



L'actualité sur les routes en béton

update 2/10

Ecobilan relatif à la construction et à l'utilisation d'un tronçon d'autoroute

Les émissions nuisibles au climat qui affectent notre environnement sont en bonne partie provoquées par le trafic routier [9]. L'impact écologique de la construction et de l'entretien d'un tronçon d'autoroute – y compris la charge due au trafic – durant une période de 30 ans a fait l'objet d'un relevé, complété par un projet de recherche confié au «Centrum Baustoffe und Materialprüfung» de la TU de Munich.

Ecobilan relatif à la construction et à l'utilisation d'un tronçon d'autoroute

Dipl.-Ing. Charlotte Milachowski, Dipl.-Ing. Thorsten Stengel, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen,
Centrum Baustoffe und Materialprüfung de l'Université technique (TU) de Munich

Dans la ligne du développement durable, la République fédérale d'Allemagne s'est engagée à réduire ses émissions nuisibles au climat. Celles qui affectent l'air sont en grande partie causées par le trafic routier. Les effets potentiels sur l'environnement de la construction et de l'utilisation d'un tronçon d'autoroute d'un km, en distinguant quatre types de revêtement, ont été pris en compte pour l'établissement d'un écobilan et comparés entre eux. En intégrant dans cette étude l'impact, durant 30 ans, de la charge due au trafic, on a encore fait ressortir les effets de la consommation de carburant. Les potentiels d'économies sont présentés en conclusion.

Cadre de l'étude

Généralités

Dans le grand public, les aspects écologiques sont souvent évoqués en termes subjectifs. Pour parvenir à une évaluation objective, on a développé la méthode de l'écobilan. Celle-ci est réglée dans les normes allemandes DIN EN ISO 14040:2009-11 et DIN EN ISO 14044:2006-10, qui ont été appliquées dans la présente étude. C'est ainsi qu'on a pris en compte toutes les matières et toute l'énergie consommées par les différents processus relevant de la construction et de l'entretien proprement dit d'un tronçon d'autoroute d'un km. En font partie: le recours aux ressources naturelles, la production d'énergie, la fabrication des produits nécessaires, l'utilisation des infrastructures, les transports, ainsi que la mise en œuvre et l'élimination des différents produits. Dans le cadre d'une évaluation des impacts, on a déterminé les émissions dans l'air et dans l'eau, ainsi que les rejets sur le sol; puis, par application de la méthode «CML» – développée à l'Université de Leiden et fondée sur une approche pluridimensionnelle –, on les a regroupés dans les catégories d'impact suivantes:

- potentiel d'effet de serre (Global Warming Potential: GWP),
- destruction de la couche d'ozone stratosphérique, notamment formation de trous d'ozone (Ozone Depletion Potential: ODP),
- formation d'ozone à la surface de la Terre, notamment de smog estival (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP),
- acidification des sols (Acidification Potential: AP) et
- eutrophisation des eaux (Eutrophication Potential: EP).

Notre source de donnée a été l'«ecoinvent Database» suisse [3]. Les processus qui ne figuraient pas dans cette banque de données ont fait l'objet d'une modélisation selon les processus disponibles. Le dépouillement et le traitement des données ont été réalisés à l'aide du logiciel pour l'établissement d'écobilans SimaPro.

Pour quantifier le potentiel d'optimisation lié à la technique de construction, on a examiné quatre types de superstructure:

- béton, avec couche de roulement en béton lavé
- béton, avec couche de roulement texturée (striée au balai)
- asphalte, avec couche de roulement en béton bitumineux phonoabsorbant, à teneur en vides élevée
- asphalte, avec couche de roulement en asphalte coulé.

L'infrastructure, ainsi que divers travaux de finition en surface tels que le marquage n'ont pas été pris en compte dans l'étude. Les dispositifs pour l'évacuation des eaux (rigoles, caniveaux, etc.) ont été ignorés. On a pris en considération le profil standard d'une autoroute, d'une largeur hors tout de 31 m, avec des surfaces revêtues larges de 12 m et une superstructure de 85 cm d'épaisseur («Regelquerschnitt RQ31») [2]. La délimitation du système apparaît sur la figure 1 ci-après:

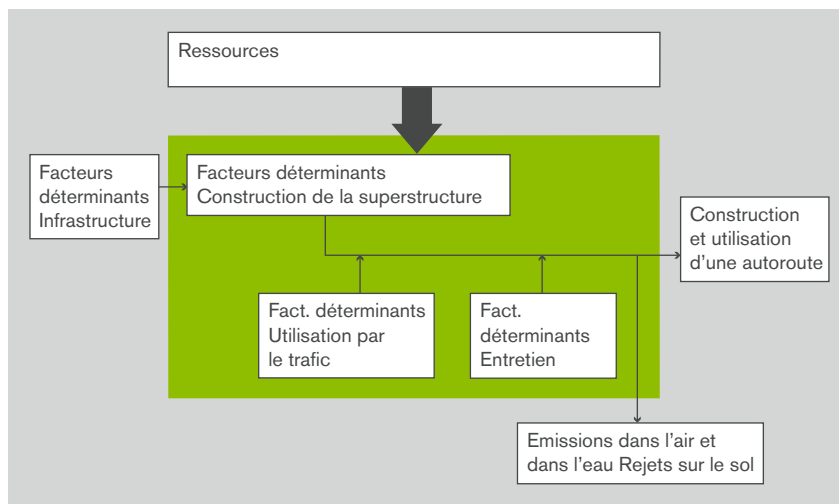


Fig.1: Délimitation de l'étude; l'expression «Facteurs déterminants» désigne tous les paramètres importants qui peuvent avoir un impact environnemental potentiel (extraction et préparation des matières premières, mise en place des infrastructures pour les travaux, ainsi que tous les processus de transport)

Construction du tronçon d'autoroute

Pour chaque couche, on a pris en compte tous les processus y relatifs, y compris les facteurs déterminants qui s'y rattachent, avec les matériaux et les machines en cause. Dans les tableaux 1 et 2 sont présentés tous les principaux matériaux utilisés pour les différentes variantes. Pour la construction de la superstructure, on a tenu compte de la mise en œuvre d'autogrades, de niveleuses, de finisseuses, de rouleaux, d'épandeurs à asphalte et de chariots de cure, ainsi que, pour l'exécution des joints du béton, de fraises à joints et de fondeurs. Comme

dépenses d'installation de chantier, on n'a retenu que le transport (aller-retour) des machines de chantier. On trouvera la succession des processus identifiés, avec les valeurs appliquées et les dispersions de celles-ci, dans le rapport de recherche [6].

Couches	Matériaux
Couche de fondation	Granulat: 2150 kg/m ³ (gravier, 70 % massique; sable, 30 % massique)
Couche de base en asphalte	Bitume: 36,7 kg/m ³ Granulat: 2349 kg/m ³
Couche de liaison en asphalte	Emulsion de bitume: 0,3 kg/m ² Bitume modifié aux polymères (PmB): 45,9 kg/m ³ Granulat: 2421 kg/m ³
Couche de roulement en asphalte	Asphalte coulé: Emulsion de bitume: 0,3 kg/m ² Bitume à faible viscosité: 72,5 kg/m ³ Granulat: 2415 kg/m ³ Gravier pour surfacage: 8,0 kg/m ² S Asphalte à teneur en vides élevée: PmB: 2,5 kg/m ² Gravier: 8,0 kg/m ² PmB: 66,3 kg/m ³ Granulat: 1950 kg/m ³

Tableau 1: Les principaux matériaux utilisés pour la construction de la superstructure en asphalte

Couches	Matériaux
Couche de fondation	Granulat: 2150 kg/m ³ (gravier, 70 % massique; sable, 30 % massique)
Couche de fondation stabilisée	Ciment: 90,0 kg/m ³ CEM II/B-S 32,5 R Granulat: 1975 kg/m ³ Eau du réseau: 110,0 l/m ³ Emulsion de bitume C60 B1-N: 1,6 kg/m ²
Couche intermédiaire	Géotextile: 0,5 kg/m ²
Couche de roulement en béton	Béton avec surface texturée: Couche inférieure: 7829 t/km Couche supérieure: 3948 t/km Goujons+ancrages (acier): 44,8 t/km Produit de cure: 9,6 t/km Matériau de remplissage pour joints: 4,3 t/km Béton avec surface en béton lavé: Couche inférieure 7829 t/km Couche de surface 3948 t/km Acier: 44,8 t/km Désactivant: 6,0 t/km Produit de cure: 4,8 t/km Matériau de remplissage pour joints: 4,3 t/km

Tableau 2: Les principaux matériaux utilisés pour la construction de la superstructure en béton

Utilisation et entretien proprement dit du tronçon d'autoroute

Pour évaluer l'impact de l'utilisation du tronçon d'autoroute, on a pris en compte la charge due au trafic, ainsi que les travaux d'entretien de l'ouvrage proprement dit, durant une période de trente ans. Pour la sollicitation due au trafic, on a considéré 52 000 passages de véhicules par 24 heures (42 000 vhc légers et 10 000 vhc lourds), en admettant, pour ces derniers, un pourcentage d'utilisation de la capacité de transport de 50 %. Au surplus, on a pris en compte les moyennes de consommation de carburant par km suivantes :

- vhc lourds: 0,395 kg de diesel
- vhc légers: 0,0669 kg d'essence (80 % des vhc) et 0,0627 kg de diesel (20 % des vhc) (moyennes européennes) [8].

Les émissions de poussière retenues ont été celles qui sont liées à l'usure des pneus et des garnitures de freins.

Les travaux d'entretien dépendant de nombreux paramètres qui ne peuvent pas tous être quantifiés dans le cadre d'un écobilan, on a défini, sur la base des expériences tirées de la pratique, un scénario minimal (Sc. A) et un scénario maximal (Sc. B). On a pris en compte et analysé toutes les données environnementales liées aux travaux à effectuer, c'est-à-dire tous les facteurs déterminants (tableau 3).

Pour l'évacuation des matériaux usagés et le trans-

port des nouveaux matériaux, on a admis une distance de 50 km. Comme pour la construction, on n'a pris en compte au titre de l'installation des chantiers que les transport (aller-retour) des machines.

Résultats

Construction du tronçon d'autoroute

Le tableau 4 donne un aperçu des impacts environnementaux potentiels de la construction d'un tronçon d'autoroute d'un km.

Les variantes en béton se caractérisent, pour toutes les catégories d'impact, par des effets environnementaux inférieurs à ceux qui sont liés aux variantes en asphalte étudiées (fig.3), à l'exception du potentiel d'effet de serre (GWP).

Dans les *variantes en béton*, celle qui comporte une couche de roulement en béton lavé présente un potentiel d'impact sur l'environnement très légèrement plus important que celle dont le roulement est en béton texturé. Cela est dû au dosage plus élevé en ciment pour la couche de roulement (430 kg/m³, contre 360 kg/m³). C'est dans la construction de la superstructure routière que le béton, en tant que matériau, produit potentiellement le plus gros impact sur l'environnement. Une analyse des dominances montre que l'eau de gâchage et l'adjuvant entraîneur d'air ne produisent qu'un effet

	Superstructure en asphalte		Superstructure en béton	
	Couche de roulement en asphalte coulé	Couche de roulement en asphalte à teneur en vides élevée	Couche de roulement texturée/ Couche de roulement en béton lavé	
Sc. A	2 × Remplacement du tapis 1 × Remplacement de la couche de liaison	3 × Remplacement du tapis 1 × Remplacement de la couche de liaison	2 × Assainissement complet des joints 5 % Assainissement des arêtes de joints et des cassures 1 % Dalles à soulever et à consolider 1 % Remplacement de dalles entières	
Sc. B	2 × Remplacement du tapis 2 × Remplacement de la couche de liaison	4,3 × Remplacement du tapis 1 × Remplacement de la couche de liaison	3 × Assainissement complet des joints 20 % Assainissement des arêtes de joints et des cassures 3 % Dalles à soulever et à consolider 3 % Remplacement de dalles entières	

Tableau 3: Aperçu des variantes examinées quant aux travaux d'entretien du tronçon d'autoroute étudié

Variantes d'exécution	Indicateurs d'impact				
	GWP (Global Warming Potential) [kg CO ₂ -eq.]	ODP (Ozone Depletion Potential) [kg CFC-11-eq.]	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C ₂ H ₄ -eq.]	AP (Acidification Potential) [kg SO ₂ -eq.]	EP (Eutrophication Potential) [kg PO ₄ ³⁻ -eq.]
Asphalte coulé	1694573	0,39	413	8.191	1.232
Asphalte à teneur en vides élevée	1730430	0,40	431	8.516	1.264
Béton texturé fait avec CEM I	2710311	0,13	380	6.374	1.084
Béton texturé fait avec CEM III	2153620	0,13	344	6.343	1.079
Béton lavé fait avec CEM I	2821219	0,13	389	6.478	1.100
Béton lavé fait avec CEM III	2227417	0,13	350	6.447	1.094

Tableau 4: Indicateurs d'impact liés à la construction d'un tronçon d'autoroute long d'un kilomètre



Fig. 2: Réparation d'un revêtement en béton (remplacement d'une dalle)

négligeable sur l'environnement. L'impact le plus important apparaît dans le béton pour couche de roulement au CEM I, soit de 70 (EP) à 96 % (GWP). Le granulat assume une part allant jusqu'à 10 % des effets environnementaux potentiels. Les autres impacts résultent des opérations concernant les infrastructures et les processus de transports.

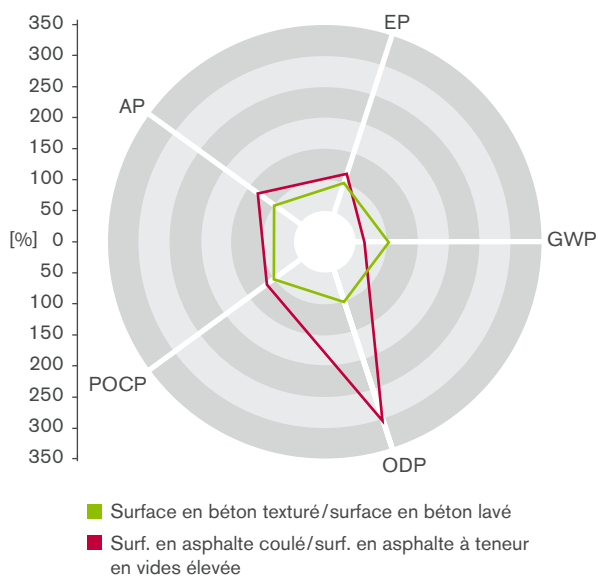


Fig. 3: Résultats de l'évaluation des impacts de la phase de construction

En substituant du CEM III au CEM I, on peut réaliser une économie du potentiel d'effet de serre de 20 % (couche de roulement en béton texturé), voire de 21% (couche de roulement en béton lavé). Dans les autres catégories d'impact, le potentiel d'économie est beaucoup plus réduit: 0,1 à 10 %, suivant les catégories.

L'examen des *variantes en asphalte* montre qu'en recourant à de l'asphalte à teneur en vides élevées on produit, dans les catégories GWP, POCP, AP et EP, un impact environnemental légèrement plus élevé qu'en choisissant de l'asphalte coulé. Cela tient d'une part au granulat et à la teneur élevée en liant bitumineux pour la couche de roulement, et d'autre part à la nécessité de poser, dans la première variante, une membrane d'étanchéité supplémentaire. En matière d'ODP, les deux variantes ne se différencient qu'à peine. L'asphalte assume de loin la plus grande part d'effets potentiels sur l'environnement. En résumé, on constate que l'impact environnemental potentiel de la construction de superstructures routières provient principalement de la fabrication des matériaux utilisés. En particulier, c'est à la production de ciment et d'asphalte – à haute intensité énergétique – que revient en cette matière le rôle principal: 57 à 66 %. Dans la variante en béton, on peut réduire l'impact environnemental potentiel en recourant à des ciments composés de plusieurs constituants principaux. Dans toutes les variantes, un potentiel d'économie gît dans la réduction des différents processus de transport.

Utilisation du tronçon d'autoroute

Le tableau 5 donne un aperçu de l'ensemble des impacts environnementaux provoqués par l'utilisation durant 30 ans d'un km de tronçon d'autoroute. Il montre qu'en cette matière la variante en asphalte produit des effets plus importants que celle en béton (fig. 4). Si l'on additionne les effets de la construction et de l'entretien, on ne constate pas de différence significative dans la catégorie d'impact GWP;

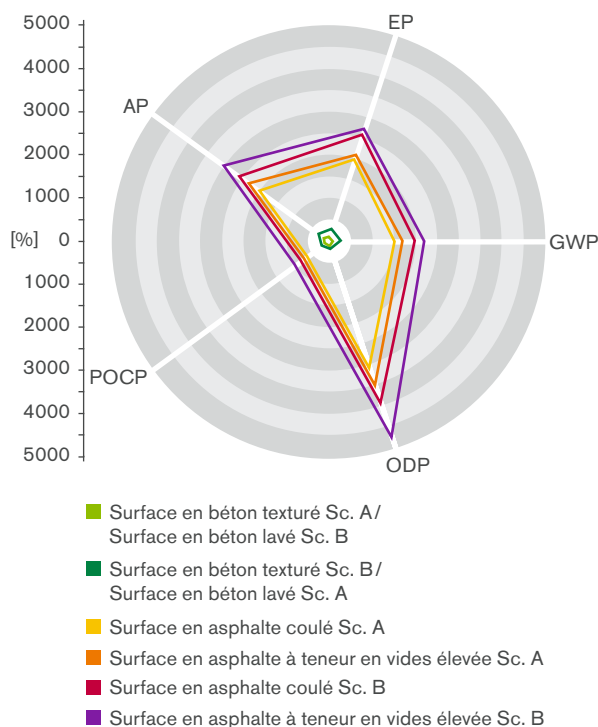


Fig. 4: Résultat de l'évaluation de l'impact de l'entretien d'un tronçon d'autoroute long d'un km à superstructure en béton avec surface texturée. Sc. A: entretien minimal; Sc. B: entretien maximal.

dans les autres (ODP, POCP, AP et EP), l'incidence environnementale potentielle de la variante en béton est sensiblement inférieure.

Un potentiel d'économies dans les travaux d'entretien selon le scénario A (interventions minimales) se situe, suivant la catégorie d'impact et les mesures en cause, entre 20 et 60 %. Le potentiel d'économies dans l'entretien de l'ouvrage réside, pour les autoroutes en béton, principalement dans la durabilité du matériau de remplissage des joints.

Mais le plus gros potentiel d'économies se situe – si l'on intègre la charge due au trafic lui-même – dans la réduction de la consommation de carburant. Celle-ci entraîne une charge pour l'environnement 5×10^3 fois plus élevée que l'entretien de la superstructure routière, sur la base des hypothèses retenues (42 000 vhc légers et 10 000 vhc lourds par jour). Cette charge est principalement le résultat de la consommation de carburant, laquelle dépend de plusieurs facteurs. Ces dernières années, de nombreuses études ont été consacrées à l'influence des propriétés de la couche de roulement (résistance au roulement, planéité, rigidité) sur la consommation de carburant. Elles ont montré que les propriétés de la surface du revêtement, telles que la structure de celle-ci (texture), la planéité (macro- et mégatexture), ainsi que la rigidité, peuvent exercer sur la consommation de carburant une influence se situant entre 5 et 20 % [1,4,5,7,10]. Il en résulte qu'un potentiel significatif d'économies ne se situe pas seulement dans l'industrie automobile et dans celle des pneus, mais également dans les revêtements routiers. Un mode de construction visant aux économies de carburant présente ainsi une importance nettement plus grande qu'un type d'ouvrage produisant un faible impact écologique lors de sa construction et son utilisation.

Variantes d'exécution / Trafic	Indicateurs d'impact				
	GWP (Global Warming Potential) [kg CO ₂ -eq.]	ODP (Ozone Depletion Potential) [kg CFC-11-eq.]	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C ₂ H ₄ -eq.]	AP (Acidification Potential) [kg SO ₂ -eq.]	EP (Eutrophication Potential) [kg PO ₄ ³⁻ -eq.]
Asphalte coulé Sc. A	944 116	0,21	272	5249	723
Asphalte coulé Sc. B	1 230 617	0,27	352	6808	943
Asph. à teneur en vides élevée Sc. A	1 048 154	0,24	316	6028	764
Asph. à teneur en vides élevée Sc. B	1 363 116	0,33	423	7986	995
Béton texturé Sc. A	60 520	0,01	46	265	36
Béton texturé Sc. B	170 920	0,01	81	742	110
Béton lavé Sc. A	63 971	0,01	46	270	37
Béton lavé Sc. B	181 274	0,01	82	756	113
Charge due au trafic	230 904 557	29,84	167 980	1 066 521	202 078

Tableau 5 – Indicateurs d'impact liés à l'utilisation d'un tronçon d'autoroute long d'un kilomètre

Conclusion

La présente étude montre qu'il est possible de réduire les impacts potentiels sur l'environnement liés à la construction et à l'utilisation d'une autoroute. C'est ainsi qu'au niveau de la production des matériaux nécessaires à une route en béton une optimisation est possible par le recours à des ciments composés de plusieurs constituants principaux. L'examen de la phase d'utilisation montre que des modes de construction nécessitant un entretien réduit présentent des avantages marqués. Mais c'est au niveau de la charge pour l'environnement due au trafic que réside de loin le plus important potentiel d'économies, car cette charge représente environ le centuple de celles qui sont liées à l'entretien et à la construction de l'ouvrage. De nombreuses études ont déjà montré l'influence des caractéristiques en surface des revêtements routiers sur la consommation de carburant. Une vaste enquête faite au Canada a montré que, dans le trafic lourd, des économies de carburants de 7% à 15% sont possibles selon le poids total des véhicules et les conditions climatiques – à température élevée, un revêtement en asphalte se déforme, en effet, davantage [5,11]. Cela justifie de nouvelles recherches dans la direction ainsi tracée.

Bibliographie

- [1] Descornet, G.: Road Surface Influence on Tire Rolling Resistance. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 401-415, Philadelphie, 1990
- [2] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV (2009): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA); Ausgabe 2008
- [3] <http://www.ecoinvent.ch>
- [4] Laganier, R.; Lucas, J.: The Influence of Pavement Evenness and Macrotecture on Fuel Consumption. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 454-459, Philadelphie, 1990
- [5] Lundström, K.; Finnsementti, O.: Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements, 8th International Symposium on Concrete Roads, Lisbonne, 2003
- [6] Milachowski, C., Stengel T., Lowke D., Gehlen C.: «Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts». Forschungsbericht 20-F-0068, TU München, Munich 2010
- [7] NRC-CSTT: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption – Phase 2: Seasonal Test, CSTT-HWV-CTR-041, National Research Council of Canada – Centre for Surface Transportation Technology, Ottawa, 2000
- [8] Spielmann M.; Kägi T., Stadle P., Tietje O.: Life Cycle Inventory of Transport Services; ecoinvent report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004
- [9] Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990-2007 (Endstand 20.02.2009), www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm
- [10] Zaniewski, J.: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption. SR289.01P Portland Cement Association, Skokie, 1989
- [11] Larsson, R.; Andersson, R.: Benefit of Reduced Fuel Consumption From Economic and Environmental Perspectives – A Novel Approach, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, 2004

Comparaison d'ensemble

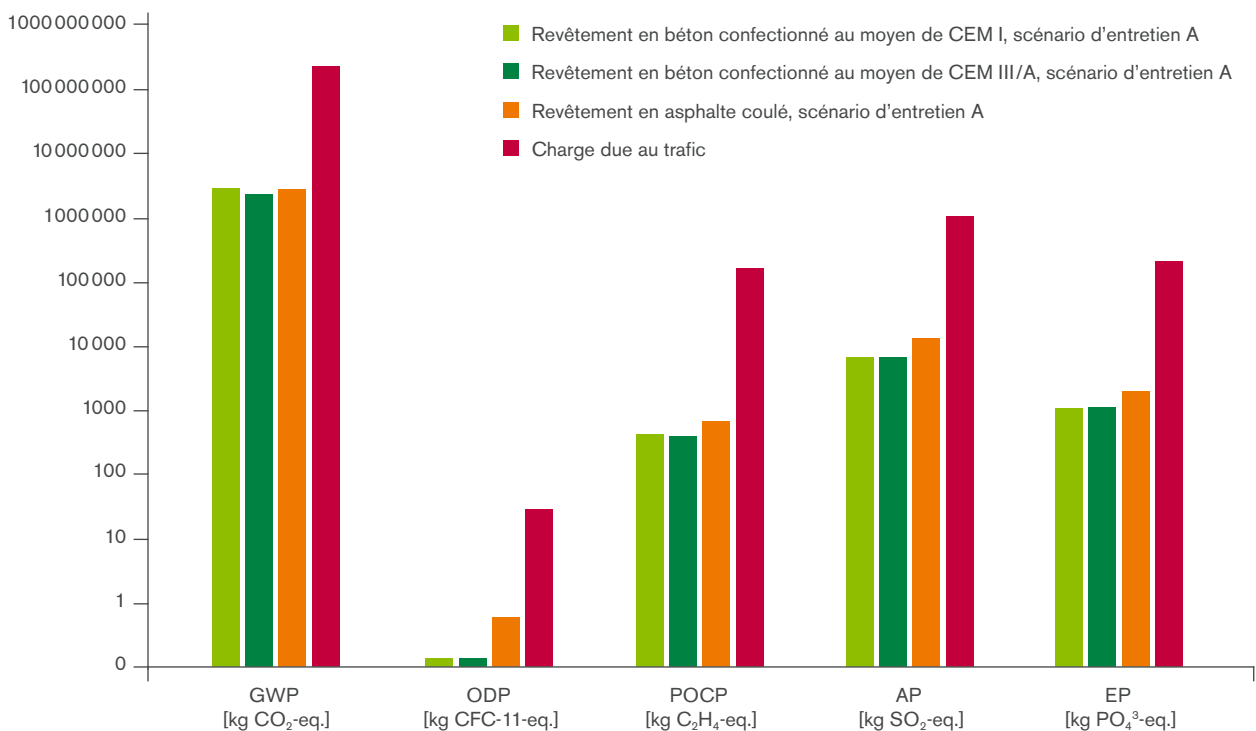


Fig. 5: Impacts environnementaux potentiels de la construction et de l'entretien proprement dit d'un tronçon d'autoroute doté d'une surface de revêtement en béton texturé et en asphalte coulé, en comparaison avec l'impact de la charge due au trafic. Durée prise en compte: trente ans.

Groupement d'intérêts des routes en béton

cemsuisse

Association suisse de l'industrie
du ciment

Marktgasse 53, 3011 Berne

Téléphone 031 327 97 97

Fax 031 327 97 70

info@cemsuisse.ch

www.cemsuisse.ch

BEVBE

Beratung und Expertisen für

Verkehrsf lächen in Beton

Herenholzweg 5, 8906 Bonstetten

Téléphone 044 700 14 02

Fax 044 700 14 03

werner@bevbe.ch

www.bevbe.ch

Grisoni-Zaugg SA

Rue de la Condémine 60

Case postale 2162, 1630 Bulle 2

Téléphone 026 913 12 55

Fax 026 912 74 54

info@grisoni-zaugg.ch

www.grisoni-zaugg.ch

Holcim (Schweiz) AG

Hagenholzstrasse 83, 8050 Zurich

Téléphone 058 850 62 15

Fax 058 850 62 16

betonstrassen@holcim.com

www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA

1312 Eclépens

Téléphone 058 850 91 11

Fax 058 850 92 95

chausseebeton@holcim.com

www.holcim.ch

Implenia Bau AG

Infra Ost Tiefbau

Binzmühlestrasse 11, 8008 Zurich

Téléphone 044 307 90 90

Fax 044 307 93 94

daniel.hardegger@implenia.com

www.implenia-bau.com

Jura-Cement-Fabriken

Talstrasse 13, 5103 Wildegg

Téléphone 062 88 77 666

Fax 062 88 77 669

info@jcf.ch

www.juracement.ch

Juracime SA Fabrique de ciment

2087 Cornaux

Téléphone 032 758 02 02

Fax 032 758 02 82

info@juracime.ch

www.juracement.ch

Specogna Bau AG

Lindenstrasse 23, 8302 Kloten

Téléphone 044 800 10 60

Fax 044 800 10 80

spc@specogna.ch

www.specogna.ch

Synaxis AG Zürich

(autrefois Wolf, Kropf & Partner AG)

Thurgauerstrasse 56, 8050 Zurich

Téléphone 044 316 67 86

Fax 044 316 67 99

c.bianchi@synaxis.ch

www.synaxis.ch

Toggenburger AG

Schlossackerstrasse 20

8404 Winterthur

Téléphone 052 244 13 03

Fax 052 244 12 24

info@toggenburger.ch

www.toggenburger.ch

Ciments Vigier SA

2603 Péry

Téléphone 032 485 03 00

Fax 032 485 03 32

info@vicem.ch

www.vicem.ch

Walo Bertschinger AG

Case postale 7534, 8023 Zürich

Téléphone 044 745 23 11

Fax 044 745 23 65

kurt.glanzmann@walo.ch

www.walo.ch

BETONSUISSE

BETONSUISSE Marketing SA

Marktgasse 53, CH-3011 Bern

Téléphone +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70

info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

Beton

BetonMarketing Deutschland GmbH

Steinhof 39, D-40699 Erkrath

Téléphone +49-211-28048-1, Fax +49-211-28048-320

bmd@betonmarketing.de, www.beton.org

beton

Gruppe Betonmarketing Österreich

Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton Handels-
und Werbeges.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien

Téléphone +43 (0) 1 714 66 85-0, www.zement.at