

ANALYSES ENVIRONNEMENTALES DU CYCLE DE VIE DES CHAUSSÉES ROUTIÈRES À FORT TRAFIC

1) INTRODUCTION

Le principe du développement durable est de répondre aux besoins des présentes générations sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Dans cette optique, tout comme les autres industries d'avant-garde, l'industrie des chaussées souples cherche à réduire la consommation d'énergie et à diminuer les émissions des gaz à effet de serre lors de la construction et de la réhabilitation des routes.

À cette fin, des outils permettant d'évaluer ces impacts par analyse du cycle de vie ont été créés. Une analyse de ce type compile et évalue différents paramètres et mesure leurs impacts potentiels sur l'environnement au cours d'un cycle de vie du produit étudié. Une telle analyse considère l'extraction et la transformation des matières premières, la fabrication, l'entretien et la valeur résiduelle du produit.

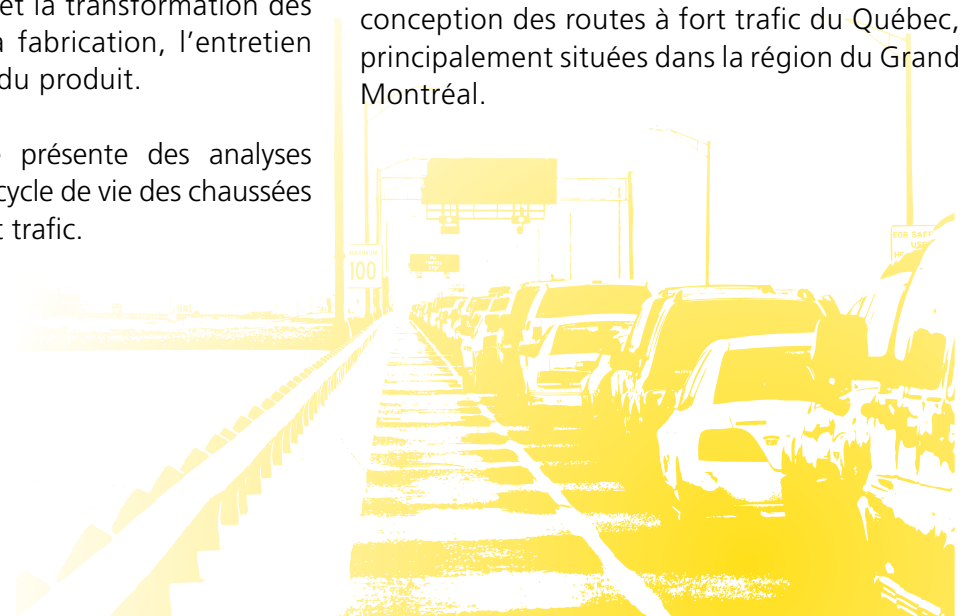
Ce bulletin technique présente des analyses environnementales du cycle de vie des chaussées souples et rigides à fort trafic.

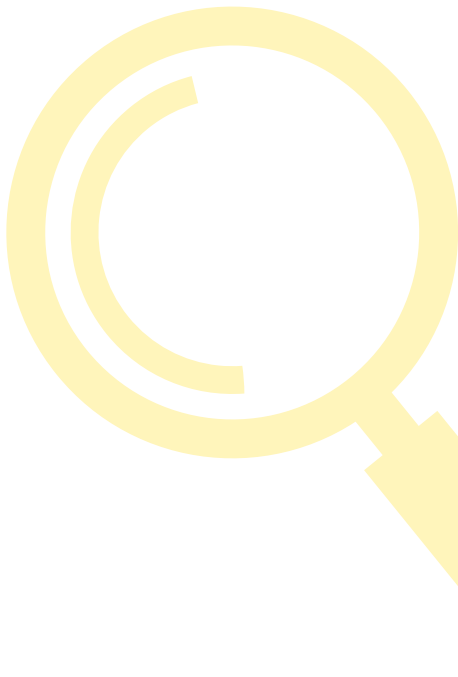
2) MÉTHODOLOGIE

Une analyse environnementale du cycle de vie (AECV) est régie par les normes de la série ISO 14040. Le cadre d'analyse qui s'applique habituellement à tout type implique :

- Une définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- Un inventaire des intrants et des extrants du système de produits à l'étude ;
- Une évaluation des impacts potentiels liés à ces intrants et extrants ;
- Une interprétation des données d'inventaire et des résultats de l'évaluation des impacts.

L'étude réalisée par Bitume Québec est basée sur des analyses complètes de cinq différentes structures de chaussée. Le choix des matériaux de revêtement est basé sur les critères de conception des routes à fort trafic du Québec, principalement situées dans la région du Grand Montréal.





1. Champ de l'étude

Une AECV routière implique l'identification et la quantification des intrants dont les matières premières et l'énergie et des extrants dont les émissions dans l'air, dans l'eau et dans le sol liés au cycle de vie. L'analyse effectuée modélise l'impact de différentes étapes successives (figure 1) dont :

- la production des matières premières (granulats et liants);
- le transport des matières premières;
- les productions en centrale (enrobés et béton);
- le transport et la mise en œuvre des matériaux en chantier;
- l'entretien de la chaussée durant son cycle de vie (réfections mineures et majeures);
- la valorisation en fin de cycle de vie de la chaussée (retraitement et recyclage).

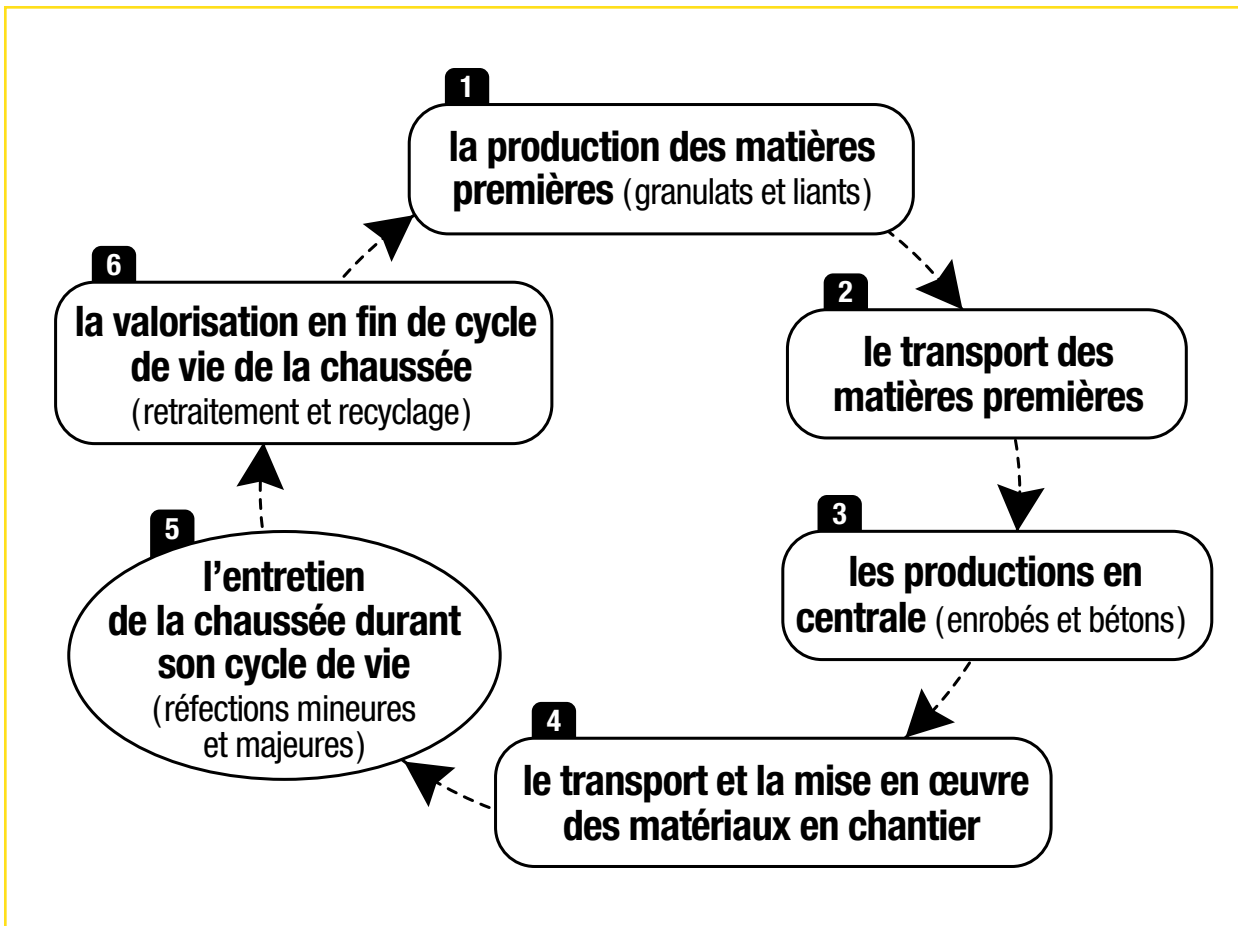


FIGURE 1 Cycle de vie d'une chaussée routière

2. Évaluation des impacts

La réalisation d'une AECV implique de recueillir des données d'inventaire auprès des industries et de relever celles disponibles dans la littérature. Depuis le début des années 2000, de nouveaux logiciels éco-comparateurs ont été développés afin d'aider à comparer différentes options d'un produit livrable et de ses impacts sur l'environnement¹. Dans le cas présent, ces données sont incluses dans les éco-comparateurs adaptés à la construction routière. Cette approche est basée sur des données reconnues par la profession. Elle s'appuie donc sur des bases de données de matériaux, de transport, de production en usine et d'instruments de mesure.

Ces outils permettent aux entreprises et aux concepteurs de quantifier rapidement l'empreinte environnementale des différentes techniques routières. Il existe présentement différents logiciels éco-comparateurs dans le domaine routier dont :

- « Lucas » développé par le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) de l'École Polytechnique de Montréal;
- « SEVE » pour « Système d'évaluation des variantes environnementales » de l'Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF);
- « Écorce 1.0 » signifiant « Éco-comparateur routes: construction et entretiens » de l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR);
- « GAÏA B. E. » de la compagnie Eurovia ;
- « ÉcoLogiciel » de la compagnie Colas.

Pour réaliser les différentes analyses, Bitume Québec a utilisé GAÏA B.E.² Ce logiciel évalue les impacts environnementaux dans l'air, l'eau, les sols et les déchets produits à l'aide de 16 indicateurs environnementaux quantifiables dont neuf sont retenus par la norme NF P01-010 « Qualités environnementales des produits de la construction ». De ceux-ci, deux sont retenus pour leur impact les plus probants pour différencier les chaussées souples et rigides, soit :

- la consommation des ressources énergétiques;
- l'émission des gaz à effet de serre (GES).

Inventaire des données d'entrées

De façon à rendre équitable les différentes analyses, l'établissement d'hypothèses de base est requis. Voici celles retenues dans la présente étude :

- Trois tronçons routiers de 10 km avec des sollicitations de trafic différentes;
- Distance entre les centrales portatives (béton, enrobés et base stabilisée) au centre du chantier : 5 km;
- Distance à une aire de rebut : 15 km;
- Distance à une carrière : 20 km;
- Distance à une centrale pour le resurfaçage : 15 km;
- Durée de cycle de vie : 40 ans. Le choix de cette période repose sur le fait que plusieurs états américains limitrophes au Québec (donc soumis à des conditions atmosphériques similaires) utilisent des cycles de vie variant de 30 à 40 ans.

¹ Un éco-comparateur peut aussi être utilisé pour évaluer l'impact d'un seul produit.

² Les éco-comparateurs sont des outils mathématiques. Les décisions et l'interprétation des résultats appartiennent à l'utilisateur. Les analyses effectuées avec l'un ou l'autre de ces logiciels devraient donner des résultats similaires.

Cinq analyses environnementales ont été réalisées pour différentes structures de chaussée dont :

» **deux structures de chaussée souple :**

- enrobés bitumineux conventionnels (EB);
- enrobés bitumineux avec base retraitée (EB base retraitée).

» **trois structures de chaussée rigide :**

- dalle courte goujonnée exposée (DCG exposée);
- dalle courte goujonnée recouverte d'enrobés après une période de 5 et 6 ans (DCG recouverte);
- béton armé continu (BAC).

Le tableau 1 donne les données de trafic des chaussées analysées. Trois tronçons routiers ont été retenus pour représenter différentes réalités québécoises (3 x 5 cas). Il est à noter qu'à des fins de comparaison, les différentes structures de chaussée se basent sur des paramètres de conception³ identiques lesquels sont :

- le trafic;
- l'agressivité du trafic⁴;
- la durée de vie;
- la protection au gel.

Le facteur de fiabilité « R » (méthodologie de dimensionnement de l'AASHTO) utilisé pour la comparaison des chaussées souples et rigides est de 95 %⁵.

TABLEAU 1

Données de trafic des tronçons routiers analysés

	Nombre de voies	Trafic (DJMA)	% Poids lourds
Boulevard industriel	2 X 2	40 000	10
Autoroute moyennement sollicitée (MS) (La section de l'autoroute 20 (route 132), à Brossard, s'apparente à ce type de sollicitation)	2 x 3	90 000	10
Autoroute fortement sollicitée (FS) (La section de l'autoroute 40, entre Kirkland et Vaudreuil, s'apparente à ce type de sollicitation)	2 x 3	50 000	25

³ Les logiciels utilisés pour ces analyses sont Chaussée II du ministère des Transports du Québec pour les chaussées souples et le logiciel *Winpass* de *Portland Cement Association* pour les chaussées rigides.

⁴ L'agressivité du trafic est ajustée selon le type de matériau.

⁵ Ces recommandations proviennent de différents organismes dont l'AASHTO (*Pavement Design Guide*) et l'*American Concrete Pavement Association* (logiciel *Winpass*).

La figure 2 présente les coupes types de chacune des structures de chaussées souples et rigides et les épaisseurs obtenues selon les sollicitations de chaque tronçon routier.

Séquences d'entretien utilisées

L'entretien du revêtement permet d'assurer un niveau de sécurité adéquat pour les usagers durant tout le cycle de vie de la route. Il existe plusieurs possibilités pour établir les séquences d'entretien de la chaussée d'un cycle de vie de 40 ans. Les séquences proposées représentent un contexte idéal où les interventions sont des mesures préventives aux dégradations habituelles des revêtements.

LES SÉQUENCES PROPOSÉES
REPRÉSENTENT UN CONTEXTE IDÉAL OÙ

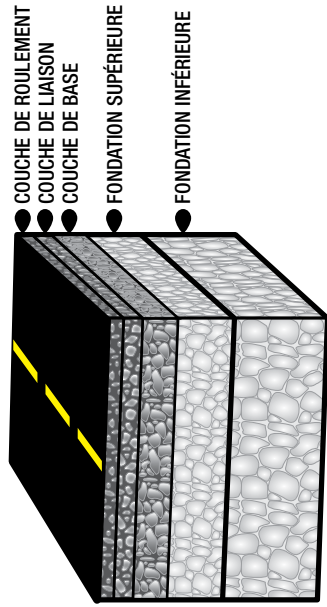
**LES INTERVENTIONS
SONT DES MESURES
PRÉVENTIVES AUX
DÉGRADATIONS
HABITUELLES DES
REVÊTEMENTS.**

Présentement, au Québec, il n'existe aucun scénario type de séquences d'entretien à long terme qui aurait pu être utilisé pour une analyse environnementale de chaussée routière. Que ce soit pour des chaussées souples ou rigides, les spécialistes en conception de chaussée doivent retenir des critères de performance assurant le même niveau de sécurité aux usagers. Cette analyse a considéré les paramètres suivants :

- l'orniérage (< 10 mm);
- la rugosité superficielle ($H_s > 0,6$ mm);
- le coefficient de frottement transversal (CFT à 60 km/h $> 0,55$);
- l'efficacité du marquage de la chaussée;
- le confort au roulement ($IRI \leq 2,2$ m/km).

Les séquences d'entretien retenues pour les chaussées souples et rigides pour un cycle de 40 ans sont présentées au tableau 2.

COUPE-TYPE : CHAUSSEE SOUPLE A FORT TRAFIC



ENROBES CONVENTIONNELS

- **BOULEVARD INDUSTRIEL**
- ESG-10 = 50 mm
- ESG-14 = 60 mm
- GB-20 = 125 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 700 mm
- TOTAL = 1 185 mm**

- **AUTOROUTE MS**
- ESG-10 = 50 mm
- ESG-14 = 60 mm
- GB-20 = 145 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 680 mm
- TOTAL = 1 185 mm**

- **AUTOROUTE FS**
- ESG-10 = 50 mm
- ESG-14 = 60 mm
- GB-20 = 210 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 600 mm
- TOTAL = 1 170 mm**

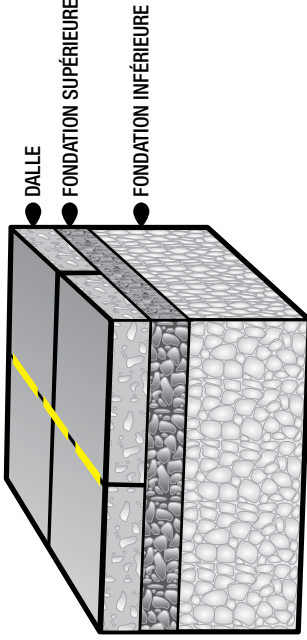
ENROBES AVEC BASE RETRAITEE

- **BOULEVARD INDUSTRIEL**
- ESG-10 = 50 mm
- ESG-14 = 70 mm
- BASE RETRAITEE = 200 mm
- MG-20 = 200 mm
- MG-56 = 580 mm
- TOTAL = 1 100 mm**

- **AUTOROUTE MS**
- ESG-10 = 50 mm
- ESG-14 = 85 mm
- BASE RETRAITEE = 230 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 480 mm
- TOTAL = 1 095 mm**

- **AUTOROUTE FS**
- ESG-10 = 50 mm
- ESG-14 = 140 mm
- BASE RETRAITEE = 250 mm
- MG-20 = 200 mm
- MG-56 = 400 mm
- TOTAL = 1 040 mm**

COUPE-TYPE : CHAUSSEE RIGIDE A FORT TRAFIC



DALLE COURTE GOULONNEE
EXPOSEE OU RECOUVERTE D'ENROBES

- **BOULEVARD INDUSTRIEL**
- DCG = 270 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 670 mm
- TOTAL = 1 190 mm**

- **AUTOROUTE MS**
- DCG = 290 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 650 mm
- TOTAL = 1 190 mm**

- **AUTOROUTE FS**
- DCG = 375 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 550 mm
- TOTAL = 1 175 mm**

BETON ARME CONTINU

- **BOULEVARD INDUSTRIEL**
- BAC = 260 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 680 mm
- TOTAL = 1 190 mm**

- **AUTOROUTE MS**
- BAC = 280 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 660 mm
- TOTAL = 1 190 mm**

- **AUTOROUTE FS**
- BAC = 360 mm
- MG-20 = 250 mm
- MG-56 = 570 mm
- TOTAL = 1 180 mm**

FIGURE 2 Epaisseur des différentes chaussées analysées

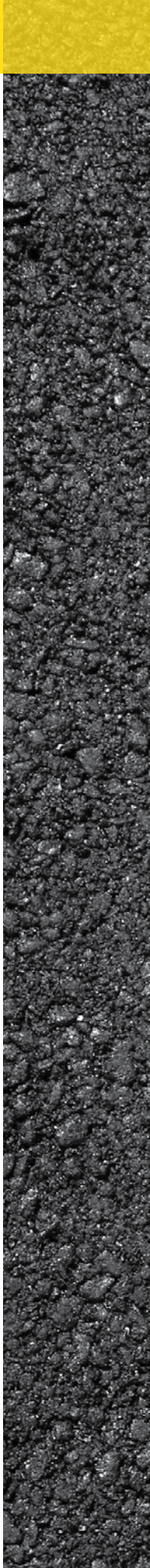


TABLEAU 2

Scénarios d'entretien des chaussées analysées pour un cycle de 40 ans

		Boulevard industriel et autoroute MS	Autoroute FS
CHAUSSÉES SOUPLES			
Marquage		Aux 3 ans	Aux 3 ans
Scellement de fissures		Aux 6 ans	Aux 6 ans
Resurfaçage avec ED-10* (70 kg/m ²)		-	10 ^e année
Enrobés coulés à froid bicouche (20 kg/m ²)		10 ^e , 16 ^e , 30 ^e et 36 ^e année	-
Planage (50 mm) et resurfaçage (120 kg/m ²)		22 ^e année	18 ^e , 26 ^e et 36 ^e année
Réparations en profondeur à l'enrobé (sur 100 mm)		22 ^e et 36 ^e année (5 % de la surface)	26 ^e et 36 ^e année (5 % de la surface)
CHAUSSÉES RIGIDES			
DCG EXPOSÉE ET BAC	Marquage (ligne de fond noire et surface blanche)	Aux 2 ans	Aux 2 ans
	Meulage (CFT > 55)	7 ^e , 14 ^e , 21 ^e , 27 ^e et 35 ^e année	7 ^e , 14 ^e , 21 ^e , 27 ^e et 35 ^e année
	Réparation en profondeur	14 ^e , 25 ^e et 35 ^e année (5 % de la surface)	14 ^e , 25 ^e et 35 ^e année (5 % de la surface)
DCG (EXPOSÉE)	Regarnissage des joints transversaux et longitudinaux	9 ^e , 18 ^e , 27 ^e et 35 ^e année	10 ^e , 18 ^e , 27 ^e et 35 ^e année
BAC	Regarnissage des joints longitudinaux	9 ^e , 18 ^e , 27 ^e et 35 ^e année	10 ^e , 18 ^e , 27 ^e et 35 ^e année
DCG (RECOUVERTE)	Marquage	Aux 3 ans	Aux 3 ans
	Resurfaçage à l'enrobé (120 kg/m ²)	6 ^e année	5 ^e année
	Scellement de fissures	8 ^e , 20 ^e et 29 ^e année	7 ^e , 17 ^e , 26 ^e et 33 ^e année
	Planage (50 mm) et resurfaçage (120 kg/m ²)	18 ^e , 28 ^e et 36 ^e année	15 ^e , 25 ^e et 33 ^e année
	Réparations en profondeur à l'enrobé (sur 100 mm)	22 ^e et 36 ^e année (5 % de la surface)	26 ^e et 36 ^e année (5 % de la surface)

(*) Enrobé à granulométrie discontinue

3. Interprétation des résultats

La consommation des ressources énergétiques

Les hypothèses de base utilisées pour l'analyse environnementale d'un cycle de vie de 40 ans de différentes chaussées routières à fort trafic ont permis d'évaluer la consommation énergétique pour toutes les activités du cycle de vie.

À la fin de leur vie utile, les chaussées souples permettent de récupérer des enrobés recyclés pour un équivalent de l'ordre de 30 000 gigajoules pour un tronçon routier de 10 km (2 x 2 voies). Ce bénéfice supplémentaire devrait être attribué aux chaussées souples et considéré dans toute analyse environnementale. Il est faux de considérer que l'énergie du bitume est consommée alors qu'elle est toujours latente et disponible (contrairement aux chaussées rigides où le liant est transformé chimiquement et inutilisable après son cycle de vie).

De plus, il est reconnu que la fabrication du ciment, et plus spécifiquement du « clinker » nécessaire à la production du béton, consomme énormément d'énergie lors du chauffage. En effet, le « clinker » est fabriqué à l'intérieur d'un four rotatif qui chauffe à plus de 1 450°C (2 650°F). En plus de l'énergie requise pour le béton, les résultats plus élevés de la dalle en béton armé continu proviennent de l'énergie nécessaire à la fabrication de l'acier qui se produit à des températures de 1 600°C (2 900°F). En contrepartie, la fabrication du bitume s'effectue à des températures de 350°C (690°F).

Les valeurs de consommation des ressources énergétiques sont compilées en mégajoules et les résultats obtenus sont présentés à la figure 3.⁶ Le principal constat est que les chaussées rigides consomment toutes plus d'énergie que les chaussées souples avec des rapports moyens de :

- 1,3 fois pour les dalles courtes goudonnées exposées ;
- 1,5 fois pour les dalles courtes goudonnées recouvertes d'enrobés ;
- 2,1 fois pour la technique du béton armé continu.

⁶ Il est à noter que les rapports moyens présentés excluent, pour les chaussées souples, l'avantage représenté par la récupération des enrobés recyclés en fin de vie utile.

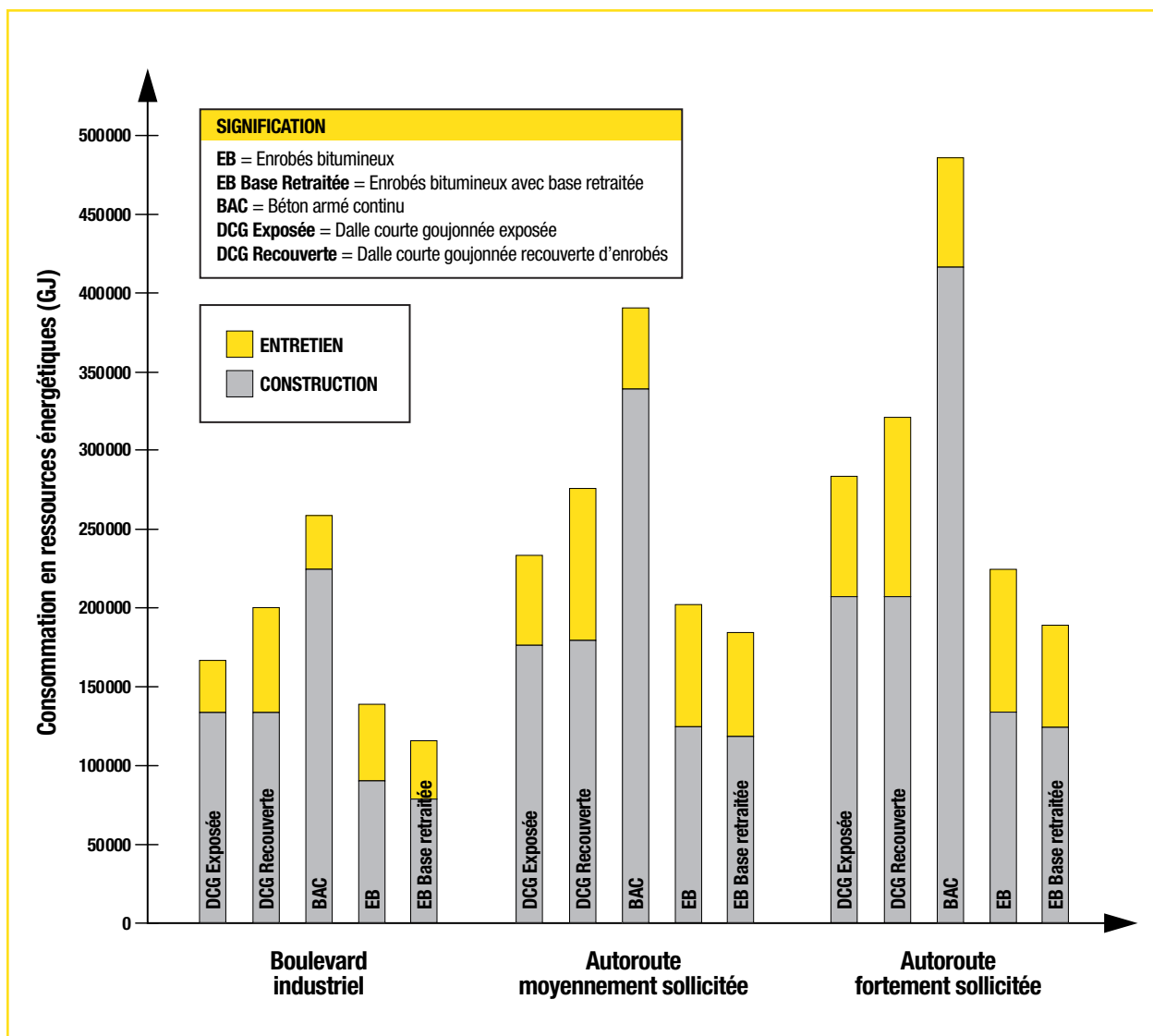


FIGURE 3 Consommation en ressources énergétiques pour les cinq structures de chaussée avec trois niveaux de sollicitation

L'émission des gaz à effet de serre

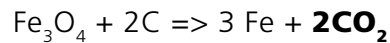
Les hypothèses de base utilisées pour l'analyse environnementale d'un cycle de vie de 40 ans de différentes chaussées ont permis d'évaluer l'émission des gaz à effet de serre pour toutes les activités du cycle de vie des différentes chaussées routières. Les données sont exprimées en équivalence CO₂ afin de représenter le « pouvoir de réchauffement global » (PRG) de la planète.

La figure 4 présente les résultats pour les cinq structures analysées⁷. Une fois de plus, le principal constat est que les chaussées rigides émettent plus de gaz à effet de serre que les chaussées souples avec des rapports moyens de :

- 2,6 fois pour les dalles courtes goujonnées exposées;
- 2,8 fois pour les dalles courtes goujonnées recouvertes d'enrobés;
- 3,4 fois pour la technique du béton armé continu.

Les valeurs plus élevées de gaz à effet de serre pour le béton s'expliquent par les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) causées par les réactions chimiques lors de la fabrication du « clinker » et de l'acier, de même que par la combustion d'une plus grande quantité d'énergie requise. De façon sommaire :

Pour l'acier :



Pour le « clinker » :

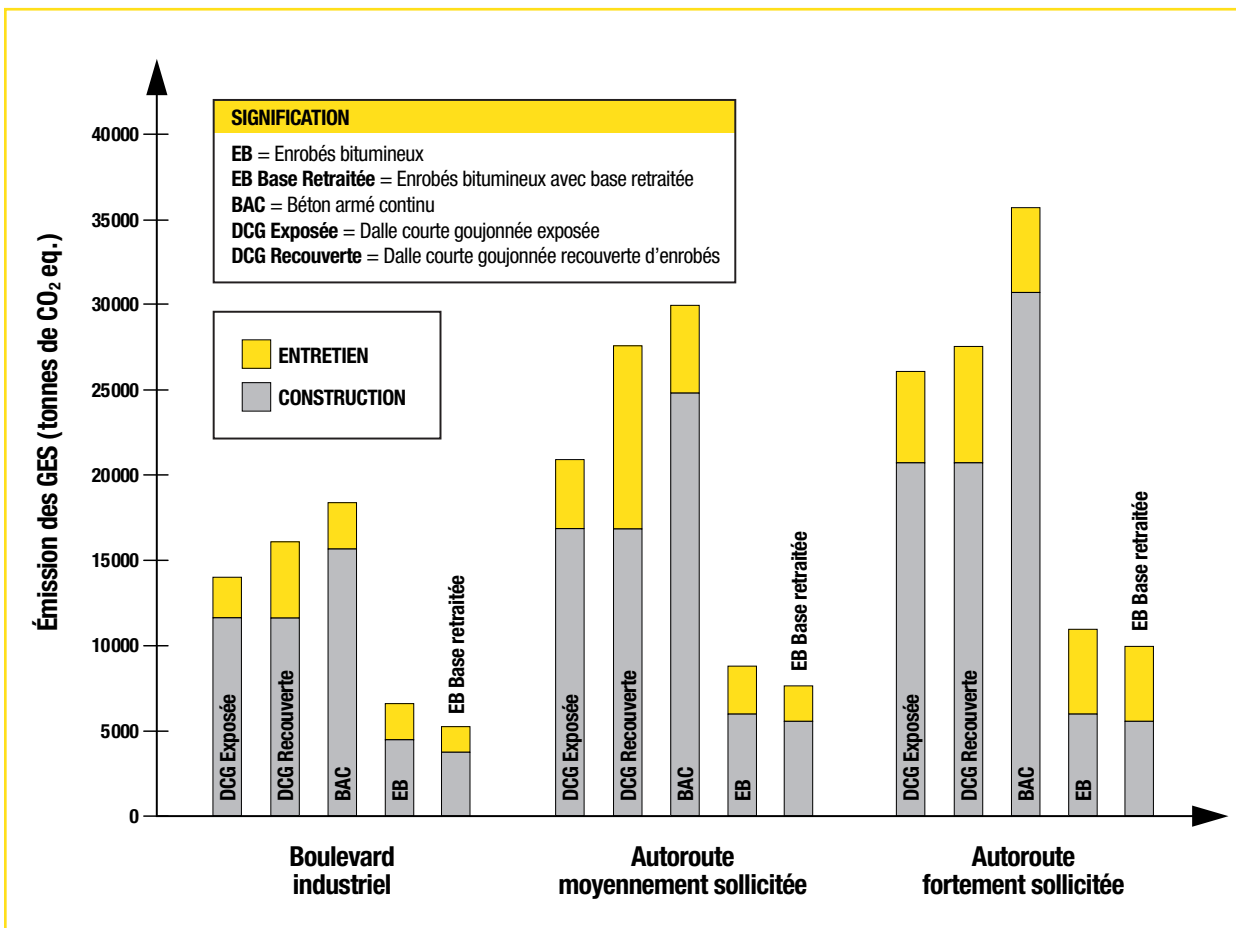
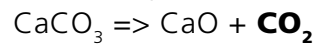


FIGURE 4 Émission de GES pour les cinq structures de chaussée avec trois niveaux de sollicitation

⁷ Référence n°1.

Observations complémentaires

Les hypothèses de base utilisées pour une analyse environnementale d'un cycle de vie de 40 ans permettent d'évaluer l'impact de l'épuisement des ressources naturelles et la pollution dans l'air pour la fabrication et la mise en œuvre de différentes chaussées routières étudiées. Les enrobés sont des produits 100 % recyclables à la fin de leur cycle de vie malgré le vieillissement du bitume⁸. Effectivement, celui-ci conserve ses propriétés adhésives et ces dernières demeurent toujours fonctionnelles. Par contre, le ciment, liant du béton, a subi une hydratation impliquant une transformation chimique de ses propriétés. Cela signifie qu'il est inutilisable à la fin du cycle de vie d'une chaussée rigide. Le seul recyclage présentement effectué pour les chaussées rigides est celui du concassage des dalles de béton à des fins de réutilisation dans les fondations granulaires.

CONCLUSION

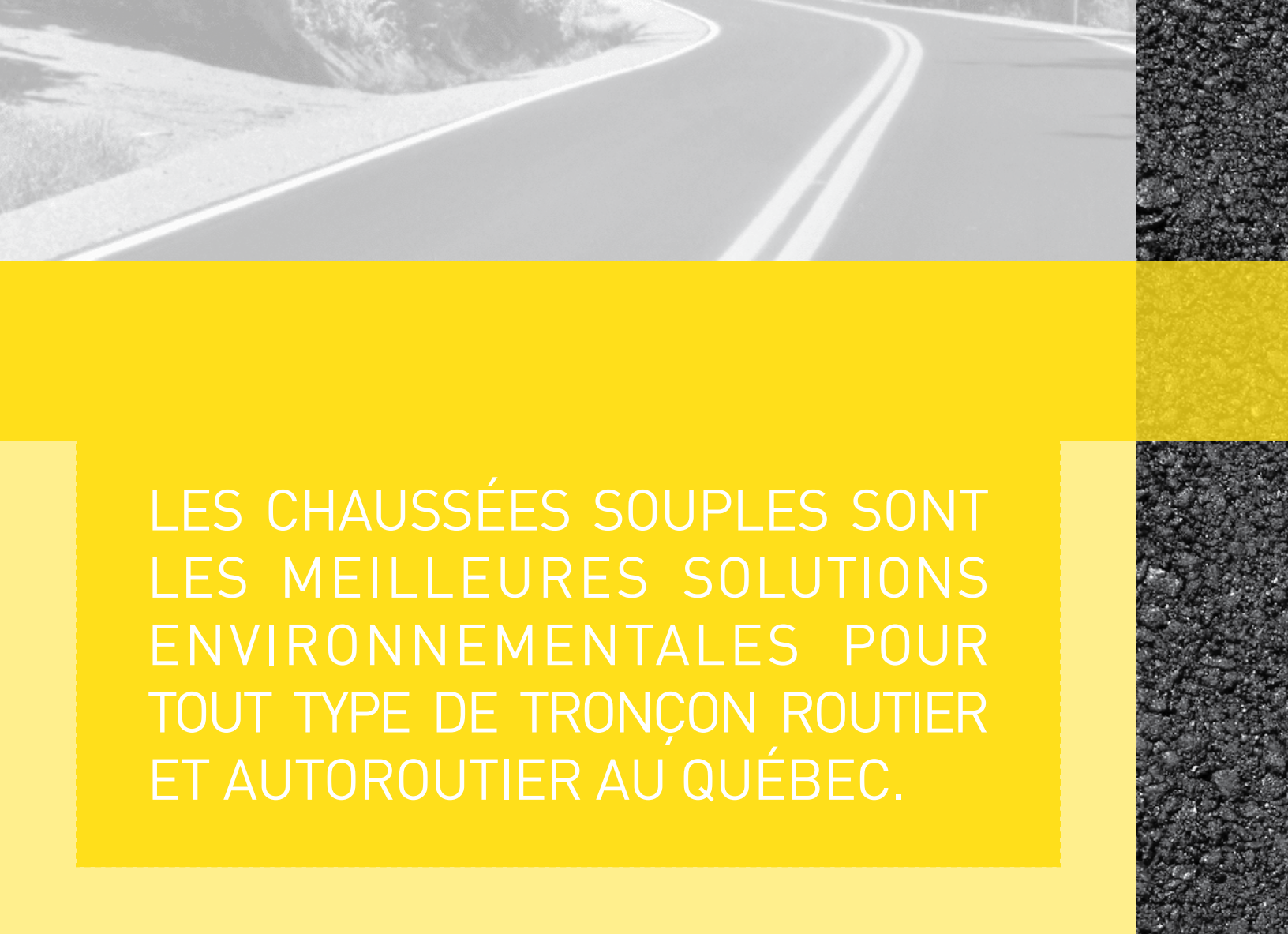
L'analyse effectuée sur les cinq différentes structures de chaussée prouve que les impacts environnementaux des chaussées souples sont beaucoup moindres que les impacts des chaussées rigides. Pour les fins de la présente étude, notons que seuls des tronçons routiers fortement sollicités ont été comparés. En effet, les chaussées municipales à plus faible trafic ont volontairement été exclues, car celles-ci sont toujours réalisées en enrobés étant donné leurs avantages. Elles nécessitent une épaisseur moindre d'enrobés, permettent une économie des coûts et favorisent des interventions plus faciles sous la chaussée lors des travaux en lien avec les différents réseaux techniques urbains.

Par ailleurs, pour tous les tronçons étudiés et les différentes structures de chaussée, les résultats démontrent que les impacts environnementaux sont beaucoup plus élevés lors de la construction de la chaussée que lors des interventions d'entretien. De plus, il est de mise de souligner que seuls les enrobés peuvent être réutilisés en fin de cycle de vie en couches de base et de surface des chaussées. Cela en fait un produit d'autant plus environnemental lors d'application de politique de développement durable par tout organisme publique et parapublique.

Lors de cette étude, des analyses pour une durée de cycle de vie de 35 ans ont aussi été effectuées. Les résultats de consommation énergétique et de production de GES entre les deux cycles de 35 et de 40 ans diffèrent très peu.

De facto, toute technique permettant de diminuer la consommation d'énergie lors de la fabrication en centrale ou lors de la mise en œuvre est favorisée. Le développement des techniques à froid (enrobés coulés à froid, enrobés recyclés en place à froid) et des techniques à température modérée (enrobés tièdes) permet de réduire la consommation d'énergie en évitant ou en limitant le chauffage des granulats. Également, l'arrivée sur les routes du Québec des enrobés à module élevé, permettra de diminuer l'épaisseur des couches structurantes des chaussées souples, et, par le fait même, de réduire les impacts environnementaux.

⁸ Il est reconnu que le bitume s'oxyde avec le temps. Cette perte de propriété représente environ 1 % de son énergie thermique (enthalpie).



LES CHAUSSÉES SOUPLES SONT LES MEILLEURES SOLUTIONS ENVIRONNEMENTALES POUR TOUT TYPE DE TRONÇON ROUTIER ET AUTOROUTIER AU QUÉBEC.

RÉFÉRENCES

1. **Bitume Québec.** *Rapports d'analyses des coûts du cycle de vie (ACCV) et analyses du cycle de vie environnementale (AECV) pour différentes structures des chaussées souples et rigides.* Centre technique nord américain d'Eurovia, mars 2010.
2. **Dauvergne, Anne et autres, ÉCORCE 1.0.** *Éco-comparateur routes, construction et entretien.* RGRA N°876, France, mai et juin 2009, p.92.
3. **GAÏA B.E.** *Outil de bilan environnemental, version 1.0.* Eurovia, 2007

Mise en garde:

Bitume Québec décline toute responsabilité, directe ou indirecte quant à l'actualité ou à l'exactitude des informations du présent bulletin technique ou aux conséquences découlant de leur utilisation. Les informations présentées ne doivent en aucun cas se substituer à l'opinion d'un professionnel du domaine des enrobés, ni lier l'association ou ses mandataires et représentants. Bitume Québec et ses mandataires n'acceptent aucune responsabilité pour toute erreur, inexactitude ou omission reliées aux informations contenues dans ce bulletin.

Jun 2011

ISBN 978-2-923714-11-0