les routes durables exploitent efficacement les ressources naturelles, en respectant l'environnement, pendant l'entièreté de leur cycle de vie ; elles améliorent les possibilités de transport pour l'ensemble de la société ; elles rendent des services à l'ensemble de la société en termes de mobilité, de sécurité et de confort par le biais de choix réfléchis opérés lors de la conception, de la construction, de l'entretien, de la rénovation et de la démolition et du recyclage ».

La présente publication a pour but de démontrer, au travers d'expériences belges et internationales, que les routes en béton actuelles peuvent constituer une solution durable pour notre société, et ce, en respectant les trois piliers de la construction durable : l'environnement, l'économie et le social. Elle se veut un outil de réflexion qui ne restera pas figé dans la mesure où de nombreuses recherches dans ces domaines sont toujours en cours.



## ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DES ROUTES EN BETON

Le pilier « environnemental » est celui qui reçoit la plus grande attention dans le cadre du développement durable et souvent – que ce soit justifié ou non - il n'est même pas tenu compte des aspects économiques et sociaux. En raison de la problématique des gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique et en raison du rôle joué par l'homme dans cette évolution, l'aspect écologique est davantage souligné. Mais qu'est-ce qui est véritablement « écologique » et qu'est-ce qui ne l'est pas ? Pour le déterminer, nous utilisons de nombreux systèmes d'évaluation, dont certains sont plus fiables et plus complets que d'autres. Par exemple, dans le cadre d'une procédure d'adjudication pour la construction d'une nouvelle autoroute, il est possible, en vertu des principes du « *Green Public Procurement* » (Marché public écologique), de prendre en compte des considérations écologiques en vue de trouver des solutions alternatives. Ci-après, nous aborderons une série de facteurs qui, dans le cadre de la construction d'une route en béton, peuvent avoir des répercussions sur la décision finale. Certains facteurs peuvent être déterminants, d'autres ont peut-être une influence moindre, mais il ne faut certainement pas les négliger.

### EMPREINTE ÉCOLOGIQUE & ACV (ANALYSE DU CYCLE DE VIE)

La durabilité au sens strict du terme, à savoir la longévité durant la phase d'utilisation, joue un rôle crucial dans les trois aspects de la construction durable. Pour les aspects liés à l'environnement, cette longue durée de vie se marque par le biais de « l'empreinte CO<sub>2</sub> » (Anglais : « *Carbon Footprint* ») ou encore par le biais de la méthode d'évaluation plus large de l'ACV – Analyse du Cycle de Vie.

L'empreinte CO<sub>2</sub> représente la quantité totale de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'autres gaz à effet de serre (méthane, oxyde nitreux, gaz fluorés) émis par un produit à compter de sa création jusqu'à sa mise hors service par réutilisation, recyclage ou déversement. Le CO<sub>2</sub> a été choisi en tant que gaz de référence et les autres gaz sont exprimés en équivalent CO<sub>2</sub> pour ce qui concerne leur capacité de réchauffement.

Cette empreinte carbone, qui tient compte exclusivement des effets sur le changement climatique, ne constitue qu'un élément de l'approche globale ACV, qui vise à évaluer l'impact total sur l'environnement pendant

l'intégralité du cycle de vie – « du berceau au cercueil » - selon une méthode standardisée (ISO 14040, ISO 14044). En effet, en ne tenant compte que des gaz à effet de serre dans le cadre d'un processus décisionnel, nous pourrions parvenir à des mesures qui présentent des répercussions négatives pour d'autres aspects liés à l'environnement. C'est pourquoi les systèmes d'appréciation et d'évaluation liés à l'impact sur l'environnement doivent toujours s'inscrire dans le cadre d'une approche holistique honnête qui couvre toutes les phases de l'existence d'un ouvrage. Dans ce cas-ci, il s'agit de revêtements. Il apparaît assez rapidement qu'en ce qui concerne une route en béton d'une durée de vie de 30, 40 ans voire plus, qui ne nécessite quasiment aucun entretien ou rénovation, le bilan relatif à l'environnement est assez positif en raison des économies qu'elle permet de réaliser à long terme en matières premières, transport et en énergie. Il convient également d'ajouter que les routes en béton occasionnent moins d'embouteillages à cause de la réduction du nombre de travaux d'entretien nécessaires, ce qui engendre une réduction de la consommation de carburant et de l'émission de gaz d'échappement.

Afin de déterminer la position des routes en béton par rapport aux revêtements bitumineux, le Centre français d'information sur le ciment et ses applications CIMbéton a chargé le Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris de réaliser une étude ACV sur ce sujet. Sur base de données objectives provenant d'une université suisse et d'une université allemande, les chercheurs ont comparé l'impact de six structures routières différentes au moyen de douze indicateurs environnementaux. Ces

**Tableau 1 : Potentiel de réchauffement de plusieurs gaz à effet de serre**

Nom – Description	Formule chimique	Capacité de réchauffement sur une période de référence de 100 ans (Global Warming Potential GWP <sub>100</sub> )
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	1
Méthane	CH <sub>4</sub>	25
Oxyde nitreux (gaz hilarant)	N <sub>2</sub> O	298
Hydrocarbures fluorés CFC, HCFC, HFC, PFC	-	124 – 14.800
Hexafluorure sulfuré	SF <sub>6</sub>	22800

**Tableau 2 : indicateurs environnementaux de l'étude ACV de CIMbéton**

Indicateur	Unité
Energie primaire	MJ
Consommation en eau	kg
Ressources naturelles	10 <sup>-9</sup> (consommation par rapport aux réserves mondiales)
Déchets	t eq
Déchets radioactifs	dm <sup>3</sup>
GWP <sub>100</sub> (gaz à effet de serre)	kg CO <sub>2</sub>
Acidification	kg SO <sub>2</sub>
Eutrophisation	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Ecotoxicité	m <sup>3</sup> eq. eau polluée
Toxicité humaine	kg eq. viande avariée
O <sub>3</sub> -smog	kg eq. C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Mauvaises odeurs	m <sup>3</sup> eq. air pollué par l'ammoniac

indicateurs peuvent avoir une portée globale, à l'échelle planétaire, comme l'énergie ou les gaz à effet de serre ou revêtir plutôt un aspect régional ou local comme le smog, les odeurs, l'acidification, etc.

Dans le cadre de cette étude, une ACV a été établie pour quatre structures en béton, une structure composite et une structure en béton bitumineux et ce sur base d'une autoroute à deux fois deux bandes de circulation sur une longueur d'un kilomètre et une pour une durée d'utilisation de 30 ans. Le volume de circulation pris en compte pour la phase d'utilisation s'élève à environ 100 millions de véhicules personnels et 25 millions de poids lourds.

Les structures étudiées sont les suivantes :

1. 21 cm de revêtement en dalles de béton goujonnées posé sur 15 cm de béton maigre ;
2. 19 cm de revêtement en béton armé continu



Revêtement en dalles de béton goujonnées

3. 22 cm de revêtement en béton armé continu posé sur 5 cm de béton bitumineux ;
4. 37 cm de revêtement en dalles de béton non goujonnées posé sur 10 cm d'empierrement non lié ;
5. un revêtement composite constitué de 2,5 cm de béton bitumineux et de 17 cm de béton armé continu (BAC) posé sur 9 cm de grave-bitume ;
6. un revêtement bitumineux de 8 cm d'épaisseur posé sur deux couches de grave-bitume de 13 cm d'épaisseur chacune.

Il est évident que les structures décrites ci-dessus, basées sur l'expérience française, ne correspondent pas du tout aux structures types appliquées à la façon dont les routes sont construites en Belgique. Dans notre pays, pour les autoroutes dont le trafic lourd est important, nous prévoyons en général, des structures plus conséquentes : soit 23 cm de béton armé continu sur une fondation de 20 cm en béton maigre avec une couche intermédiaire en béton bitumineux, soit un ensemble de 21 à 25 cm de béton bitumineux sur une fondation en béton maigre. A première vue, la solution belge en BAC semble être moins avantageuse en termes de gaz à effet de serre. Toutefois, l'expérience nous a montré qu'une durée de vie de 40 ans est tout à fait réaliste et ce, sans interventions d'entretien très lourdes telles que prévues dans l'étude française. De cette manière, il est même possible d'obtenir un gain non négligeable pour l'environnement. D'autres hypothèses en termes de matériaux, de mise en œuvre, d'entretien et de recyclage peuvent tout à fait être envisagées et adaptées. A défaut d'une comparaison fiable au niveau belge, cette étude nous permet toutefois d'obtenir une image globale de la situation.

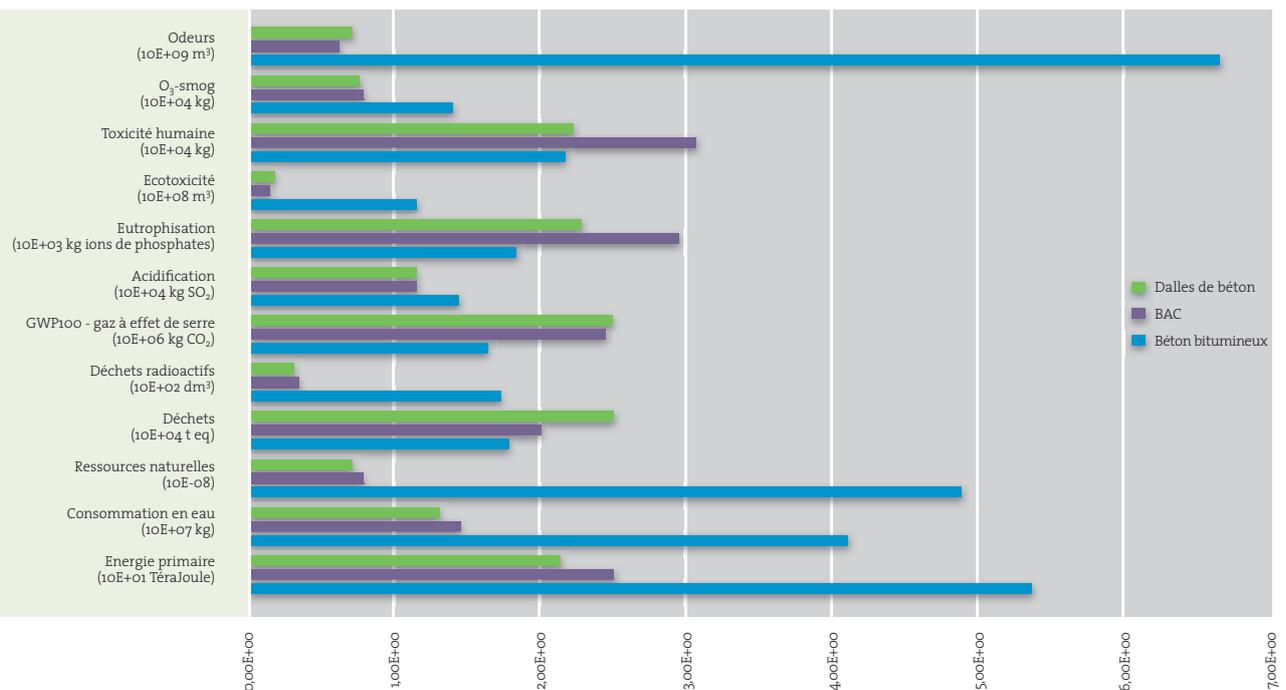


Revêtement en béton armé continu

Les résultats peuvent être présentés dans un diagramme permettant de comparer les structures entre elles dans le cadre des douze indicateurs relatifs à l'environnement qui ont été retenus. Chaque histogramme est muni d'une échelle en fonction de l'unité de mesure utilisée pour l'indicateur en question, si bien que les différences entre les différentes structures peuvent être observées de façon visuelle. Plus la barrette est courte, plus l'impact de l'indicateur sur l'environnement de la structure en question est faible. Il n'est pas possible de comparer la longueur des barrettes entre les différents indicateurs, étant donné que les unités de mesure ne sont pas les mêmes. Cette étude n'attribue pas de poids particulier aux indicateurs liés à l'environnement.

La figure 1 présente une comparaison entre la structure en béton n°1 (dalles de béton goujonnées), la structure en béton n°3 (béton armé continu sur couche bitumineuse) et la structure hydrocarbonée n°6 pour les phases d'exploitation et de production des matières premières, la fabrication et le transport des mélanges, la mise en place des différentes couches, l'entretien et le démantèlement à la fin de la durée de vie. La phase d'utilisation en tant que telle, ou, en d'autres termes, l'impact de la circulation, n'y figure pas. La structure bitumineuse est plus avantageuse que la structure en béton pour les indicateurs Déchets, Gaz à effet de serre, Eutrophisation et Toxicité humaine. Par contre, la structure en béton est plus avantageuse pour les indicateurs Energie, Eau, Ressources naturelles, Déchets radioactifs, Acidification, Ecotoxicité, Smog et Odeurs.

Figure 1 : Impact de plusieurs indicateurs liés à l'environnement sur la durée de vie (30 ans) d'une route à l'exception de la circulation – Comparaison entre un revêtement en dalles de béton, en béton armé continu et en béton bitumineux



Lorsque nous tenons effectivement compte de la phase d'utilisation, à savoir la circulation, l'image obtenue est totalement différente. Ceci est synthétisé sur le diagramme ci-dessous qui s'applique pour la structure en dalles de béton. Il apparaît clairement que la partie jaune des tranches, qui concerne la mise en œuvre, l'entretien et le démantèlement, a une taille très réduite par rapport à la partie verte qui représente l'impact de la circulation. A l'exception de l'indicateur « déchets fixes », l'impact de la circulation est au moins dix fois plus élevé que celui des autres phases de la durée de vie de la route.

C'est pourquoi les mesures visant à réduire la consommation de carburant revêtent une importance capitale. Celles-ci peuvent prendre diverses formes :

- carburants alternatifs,
- technologie automobile (moteur, pneus,...),
- qualité (planéité) et indéformabilité du revêtement de la route,
- mesures liées à la circulation,
- circulation fluide, limitation des embouteillages,...

Nous pouvons en conclure que la comparaison des structures de route et /ou des types de revêtements sur la base d'une ACV donne une image très nuancée pour divers indicateurs relatifs à l'environnement. Il convient donc d'améliorer et d'optimiser les domaines de la conception, de la mise en œuvre, des techniques d'entretien, du démantèlement et du recyclage. Les autres caractéristiques des revêtements en béton, telles que la capacité de réflexion plus élevée et le réchauffement plus faible dans les zones urbaines, n'ont pas été pris en compte dans cette étude mais peuvent toutefois jouer un rôle majeur dans le cadre de la problématique du climat. Il en sera question plus loin. Toutefois, le plus grand bénéfice pourra être obtenu au niveau de la consommation de carburant des véhicules de la circulation routière.

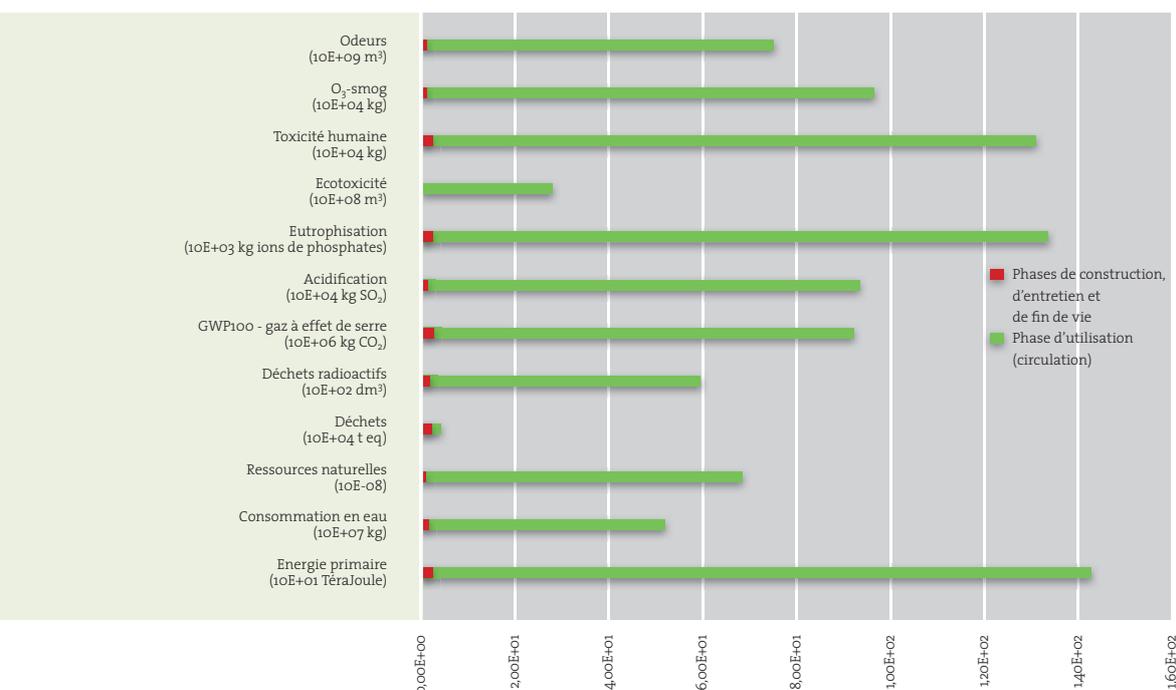


Figure 2 : Impact de plusieurs indicateurs liés à l'environnement y compris la circulation pendant une durée de vie (30 ans) d'une route en dalles de béton

## IMPACT DU TYPE DE REVÊTEMENT SUR LA CONSOMMATION DE CARBURANT DES POIDS LOURDS

Vu l'importance sociale et écologique de la diminution de la consommation des carburants fossiles, plusieurs études et projets d'analyse ont déjà été menés sur l'effet du type de revêtement sur la consommation en carburant des véhicules personnels et des poids lourds. L'étude la plus connue est celle réalisée au Canada par le « *National Research Council* ». En réalité, il s'agit d'une série de quatre études, qui ont été progressivement complétées au moyen d'échantillons supplémentaires de différents types de routes et de véhicules, pendant différentes saisons et à l'aide de modèles statistiques différents. Pendant toutes les



### QUE SIGNIFIE UNE REDUCTION DE 2,35% DE LA CONSOMMATION DE CARBURANT POUR LE TRANSPORT DE MARCHANDISES ?

Supposons que nous souhaitions changer la bande de circulation de droite, la plus chargée, sur toutes les autoroutes en remplaçant le revêtement bitumineux par un revêtement en béton. Quel serait l'impact d'une réduction de 2,35% de la consommation de carburant sur les émissions de CO<sub>2</sub> ?

Prenons par exemple une bande de circulation d'1 km de longueur et de 4 m de large, une épaisseur de 23 cm et une circulation quotidienne de 2000 poids lourds pendant les jours ouvrables qui ont une consommation de 35 l/100 km. Nous partons du principe que 1 litre de carburant correspond à 2,5 kg de CO<sub>2</sub>. Dans ce cas, l'émission de CO<sub>2</sub> serait la suivante :  
220 jours ouvrables x 2000 camions x 35 litres/100 km x 1 km x 2,5 kg CO<sub>2</sub>/litre = 385 tonnes de CO<sub>2</sub>/an. Une économie de carburant de 2,35% correspond donc à une diminution de 9,05 tonnes de CO<sub>2</sub>/an.

La part de CO<sub>2</sub> nécessaire pour la production de ciment s'élève à :  
1 km x 4 m x 0,23 m x 400 kg de ciment de haut-fourneau / m<sup>3</sup> x 500 kg(\*)  
CO<sub>2</sub>/1000 kg production de ciment = 184 tonnes de CO<sub>2</sub>.

L'émission de CO<sub>2</sub> consécutive à la production de ciment est donc complètement neutralisée après 184/9,05 = 20 ans, soit beaucoup moins que la durée de vie attendue de 30 à 40 ans pour un revêtement en béton.

(\*) Cf. les paragraphes suivants pour de plus amples informations sur la production de ciment et les émissions de CO<sub>2</sub>.

phases, une diminution de la consommation de carburant a été constatée pour les véhicules lourds sur un revêtement en béton par rapport à un revêtement souple bitumineux. La dernière phase, qui était également la plus exhaustive en intégrant un éventail de routes de différents niveaux de planéité ainsi que des analyses lors de différentes périodes de l'année, a certes révélé des écarts moins importants, mais est cependant arrivée à la conclusion que les économies en matière de carburant sur les routes en béton en comparaison avec les routes en hydrocarboné, s'échelonnaient entre 0,8 et 3,9% et ce, tant pour un poids lourd à vide qu'un poids lourd avec remorque chargée pendant quatre des cinq périodes de l'année. Ces résultats sont significatifs sur le plan statistique et affichent un taux de fiabilité de 95%. Une économie de carburant moyenne de 2,35% n'est certainement pas négligeable et peut représenter une importante différence en termes de consommation globale de carburant et d'émission de gaz polluants sur une autoroute très fréquentée.

En Grande-Bretagne, une étude a été réalisée en laboratoire sur le même sujet par le TRL (*Transport Research Laboratories*) à la demande de la Highways Agency afin d'analyser l'impact de la rigidité du revêtement routier sur la consommation de carburant. En raison de la déformation moins importante du revêtement en béton, le laboratoire a mesuré une diminution du coefficient de résistance au roulement de 5,7%, ce qui correspond à une économie de carburant de 1,14%. Toutefois, cette différence n'était pas significative sur le plan statistique et aurait également pu être plus favorable car la dalle de béton étudiée n'avait pas la même rigidité que dans la réalité.

Outre le type de revêtement, la planéité et la texture de la surface constituent également des facteurs importants permettant d'influencer la consommation de carburant. A cet égard, la qualité de la surface de béton finie joue un rôle crucial : une route en béton bien mise en œuvre et suffisamment plane conserve ces caractéristiques pendant des dizaines d'années ; un revêtement en béton mal placé présentant des ondulations ou des irrégularités nécessite des traitements onéreux et difficiles à réaliser pour obtenir le confort de roulement souhaité et pour réduire la consommation de carburant.

## UTILISATION DE « CIMENT BASSE ÉNERGIE »

Il est parfois affirmé que la production d'une tonne de ciment correspond à l'émission d'une tonne d'équivalent CO<sub>2</sub>. Cette approche simpliste s'avère être tout à fait inexacte. En ce qui concerne le ciment produit au sein de l'Union européenne, la proportion atteint, en moyenne, une tonne de ciment contre 750 kg d'équivalent CO<sub>2</sub>. Ceci est dû au fait que, outre le produit de base, le clinker, de nombreuses matières premières secondaires sont également utilisées (cendres volantes, laitiers de haut-fourneau, filler calcaire,...) dans la production du ciment.

En Belgique, et surtout dans le secteur de la construction routière, la situation est même plus avantageuse. Ainsi, pour la construction des routes, nous utilisons principalement le ciment de haut-fourneau CEM III/A 42,5 N LA. Pour ce type de ciment, environ la moitié (théoriquement, selon NBN EN 197-1 entre 36 et 65%) de la quantité de clinker est remplacée par du laitier de haut-fourneau. Or, c'est précisément la production de clinker qui demande beaucoup d'énergie et produit du CO<sub>2</sub> à la suite du processus de décarbonatation qui a lieu dans le four à ciment.

La figure 3 ci-après montre que le contenu énergétique du ciment varie selon le type de ciment et sa classe de résistance. En comparant le ciment de haut-fourneau CEM III/A avec le ciment portland CEM I, nous voyons que l'énergie nécessaire à la combustion et l'énergie électrique diminuent d'environ 40%.

L'influence de l'utilisation de ciments composés sur les émissions de CO<sub>2</sub> pendant le processus de production de ciment peut être déduit auprès de la figure 4, provenant du projet de collaboration internationale « ECOserve ». Les données présentées tiennent compte des diminutions imputables à la baisse de la consommation de carburant, à la baisse de la consommation électrique, à la réduction de l'émission de CO<sub>2</sub> pendant la décarbonatation, ainsi que des augmentations nécessaires pour le séchage des matières premières de substitution et le broyage plus fin du ciment. Pour une composition moyenne d'un ciment de haut-fourneau CEM III/A, nous constatons qu'une tonne de ciment ne génère plus que 500 kg de CO<sub>2</sub>. Il y a donc bien une réduction sensible par rapport à l'utilisation de ciment Portland.

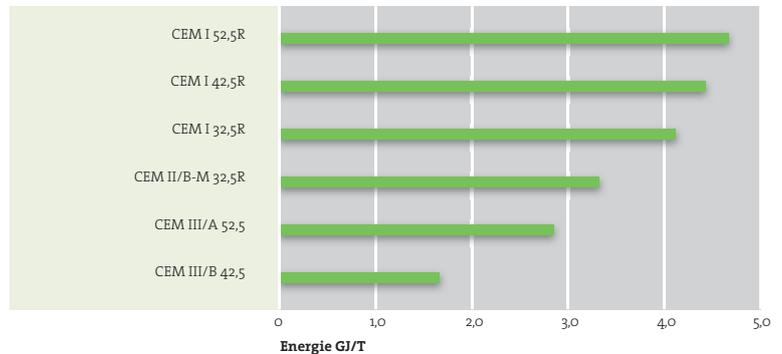


Figure 3 : Dépenses énergétique pour la production de différents types de ciment

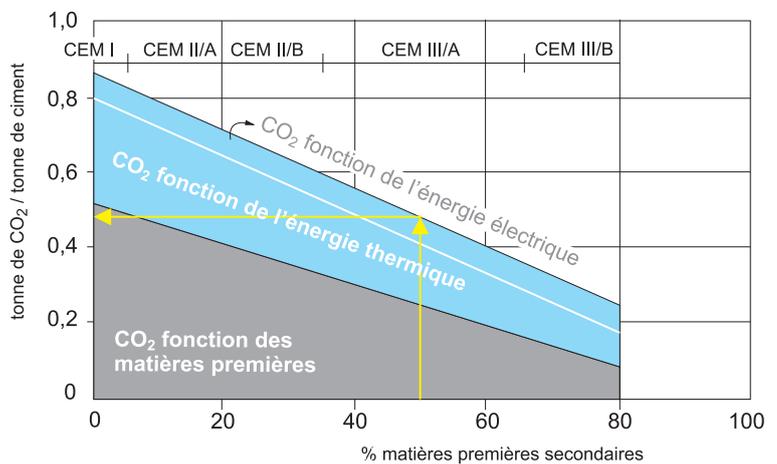


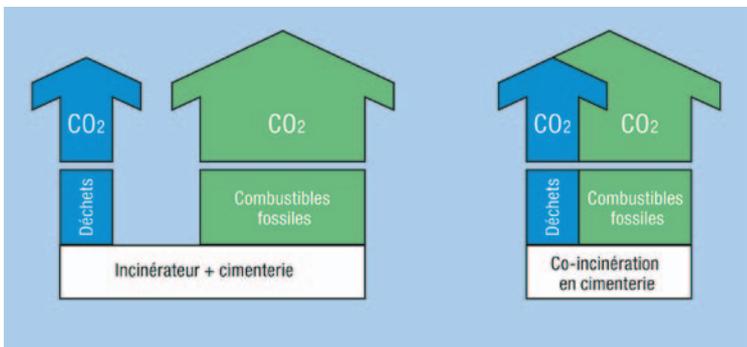
Figure 4 : Emissions de CO<sub>2</sub> lors de la production de différents types de ciment

## RÉDUCTION GLOBALE DU CO<sub>2</sub> PAR LA VALORISATION DE DÉCHETS INDUSTRIELS

L'utilisation de déchets industriels tels que des pneus de voiture, des solvants, des huiles usagées, des boues provenant du traitement des eaux usagées, des peintures,... en tant que combustibles de substitution dans les fours à ciment contribue également sensiblement à la réduction des émissions globales de CO<sub>2</sub>. Si ces déchets ne sont pas brûlés au cours de la production de ciment, il convient de les éliminer par le biais de la combustion classique. Le rendement énergétique est alors moindre et l'émission de CO<sub>2</sub> vient s'ajouter à celle de l'industrie cimentière. Les déchets restants sont ensuite transportés vers un dépôt, sans aucune forme de valorisation, où ils contribuent à la formation de méthane, un gaz à effet de serre

dont l'impact correspond à 25 fois celui du CO<sub>2</sub>. En cas de co-incinération dans les fours à ciment, qui atteignent des températures au niveau de la matière de l'ordre de 1450 °C, toutes les molécules organiques sont détruites, ce qui supprime tout risque de pollution. Par ailleurs, dans ce cas, il ne reste aucun déchet après combustion. Aujourd'hui en Belgique, plus d'un tiers de l'énergie calorifique nécessaire à la production de ciment provient de la combustion de déchets. Ceci permet d'économiser, sur base annuelle, plus de 500.000 tonnes d'équivalent pétrole (TEP).

Figure 5 : Réduction des émissions CO<sub>2</sub> par la valorisation de déchets dans les fours à ciment



## FIXATION DE CO<sub>2</sub> PAR LE BÉTON

Lors de la fabrication de ciment, du CO<sub>2</sub> est libéré à la suite du processus de décarbonatation. Pendant le cycle de vie du béton, celui-ci peut absorber du CO<sub>2</sub> à la suite du processus inverse, à savoir la carbonatation.



Stockage des gravats de béton en plein air : fixation plus importante de CO<sub>2</sub>

Ce phénomène peut être une des causes probables des dégâts engendrés au béton armé lorsque l'enrobage des aciers est insuffisant. Toutefois, pour les routes en béton, ce problème ne se pose pas car :

- les revêtements en dalles de béton ne sont pas armés et le processus de carbonatation n'est pas considéré comme nuisible ;
- en ce qui concerne les revêtements en béton armé continu, l'armature se situe à une profondeur de 6 cm ou plus. Cette profondeur est telle que la carbonatation n'atteindra jamais les armatures pendant la durée de service de la route.

En outre, le béton utilisé pour les routes est de très bonne qualité : il s'agit d'un béton compact ayant une faible porosité. La profondeur de carbonatation, qui évolue en fonction de la racine carrée du temps d'exposition, ne s'élève qu'à 5 ou 10 mm après une durée de vie de 40 ans. Bien que la fixation de CO<sub>2</sub> soit ainsi limitée, celle-ci n'est pas négligeable pour autant. Des études ont montré qu'après 40 ans, la fixation de CO<sub>2</sub> d'un mur d'une épaisseur de 20 cm exposé des deux côtés, est d'environ 20 kg/m<sup>3</sup> de béton. Pour un revêtement routier uniquement exposé en surface, la fixation de CO<sub>2</sub> s'élève ainsi à 10 kg/m<sup>3</sup> ou 2 kg/m<sup>2</sup> pour une épaisseur comparable de 20 cm. Cela correspond à 5% du CO<sub>2</sub> nécessaire à la production de ciment de haut-fourneau pour le même nombre de m<sup>2</sup> de revêtement en béton (1 m<sup>2</sup> x 0,20 m x 400 kg ciment/m<sup>3</sup> x 0,5 kg CO<sub>2</sub>/kg ciment de haut-fourneau = 40 kg/m<sup>2</sup>).

Lorsque, à la fin de son cycle de vie, le béton de route est broyé pour former des gravats, il existe toujours un potentiel de fixation de CO<sub>2</sub>, si ces gravats sont stockés en plein air. En effet, dans ce cas, la surface spécifique des gravats de béton est plus importante et la réaction de carbonatation est donc également plus importante. Après une période de 2 à 3 ans, la fixation de CO<sub>2</sub> peut atteindre 15 à 35 kg/m<sup>3</sup>.

Pendant un cycle complet, nous parvenons donc à une quantité de CO<sub>2</sub> absorbé de 25 à 45 kg/m<sup>3</sup> de béton, ce qui correspond environ à 10 à 25% de la quantité de CO<sub>2</sub> libérée à l'occasion de la production de 400 kg de ciment de haut-fourneau pour la fabrication de ce même béton de route.

## INOFFENSIF EN TERMES DE LIXIVIATION

En raison de l'utilisation de sous-produits industriels lors de la production de ciment (cendres volantes, laitiers de haut-fourneau,...), il est parfois affirmé que le béton peut relarguer des métaux lourds et ainsi polluer le sol. La lixiviation est un terme scientifique qui recouvre la libération d'éléments chimiques d'un matériau solide lors du contact avec l'eau (eau potable, eau de pluie, eau de mer,...).

Une étude sur le sujet a été menée par le Centre national de Recherches scientifiques et techniques pour l'Industrie Cimentière (CRIC - OCCN). Sur base de la méthode expérimentale « Tank Test », telle que décrite dans la norme NEN 7345, des échantillons de béton ont été immergés dans un agent lixivateur et analysés après des échéances déterminées au moyen d'un ICP-MS (Torche à plasma couplée à un spectromètre de masse). Les résultats ont montré que le comportement à la lixiviation d'un béton routier typiquement belge, tant du béton riche que du béton maigre, fabriqué à l'aide de différents types de ciments belges, est totalement inoffensif pour l'environnement. En effet, les quantités de métaux lourds lixiviés étaient moins importantes que les quantités de métaux lourds présentes dans les eaux de consommation courante telles que des eaux issues du réseau de distribution et des eaux minérales commerciales.

## RECYCLAGE

Le béton est un matériau inerte qui peut être recyclé à 100%. La majeure partie des revêtements en béton démantelés sont envoyés vers des centres de concassage et de criblage et les gravats de béton sont ensuite réutilisés dans les couches de sous-fondation et de fondation en tant qu'empierrements liés ou non liés, de béton maigre ou de béton sec compacté.



Le recyclage de gravats de béton dans une composition de béton routier riche est également tout à fait envisageable. Ainsi, dans le cas d'un revêtement en béton bicouche, 60% voire plus de la totalité des gravillons peuvent être remplacés par des recyclés de béton routier. Il s'agit du mode de construction habituellement adopté pour les autoroutes en Autriche et il a déjà été appliqué dans d'autres pays (Allemagne, Pologne,...). Une première importante application a également eu lieu en Belgique en 2007-2008 lors du renouvellement d'une section de 3 km de la N49/E34 à hauteur de Zwijndrecht/Melsele. Cf. cadre en page suivante.

Recyclage de béton de route pour la fondation en béton sec compacté ou pour la fabrication de gravillons pour un nouveau béton de revêtement (A17-E403 Bruges-Courtrai, 2007)

**Tableau 3 : Taux de relargage par le béton et valeurs paramétriques de la Directive européenne**

“Tank test” - Eau déminéralisée - Bétons de porphyre, CEM I et CEM III/A 42,5  
valeurs exprimées en ppb (µg/l) <sup>(\*)</sup> <sup>(\*\*)</sup>

Elément	Taux moyens rapportés à 24 heures de contact				Valeurs paramétriques CE 98/83/CE <sup>(***)</sup>
	CEM I		CEM III/A		
	minimum	maximum	minimum	maximum	
Ba	6,4	22	8,0	8,8	sans
Ni	0,19	0,45	0,096	0,28	20
Cr	0,31	0,71	0,13	0,29	50
Sb	0,011	0,028	0,010	0,068	5
Se	< 0,060	< 0,060	< 0,060	< 0,060	10
Mn	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,008	50
Hg	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	1
As	< 0,002	< 0,006	< 0,002	< 0,007	10
Ag	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,003	sans
Zn	0,014	0,020	0,005	0,022	sans
Pb	< 0,001	0,027	< 0,001	< 0,001	10
Cd	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	5
Cu	< 0,004	0,015	< 0,004	< 0,004	2000

(\*) ppb = (en anglais:)'parts per billion' = parts par milliard, par ex. microgrammes par kg ou litre d'eau.

(\*\*) Les valeurs référencées '<' concernent des teneurs quantifiées inférieures à la limite de détection.

(\*\*\*) Les valeurs paramétriques CE sont fixées sur base de la quantité maximale qui peut être ingérée en 24 heures par un être humain sans qu'il faille craindre des effets secondaires sur la santé.

## RENOVATION DE LA N49/E34 A HAUTEUR DE ZWIJNDRECHT AU MOYEN D'UN REVÊTEMENT BICOUCHE EN BETON ARME CONTINU AVEC DES GRANULATS RECYCLES DANS LA COUCHE INFÉRIEURE

La technique du béton bicouche est appliquée soit pour réaliser une couche supérieure de haute qualité, soit pour pouvoir utiliser des matériaux de moindre qualité, donc moins onéreux dans la couche inférieure, ou encore pour ces deux raisons à la fois.

En Europe, cette technique est généralisée en Autriche, où, pour la couche inférieure, il est fait usage de recyclés de béton recyclés du revêtement démantelé. Stimulés par une conscientisation croissante de la problématique de l'environnement et par leur souhait d'innovation, les pouvoirs publics flamands ont décidé de suivre l'exemple autrichien et ont planifié la construction d'une section-pilote de 3 km en béton armé continu sur la route E34 à hauteur de Zwijndrecht. L'exécution a eu lieu en deux phases : en direction de Gand en 2007 et en direction d'Anvers en 2008.

Cette construction constituait une première au niveau international, reposant néanmoins sur des expériences existantes, à savoir la combinaison d'un revêtement en béton bicouche, de béton armé continu et l'utilisation de recyclés de béton.

Ce concept visait la durabilité, tant dans le sens classique du terme, au vu de la longue durée de vie qu'offre un revêtement en BAC, que dans le sens plus large du terme, à savoir le respect de l'environnement et de la raréfaction des ressources naturelles. Ainsi, ce projet peut certainement être considéré comme un concept optimisé de construction de route durable et contribuera sans aucun doute au développement futur de ce type de revêtements.



## PLUS IMPORTANTE RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE ET PLUS FAIBLE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE DANS LES ZONES URBAINES

La capacité à réfléchir les rayons lumineux – et donc l'énergie – est déterminée par l'« albédo » d'une surface. L'albédo représente le pourcentage de ce qui a été réfléchi par rapport à l'énergie solaire incidente ; plus le pourcentage est élevé, plus la quantité d'énergie renvoyée dans l'atmosphère est importante. En moyenne, l'albédo de la terre est de 0,35 : 35% de l'énergie solaire est réfléchi, alors que 65% de cette énergie est absorbée. Ceci donne une température moyenne de 15°C à la surface de la planète. Les glaces polaires, qui ont un albédo élevé, jouent un rôle crucial dans l'équilibre des températures. La fonte des glaces polaires fait baisser l'albédo moyen de la terre car les océans absorbent davantage de chaleur que la glace. Par conséquent, la température de la terre augmente proportionnellement, ce qui a pour effet d'accélérer le réchauffement.

**Tableau 4 : Valeur de réflexion de la lumière ou albédo de différents matériaux**

	ALBEDO
Neige fraîche	81 à 88%
Neige ancienne	65 à 81%
Glace	30 à 50%
Rochers	20 à 25%
Forêts	5 à 15%
Terre	35 %
Béton	15 à 25%
Enrobés bitumineux	5 à 10%

Il est toutefois possible de ralentir le processus de réchauffement en utilisant davantage de surfaces réfléchissantes à la surface de la terre, comme par exemple des toits blancs ou...des revêtements en béton ! Ce phénomène a été étudié par les scientifiques du « *Heat Island Group* » de l'université de Berkeley (Californie, U.S.A). D'une part, ils ont comparé l'influence de l'albédo et d'autre part, l'influence de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère sur la capacité de rayonnement nette responsable du réchauffement de la planète. Ils ont calculé qu'une augmentation d'un pour cent de l'albédo d'une surface correspond à une diminution du rayonnement de 1,27 W/m<sup>2</sup>. Cette diminution du rayonnement a pour conséquence de ralentir le réchauffement de la planète. Les scientifiques ont ensuite calculé que ce ralentissement du réchauffement correspond à une diminution de l'émission de CO<sub>2</sub> de 2,5 kg par m<sup>2</sup> de surface terrestre. Par rapport à un revêtement bitumineux, un revêtement en béton a un  $\Delta_{\text{albédo}}$  de 10 à 15% et engendre donc une réduction du CO<sub>2</sub> de 25 à 38 kg/m<sup>2</sup> de superficie. La valeur la moins élevée, 25 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, représente déjà un avantage considérable, qui correspond à 60% du CO<sub>2</sub> nécessaire pour la production de ciment d'1m<sup>2</sup> de dalles de béton d'une épaisseur de 20 cm.

L'absorption de chaleur plus faible des surfaces claires telles que le béton contribue également à la diminution du réchauffement qui se manifeste principalement dans les grandes villes. La figure 7 montre une image thermique

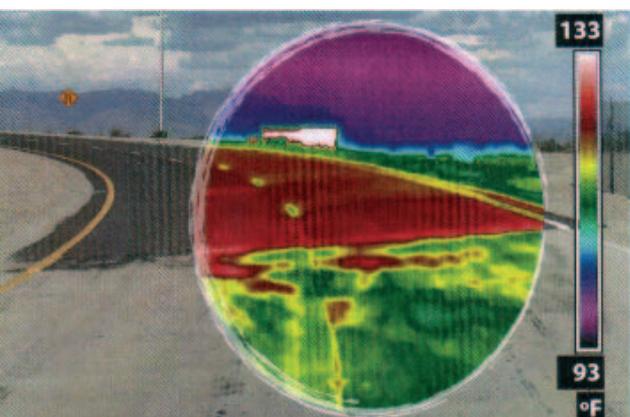
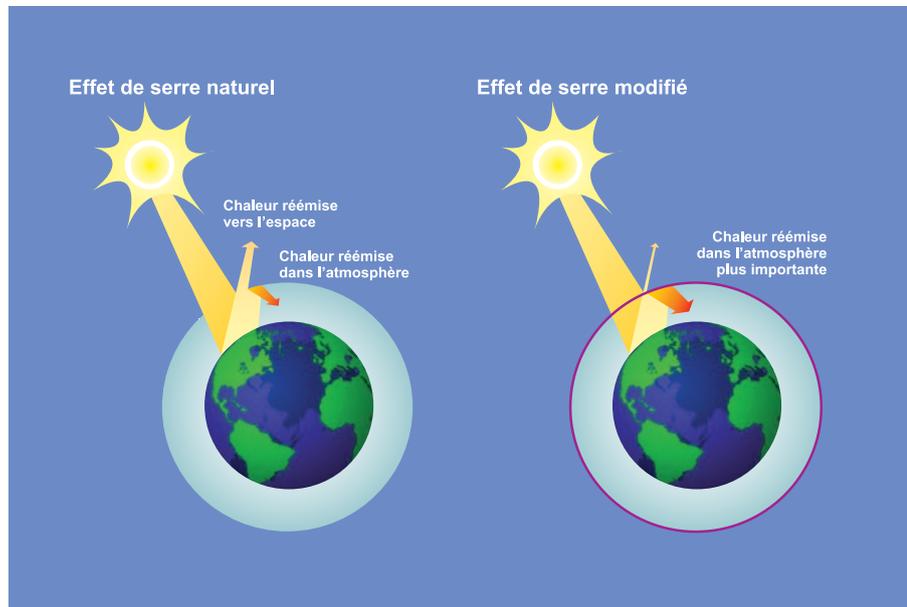


Figure 7 : Image thermique d'un revêtement de route à Mesa, en Arizona avec les différences de température entre le revêtement en béton situé dans la partie inférieure et le revêtement bitumineux situé dans la partie supérieure de la photo



d'une route composée d'un revêtement bitumineux et d'un revêtement en béton. La température a été mesurée en août 2007 vers 17 heures dans des conditions climatiques légèrement nuageuses et la différence de température entre les deux revêtements atteignait environ 11° C.

Figure 6 : Réchauffement de la Terre par l'effet de serre

L'effet de réchauffement urbain, tel que présenté à la figure 8, entraîne une importante consommation d'énergie pour les systèmes de conditionnement d'air des bâtiments et donc des coûts élevés sur les plans économique et environnemental. Les températures élevées favorisent également l'apparition de smog. Des revêtements de routes clairs peuvent contribuer à une limitation du réchauffement et à une réduction du risque de smog.

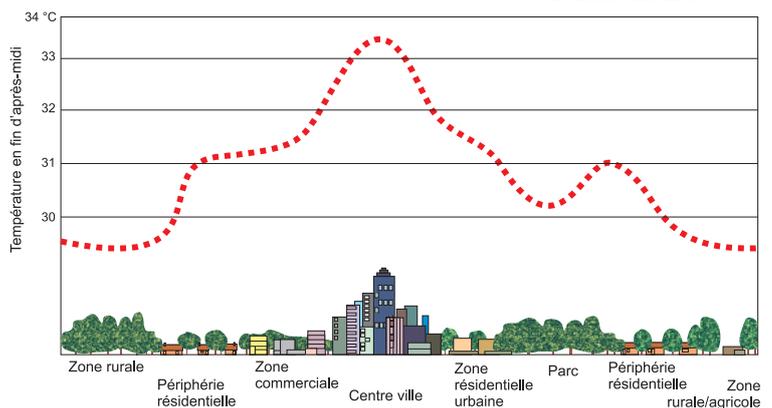


Figure 8 : Image de l'effet de réchauffement dans les zones urbaines

## ASPECTS ECONOMIQUES DES ROUTES EN BÉTON

Chaque gestionnaire/maître d'œuvre des réseaux routiers souhaite investir dans des travaux de construction durables qui ne nécessitent que peu d'entretien et qui garantissent un taux élevé de disponibilité pendant la plus longue durée de vie possible. Lors du choix de la structure de la route, certaines conditions techniques peuvent être déterminantes, mais le choix dépend largement des implications économiques qui y sont liées. Celles-ci peuvent être réparties de la façon suivante :

- dépenses liées à la construction de l'infrastructure ou coût d'investissement ;
- le budget pour les travaux d'entretien et de maintenance ultérieurs ;
- les répercussions économiques des opérations d'entretien, qui représentent principalement des coûts sociaux tels que la perte de temps pour les personnes et les entreprises à la suite des embouteillages provoqués par des travaux ou par une réduction de la disponibilité de la route.

### DURÉE DE VIE - ENTRETIEN - COÛTS PENDANT LA DURÉE DE VIE DE LA ROUTE (ANALYSE DU COÛT EN FONCTION DU CYCLE DE VIE)

Le coût d'investissement initial est souvent utilisé à tort comme critère principal. D'un point de vue purement économique, cette erreur peut engendrer de grandes différences suite aux coûts d'entretien élevés. La durée de vie utile d'un revêtement routier joue un rôle important à cet égard. Lors de la prise de telles décisions stratégiques qui ont des implications à long terme et qui vont de pair avec des limitations budgétaires à court terme, certains modèles mathématiques – voire probabilistes – peuvent aider les décideurs.

La « *Life-Cycle Cost Analysis* » (LCCA) ou analyse du coût de cycle de vie, est une de ces techniques d'aide à la prise de décision permettant d'évaluer la rentabilité à long terme des options d'investissement alternatives. Sous sa forme la plus complexe, cette technique tient compte des coûts pour le gestionnaire de route/l'investisseur et pour l'utilisateur, ainsi que de tous les autres coûts pertinents relatifs aux différentes options et ce, pendant l'intégralité de la durée de vie. Pour un investissement bien précis, les options ayant les coûts à long terme les moins élevés tout en atteignant les performances souhaitées, sont étudiées.

Toutefois, cette technique ne permet pas d'évaluer ou de prévoir exactement les paramètres nécessaires au modèle :

- durée de vie utile des différentes options ;
- coûts pour le gestionnaire de la route ;
- valeur résiduelle du revêtement de la route à l'issue de la période ;

- les coûts pour l'utilisateur de la route (ou coûts sociaux) au cours d'une utilisation normale de la route et pendant les travaux d'entretien et de rénovation, tels que :
  - coûts opérationnels du véhicule ;
  - coûts engendrés par les ralentissements et les embouteillages ;
  - coûts des accidents ;
- taux d'actualisation

En d'autres termes, il convient d'évaluer, de supposer et de prévoir de nombreux paramètres, et ce, à chaque fois avec un certain taux de probabilité. Pour pouvoir tenir compte de ces différents paramètres, le modèle LCCA peut être complété au moyen d'une analyse de risque. A cet effet, il est souvent fait appel à des modèles de probabilités, comme la technique de simulation de Monte Carlo et des programmes informatiques spécialisés.

En raison de la difficulté d'évaluation des coûts des paramètres sociaux, le calcul se base souvent exclusivement, en fonction du modèle, sur les coûts de construction et d'entretien et éventuellement sur les coûts de démantèlement et de renouvellement.

### RÉSISTANCE AUX CONDITIONS CLIMATIQUES

Un revêtement en béton résiste aux affres de toutes les saisons, conditions climatiques et climats. Après un hiver rude ponctué de cycles de gel et de dégel, le gestionnaire de la route n'est pas confronté à des surfaces qui s'effilochent, à des trous dans le revêtement ou à la formation de craquelures dangereuses.

Certes, la construction d'un revêtement en béton n'est pas réalisable en toutes circonstances : en cas de températures trop extrêmes,

les risques deviennent plus importants et il convient de prendre des mesures sur le plan de la composition du béton et/ou des méthodes de travail. Mais une fois que la route en béton a été correctement construite, elle n'est pas sensible aux variations climatiques. Les divers scénarios de changement climatique ne posent donc aucun problème pour les revêtements en béton.

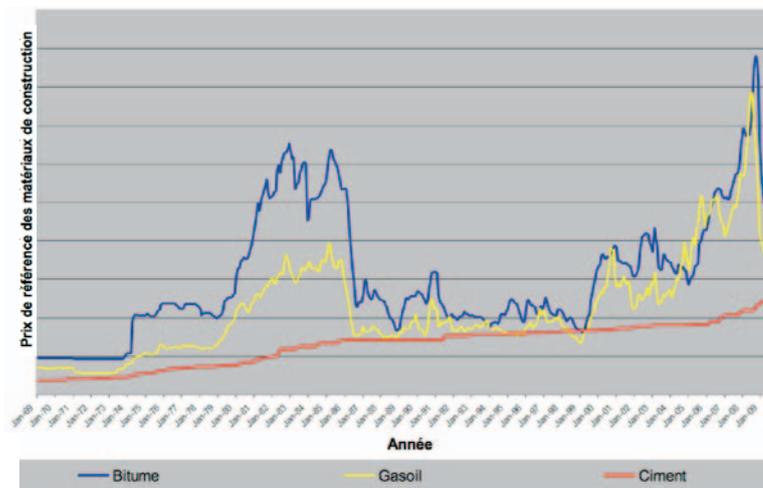
### COÛTS RELATIFS À L'ÉCLAIRAGE

La capacité de réflexion plus élevée du béton, due à sa surface plus claire, permet de réaliser des économies dans les coûts d'éclairage des chaussées et des autoroutes. En effet, pour calculer le coût de l'éclairage, les estimations se basent sur la réflexion de la lumière telle qu'elle est perçue par le conducteur d'un véhicule. Les économies sont obtenues en prévoyant moins de poteaux d'éclairage routier ou en réduisant la luminance des lampes. Dans les deux cas, des économies sont réalisées sur les coûts d'exploitation, à savoir la consommation annuelle d'électricité et dans le premier cas, également sur le coût d'investissement initial en raison du placement d'une quantité moindre de poteaux.

Une étude canadienne révèle par exemple que pour une distance de 1 km, 14 poteaux d'éclairage routier seraient nécessaires pour une route en béton et 20 poteaux d'éclairage routier pour un revêtement hydrocarboné pour obtenir les mêmes performances d'éclairage.

### STABILITÉ DES PRIX

En analysant l'évolution des prix des matériaux utilisés pour la construction de routes, il apparaît clairement que le gazoil et les bitumes, les matériaux importés, dépendent totalement des prix internationaux du pétrole brut et que ceux-ci sont soumis à d'importantes variations, en particulier en période de pénurie énergétique. Par contre, le ciment est un matériau de construction fabriqué localement et le cours de son prix est beaucoup plus stable, tout en étant partiellement lié aux prix de l'énergie. Nous voyons ainsi qu'en périodes de crise, caractérisées par une pénurie de pétrole, le prix des bitumes connaît des pics élevés impossibles à prévoir alors que le prix du ciment s'adapte plus lentement sans connaître autant de variations (voir figure 9).



Dans certains pays tels que la Turquie, la situation du marché est radicalement différente de celle que connaissent la majorité des pays occidentaux en ce qui concerne les liants pour le ciment et les bitumes. Le coût d'investissement pour une route en béton y est moins élevé que pour une structure similaire en asphalte. En tenant également compte des coûts d'entretien, ces différences deviennent très importantes.

Figure 9 : Evolution des prix en Belgique des bitumes, du gazoil et du ciment entre 1969 et 2009

### IMPORTANCE DE LA CONCURRENCE ENTRE LES DIFFÉRENTS TYPES DE REVÊTEMENTS

Les pays dans lesquels la construction des routes se fait principalement au moyen d'un seul matériau, généralement le bitume, ont l'inconvénient de ne connaître que peu ou pas de concurrence sur le marché, ce qui se répercute sous la forme de prix de revient plus élevés pour les matières premières. Dans des pays comme la Belgique, où les revêtements bitumineux et en béton sont tout deux fortement utilisés – les concepteurs et les entrepreneurs ont le savoir-faire et l'expérience nécessaire ; les matériaux et les machines nécessaires sont disponibles – le gestionnaire des routes peut choisir en fonction du type d'application, du volume de la circulation, des circonstances de travail, etc. et un matériau n'a pas de position dominante sur le marché par rapport à un autre, ce qui a des répercussions globalement positives.

## COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE LES REVETEMENTS BITUMINEUX ET LES REVETEMENTS EN BETON POUR LES AUTOROUTES

En 2001, la direction générale des Routes et autoroutes de la Région wallonne a publié une étude portant sur une comparaison économique entre différents types de revêtement, en béton armé continu d'une part, et en enrobés bitumineux d'autre part, et ce sur base d'une analyse des coûts en fonction du cycle de vie.

Cette étude présente l'avantage de pouvoir se baser sur une expérience de plus de 30 ans en construction et en entretien de deux sections de l'E42 (Autoroute de Wallonie) longues de 20 km chacune.

Caractéristiques de cette étude :

- actualisation des prix à une valeur constante en 2001 ;
- analyse sur une période de 50 ans ;
- estimations en matière de circulation sur base de comptages ;
- estimations très actuelles et qualitatives des coûts pour la construction et l'entretien des différents types de revêtement ;
- scénarios d'entretien établis par des responsables locaux dans le giron d'un groupe de travail prenant des décisions par consensus ;
- aucun coût indirect pour l'utilisateur de la route n'a été pris en compte, ce qui signifie que tous les paramètres utilisés sont bien connus et que l'étude peut être considérée comme fiable sur le plan technique et économique.

Six structures de route différentes ont été étudiées, dont deux basées sur un revêtement bitumineux et quatre sur un revêtement en béton armé continu.

Pour les deux structures hydrocarbonées, l'épaisseur totale des couches est de soit 21 cm, soit 26 cm. Dans les deux cas, la fondation est composée de 20 cm de béton maigre et la sous-fondation se compose respectivement de 35 cm et de 30 cm d'un mélange granulaire. La première structure est une structure classique pour les autoroutes en béton bitumineux ; la seconde structure voit le jour après un rechargement de l'autoroute sans avoir raclé une couche.

Les quatre structures en béton armé continu étudiées varient uniquement sur le plan de la largeur de la route :

- 7,20 m de BAC avec bande d'arrêt d'urgence et terre-plein central hydrocarboné (marquages routiers sur la bande d'arrêt d'urgence, ce qui surcharge le BAC sur les bords) ;
- 8,00 m de BAC avec bande d'arrêt d'urgence et terre-plein central hydrocarboné (marquages routiers sur le BAC afin d'éviter les effets de bord) ;
- 10,30 m de BAC avec uniquement le terre-plein central hydrocarboné ;
- 11,05 m de BAC sur toute la largeur.

Dans les quatre cas, le béton armé continu a une épaisseur de 20 cm et il repose sur une couche de liaison en béton bitumineux de 6 cm d'épaisseur. La fondation est constituée de 20 cm de béton maigre et la sous-fondation est un mélange granulaire de 30 cm d'épaisseur.

Sur base des différents prix unitaires des couches constituant l'autoroute, l'étude a ensuite calculé les prix par m<sup>2</sup> pour un revêtement en BAC, une bande d'arrêt d'urgence en enrobé hydrocarboné et pour les deux types de revêtements bitumineux. Le coût d'investissement initial pour 1 km d'autoroute (deux sens de circulation) en fonction des différentes structures figure au tableau 5 ci-après :

**Tableau 5 : Coût d'investissement initial par km d'autoroute pour des revêtements en béton et hydrocarboné**

N° du cas	Description	Prix par km d'autoroute TVAC (€)
1	BAC - l = 7,20 m	1 080 215,30
2	BAC - l = 8,00 m	1 097 909,27
3	BAC - l = 10,30 m	1 148 779,42
4	BAC - l = 11,05 m	1 165 367,51
5	Enrobé bitumineux, épaisseur 21 cm	833 749,24
6	Enrobé bitumineux, épaisseur 26 cm	909 458,45

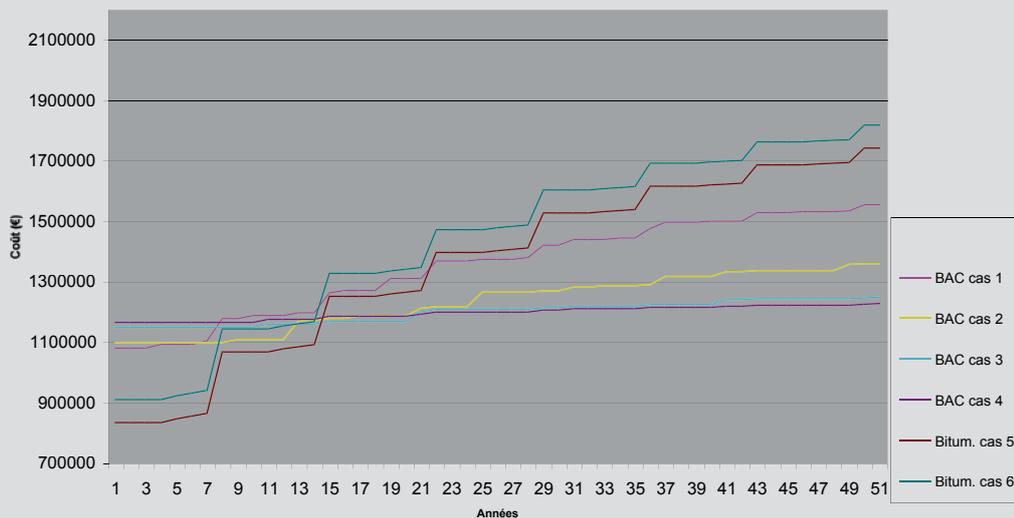


Figure 10 : Coûts d'investissement et d'entretien pour les structures en béton armé continu et les structures en béton bitumineux

Les coûts de construction du revêtement, de la fondation et de la sous-fondation des autoroutes étudiées varient donc entre 834.000 euros et 1.165.000 euros environ. Nous constatons donc qu'il existe une différence non négligeable. En outre, il convient de remarquer que cette étude fut menée à un moment où les prix du pétrole étaient bas, ce qui a permis d'avantager les structures bitumineuses.

Les différents scénarios d'entretien ont été établis en concertation mutuelle entre deux districts autoroutiers sur base de leur expérience en la matière. Chaque scénario entraîne un coût d'entretien déterminé et une fréquence déterminée.

Les résultats sont présentés à la figure 10 ci-dessous. Ce graphique a été calculé sur base d'un taux d'actualisation de 3,6%, la valeur la plus élevée prise en considération dans cette étude.

Ce graphique montre clairement la forte évolution des coûts d'entretien pour les revêtements bitumineux. **Après seulement 7 à 14 ans, les structures en béton deviennent plus avantageuses que les structures bitumineuses.** Sur le plan économique, le coût d'investissement moins important pour ces revêtements souples ne fait pas le poids par rapport aux avantages à long terme d'un revêtement en BAC. Cette étude confirme donc le choix judicieux du béton armé continu fait par les autorités routières belges pour la construction d'autoroutes très fréquentées.

E42 "Autoroute de Wallonie"



## AVANTAGES SOCIAUX DES ROUTES EN BETON

Outre les aspects environnementaux et économiques, il convient également de tenir compte du volet social dans le cadre du développement durable. A cet égard, le bien-être et la sécurité des personnes jouent un rôle de premier plan. Celles-ci ne veulent pas être trop gênées par les travaux routiers lors de la construction, la réparation ou l'entretien des routes et attendent des investissements de qualité et judicieux de la part des pouvoirs publics. En outre, une importance sans cesse croissante est attachée à la qualité du revêtement de la route, surtout par les utilisateurs qui souhaitent rouler sur des routes sûres et confortables. En plus du revêtement, l'équipement de la route est également important : marquages routiers, signalisation, éclairage, équipements de sécurité,...

### RÉDUCTION DES EMBOUTEMENTS EN RAISON DE TRAVAUX DE MAINTENANCE MOINS FRÉQUENTS

En raison du peu d'entretien que nécessitent les revêtements en béton, les travaux pendant la durée de service du revêtement sont moins nombreux. Cela signifie donc qu'il convient d'intervenir moins souvent et que la gêne est moindre pour les utilisateurs et les riverains. De plus, la réparation d'un béton est généralement de courte durée. Le temps de durcissement ne s'élève certainement pas à 28 jours, contrairement à ce qui est, à tort, parfois affirmé. Une nouvelle chaussée en béton, construite avec une composition de béton routier classique, peut, généralement, être ouverte à la circulation après 4 à 7 jours. En

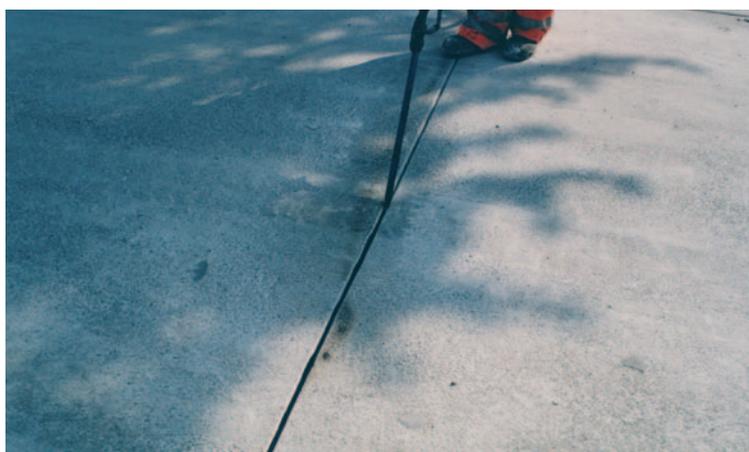
utilisant une composition de béton à prise rapide, il est possible de réduire le temps de durcissement à 3 jours, voire 24 heures dans certains cas. A l'heure actuelle, cette technique est déjà fréquemment utilisée sur les axes de circulation très fréquentés.

### CARACTÉRISTIQUES DE SURFACE AMÉLIORÉES SUR TOUTE LA DURÉE DE VIE DE LA ROUTE

Les revêtements en béton souffrent d'une mauvaise image en raison du fait qu'ils sont souvent très vieux et ont été conçus, à l'époque, selon des critères différents de ceux qui sont, aujourd'hui, appliqués. De plus, ils ont été construits à l'aide de techniques et de machines anciennes, moins performantes. La sécurité a toujours été une condition essentielle mais le bruit et le confort de roulement n'étaient toutefois pas des critères déterminants il y a quarante ans. Or, de nos jours, grâce à des concepts améliorés, des nouvelles techniques de construction, des finitions de surface et des machines modernes, il est tout à fait possible de réaliser des surfaces en béton d'excellente qualité qui répondent aux besoins et aux objectifs des utilisateurs, des habitants et des gestionnaires de route.

### CONFORT DE ROULEMENT

La planéité de la surface, caractérisée par le profil en long et la mégatexture, mais également par l'orniérage et la macrotexture, a des répercussions importantes sur le confort de roulement.



Au début de la construction des routes en béton, des revêtements en béton non armé, composés de longues dalles (8 à 15 m), séparées par des joints de dilatation larges (25 à 50 mm) étaient construits. Ces routes sont devenues moins confortables en raison des joints très larges et la formation d'escalier à hauteur de ces joints, à la suite de l'utilisation de fondations non liées ou sensibles à l'érosion. Depuis les années 70, une adaptation du concept a permis de résoudre ces problèmes par le biais des mesures suivantes :

- l'utilisation de dalles plus courtes (maximum 5 m de longueur) permettant de rendre les revêtements moins sensibles aux formations de fissures ;
- la création de joints de retrait de petite taille, biseautés et pleins limitant au maximum la gêne engendrée par les joints ;
- l'utilisation de goujons dans les joints transversaux de retrait conjointement à des fondations traitées au ciment permettant un très bon transfert de charges et empêchant les différences de niveaux entre les joints (mise en marche d'escalier).

Pour les autoroutes et les routes principales, il est souvent opté pour la technique du béton armé continu, qui est caractérisée par l'absence de joints transversaux. La fissuration du béton est contrôlée par les armatures, un réseau de microfissures transversales est obtenu. Ces fissures qui restent relativement bien fermées n'ont pas d'influence sur la planéité et sur le confort de roulement.

Actuellement, il est possible de réaliser des routes en béton présentant une très bonne planéité grâce aux techniques suivantes :

- le choix d'une composition en béton optimisée avec ouvrabilité constante, produites dans des centrales à béton modernes gérées par ordinateur qui sont souvent installées sur le chantier ;
- l'utilisation de nouvelles générations de machine à coffrages glissants avec systèmes de contrôle automatiques des aiguilles vibrantes ;
- l'utilisation de fils de guidage bien installés pour diriger la machine, voire des systèmes sans fils par le biais de stations totales ;
- l'utilisation d'une poutre lisseuse longitudinale derrière la finisseuse (supersmoother) ;
- l'application de nouveaux types de mesures

de la planéité placés directement derrière la machine de mise en œuvre, ce qui permet un ajustement du processus de construction.

A l'exception des pays où les pneus à crampons sont autorisés, les surfaces en béton sont insensibles à l'orniérage. Un élément important pour les routes en béton est que les planéités longitudinale et transversale obtenue après mise en œuvre restent très bonne durant les nombreuses années d'utilisation. Les dégâts en surface à la suite de l'écaillage sont résolus par l'utilisation d'une composition de béton de qualité (taux de ciment suffisant, facteur eau-ciment bas et utilisation d'entraîneurs d'air). L'arrachement de pierres à la surface, ne pose pas de problèmes pour les surfaces en béton normales.



## SÉCURITÉ

La sécurité a toujours été l'aspect le plus important pour les surfaces en béton. Les considérations en matière de confort de roulement sont également pertinentes pour garantir une meilleure sécurité. La rugosité, l'aquaplaning et la visibilité pour le conducteur constituent toutefois des aspects plus importants. Tant par temps sec que par temps pluvieux, des accidents peuvent être évités en optant pour une texture de surface suffisamment rugueuse.

Dans les pays qui connaissent une longue tradition des routes en béton, la rugosité ne pose généralement pas de problèmes. De plus, la rugosité nécessaire est assurée immédiatement dès la mise en service de la voirie.

En Belgique, durant les années 1970-1980 le traitement de surface des revêtements pour autoroutes consistait principalement en un striage transversal en raison des excellentes caractéristiques en matière de rugosité et d'évacuation latérale des eaux. A l'heure actuelle, ces surfaces présentent toujours une bonne rugosité, mais elles sont toutefois trop bruyantes.



Striage transversal

L'A3, la portion de l'autoroute E40 entre Bruxelles et Liège (appelée autrefois E5), a été construite en 1971 et constituait à l'époque une des premières applications à grande échelle de béton armé continu en Belgique. La surface a



L'autoroute E40 en 1972

été striée transversalement. Une grande partie de cette autoroute a récemment été recouverte d'une fine couche de roulement bitumineuse pour des raisons de réduction de bruit. Sur les parties non recouverte, la rugosité répond encore, après environ 40 ans d'utilisation, aux exigences imposées dans notre pays pour la construction de nouveaux revêtements. Le tableau 6 ci-dessous donne les résultats du coefficient de frottement transversal (CFT), mesuré au moyen du SCRIM, en 2004 et en 2008. Ces valeurs sont bien supérieures à la valeur de 0,48, qui constitue l'exigence minimale pour les nouveaux revêtements.

Des autres types de traitement de surface sont le brossage transversal ou le traitement à la toile de jute. En début de vie, les revêtements ainsi traités présentent également une bonne rugosité, mais celle-ci diminue au fil des années, surtout dans le cas de la finition avec une toile de jute, une technique qui est principalement appliquée en Allemagne. Les surfaces en béton lavé semblent constituer le meilleur compromis étant donné que pour ce type de traitement de surface, la rugosité ne diminue pas de façon significative au cours des années.

Depuis le milieu des années 90, le traitement de surface de nombreuses autoroutes et routes régionales consiste en un lavage de la surface du béton combiné à l'utilisation d'un granulats fin. « Fin » signifie que la taille maximum des grains est limitée à 20 mm et que les plus petits gravillons (compris entre 4 et 6 ou 8 mm) représentent au moins

**Tableau 6 : Résultats des coefficients de frottement transversaux (CFT), mesurés au moyen du SCRIM, sur l'autoroute E40 – Surface du béton striée**

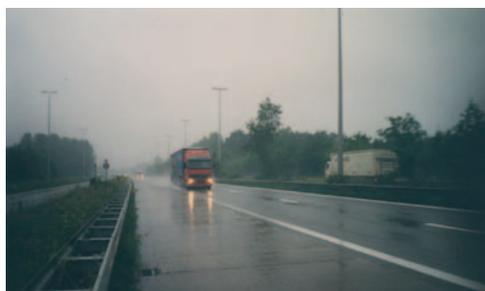
	2004 (32 ans de service)	Avril 2008 (36 ans de service)
E40 Bruxelles – Liège km 30 – km 34	0,62	0,58
E40 Liège – Bruxelles km 30 – km 34	0,63	0,59

**Tableaux 7, 8 et 9 : Résultats des coefficients de frottement transversaux (CFT), mesurés au moyen du SCRIM, sur l'autoroute A12, le ring R3 et l'autoroute A8 – Surface du béton dénudée**

							2004 (3 ans en service)	2008 (7 ans en service)
A12 Bruxelles – Antwerpen km 4,7 – km 6,5							0,59	0,51
A12 Antwerpen – Bruxelles km 4,7 – km 6,5							0,62	0,51
	1997 (mise en service)	1998	1999	2000	2001	2002	2004	
R3 Ring Charleroi km 27,0 – km 24,0	0,56	0,57	0,58	0,59	0,55	0,53	0,58	
				2000 (1 <sup>ère</sup> mesure)	2001	2002	2004	
E429-A8 Tournai- Bruxelles km 25,0 – km 30,0				0,55	0,52	0,55	0,54	

20% du squelette inerte du béton (sable + gravillons). Même si les analyses montrent une réduction des valeurs initiales et une variation des résultats, les prestations dans le temps sont bonnes en ce qui concerne le coefficient de frottement transversal sur revêtement mouillé. Par ailleurs, les résultats peuvent varier de façon assez conséquente en fonction de la saison pendant laquelle les analyses sont effectuées. Les tableaux 7, 8 et 9 ci-dessus présentent plusieurs résultats de coefficient de frottement transversal mesuré au moyen du SCRIM.

Quel que soit le type de traitement de surface, afin d'assurer la durabilité de la rugosité, il convient d'utiliser pour le béton de surface (couche supérieure des bétons bicouche) des



granulats présentant les bonnes caractéristiques. Ils doivent répondre aux exigences de résistance au polissage, d'abrasion, de dureté, de résistance au gel-dégel,... Le porphyre, le grès et le gravier concassé, entre autres, répondent à ces exigences : il s'agit en outre de granulats très répandus en Belgique.

La texture du revêtement en combinaison avec le profil transversal a une grande influence sur le risque potentiel d'aquaplaning, phénomène caractérisé par la perte totale



Béton fin lavé

de contact entre les pneus et la route. Etant donné qu'un revêtement en béton n'est pas sujet à l'orniérage, le danger d'aquaplaning est inexistant et ce, tant que le profil transversal a été réalisé avec un dévers correct.

Une autre cause d'accident en cas de pluie est la visibilité réduite causée par les projections d'eau derrière les véhicules. Les surfaces en béton non poreuses ne peuvent certainement pas concurrencer les enrobés drainants ou les bétons poreux. Néanmoins, les surfaces striées latéralement ou lavées présentant une texture suffisamment profonde peuvent réduire considérablement les projections d'eau.

Enfin, la clarté des surfaces en béton contribue également à une meilleure visibilité de nuit pour les conducteurs.

## BRUIT

Le bruit de la circulation pourrait être considéré comme faisant partie du confort de roulement. Toutefois, il s'agit principalement d'un souci pour les riverains, surtout dans les grandes zones urbaines, où la densité de population est élevée et dans les environs des grands axes routiers. Plusieurs études ont démontré que la limitation du bruit de roulement à la source, à savoir à la surface de la route, est la solution la plus rentable. De nombreux types de revêtements silencieux ont été développés ces dernières années et les études et analyses sur ce sujet sont toujours en cours.

Il est vrai que les revêtements en béton classiques ne permettent pas d'obtenir les mêmes réductions que les nouvelles surfaces poreuses ou que des revêtements bitumineux minces. Cependant, la technique du béton fin lavé constitue une alternative valable pour un revêtement routier silencieux et rugueux. Les niveaux de bruits de roulement sont comparables à ceux du SMA (split mastic asphalt) et ces niveaux de bruits ne sont pas uniquement garantis lors de la construction, mais pendant toute la durée de vie du revêtement. Les autres techniques intéressantes sont le rainurage fin dans le sens longitudinal ou le meulage au moyen de disques diamantés (micro-rainurage). Quel que soit le type de finition choisi, il est fortement recommandé de ne pas faire de concessions sur le plan de la sécurité.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec les revêtements en béton bicouche pour lesquels, dans la couche supérieure, seuls de petits gravillons sont utilisés, par exemple avec un diamètre de grain maximal de 6 mm. Ci-dessous, vous trouverez plusieurs études de cas concernant des applications de ce genre.

Les mesures de bruit ont été effectuées à l'aide de différents appareils ; premièrement la méthode *Statistical Pass-By* (SPB) qui mesure le bruit global de la circulation et deuxièmement, la méthode *Close Proximity* (CPX) qui mesure le bruit de roulement dans l'environnement du contact pneu-route. Certaines mesures ont été effectuées au moyen d'une méthode américaine, la méthode *On-Board Sound Intensity* (OBSI), qui est comparable à la méthode CPX. Clairement, les valeurs absolues de ces résultats ne sont pas comparables entre elles et les comparaisons sont uniquement possibles dans le cadre d'une campagne de mesure réalisée à l'aide d'une même méthode de mesure, des mêmes équipements de mesure et dans le même type d'environnement.

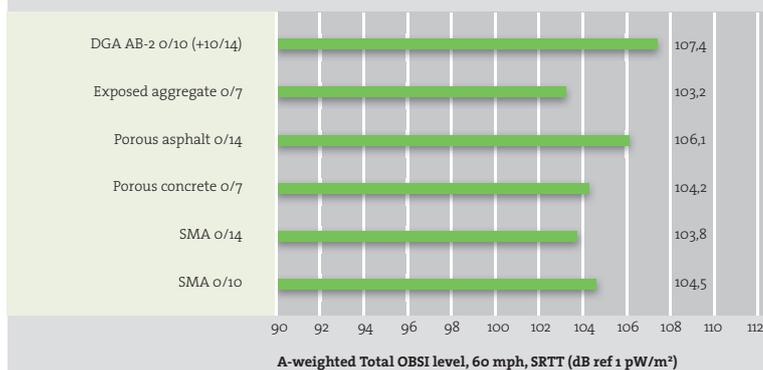
## ETUDE DE CAS À HERNE

Un premier chantier expérimental de revêtement silencieux basé sur du béton armé continu (BAC) a été mis en chantier en 1996 sur la N255 à Herne. Des couches supérieures de 4 cm d'épaisseur de béton fin lavé, de béton poreux, de split mastic asphalt et d'asphalte poreux ont été posées sur une sous-couche de 18 cm de BAC. Ces sections tests ont été soumises à une batterie de mesures et d'évaluations. Les mesures de bruit effectuées en 1999, soit trois ans après la construction, ont montré que et ce aussi bien pour le béton très ouvert que pour l'asphalte très ouvert, une augmentation de 2,5 dBA. Celle-ci est imputable aux pores qui se bouchent à la suite de la circulation agricole, très polluante. Les meilleurs résultats en 1999 ont été obtenus pour le béton bitumineux dense et le béton fin lavé.

En octobre 2007, une nouvelle série de mesures a été réalisée par une équipe américaine au moyen d'une méthode similaire à la méthode CPX (*Close Proximity*) (mesure du bruit de roulement à hauteur du pneu). Les résultats sont présentés à la figure 11. En raison de la dégradation de la surface, l'asphalte dense présente maintenant la plus importante production de bruit. Les autres surfaces suivent la tendance de 1999. En 2009, toutes les couches supérieures bitumineuses ont été renouvelées ; la couche de base en BAC et les couches supérieures en béton ont été maintenues.

La conclusion générale après 13 ans de service est que la couche supérieure en béton fin lavé (0/7) a affiché les meilleures prestations à long terme et ce, tant sur le plan du bruit de roulement que sur le plan de la durabilité.

Figure 11 : Herne – Mesures de bruit réalisées en 2007



Herne : revêtement silencieux en béton

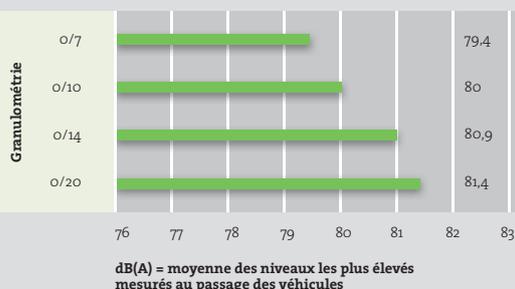
## ETUDE DE CAS À ESTAIMPUIS

Un deuxième chantier expérimental est constitué de cinq sections test construites en 2001 au niveau d'Estaimpuis. Le tableau 10 donne un aperçu des différentes combinaisons de couche inférieure (BAC) et de couche supérieure (béton fin lavé) qui ont fait l'objet de ces tests. Le résultat prévisible fut que plus les gravillons dans la couche supérieure sont de petite taille, meilleures sont les prestations en matière de bruit de roulement. Toutefois, il est également apparu que la qualité de la mise en œuvre du revêtement, en particulier la planéité de la surface de roulement, joue un rôle tout aussi important.

**Tableau 10 : Types de béton bicouche mis en œuvre à Estaimpuis en 2001**

Section n°	Sous-couche		Couche supérieure	
	Épaisseur	Granulométrie du béton (mm)	Épaisseur	Granulométrie du béton (mm)
1	15 cm	0/32	5 cm	0/7
2	14 cm	0/32	6 cm	0/10
3	12 cm	0/32	8 cm	0/14
4	12 cm	0/32	8 cm	0/20

Figure 12 : Influence du type de granulat sur les bruits de circulation - Estaimpuis



Les résultats en matière de rugosité (coefficient de frottement transversal moyen mesuré au moyen du SCRIM) pour le béton fin lavé se situent bien au-delà de la valeur minimale de 0,48.

**Tableau 11 : Résultats des coefficients de frottement transversaux (CFT), mesurés au moyen du SCRIM à Estaimpuis – Surface du béton dénudée**

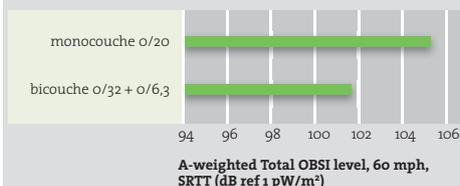
CFT <sub>moy</sub>	Couche supérieure 0/7	Couche supérieure 0/10	Couche supérieure 0/14	Couche supérieure 0/20
2001	0,66	0,70	0,69	0,62
2004	0,65	0,63	0,68	0,64
2005	0,59	0,56	0,59	0,57
2008	0,61	0,55	0,60	0,59

## ETUDE DE CAS À ZWIJNDRECHT

En octobre 2007, dans le cadre d'un programme de recherche américain concernant les caractéristiques de surface des revêtements en béton, des mesures furent prises en Europe. La première phase du revêtement en béton bicouche de l'E34 (N49) était une des trois sections tests en Belgique. Le bruit de roulement fut mesuré au moyen de la technique « OBSI », à savoir « *On-Board Sound Intensity* », plus ou moins comparable à la méthode européenne à la remorque (acoustique) (méthode CPX), qui vise à mesurer le bruit de roulement à proximité du pneu. Par ailleurs, la macrotexture fut également mesurée au moyen d'un système à laser appelé « *RoboTex (Robotic Texture Measurement System)* ».

Le niveau de bruit (OBSI) s'élevait à 101,7 dBA. Cette valeur peut être comparée aux valeurs mesurées sur une autre section en béton de l'autoroute E34 à proximité de Zelzate. Toutefois, dans ce cas-ci, il ne s'agissait pas d'un revêtement bicouche, mais monocouche en béton lavé avec une taille de grain nominale maximale de 20 mm. Un niveau de bruit de 105,3 dBA y a été enregistré, ce qui signifie que l'utilisation de la technique bicouche a permis de réaliser une réduction du bruit de plus de 3 dBA.

Figure 13 : Influence du type de mise en œuvre (monocouche ou bicouche) sur le bruit de roulement



## AUTRES APPLICATIONS DURABLES DU CIMENT ET DU BETON

### UN ÉVENTAIL DE SOLUTIONS AU PROFIT DE LA MOBILITÉ

L'utilisation du béton est indispensable pour de nombreux projets d'infrastructure en vue de parvenir à une mobilité durable à tous les niveaux.

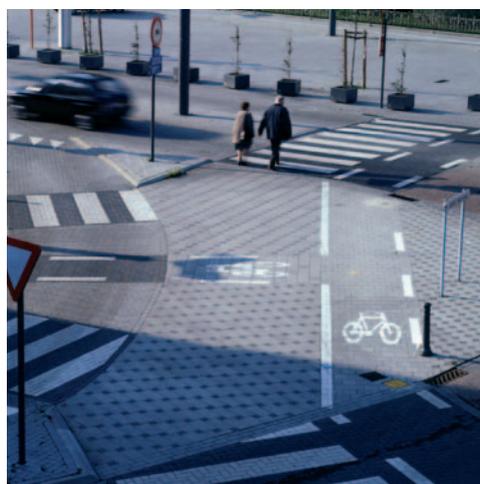
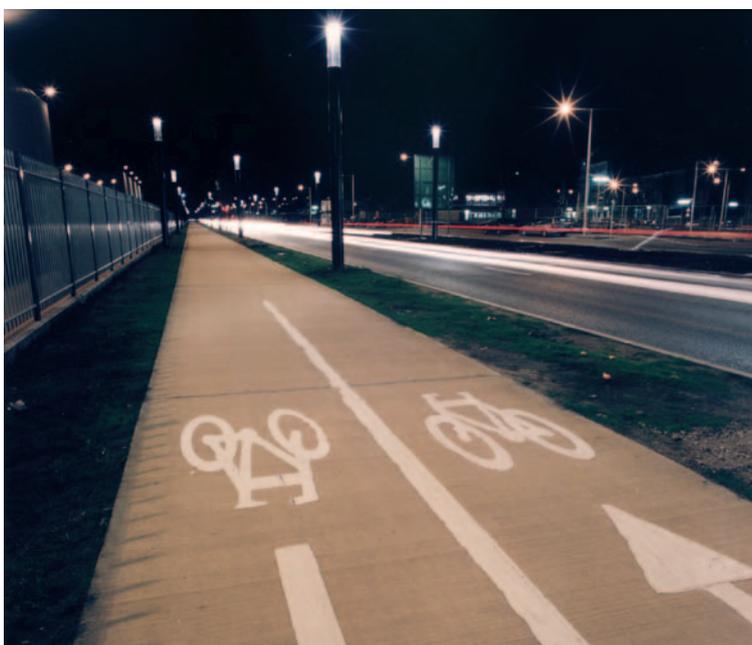
Dans le cadre de la construction routière, plusieurs applications spécifiques sont prévues, telles que des giratoires en dalles de béton ou en béton armé continu.

Dans le domaine des équipements routiers, les barrières de sécurité en béton, préfabriquées

ou coulées en place constituent des solutions solides, durables et sûres. Elles répondent aux normes européennes (EN 1317) qui fixent des prescriptions sur base de crash tests réels avec des voitures, autobus et camions.

En milieux urbains, l'aspect esthétique des revêtements des espaces publics, des places joue un rôle crucial. A cet effet, il est possible de recourir à une large gamme de pavés en béton ou à du béton coloré lavé utilisé en tant que revêtement monolithe.

Des rues piétonnes et des pistes cyclables sont prévues pour les usagers faibles de la route.



En ce qui concerne les infrastructures pour les transports en commun – bus, trams et trains – il est de plus en plus fait appel au béton pour réaliser des solutions durables.

Dans les zones rurales, de nombreuses voiries agricoles sont en béton qui et grâce à leur rigidité, elles ont souvent été posées à même le terrain naturel. Sans nécessiter de nombreux entretiens, elles résistent pendant de nombreuses années au trafic agricole de plus en plus lourd.

Et enfin, il convient également de mentionner les grands axes reliés par des tunnels, des viaducs, mais également les voies navigables, les aéroports et les ports.



## SÉCURITÉ INCENDIE DANS LES TUNNELS

Les avantages des routes en béton valent également pour les revêtements dans les tunnels. Nous pensons plus particulièrement à la longue durée de vie, au nombre réduit d'interventions pour l'entretien ou les réparations, à la surface du revêtement qui n'est pas sujette à l'orniérage et à la clarté du revêtement qui résulte en une meilleure visibilité pour les conducteurs et en une diminution de la capacité d'éclairage nécessaire.

Un atout supplémentaire du béton est le fait qu'il est ignifuge et ne libère pas de substances toxiques en cas d'incendie. En outre, le revêtement en béton ne contribue pas à l'augmentation de l'énergie calorifique de l'incendie et ne présente donc pas de danger supplémentaire pour l'évacuation des personnes ou pour les pompiers ou les services d'aide. Ainsi, le béton s'inscrit parfaitement dans le cadre d'une politique de prévention des risques et de réduction des répercussions des incendies dans les tunnels.



## TECHNIQUES DE TRAITEMENT DU SOL, RECYCLAGE EN PLACE ET IMMOBILISATION DES SOLS POLLUÉS

Le traitement in-situ du sol consiste à mélanger le sol en place avec un liant (ciment, chaux, liant hydraulique routier) en vue de l'améliorer ou de le stabiliser. Il est question de stabilisation lorsque la couche constituée résiste à l'eau et au gel. Les applications possibles sont les suivantes : remblais, sous-fondations, fondations des voiries moins fréquentées.

La technique du recyclage in situ d'anciens revêtements consiste à fractionner l'empierrement existant, recouvert ou non d'un revêtement bitumineux, et de le mélanger en place avec du ciment et de l'eau. Si nécessaire, des granulats peuvent être ajoutés afin d'obtenir une meilleure granulométrie. Il en résulte une fondation liée au ciment avec une excellente portance et une bonne résistance à l'eau et au gel. En la recouvrant d'une ou deux couches d'enrobés bitumineux, une voirie est renouvelée sur toute sa profondeur et ce, en ne devant apporter ou évacuer quasiment aucun matériau. Il s'agit d'une technique de retraitement idéale pour les voiries secondaires.

Une troisième application importante est l'immobilisation des déchets en les liant avec du ciment. En effet, la pollution de terrains et des nappes phréatiques par des métaux lourds est un des grands dangers pour l'environnement et la santé publique et souvent, d'un point de vue pratique ou financier, il n'est pas possible d'évacuer et de traiter les sols ou matériaux pollués.



Stabilisation du sol avec du ciment

Les avantages de ces différentes techniques sont les suivants :

- la rapidité d'exécution ;
- la diminution ou l'élimination des coûts de déversement ;
- l'inutilité d'importer des granulats ;
- l'exploitation moindre de granulats ;
- la diminution de la circulation locale de chantier ;
- le coût : il s'agit d'une solution économique pour obtenir une couche de bonne capacité portante ;
- la gestion cohérente des sols pollués.

## REVÊTEMENTS PERMÉABLES

Les revêtements perméables, souvent réalisés avec des pavés en béton perméables, constituent une application très respectueuse de l'environnement. Ces revêtements laissent passer l'eau de pluie à travers la structure, où elle est temporairement retenue puis évacuée lentement, soit dans le sol perméable, soit vers une zone d'infiltration ou un système d'évacuation situé à proximité. Les fondations perméables à l'eau en combinaison avec des pavages perméables permettent d'éviter les inondations en réduisant l'évacuation d'eau en surface vers les égouts. En outre, cette solution permet également d'améliorer la qualité des eaux souterraines étant donné que les substances polluantes sont piégées dans la fondation.

Les revêtements perméables à l'eau peuvent être réalisés au moyen de pavés en béton poreux, de pavés en béton à joints élargis ou encore de pavés munis d'ouvertures de drainage. Pour le matériau de fondation, le béton maigre drainant offre une combinaison idéale pour la stabilité et la perméabilité à l'eau.



Parking avec pavage perméable

## REVÊTEMENTS EN BÉTON DÉPOLLUANT

La pollution de l'air est un problème de plus en plus préoccupant dans les zones densément peuplées. Les principaux polluants qui émanent de la circulation automobile sont les suivants : particules fines, composants organiques volatils et oxydes d'azote. En présence de composants organiques volatils, ces derniers entraînent la formation d'ozone et renforcent l'impact des particules fines. Il est donc très important de limiter au maximum les émissions de la circulation. Naturellement, ceci est obtenu en premier lieu en diminuant l'émission générée par les véhicules, mais la route et l'environnement proche peuvent également y contribuer.

Par l'ajout de dioxyde de titane  $TiO_2$  dans le béton à la surface d'un revêtement, il est possible de générer un effet dépolluant. Le dioxyde de titane joue le rôle de catalyseur pour la transformation, sous l'effet des rayons UV et de plus en plus souvent également sous l'influence de la lumière, des substances inorganiques nocives telles que le monoxyde d'azote ou le dioxyde d'azote – les fameux  $NO_x$  – en nitrates  $NO_3$ . Ces derniers se déposent sur la surface et sont ensuite évacués par la pluie. Ainsi, un cycle naturel est réduit à néant et le  $NO_x$  nocif, qui peut contribuer à la formation d'ozone, de pluies acides et de particules fines, est évacué de l'air ambiant. Ces matériaux photocatalytiques peuvent également supprimer des substances organiques nocives de l'air ambiant en les décomposant. Le  $TiO_2$  est intégré séparément dans la composition de béton, ou il peut être fait appel à des types de ciment spéciaux contenant des nanoparticules de  $TiO_2$ .

De nombreuses études ont déjà été menées sur ce sujet par le Centre de Recherche Routière. L'effet photocatalytique a été démontré à de nombreuses reprises en laboratoire. La transformation de  $NO_x$  y est déterminée par le biais d'un contact unique entre l'air et les matériaux photocatalytiques. Les mesures ont montré des réductions allant de 30% à 95%. Naturellement, l'efficacité de ce procédé dans le cadre d'applications réelles ne dépendra pas uniquement de l'efficacité du seul matériau photocatalytique, mais également du contact (quantité d'air et durée du contact) entre l'air et la surface, de l'intensité lumineuse, de l'humidité relative et de la pollution de l'air.

Une première application en Belgique a été réalisée dans les rues latérales des « Antwerpse Leien ». En 2004-2005, une superficie de 10.000 m<sup>2</sup> de pavés en béton contenant du dioxyde de titane dans la couche de surface y ont été placés. La durabilité de l'action photocatalytique des pavés a été déterminée en laboratoire.

D'autres applications intéressantes concernent l'utilisation de matériaux photocatalytiques dans la couche supérieure d'un revêtement en béton bicouche ou dans des rechargements fins en béton de ciment, comme à Paris à la Porte de Vanves. Dans une rue très fréquentée (13.000 véhicules par jour), deux sections de 300 m ont été renouvelées de façon différente :

- une section avec un revêtement en béton classique ;
- une section avec un recouvrement mince expérimental en béton à base de ciment ayant un effet photocatalytique.

Pendant une année, la qualité de l'air et de l'eau de surface évacuée a été mesurée. Les mesures ont révélé que la pollution due aux  $NO_x$  a diminué d'environ 20% en cas de conditions climatiques défavorables.

Les études ont également montré que la réaction photocatalytique n'avait pas uniquement lieu au contact de rayons UV, mais également en présence de simple lumière, ce qui laisse envisager l'utilisation de revêtements de murs et de sol dépolluants dans les tunnels en combinaison avec un éclairage classique.



Pavés en béton poreux



Rues latérales des « Leien » à Anvers



## CONCLUSION

La plupart des décideurs sont persuadés qu'une route en béton présente de nombreux avantages à long terme et que sur le plan économique, le choix du béton devient la solution la plus favorable lorsque les coûts d'entretien sur la durée de vie de la structure sont également intégrés dans l'équation. Cette affirmation s'applique aussi lorsque les coûts pour l'utilisateur sont pris en compte, surtout grâce au peu d'entretien que nécessite le béton, ce qui réduit la gêne occasionnée aux usagers. Toutefois, de nos jours, il est devenu tout aussi important de démontrer que les routes en béton présentent également un avantage pour l'environnement et qu'elles constituent des solutions acceptables sur le plan social pour la problématique de la mobilité.

Les différents atouts des revêtements en béton ont été commentés sur base des trois piliers du développement durable : l'environnemental, l'économique et l'intérêt sur le plan social. Il convient d'évaluer les prestations dans ces trois domaines à la lumière d'un cycle de vie complet du revêtement. Il en ressort d'ores et déjà que les revêtements en béton s'inscrivent parfaitement dans la philosophie de la construction durable, mais qu'il est possible d'apporter des améliorations dans certains domaines. C'est la raison pour laquelle les analyses et études actuelles sont poursuivies et font partie d'un développement technique qui est étroitement lié aux aspirations de la société.

Au vu de l'importance de la durée de vie par rapport aux considérations de durabilité, il est crucial que les prestations du matériau « béton » et de son application dans la construction des routes ne soient pas compromises par des mesures visant à atteindre une potentielle amélioration à court terme sur le plan de l'environnement, du coût ou sur le plan social.

Opter pour une route en béton requiert le même courage, la même persévérance et le même genre de vision à long terme que celui dont il faut faire preuve en choisissant la construction durable.

Bref, opter pour une route en béton signifie opter pour une construction de qualité et naturellement durable.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Traitement des déchets industriels dans les fours à ciment ou les incinérateurs.  
Une comparaison environnementale– FEBELCEM, Bruxelles [www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)

AKBARI H. Global Cooling : Increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub> –  
Heat Island Group, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National  
Laboratory, presentation at the fifth annual California Climate Change  
Conference, Sacramento, California, U.S., 9 september 2008

BEELDENS A. Air purification by pavement blocks : final results of the research  
at the BRRC – TRA Conference, Ljubljana, Slovenia, April 2008

BENBOW E.; IAQUINTA J.; LODGE R.; WRIGHT A.  
Investigation of the effects of pavement stiffness on fuel consumption. –  
Published project report PPR 253, Transport Research Laboratory Limited, U.K., July 2007

Béton et utilisation rationnelle de l'énergie.  
Dossier Ciment– FEBELCEM, Bruxelles, juin 2005, [www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)

Béton et développement durable. Analyse du cycle de vie de structures routières – CIMbéton,  
Centre d'information sur le ciment et ses applications, Paris, France 2005, [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)

Revêtements hydrocarbonés et en béton armé continu sur les autoroutes –  
Comparaison économique – Les cahiers du MET,  
Collection Techniques n° 19, Ministère de l'Équipement et des Transports,  
Direction générale des Autoroutes et des Routes, Namur, 2002, <http://routes.wallonie.be>

BRIESSINCK M.; RENS L. Oppervlakkenmerken van hedendaagse betonverhardingen –  
Bijdrage voor het Belgisch Wegencongres, Gent, 2009

CAESTECKER C. Test sections of noiseless cement concrete  
pavements. Conclusions, Vilvoorde, 1999

Carbon Footprint – what it is and how to measure it –  
European Platform on Life Cycle Assessment, European Commission,  
Joint Research Centre, Institute for Environment and  
Sustainability, 2007, <http://lca.jrc.ec.europa.eu>

Cement, beton en CO<sub>2</sub>. Feiten en trends – Cement&BetonCentrum,  
's Hertogenbosch, Nederland, 2008, [www.cementenbeton.nl](http://www.cementenbeton.nl)

Concrete thinking in transportation solutions –  
Cement Association of Canada, Ottawa, Canada 2007, [www.cement.ca](http://www.cement.ca)

DEBROUX R.; DUMONT R. Twin-layer continuously reinforced concrete pavement  
on the N511 at Estaimpuis (Belgium) : an investigation of the  
optimisation of surface characteristics”, 8<sup>th</sup> International Conference  
on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colorado, U.S., 2005

De bijdrage van de cementindustrie tot de beperking van de CO<sub>2</sub>-uitstoot, FEBELCEM, Brussel, 2007  
La contribution de l'industrie cimentière à la réduction de l'émission de CO<sub>2</sub>, FEBELCEM, Bruxelles, 2007

Enlightened – American Concrete Pavement Association, U.S., 2006, [www.pavement.com](http://www.pavement.com), [www.pavements4life.com](http://www.pavements4life.com)

FILFE M. ; FRIEND R. ; SCHIAVONI P. Etude comparative des facteurs socio-économiques relatifs aux chaussées en béton et en asphalte – Rapport final – Groupe-conseil KPMG S.E.C., Montréal (Canada), Juni 2000

Green Highways. Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements – American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois, U.S.A., 2007, [www.pavement.com](http://www.pavement.com)

General guidelines for reducing CO<sub>2</sub> in civil engineering works – European Concrete Platform, 2009, [www.europeanconcrete.eu](http://www.europeanconcrete.eu)

Improving Fire Safety in Tunnels – CEMBUREAU, Brussels, 2004

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

KENDALL A.; KEOLEIAN G.A.; LEPECH M.D. Materials design for sustainability through life cycle modeling of engineered cementitious composites – Materials and Structures 41 : 1117-1131, RILEM 2008

KJELSEN K.O.; GUIMARAES M.; NILSSON A. The CO<sub>2</sub> balance of concrete in a life cycle perspective – Nordic Innovation Centre, December 2005

Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – In Search of Better Investment Decisions, Pavement Division Interim Technical Bulletin, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, U.S., September 1998

LÖFSJÖGARD M., 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 (Sweden), April 2000

A-M. MARION, M. DE LANEVE, A. DE GRAUW.  
Etude du comportement à la lixiviation des bétons de route : quantification des teneurs en métaux lourds relarguées au cours du « Tank Test ». Rapport CRIC 1999-2000, pg. 5-24.

A-M. MARION, M. DE LANEVE, A. DE GRAUW.  
Etude du comportement à la lixiviation des bétons maigres de fondation de chaussée : quantification des teneurs en métaux lourds relarguées au cours du « Tank Test ». Rapport CRIC 2001-2002, pg 3-21.

MULLER Ch. Blended cements – German Cement Works Association VDZ, presentation at the ECO-Serve Seminar “Challenges for Sustainable Construction : the Concrete Approach”, Warsaw, May 18-19, 2006, [www.eco-serve.net](http://www.eco-serve.net)

POMERANTZ M.; BON. P.; ABKARI H.; CHANG S.-C. The effect of pavement's temperatures on air temperatures in large cities – Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkely, Canada 94720, April 2000, <http://heatisland.lbl.gov>

SNYDER M. B. Pavement Surface Characteristics – A Synthesis and Guide, American Concrete Paving Association ACPA, Skokie, Illinois, U.S., 2006

Sustainable Cement Production. Co-Processing of alternative fuels and raw materials in the European cement industry – CEMBUREAU, Brussels, 2009, [www.coprocessing.info](http://www.coprocessing.info)

TAYLOR G.W.; FARREL P.; WOODSIDE A. Effects of pavement structure on vehicle fuel consumption. Phase III – prepared for Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change and Cement Association of Canada by the National Research Council of Canada, January 2006

THIERY M.; ROUSSEL N.; HABERT G.; BELIN P.; DANGLA P. Comment intégrer quantitativement la carbonatation atmosphérique dans le bilan-carbone des matériaux cimentaires – AFGC, Paris, Mars 2009





Une publication de :  
**FEBELCEM**  
Fédération de l'Industrie Cimentière Belge  
Boulevard du Souverain 68 - 1170 Bruxelles  
tél. 02 645 52 11 – fax 02 640 06 70  
[www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)  
[info@febelcem.be](mailto:info@febelcem.be)

Auteur :  
ir. L. Rens

Photos :  
FEBELCEM,  
C.R.I.C.,  
OCW,  
Agentschap Wegen en Verkeer,  
A. Nullens (cover),  
[photo-daylight.com](http://photo-daylight.com)

Dépôt légal : D/2009/0280/07

Ed. resp. : A. Jasienski

[infobeton.be](http://infobeton.be)

