



Améliorer l’empreinte environnementale et la durabilité d’une route grâce à l’utilisation de chaux hydratée dans les enrobés bitumineux à chaud

Co-Authors & Presenter:

Shtiza A., Denayer C., Lesueur D., Ritter H-J., Schlegel T.

Please use the following to refer to the paper:

Shtiza A., Denayer C., Lesueur D., Ritter H-J., Schlegel T., 2017. Améliorer l’empreinte environnementale et la durabilité d’une route grâce à l’utilisation de chaux hydratée dans les enrobés bitumineux à chaud. 23rd Congrès belge de la route. Brussels (Belgium). 4-6 October 2017. Platform presentation. In French. Full paper in French. Pp. 8.



EuLA, the European Lime Association, represents about 95% of the European lime production through its 21 national member associations. The European lime sector operates around 600 lime kilns in the EU, producing in total around 28,4 million tons of lime and dolime; and contributing around € 2,5 billion to Europe’s GDP.

Take a look at our website: www.eula.eu



Améliorer l'empreinte environnementale et la durabilité d'une route grâce à l'utilisation de chaux hydratée dans les enrobés bitumineux à chaud (EBC)

A. SHTIZA¹, C. DENAYER², D. LESUEUR³, H-J RITTER⁴, T. SCHLEGEL⁵,

¹ European Lime Association (EuLA), Rue de Deux Eglises 26/2, 1000 Bruxelles, Belgique

² Carmeuse Coordination Center, Boulevard de Lauzelle 65, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

³ Lhoist Southern Europe, Tour W, 102 Terrasse Boieldieu, 92085 Paris - La Défense Cedex, France

⁴ Federation of German Lime Industry (BVK), Annastrasse 67-71, 50968 Cologne, Allemagne

⁵ EESAC, 230 Impasse de Fergy, 74410 Duingt, France

ABSTRACT

Il a été démontré que l'ajout de chaux hydratée dans un enrobé bitumineux à chaud (EBC) apporte de nombreux avantages au niveau des performances générales de la route (meilleure résistance à l'eau, au gel et à l'orniérage, vieillissement moins rapide du bitume) et prolonge la durée de vie des revêtements bitumineux. Une analyse du cycle de vie (ACV) visant à comparer l'impact environnemental d'un EBC conventionnel à celui d'un EBC modifié (avec 1,5 % de chaux hydratée) a été réalisée conformément aux normes ISO 14040-14044 et a été validée par un évaluateur externe. Cette étude démontre que l'utilisation de chaux hydratée dans l'EBC augmente la durabilité d'une couche de roulement de 25 %, ce qui réduit l'empreinte environnementale globale sur toute la durée de vie d'une route (50 ans), et ce pour toutes les catégories d'impacts environnementaux.

Lorsqu'on envisage la construction de la route uniquement, la conclusion pourrait être que l'EBC modifié produit 19% de gaz à effet de serre (GES) en plus que l'EBC classique. Mais si l'on prend en compte le cycle de vie complet du revêtement, et donc sa meilleure durabilité, les GES émis par l'EBC modifié sont alors réduits de 23%, ce qui résulte en des impacts très positifs. C'est pourquoi il est très important d'évaluer les revêtements routiers sur l'ensemble de leur cycle de vie si l'on souhaite obtenir une image globale des impacts environnementaux. L'EBC modifié est la solution la moins onéreuse (d'environ 30 %) sur une période de cinquante ans. De plus, il convient de rappeler que chaque entretien évité empêche la formation d'embouteillages suite aux activités d'entretien. Ceci fait de la chaux hydratée une solution durable d'un point de vue technique et sociétale, pour des revêtements de meilleure qualité. Les conclusions de cette étude sont en phase avec les récentes initiatives de l'UE relatives à une construction durable et soucieuse des ressources, qui requièrent d'optimiser les moyens financiers et les matières premières disponibles.

Mots-clés:

Analyse du cycle de vie (ACV); Enrobé bitumineux à chaud (EBC); Durabilité de la route; Chaux hydratée

Introduction

La chaux est un produit dérivé du calcaire obtenu grâce à un processus industriel. Le calcaire naturel, composé presque exclusivement de carbonate de calcium [CaCO₃], se transforme en chaux vive [oxyde de calcium (CaO)] lorsqu'il est soumis à la chaleur. En ajoutant ensuite de l'eau, la chaux vive se transforme en chaux hydratée; il s'agit d'une poudre sèche composée d'hydroxyde de calcium [Ca(OH)₂]. Les produits à base de chaux sont des matériaux polyvalents qui sont utilisés pour de nombreuses applications, par ex. dans l'industrie, l'agriculture, la protection de l'environnement, l'ingénierie civile, etc.

Il est établi que l'ajout de chaux hydratée dans un enrobé bitumineux à chaud (EBC) présente plusieurs avantages au niveau des performances globales de la route (réduction des dégradations dues à l'eau et au gel, ralentissement du vieillissement du bitume), ce qui augmente la durabilité de celle-ci. L'*European Lime Association* (EuLA) a réalisé une analyse du cycle de vie (ACV) afin de comparer l'impact environnemental d'un EBC conventionnel à celui d'un EBC modifié (avec 1,5% de chaux hydratée) sur toute la durée de vie d'une route (Schlegel et al., 2012; 2016).

La chaux hydratée est un additif utilisé dans les mélanges bitumineux depuis la fin du 19^e siècle et depuis le début de la construction routière aux Etats-Unis. La prise de conscience de l'impact de la chaux hydratée dans l'EBC est devenue plus marquée au cours des années septante aux Etats-Unis. Ceci était en partie dû à une diminution générale de la qualité du bitume dans le contexte de la crise pétrolière de 1973 alors que les dégradations dues à l'eau et au gel étaient devenues l'un des principaux problèmes des revêtements. La chaux hydratée a été testée et s'est révélée être l'additif le plus efficace pour améliorer la résistance aux dégradations dues au gel et à l'eau, ralentir le vieillissement du bitume et augmenter les performances mécaniques de l'enrobé (comme la résistance aux contraintes et à l'orniérage, ainsi qu'à la fatigue et à la fissuration thermique), améliorant ainsi la durabilité générale de la route. Sur base de l'expérience des agences routières nord-américaines, il a été estimé qu'environ 1,0 à 1,5 % de chaux hydratée dans le mélange (à base de granulats secs) augmentait la durabilité des mélanges bitumineux de 2 à 10 ans, ou de 20 à 50%. Grâce à ces effets positifs, la chaux hydratée est maintenant prescrite dans de nombreux Etats et l'on estime que 10 % des enrobés actuellement produits aux Etats-Unis en contiennent. Depuis 1980, la chaux hydratée est de plus en plus souvent utilisée en Europe et ailleurs comme le démontre l'étude bibliographique approfondie Lesueur (2011). L'augmentation du trafic, les fréquents embouteillages, la densité de population élevée, l'absence d'espaces pour construire de nouvelles routes et les préoccupations écologiques découlant de ces situations ont encouragé les institutions européennes et les pays à revoir leurs pratiques existantes en matière de conception et de gestion des routes, via des adjudications plus « vertes » (*Green Public Procurement - GPP*) (EC, 2010 a; b). En outre, les nouvelles initiatives portant sur les matières premières, les principes de durabilité et les contraintes financières nécessitent l'optimisation des matières premières, des moyens financiers et de la main d'œuvre disponibles.

Les Pays-Bas sont le seul pays européen où l'utilisation de chaux hydratée est obligatoire dans les EBC. Les EBC modifiés y représentent environ 7 % de la production totale d'enrobés en Hollande. Dans les autres pays européens, l'utilisation d'EBC modifiés se situe généralement sous le 1 % selon une étude bibliographique approfondie réalisée par la *European Lime Association* (EuLA) laquelle reprend des données provenant de différents pays européens (Lesueur, 2011; Lesueur et al, 2013). En guise d'exemple, SANEF, la Société des Autoroutes du Nord et de l'Est de la France, prescrit actuellement de la chaux hydratée dans les couches de roulement de son réseau. Ils ont observé que les mélanges bitumineux modifiés à la chaux hydratée présentaient une durabilité plus importante de 20 à 25 %. Des observations similaires ont amené les Pays-Bas à prescrire de la chaux hydratée dans l'enrobé drainant, un type de mélange qui recouvre actuellement 70 % des routes de ce pays. Suite à ces initiatives nationales, la chaux hydratée est de plus en plus utilisée dans les mélanges bitumineux dans la plupart des pays européens tels que l'Autriche, le Danemark, la France, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Pologne, le Royaume-Uni et la Suisse. Etant donné les avantages

supplémentaires qu'elle offre, il est probable que son utilisation continue à augmenter en Europe dans les années à venir.

L'objectif de cette ACV, entreprise par EuLA, est d'évaluer et de comparer l'empreinte environnementale d'un EBC conventionnel (sans chaux hydratée) à celle d'un EBC modifié (1,5% de chaux hydratée) tout au long du cycle de vie d'une route. Cette étude a été réalisée conformément aux exigences des normes (ISO 14040-14044, 2006 a; b) afin de s'assurer de la pertinence et de la qualité des données et de l'équivalence des unités fonctionnelles.

Méthodologie

La présente étude vise à calculer l'empreinte environnementale d'un EBC conventionnel (sans chaux hydratée) et de la comparer à celle d'un EBC modifié (1,5% de chaux hydratée), comme le montre le Tableau 1. Les limites du système d'ACV intègrent le cycle de vie de l'EBC du berceau-à-la-tombe (cradle-to-grave): extraction et transport des matières premières, production et transport de l'EBC, construction de la route, entretien de la route, recyclage de l'EBC, fin de vie.

	EBC conventionnel (sans addition de chaux)	EBC modifié (avec addition de chaux)
Bitume	5 %	5 %
Sable	38 %	38 %
Gravillons fins	26 %	26 %
Gravillons grossiers	29 %	29 %
Filler	2 %	0,5 %
Chaux hydratée	0 %	1,5 %

Tableau 1: Constituants des EBC conventionnels et d'un EBC modifié

Les matières premières de base utilisées pour confectionner un EBC conventionnel et un EBC modifié sont identiques. Il s'agit du bitume, du sable, des gravillons fins et grossiers et du filler pour l'EBC conventionnel auxquels on ajoute de la chaux hydratée pour l'EBC modifié, comme le décrit en détail Schlegel et al (2016). La production d'EBC consiste à sécher les composants minéraux (sable et gravillons) pour ensuite les chauffer à 180°C et les mélanger à tous les autres matériaux (bitume, filler et éventuellement chaux hydratée). En fonction de la technologie utilisée, cette opération peut se faire en une ou deux étapes. Lorsque l'enrobé est prêt, il est étendu sur la surface de la route.

Etant donné que la durée de vie de la couche de roulement (la couche supérieure du revêtement) est bien plus courte que la durée de vie de la route, celle-ci fait l'objet d'un entretien régulier. Les données relatives au scénario d'entretien proviennent d'une ACV effectuée par Bilal et al (2008; 2009) pour l'Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF). D'après les informations fournies par des entrepreneurs routiers, la durée de vie d'une couche de roulement se situe généralement entre 7 et 12 ans. Une valeur moyenne de 10 ans a été choisie pour la modélisation de la présente étude. Pour un enrobé bitumineux à chaud conventionnel, l'entretien consiste en l'ajout d'une épaisseur totale de 13 cm selon les étapes suivantes:

Après 10 ans: pose de 2,5 cm d'EBC sur la couche de roulement d'origine;

Après 20 ans: fraisage de 4 cm de la couche d'EBC et pose d'une couche de 8 cm;

Après 30 ans: même scénario qu'après 10 ans;

Après 40 ans: même scénario qu'après 20 ans;

A 50 ans: fin de vie

Si les mêmes principes d'entretien sont également appliqués pour l'EBC modifié, l'épaisseur totale est alors de 9 cm, selon les étapes suivantes:

- Après 12,5 ans: pose de 2,5 cm d'EBC sur la couche de roulement d'origine;
- Après 25 ans: fraisage de 4 cm de la couche d'EBC et pose d'une couche de 8 cm;
- Après 37.5 ans: même scénario qu'après 12,5 ans;
- A 50 ans: fin de vie.

Ces deux scénarios sont illustrés à la Figure 1.

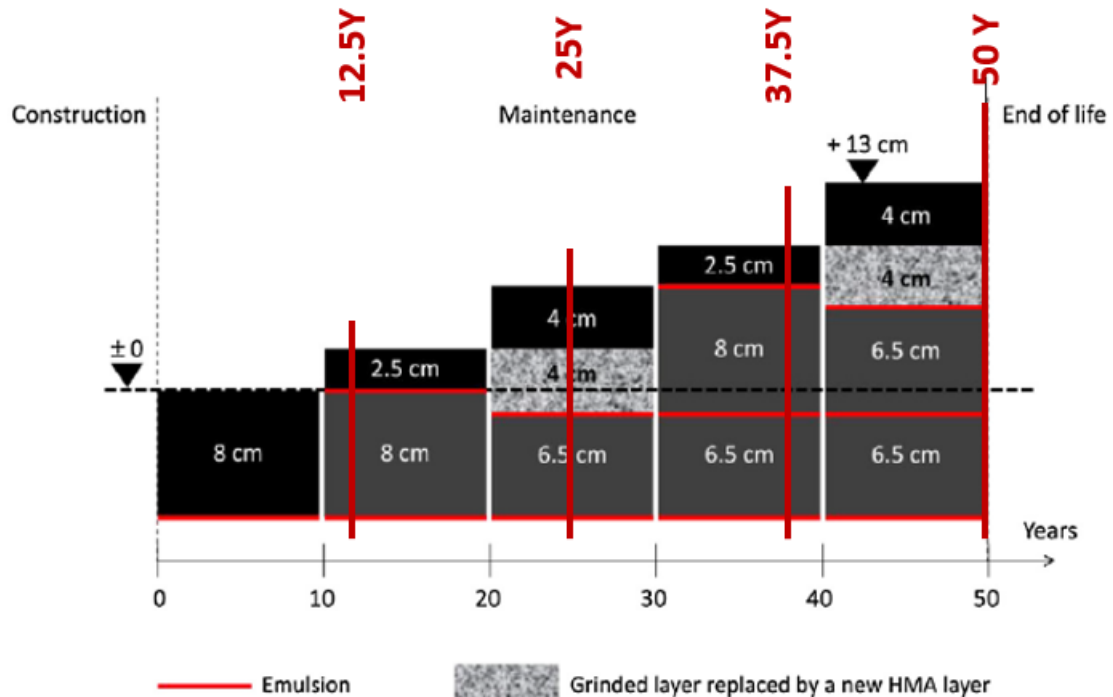


Figure 1 – Aperçu des différentes phases d'entretien d'une couche de roulement en EBC conventionnel (sans chaux hydratée, en fond) et en EBC modifié (à la chaux hydratée, texte rouge) utilisées pour le modèle d'ACV

[Construction = Construction; Maintenance = Entretien; End of life = Fin de vie; Years = Années; Y = A; Emulsion = Emulsion; Grinded layer replaced by a new HMA layer = Remplacement de la couche fraisée par une nouvelle couche d'EBC]

Pour le recyclage de l'EBC, l'enrobé recyclé est renvoyé de l'endroit où il a été mis en œuvre/entretenu (la route donc) à la centrale d'enrobage pour être totalement réutilisé selon les scénarios présentés ci-après.

Le nouvel EBC est confectionné avec 50 % de nouvelles matières premières et 50% d'enrobé recyclé. Dans le modèle d'ACV, il est supposé que l'enrobé recyclé remplace le bitume, le sable, les gravillons et le filler qui, autrement, auraient été achetés par la centrale d'enrobage à des sites de productions externes. De ce fait, le crédit qui est pris en compte dans le modèle comprend la production de ces matériaux aussi bien que leur transport évité.

Les 50% restants d'enrobé recyclé seront réutilisés comme granulats en graves traitées, en remplacement de matériaux qu'ils auraient autrement dû acheter à des producteurs externes. C'est pourquoi, le crédit pris en compte dans l'ACV se limite à la production des masses correspondantes de sable et de gravillons.

L'étude ACV de l'EBC réalisée par l'EuLA suit le scénario publié par Bilal et al, (2008; 2009). Les principaux postulats sur lesquels repose l'étude ACV sont les suivants:

1. Durée de vie de la route de 50 ans;
2. Couche d'EBC de 8 cm;
3. Scénario de construction et d'entretien similaire à celui publié dans l'étude ACV de l'USIRF Bilal et al, (2008; 2009);

4. L'EBC conventionnel d'une couche de roulement à une durée de vie de 10 ans; Entretien tous les 10 ans;
5. L'EBC modifié (+ 1,5 % de chaux hydratée) augmente la durée de vie de 25 % (entretien de la route tous les 12,5 ans).

L'unité fonctionnelle choisie pour l'étude AVC est: 1 km de revêtement routier (couche de roulement) sur une bande de circulation de 3,5 m de large (représentant donc une surface de 3500 m²) et ayant une durée de vie fonctionnelle de 50 ans (correspondant à la durée de vie prévue de la route).

Après avoir comparé d'autres ACV similaires (University of Biberach, 2009; Sebben Paranhos, 2007), les postulats relatifs aux distances de transport considérés dans cette ACV sont repris au Tableau 2. Etant donné que l'ACV française (Bilal et al., 2008) a mis en évidence l'importante variation des distances de transport des composants minéraux utilisés pour produire l'EBC, l'impact de ces distances sur les résultats de l'ACV a aussi été évalué dans l'analyse de sensibilité à d'autres paramètres.

Input flow	Main assumptions for modelling the transportation (base case) from production sites to HMA plant							Main assumptions for modelling the transportation (base case) HMA plant to construction site (construction and maintenance)	
	Bitumen	Bitumen emulsion	Sand	Fine gravel	Coarse gravel	Filler	Hydrated lime	HMA	RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)
Type of transportation	Truck for bulk goods, Euro norm IV								
Maximum payload	27 tonnes								
Load factor	100% (full) ^a							100% (full) ^b	0% (empty) ^b
Load factor	0% (empty) ^c							0% (empty) ^d	100% (full) ^d
Average transportation distance (km)	500	500	50	50	50	150	250	500	500
Driving share urban (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Driving share interurban (%)	25	25	100	100	100	25	25	100	100
Driving share motorway (%)	75	75	0	0	0	75	75	0	0
Sulphur content of the fuel (ppm)	10								
% Bio fuel in diesel	0								
LCI database used	ELCD/GaBi 4.4								

^a Load factor on the way back to the HMA plant.

^b Load factor on the way to the construction site.

^c Load factor on the way back from the HMA plant.

^d Load factor on the way back to the HMA plant.

Tableau 2: Principaux postulats pour la modélisation du transport.

[Input flow = Flux entrant; Main assumptions ... to HMA plant = Principaux postulats pour la modélisation du transport (cas de base) des sites de production vers la centrale d'enrobage; Main assumptions ... to construction site = Principaux postulats pour la modélisation du transport (cas de base) de la centrale d'enrobage vers le chantier (construction et rénovation); Bitumen = Bitume; Bitumen emulsion = Emulsion de bitume; Sand = Sable; Fine gravel = Gravillons fins; Coarse gravel = Gravillons grossiers; Filler = Filler; Hydrated lime = Chaux hydratée; HMA = EBC; RAP = Enrobé recyclé; Type of transportation = Type de transport; Truck for bulk goods ... = Camion pour matériaux en vrac. Euronorm IV; Maximum payload = Charge maximale; tonnes = tonnes; Load factor = Facteur de chargement; full = rempli; empty = vide; Average transportation distance = Distance moyenne de transport; Driving share urban = Proportion transport urbain; Driving share interurban = Proportion transport interurbain; Driving share motorway = Proportion transport sur autoroutes; Sulphur content of the fuel = Teneur en soufre du carburant; % Bio fuel in diesel = % carburant bio dans diésel; LCI database used = Base de données ICV utilisée; ... on the way back to the HMA-plant = ... sur le trajet retour vers la centrale d'enrobage; ... on the way to the construction site = ... op de weg naar de bouwplaats]

Sur base des exigences de la norme ISO 14040-14044, le résultat de l'étude a été complété par une analyse de sensibilité. Certains des paramètres qui ont été modifiés sont: 1. Utiliser un autre ensemble de données ICV (Inventaire du cycle de vie) pour réaliser l'ACV; 2. Changer la consommation d'énergie et le type de carburants de la centrale d'enrobage; 3. Modifier les distances de transport des gravillons et du sable; 4. Changer les intervalles d'entretien (les raccourcir ou les rallonger); 5. Augmenter la quantité de chaux hydratée utilisée dans l'EBC. Le résultat du changement de ces paramètres est que l'EBC modifié à la chaux hydratée présente toujours une empreinte environnementale moins importante sur toute la durée de vie de la route. Selon les spécifications de la norme ISO 14044 (ISO, 2006 a, b), l'étude a été soumise à un évaluateur externe (TNO Utrecht, Pays-Bas).

Résultats

Grâce à l'augmentation de 25 % de la durabilité de la route, l'utilisation de chaux hydrate dans les enrobés bitumineux à chaud mène à une réduction globale de l'empreinte environnementale sur toute la durée de vie d'une route (50 ans), comme le démontre l'analyse du cycle de vie basée sur les normes ISO 14040-14044. Selon les postulats décrits précédemment, l'EBC contenant de la chaux hydratée a une empreinte environnementale moins importante pour la plupart des catégories d'impacts environnementaux. La consommation énergétique totale primaire est inférieure de 43 % lorsqu'un EBC modifié remplace un EBC conventionnel. L'entretien de la route représente la plus grande part de la consommation totale d'énergie. En ordre décroissant d'importance, la contribution des différents processus à la consommation totale d'énergie est: la production de bitume, la production d'EBC, le carburant utilisé par les camions pour le transport (matières premières, EBC, enrobé recyclé) et le carburant utilisé par les équipements mobiles (construction et entretien). De plus, l'EBC modifié consomme nettement moins de ressources que l'EBC conventionnel. Les économies sont similaires à celles observées pour la consommation d'énergie. Cela peut facilement s'expliquer par le fait que les carburants fossiles (et en particulier le pétrole brut qui est utilisé pour produire le bitume ainsi que le diesel consommé par les camions et les équipements mobiles) représentent presque 99 % de l'indice d'épuisement des ressources abiotiques. Selon les inventaires de cycle de vie (ICV), 90% à 93% des émissions de gaz à effet de serre sont dues au CO₂.

Tout comme la consommation d'énergie, l'entretien de la route est l'étape du cycle de vie qui participe le plus aux émissions de gaz à effet de serre. Dans le scénario de fin de vie choisi, l'option avec l'EBC modifié mène à une réduction de 23 % des gaz à effet de serre par rapport à la solution avec l'EBC conventionnel. Même dans un autre scénario qui ne fournirait pas de crédit, l'économie au niveau des émissions de gaz à effet de serre serait d'environ 14 %, comme le montre la Figure 2.

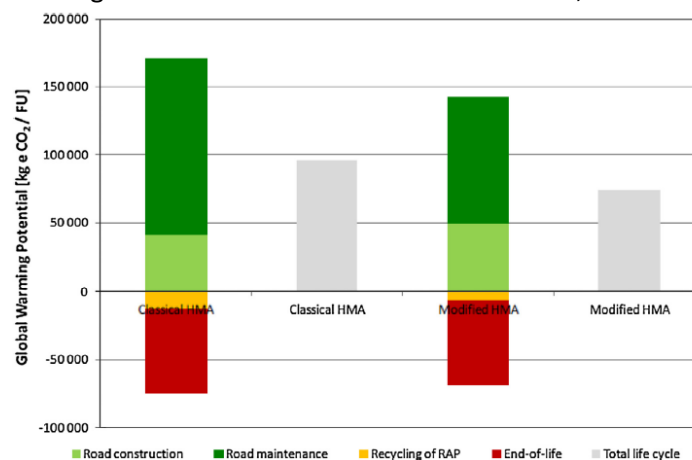


Figure 2: Potentiel de réchauffement climatique [kg eq. CO₂]/FU.

[Global Warming Potential = Potentiel de réchauffement climatique; Classical HMA = EBC classique; Modified HMA = EBC modifié; Road construction = Construction de la route; Road maintenance = Entretien de la route; Recycling of RAP = Recyclage de l'enrobé; End-of-life = Fin de la durée de vie; Total life cycle = Cycle de vie total]

La différence de potentiel d'acidification entre les deux solutions est d'environ 44 % en faveur de la solution avec l'EBC modifié. Le potentiel d'eutrophisation est principalement attribué aux émissions de NO_x qui mènent à la formation de nitrates dans les eaux de surface. De ce fait, tous les processus de combustion majeurs qui émettent des oxydes de nitrogène (tels qu'énumérés précédemment) contribuent indirectement à l'eutrophisation. La différence de potentiel d'eutrophisation entre les deux solutions est d'environ 45 % en faveur de l'EBC modifié.

Chaque entretien évité signifie également une diminution des embouteillages générés par ces travaux.

Les résultats de la présente étude ont été soumis à un évaluateur externe. De manière générale, ils sont favorables au développement durable dans le secteur de la construction routière. De plus, ils sont dans la lignée d'initiatives européennes récentes relatives aux matières premières, aux principes

de durabilité et aux contraintes financières qui requièrent l'optimisation des ressources disponibles en termes de matières premières, de moyens financiers et de main d'œuvre.

Conclusions

Le résultat majeur de l'étude EuLA est que l'utilisation d'EBC modifié comme couche de roulement réduit l'empreinte environnementale pour la plupart des catégories d'impacts environnementaux : consommation d'énergie, épuisement abiotique, changement climatique, acidification de l'air, formation d'oxydants photochimiques, disparition de l'ozone stratosphérique et eutrophisation. L'augmentation de la durée de vie grâce à l'utilisation d'EBC modifié est suffisamment importante pour éviter au moins un entretien au cours de la durée de vie de la route par rapport à une solution avec l'EBC conventionnel. En outre, il convient de rappeler que chaque entretien évité prévient la formation d'embouteillages engendrés par ces travaux.

Remerciements

Les auteurs remercient Darren Scutt pour ses commentaires très utiles qui ont permis d'améliorer l'anglais de la version originelle du présent article. Une version plus détaillée de cet article a été publiée dans le Journal *'Transportation Research Part D: Transport and Environment'*.

Bibliographie

Bilal J., Grosshenny V., Lecouls H., Le Noan C., Marcilloux J., Quéro J.-F., Verhée F., 2009. Caractéristiques environnementales des matériaux routiers – Rectitatif – Analyse de Cycle de Vie des enrobés bitumineux: vers un amendement Matériaux routiers à la norme NF P01 010, Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF). Rev. Gén. Routes Aérodrômes 872.

Bilal J., Grosshenny V., Lecouls H., Le Noan C., Marcilloux J., Quéro J.-F., Verhée F., 2008. Caractéristiques environnementales des matériaux routiers – Analyse de Cycle de Vie des enrobés bitumineux: vers un amendement Matériaux routiers à la norme NF P01 010. Rev. Gén. Routes Aérodrômes 865, 60–67.

European Commission, 2010a. Green Public Procurement Road Construction and Traffic Signs Background Report, pp. 1–49. http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/road_construction_and_traffic_signs_GPP_background_report.pdf.

European Commission, 2010b. Road Construction Traffic Signs Product Sheet, pp. 1–12. http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/road_construction_and_traffic_signs_GPP_product_sheet.pdf.

ISO-14040, 2006a. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organization of Standardization, 1–12.

ISO-14044, 2006b. Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines. International Organization of Standardization, pp. 1–46.

Lesueur, D., 2011. Hydrated Lime: A Proven Additive for Durable Asphalt Pavements – Critical Literature Review. Ed. European Lime Association (EuLA), Brussels. pp. 1–96. Beschikbaar in EN, FR,

DE en PL op <http://www.eula.eu/documents/hydrated-lime-proven-additive-durable-asphalt-pavements-critical-literature-review-paper>

Lesueur, D., Petit, J., Ritter, H.-J., 2013. The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: a state-of-the-art review". Road Materials Pavement Design, Volume 14, pp. 1–16.

Schlegel T., Puiatti D., Ritter H.-J., Lesueur D., Denayer C., Shtiza A., 2016. The limits of partial life cycle assessment studies in road construction practices: A case study on the use of hydrated lime in Hot Mix Asphalt. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 48, pp. 141–160.

Schlegel T., Puiatti D., Ritter H.-J., Lesueur D., Denayer C., Petit J., Shtiza A., 2012. Use of hydrated lime to improve environmental footprint of Hot Mix Asphalt and road durability. 18th Life Cycle Assessment Symposium Copenhagen (Denmark): Sustainability Assessment in the 21st century Tools, Trends & Applications. 26-28 November 2012. Proceedings, p. 74. Platform presentation.

Sebben Paranhos R., 2007. Approche multi-échelles des émissions d'un procédé d'élaboration des enrobés à chaud (Thèse de doctorat en Physique). Université de Rouen, France, pp. 1–295.

Hochschule Biberach, 2009. Ökoprofil für Asphalt- und Betonbauweisen von Fahrbahnen – Aktualisierung 2009. Deutscher Asphaltverband (DAV) 2009, pp. 1–55.