

Analyse du cycle de vie comparative des chaussées en béton de ciment et en béton bitumineux à des fins d'intégration de paramètres énergétiques et environnementaux au choix des types de chaussées

Auteur	CIRAIG - Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
Date	Juin 2009
Texte intégral	Kicak, K., Ménard, J-F. (2009). « Analyse du cycle de vie comparative des chaussées en béton de ciment et en béton bitumineux à des fins d'intégration de paramètres énergétiques et environnementaux au choix des types de chaussées » Rapport final réalisé pour le Ministère des transports du Québec par le CIRAIG en mars 2009, 64 pages, 7 annexes.
Revue critique	Le Guern, Y. (2009) réalisé pour le Ministère des transports du Québec par BIO Intelligence Service S.A.S. qui était en charge d'un comité de revue critique indépendant.

1. Contexte

Dans le cadre de la mise à jour de l'Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées (ci-après nommée « Orientation ») le Ministère des Transports du Québec (MTQ) souhaite intégrer l'analyse du cycle de vie (ACV) au processus décisionnel menant au choix des types de chaussées. Le processus décisionnel actuel repose sur une analyse des coûts globaux (*LCCA - Life Cycle Cost Assessment*) pour tous les paramètres monétarisables. L'ACV, qui a pour objectif de permettre l'intégration de paramètres environnementaux dans le choix des types de chaussées, est un **outil méthodologique permettant d'évaluer**, sur la base de méthodes internationalement reconnues, **les impacts environnementaux potentiels** d'un produit ou d'une activité sur l'ensemble de son cycle de vie. Le MTQ a ainsi sollicité le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) afin qu'il effectue la comparaison environnementale des chaussées en béton de ciment et en enrobé bitumineux.

Ce document constitue la synthèse du rapport final du projet déposé suite au processus de revue critique par un comité de revue indépendant qui a confirmé la validité des méthodes ainsi que des résultats et conclusions.

2. Description de l'analyse du cycle de vie

Méthode utilisée

L'ACV permet d'évaluer les conséquences environnementales d'un produit ou d'une activité sur l'ensemble de son cycle de vie (concept du berceau au tombeau). C'est donc une approche holistique, qui tient compte de l'extraction et du traitement des matières premières, des processus de fabrication, du transport et de la distribution, de l'utilisation et de la réutilisation du produit fini et finalement, du recyclage et de la gestion des déchets en fin de vie. Cette méthode d'analyse a comme principal objectif de permettre la réduction des impacts des produits et des services sur l'environnement, en fournissant des données environnementales permettant d'orienter la prise de décision en évitant des déplacements possibles de problèmes environnementaux.

L'ACV implique l'identification et la quantification des entrants (de matière et d'énergie) et des sortants (émissions à l'air, à l'eau et au sol) reliés au cycle de vie du produit ou de l'activité (c.-à-d. au système de produits), ainsi que l'évaluation des impacts potentiels associés à ces entrants et ces sortants.

Objectifs de l'étude

Plus particulièrement, l'objectif de ce projet est d'évaluer et de comparer les impacts environnementaux potentiels, à l'aide de la méthodologie ACV, d'une nouvelle chaussée en béton de ciment (ci-après nommée « système BC ») de type dalles courtes goujonnées (DCG) à ceux d'une nouvelle chaussée en enrobé bitumineux (ci-après nommée « système BB »), en tenant compte des différentes configurations (ou cas-types) représentatives du réseau autoroutier québécois.

Une revue bibliographique a d'abord montré qu'il existe quelques études comparant les impacts environnementaux des chaussées en béton de ciment et en enrobé bitumineux réalisées au cours des dernières années. La revue du CIRAIQ a alors permis de dresser un portrait préliminaire du cycle de vie des chaussées en béton de ciment et en enrobé bitumineux et d'orienter l'établissement du cadre méthodologique sur lequel a été basée l'ACV. Celui-ci a été établi de manière à adapté à la réalité québécoise, en termes de représentativité des données.

Fonction et unité fonctionnelle

L'ACV porte non pas sur un produit, mais sur une ou plusieurs fonctions remplies par ce produit. L'analyse vise donc la quantité de produit requise pour remplir la fonction étudiée, ce qui assure la comparabilité d'options alternatives ayant des performances différentes. L'unité fonctionnelle représente quant à elle la quantification de la fonction étudiée, tandis que les flux de référence permettent de relier la performance d'un système à l'unité fonctionnelle (c.-à-d. qu'ils représentent la quantité de produits requise afin de remplir la fonction exprimée par l'unité fonctionnelle).

La fonction étudiée consiste à *Permettre le déplacement de véhicules routiers sur une distance donnée, pendant une période donnée.*

Une distance de cinq kilomètres et une période de cinquante ans ont été précisées par le MTQ. Les étapes de démolition et de reconstruction n'ayant pas lieu à la même année pour tous les types de chaussées, cette période de cinquante ans est basée sur la durée de vie maximale des deux alternatives étudiées. De plus, comme il s'avère difficile de déterminer dans quelle mesure les prochains cycles de vie d'une chaussée reconstruite seront identiques au premier cycle suivant la construction initiale (p. ex. dans quels contextes et sous quelles conditions la fondation et la sous-fondation devront être remplacées ou modifiées?), l'analyse comparative est réalisée sur la première tranche de cinquante ans du cycle de vie de la chaussée initiale. Plus particulièrement, dans le cadre de cette étude comparative, l'unité fonctionnelle s'exprime de la manière suivante :

« Permettre le déplacement de véhicules routiers sur une distance de cinq kilomètres durant les cinquante premières années de vie d'une chaussée en béton de ciment comparativement à une chaussée en enrobé bitumineux construites au Québec en 2009 ».

Frontières des systèmes étudiés

Les frontières du système comprennent quant à elles : 1) toutes les activités pertinentes à l'atteinte des objectifs de l'étude et donc, nécessaires à la réalisation de la fonction étudiée; et 2) tous les processus et flux contribuant de manière significative à l'impact environnemental potentiel.

Notons aussi que la spécification du nombre de véhicules circulant sur un tronçon du réseau autoroutier, plus particulièrement le nombre de camions, ainsi que le type de trafic (urbain vs rural) permet au MTQ de distinguer seize cas-types de circulation. Les cas-types se différencient

par le nombre de voies et le dimensionnement structural de la chaussée elle-même, et ce, pour chacun des deux types de chaussée ce qui fait 32 cas-types en tout.

La Figure I schématise les frontières des systèmes étudiés. Le cycle de vie de la chaussée débute donc avec l'**étape de construction initiale** d'un nouveau tronçon. Il s'agit plus particulièrement de la construction complète d'une chaussée, en partant de la mise en place des matériaux de fondation jusqu'au marquage de la chaussée.

L'**étape d'exploitation** inclut quant à elle l'épandage des sels fondants durant la période hivernale, tandis que l'**étape d'entretien** de la chaussée regroupe la séquence des interventions durant la période de cinquante ans, ainsi que les rafraîchissements du marquage.

En fin de vie, la dalle de béton de ciment ou la couche d'enrobé bitumineux de la chaussée est complètement remplacée. L'**étape de reconstruction** vise donc la démolition complète des voies de roulement et d'accotement, de même que la mise en place et le marquage d'une nouvelle dalle de béton de ciment (ou d'une nouvelle couche d'enrobé) de même épaisseur.

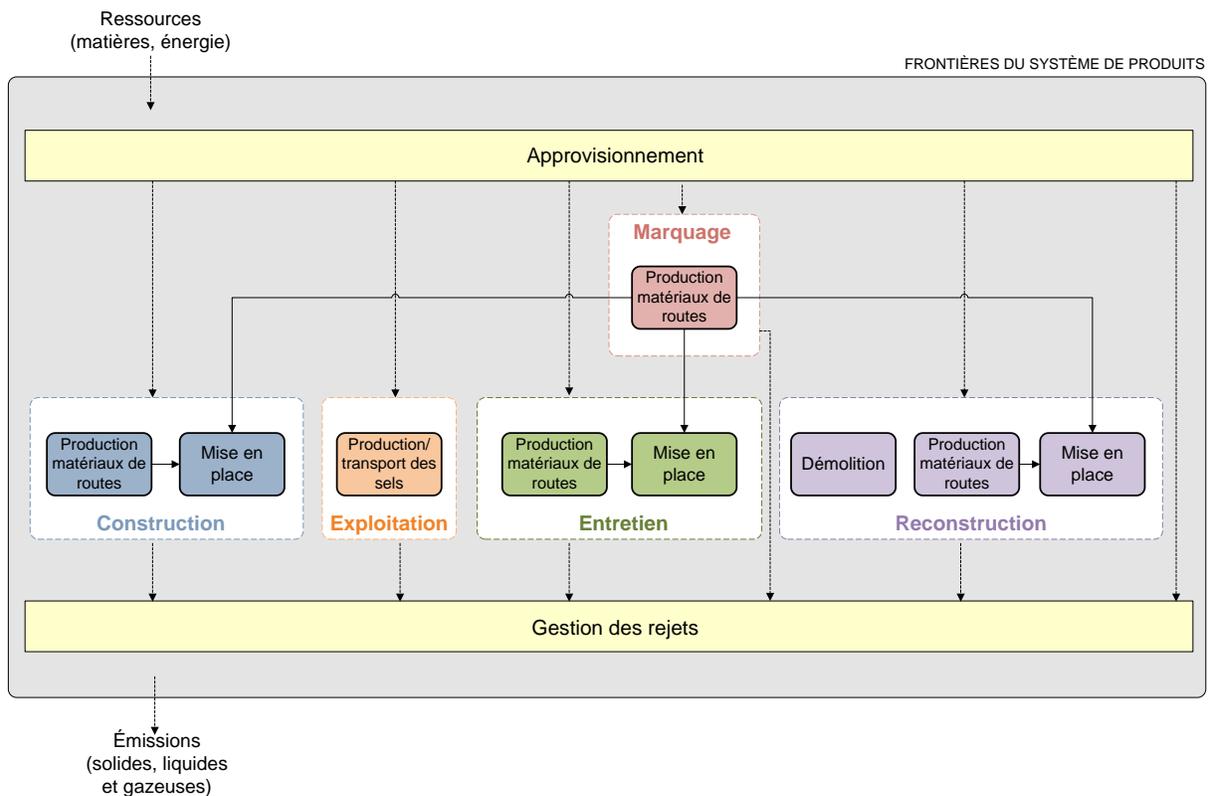


Figure I : Frontières des systèmes.

Hypothèses

- L'ACV comparative doit porter une attention particulière aux processus qui diffèrent entre les systèmes comparés. Ainsi, tous les processus jugés identiques ou ne pouvant être différenciés entre les deux types de chaussées n'ont pas été considérés. Plus précisément, les éléments suivants ne sont pas inclus :
 - Le déboisement initial.
 - Les activités de déneigement et de maintien des bordures (fossés, désherbage, etc.) liées à l'exploitation des chaussées.
 - Les processus associés au cycle de vie des clôtures et parapets, des panneaux de signalisation et du système d'éclairage.
 - La circulation routière.

- Les pertes de matériaux lors des interventions (construction initiale, entretien et reconstruction) sont négligées. Les émissions de poussières lors de ces mêmes interventions sont aussi négligées.
- Aucun matériau provenant des chaussées n'est enfoui au Québec. C'est-à-dire que tous les matériaux enlevés des chaussées du réseau autoroutier de la province sont recyclés. Ils peuvent être utilisés sur le même chantier ou sur un autre chantier routier.
- Faut d'un manque de donnée, l'étape de nettoyage suivant la démolition des chaussées, lors de l'étape de reconstruction, est exclue. Également, le nettoyage des camions transportant le béton de ciment et l'enrobé bitumineux n'est pas pris en compte, de même que la gestion des rejets liquides qui en résultent.
- L'usure des pneus et les émissions de particules en provenance des pneus émises n'ont pas été quantifiées ni introduites dans l'étude.
- Le processus de carbonatation du béton (phénomène de carbonatation de la chaux contenue dans le béton, suivant la réaction suivante : $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$) n'a pas été pris en compte dans l'ACV, mais son influence sur les résultats a été testé à l'aide d'une analyse de sensibilité.
- Aucune donnée sur les fumées de bitume (contenant notamment des hydrocarbures aromatiques polycycliques(HAP)) émises lors de la fabrication et de la mise en œuvre n'a pu être déterminée, et donc ces dernières n'ont pas été considérées. Une analyse de sensibilité a tout de même été effectuée pour étudier l'influence des ces émissions sur les résultats.
- Bien que les technologies risquent de varier à l'intérieur des cinquante années considérées, personne n'a actuellement le recul nécessaire pour caractériser avec précision l'évolution des techniques de production et le comportement des routes. Par conséquent, le système technologique à l'étude est considéré statique.
- Les méthodes d'analyse des impacts du cycle de vie (ACVI) les plus récentes sont claires sur un point : toute ressource énergétique non renouvelable extraite au capital énergétique de la Terre est une ressource potentiellement perdue qui doit être comptabilisée dans l'évaluation des impacts (Goedkoop et Spruiensma, 2001b; Bare et al., 2003; Jolliet et al., 2003; Toffoletto et al., 2007). Ainsi, si le pétrole extrait pour produire du bitume n'est pas destiné à être utilisé comme source énergétique mais comme matière première, la conséquence sur les ressources énergétiques n'est pas pour autant différente que si ce même pétrole était destiné à produire un carburant : la ressource diminue et, avec elle, le potentiel énergétique disponible. Pour cette raison, il est essentiel de considérer l'énergie inhérente au bitume dans l'évaluation des impacts potentiels des revêtements. Cette prise en compte n'apparaît en outre qu'au niveau de l'utilisation d'énergie non renouvelable, et n'a aucune incidence sur les autres catégories d'impacts. Les émissions de CO₂ associées à la combustion éventuelle du bitume ne sont donc pas comptabilisées et ne le seront pas tant que le bitume ne sera pas brûlé.

Données utilisées

- Les données spécifiques ont essentiellement été collectées de manière à privilégier les données récentes, spécifiques aux installations québécoises, ainsi qu'aux règles d'art et pratiques réelles employées au Québec. Ces données ont été obtenues des associations industrielles parties prenantes au projet (BQ, l'ACC et l'ACRGQTQ), de la raffinerie Pétro-Canada de Montréal et du MTQ. Le contexte temporel des données collectées varie essentiellement entre 2005 et 2008.
- Ces données ont été complétées par des modules de données génériques (données moyennes issues de banques de données commerciales) disponibles dans la banque ACV internationalement reconnue *ecoinvent version 2.0* (<http://www.ecoinvent.ch/>). Cette dernière, qui est la plus importante banque de données d'inventaire du cycle de vie disponible sur le marché, contient des modules de données collectées auprès d'un grand nombre de

secteurs industriels européens. Ces modules ont été adaptés aux contextes énergétiques québécois et nord-américain, lorsque requis.

Indicateurs d'impacts environnementaux considérés

- Les données collectées ont été évaluées sur la base de la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie internationalement reconnue IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003). Les résultats obtenus ont aussi été comparés à ceux obtenus à partir de la méthode européenne Eco-indicator 99 (Goedkoop et Spriensma, 2001a) et de la méthode canadienne LUCAS (Toffoletto et al., 2007).
- La méthode IMPACT 2002+ possède des facteurs de conversion en dommages des résultats d'impact caractérisés. Bien que la conversion des impacts en dommages introduise une incertitude supplémentaire, l'analyse de quatre catégories de dommage, relativement à plus de dix catégories d'impact, possède l'avantage de simplifier la communication des résultats.

Le Tableau I présente les catégories d'impact considérées par la méthode IMPACT 2002+. Notons que :

- Ces catégories ne couvrent pas tous les impacts environnementaux potentiels possibles associés aux activités humaines. Plusieurs types d'impacts, dont le bruit, les odeurs, le rayonnement et les champs électromagnétiques ne font ainsi pas partie de la présente analyse, les développements méthodologiques à leur sujet demeurant manquants ou insuffisants.
- L'eutrophisation aquatique et l'acidification aquatique ne sont pas considérées par les indicateurs de dommage, puisque que la méthode IMPACT 2002+ ne possède à ce jour aucune méthode permettant de convertir ces deux catégories d'impact en dommage à la qualité des écosystèmes. Il est donc recommandé de considérer les résultats d'indicateur de dommage en conjonction avec les indicateurs d'impact pour ces catégories.

Tableau I : Catégories d'impact et de dommage potentiels de la méthode IMPACT 2002+

IMPACT 2002+	
Catégorie de dommage	Catégorie d'impact
Santé humaine (SH)	Effets cancérogènes
	Effets non-cancérogènes
	Effets respiratoires dus aux substances inorganiques
	Radiations ionisantes
	Détérioration de la couche d'ozone
Qualité des écosystèmes (QE)	Oxydation photochimique
	Écotoxicité aquatique
	Écotoxicité terrestre
	Acidification/eutrophisation terrestre
Changement climatique (CC)	Occupation des terres
	Réchauffement global
Ressources (R)	Énergies non renouvelables
	Extraction minière
Aucun lien avec une catégorie de dommage (lien reconnu mais aucun modèle de conversion disponible)	Acidification aquatique
	Eutrophisation aquatique

3. Résultats

Présentation des résultats

Puisque cette ACV est de type comparatif, et que les éléments communs aux deux systèmes ont été exclus de l'étude (en particulier la circulation routière, l'éclairage, le terrassement, etc.), les résultats présentent uniquement l'écart entre les deux types de chaussée. La présentation des résultats individuels correspondants à chaque type de chaussée n'est effectivement pas adéquate dans ce cas, surtout en considérant le fait que seules les quantités différentielles ont été collectées pour les sels fondants.

Les résultats de l'analyse de l'inventaire et des impacts potentiels sont donc présentés en termes d'écart relatif entre la chaussée en béton de ciment (système BC) et celle en enrobé bitumineux (système BB) de la manière suivante :

$$\Delta_{\text{Résultat}}(\%) = \frac{(\text{résultat}_{\text{SystèmeBC}} - \text{résultat}_{\text{SystèmeBB}})}{\text{résultat}_{\text{SystèmeBB}}} \quad (I)$$

Sommaire de l'analyse de l'inventaire

À la lumière des résultats obtenus par l'analyse de l'inventaire, **l'utilisation de l'eau et de l'énergie** ainsi que les **émissions à l'environnement** (sauf en ce qui a trait aux émissions à l'eau des cas-types 8, 12 et 16) sont prépondérantes pour le système BC, alors que c'est la chaussée en enrobé qui présente la **consommation en ressources naturelles** la plus élevée. L'analyse a aussi permis d'identifier les principaux contributeurs à l'inventaire, notamment la production du ciment, du béton de ciment, de l'acier, des sels fondants, du bitume et de l'enrobé bitumineux.

Résultats d'indicateurs d'impact et de dommage potentiels

Le Tableau II présente le système présentant le moins d'impact selon les résultats obtenus avec IMPACT 2002+ pour chacune des quatre catégories de dommage, ainsi que par catégorie d'Impact.

Douze des quinze indicateurs d'impact sont favorables au système BB. Toutefois, les indicateurs de toxicité humaine « cancer », de consommation de ressources non renouvelables et d'eutrophisation aquatique (pour les cas-types 8, 12 et 16 seulement) favorisent le système BC.

Rappelons que :

- Ce qui distingue les cas-types 8, 12 et 16 des autres est la reconstruction de la chaussée en enrobé bitumineux qui a lieu plus tôt, ce qui implique qu'une quantité plus importante d'enrobé et de bitume soit imputée au système BB et donc, une augmentation des émissions à l'eau (et l'eutrophisation) associées.
- Bien que l'indicateur de toxicité humaine « cancer » soit favorable au système BC, l'indicateur global de dommage à la santé humaine est favorable au système BB.
- L'indicateur relatif à l'eutrophisation aquatique présente une importante incertitude et donc il existe une grande probabilité d'occurrence d'une inversion du système à favoriser pour cet impact.

Tableau II : Système présentant le moins d'impact potentiel pour chaque catégorie d'impact et de dommage

Catégorie de dommage	Catégorie d'impact	Système BC	Système BB
Santé humaine	Toxicité humaine « cancer »	√	
	Toxicité humaine « non-cancer »		√
	Effets respiratoires (inorganiques)		√
	Radiations ionisantes		√
	Appauvrissement de la couche d'ozone		√
	Effets respiratoires (organiques)		√
	Santé humaine		√
Qualité des écosystèmes	Écotoxicité aquatique		√
	Écotoxicité terrestre		√
	Acidification terrestre		√
	Utilisation des terres		√
	Qualité des écosystèmes		√
--	Acidification aquatique		√
--	Eutrophisation aquatique	√ (cas 8, 12 et 16)	√
Réchauffement climatique	Réchauffement global		√
	Réchauffement climatique		√
Ressources	Extraction des minéraux		√
	Énergie non renouvelable		√
	Énergie inhérente du bitume	√	
	Ressources	√	
	Écart négatif ou diminution de l'indicateur de dommage/impact en remplaçant une chaussée en enrobé bitumineux par une chaussée en béton de ciment. En faveur de la chaussée en béton de ciment.		
	Écart positif ou augmentation de l'indicateur de dommage/impact en remplaçant une chaussée en enrobé bitumineux par une chaussée en béton de ciment. En faveur de la chaussée en enrobé bitumineux.		

Afin d'alléger la présentation des résultats graphiques, une analyse comparative pour ces six indicateurs (4 indicateurs de dommage + 2 indicateurs d'impacts) a été effectuée pour les cas-types 1 et 16 seulement, soit un cas pour lequel l'indicateur de l'eutrophisation aquatique favorisait le système BC et un cas pour lequel cet indicateur favorisait le système BB (bien que les résultats ne soient présentés que pour deux des cas-types, la consistance des tendances a été vérifiée pour tous).

La Figure II présente les indicateurs de dommage en comparatif (*dommage BC - dommage BB*) pour les quatre indicateurs de dommage ainsi que les indicateurs d'impact en comparatif (*impact BC - impact BB*) pour les deux indicateurs d'impact pour les cas-types 1 et 16.

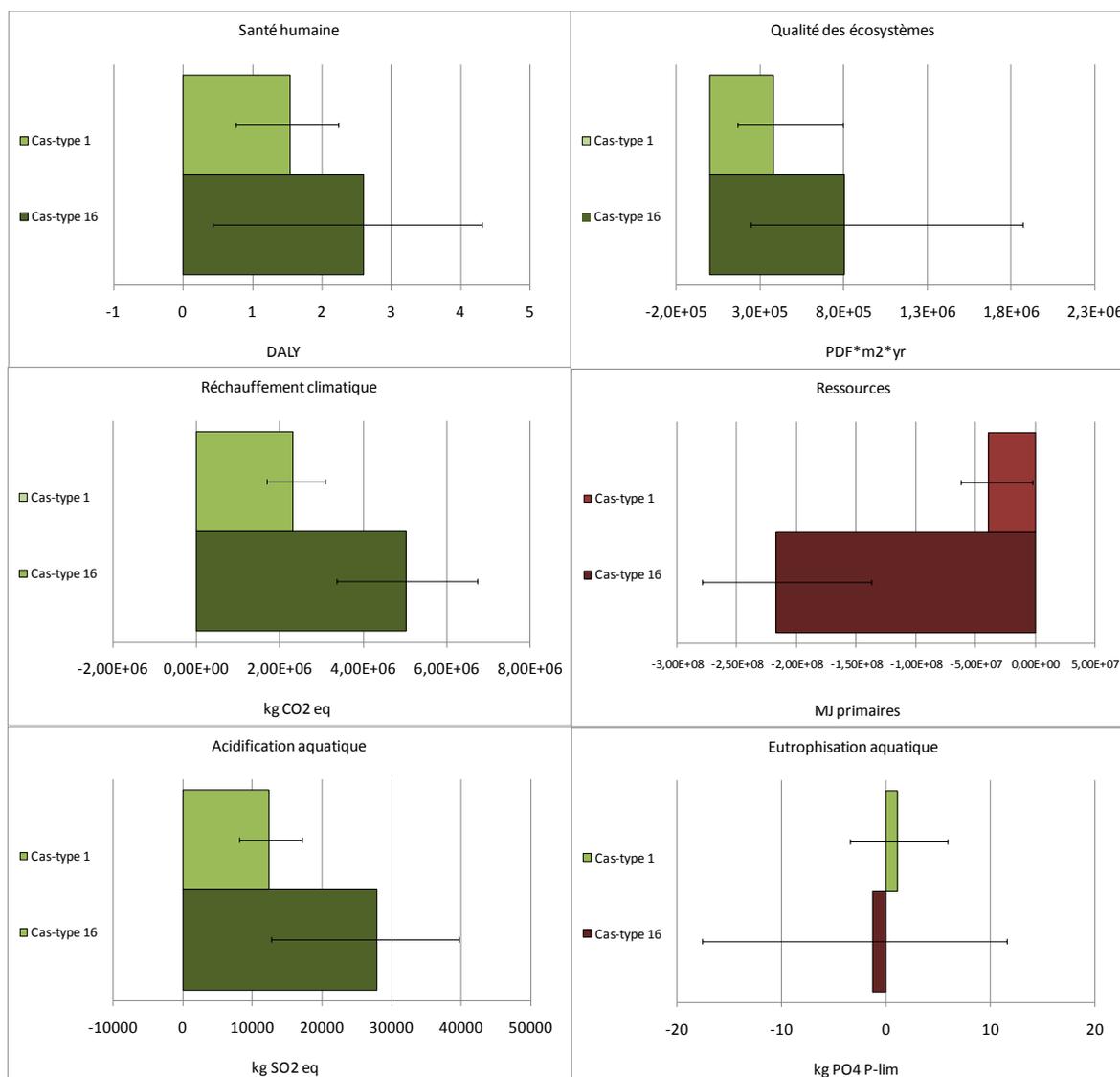


Figure II : Indicateurs de dommage et d'impact potentiels du cycle de vie comparatif des chaussées (système BC-système BB) pour les cas-types 1 et 16.¹

Les valeurs négatives, représentées en rouge, indiquent une contribution plus importante au dommage ou à l'impact pour le système BB, tandis que les valeurs positives, représentées en vert, indiquent que le système BC comporte une valeur de dommage ou d'impact plus importante. Et donc, pour tous les cas-types, les indicateurs de la santé humaine, de la qualité des écosystèmes, du réchauffement climatique et de l'acidification favorisent la chaussée en enrobé bitumineux.

Quant à l'eutrophisation aquatique, les cas-types 8, 12 et 16 favorisent le système BC tandis que les treize autres cas-types favorisent le système BB.

Le graphique présente aussi des intervalles d'incertitudes pour les indicateurs, en indiquant les valeurs minimum et maximum. Ces valeurs intervalles permettent alors d'observer qu'aucun chevauchement ne peut avoir lieu pour les indicateurs, à l'exception de l'eutrophisation aquatique pour laquelle il n'y a pas de positionnement clair.

¹ DALY=Disability-adjusted Life-years ; PDF= Potentially Disappeared Fraction

L'indicateur de dommage relatif à la consommation de ressources non renouvelables peut être ventilé en sous-catégories en distinguant la part de cette consommation attribuable à l'énergie inhérente du bitume des chaussées. Il s'agit donc, d'une part, de l'utilisation d'énergie primaire non renouvelable associée au bitume uniquement (énergie inhérente du bitume seulement) et, d'autre part, de l'utilisation de minéraux et d'énergie primaire non renouvelable associée à tout le reste du système (sans l'énergie inhérente du bitume).

La Figure III présente l'indicateur de l'utilisation des ressources en comparatif (*dommage BC - dommage BB*) pour les cas-types 1 et 16.

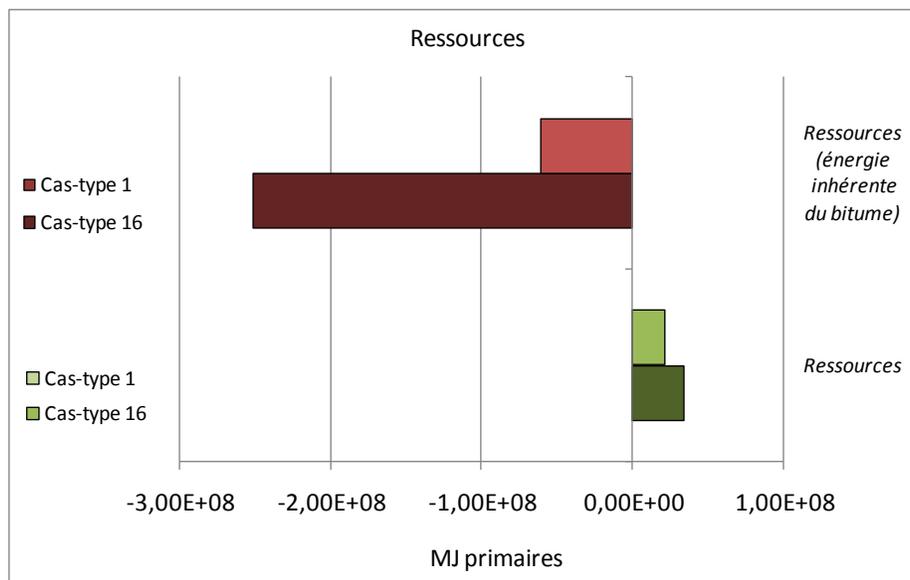


Figure III : Indicateur de l'utilisation des ressources du cycle de vie comparatif des chaussées (système BC-système BB) pour les cas-types 1 et 16 en distinguant l'énergie inhérente du bitume

Cependant, comme la méthode IMPACT 2002+ considère l'énergie primaire totale, lorsque l'énergie inhérente du bitume est incluse dans l'énergie primaire totale associée au système, le système BC est assurément avantageux. En fait, l'énergie inhérente du bitume représente, en moyenne pour les seize cas-types, 76 % de l'énergie primaire totale pour le système BB, alors qu'il ne représente que 30 % pour le système BC, ce qui permet d'expliquer la différence déterminante entre les deux types de chaussée pour cet indicateur.

Analyses de sensibilité

Les analyses de sensibilité couvrent l'évaluation de la sensibilité des conclusions quant à une variation :

1. Des différentes distances de transport des matériaux entre leur lieu d'approvisionnement et le chantier routier ;
2. Du profil environnemental de la production du bitume ;
3. Des émissions de fumées de bitume dans la donnée de production de l'enrobé ;
4. Du profil environnemental de la construction de chaussées de béton armé continu (BAC) en remplacement du béton de ciment de type dalle courte goudonné (DCG) (uniquement pour le cas-type 16) ;
5. De la méthode d'évaluation des impacts ;
6. Du profil environnemental de la production du ciment ;

7. Des quantités de carburant consommé par les véhicules selon le type de chaussée (bien que ce paramètre ait été exclu des frontières de cette étude, il apparaît important sur tout le cycle de vie d'une chaussée, en particulier dans un contexte comparatif où il pourrait y avoir une différence notable entre les deux alternatives) ;
8. Du processus de carbonation par le béton ayant lieu tout au long du cycle de vie du béton de ciment, absorbant ainsi une part de CO₂.

Ces analyses de sensibilité réalisées ont par ailleurs permis de démontrer qu'une modification des conclusions obtenues est peu probable, bien que le choix de la méthode d'ACVI puisse au contraire influencer ces conclusions. Plus précisément, selon la perspective individualiste de la méthode européenne *Eco-indicator 99*, les quatre indicateurs de dommage favorisent unanimement le système BB. Il est cependant important de souligner que, selon cette perspective individualiste, seuls les effets prouvés sont considérés et l'utilisation des ressources non renouvelables n'est pas incluse (ce qui constitue un choix de valeur à considérer de manière transparente).

En ce qui a trait à l'analyse effectuée sur les fumées de bitumes émises, un ajout des émissions d'HAP ne modifie pas les conclusions de l'étude. Bien que la différence entre les deux systèmes quant à l'indicateur de santé humaine diminue, le système BB est toujours favorisé pour cette catégorie de dommage (et les autres indicateurs demeurent inchangés).

L'analyse de sensibilité sur la chaussée en BAC révèle que les quatre indicateurs de dommage sont plus élevés pour le système BC BAC que pour le système BC DCG. Ceci est en partie dû à la quantité de ciment et d'acier plus importante et au composite qui n'est pas inclus dans le système BC DCG. Par contre, en comparaison au système BB, les conclusions de l'étude ne sont pas modifiées, c.-à-d. que tous les indicateurs demeurent inférieurs pour le système BB, à l'exception de l'indicateur de la consommation des ressources qui est toujours plus élevé.

4. Conclusions et recommandations

Au niveau du dommage, les indicateurs de santé humaine, de réchauffement climatique et de qualité des écosystèmes sont tous favorables au système BB, tandis que l'indicateur de consommation des ressources est toujours favorable au système BC et ce, pour chacun des seize cas-types. L'indicateur d'impact de l'acidification favorise la chaussée en enrobé bitumineux, alors que l'indicateur relatif à l'eutrophisation aquatique, présentant une importante incertitude, ne permet pas de trancher quant au système à favoriser pour cet impact.

Comme l'indiquait la revue bibliographique, sur l'ensemble du cycle de vie d'une chaussée, la circulation routière serait responsable de la majeure partie des impacts totaux (toutes catégories confondues). Ainsi, toute économie de carburant, même en quantité marginale, pourrait visiblement favoriser un type de chaussée comparativement à l'autre (en supposant que le type de chaussée influence significativement la consommation de carburant, bien qu'une telle hypothèse demeure à valider).

Ainsi, compte tenu de ces résultats, il n'est pas aisé de privilégier une alternative relativement à l'autre sans pouvoir valider l'influence du type de revêtement sur la consommation de carburant ou sans avoir recours à un choix de valeurs de manière à pondérer les différents indicateurs d'impact.

Selon la norme ISO (2006), en effet, lorsque les résultats obtenus, qui se basent sur les sciences de la nature, ne permettent pas de trancher en ACV, il est possible d'effectuer une décision fondée sur des choix de valeurs. L'utilisation de facteurs de pondération permet d'agrèger plusieurs indicateurs en score unique et donc, de départager les alternatives. Ces choix de valeurs appartiennent au mandataire de l'étude (soit le MTQ) et doivent être présentés de manière transparente. À titre indicatif, une simulation a d'ailleurs permis d'identifier l'alternative favorable selon différentes combinaisons de pondérations possibles pour les quatre indicateurs de dommage. Ces informations seront prises en compte dans le contexte d'une prise de décision.

Il est d'autant plus important de noter que les résultats obtenus dans le cadre de cette étude étaient fonction d'un système technologique statique sur la période de cinquante ans considérée.

Nul n'a actuellement le recul nécessaire pour caractériser avec précision l'évolution dans le temps des techniques de production des matériaux de construction, des technologies de conception et de mise en place des chaussées et des réglementations environnementales, bien que la compétitivité du marché risque fort probablement de modifier le système étudié, et conséquemment, les résultats de cette étude. Il en suit que plusieurs nouvelles technologies de revêtement émergent, telles que les enrobages à froid, à recyclage facilité, les bitumes modifiés au polymère augmentant la durée de vie du revêtement, etc. Il serait donc recommandable que le MTQ puisse investiguer sur la pertinence environnementale de développer ces innovations des chaussées.

Enfin, comme mentionné lors de la revue de littérature, plusieurs éléments de construction de routes permettent de diminuer les impacts environnementaux et sociaux de celles-ci : choix des matériaux, du design de route, du site et impacts intrinsèques à la construction. Dans une optique de développement durable, de telles considérations constituent donc des facteurs potentiellement intéressants à intégrer aux politiques du MTQ relatives au transport, indépendamment du type de chaussées.

En somme, puisque toute diminution de la consommation de carburant présente une diminution significative des impacts potentiels sur le cycle de vie de tout type de chaussée, l'intérêt devrait davantage porter sur la réduction de la consommation de carburant en encourageant, notamment, l'utilisation de voitures plus écologiques ou le covoiturage.

Limites

Les résultats présentés sont issus des calculs réalisés en utilisant essentiellement les modèles de la méthode d'évaluation des impacts IMPACT 2002+. Les dommages (et impacts) évalués ne sont que des dommages (et impacts) potentiels puisqu'ils correspondent à une modélisation, donc à une simplification, de l'environnement réel. Les résultats de l'ACVI sont des expressions relatives qui ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, des marges de sécurité ou les risques. À ce titre, ces résultats ne doivent pas constituer l'unique base d'affirmation comparative destinée à être divulguée au public, dans la mesure où des informations supplémentaires seraient nécessaires pour remédier à certaines des limitations propres à l'ACVI. Ces résultats pourraient éventuellement être affinés soit par l'utilisation d'autres outils, tels que l'analyse de risque, ou soit suite à d'éventuels développements méthodologiques.