



HAL
open science

Quelques questions soulevées par l'analyse du cycle de vie des infrastructures routières

François de Larrard

► **To cite this version:**

François de Larrard. Quelques questions soulevées par l'analyse du cycle de vie des infrastructures routières. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 2009, 276, 8p. hal-00968845

HAL Id: hal-00968845

<https://hal.science/hal-00968845>

Submitted on 1 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quelques questions soulevées par l'analyse du cycle de vie des infrastructures routières

François DE LARRARD*
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées,
Nantes

■ RÉSUMÉ

L'auteur aborde quatre questions qui se posent lors de l'analyse du cycle de vie de la route. Il s'agit de la fenêtre temporelle d'analyse, de la contribution au bilan global de certains coproduits industriels tels que les laitiers et les cendres volantes, de la façon de compter l'énergie affectée aux matériaux, et enfin de la prise en compte du recyclage. A ces quatre questions, des réponses sont proposées, dans le but de concourir à l'émergence d'un consensus au sein de la communauté routière, pour la construction d'approches et d'outils communs et partagés.

In response to several questions raised by the life cycle analysis of road infrastructure

■ ABSTRACT

The author addresses herein four questions raised during the life cycle analysis of a road. These specific questions pertain to : the analytical time frame ; contribution to an overall evaluation of various co-products such as slag and fly ash ; the protocol adopted for metering energy allocated to materials ; and lastly the method employed to incorporate recycling. Alongside these four lines of enquiry, answers will be proposed towards the aim of helping forge a consensus within the road engineering community regarding the creation of a common set of approaches and tools.

* AUTEUR À CONTACTER :
francois.de-larrard@lpc.fr

INTRODUCTION

Utilisée depuis des décennies dans l'industrie, l'analyse du cycle de vie (ACV) est pratiquée dans le domaine de la route depuis environ une dizaine d'années. Rappelons qu'elle consiste à isoler une unité fonctionnelle, et à énumérer les entrants et les sortants sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette comptabilité permet de comparer différents scénarios, ce qui peut être utilisé d'au moins deux façons :

- à l'intérieur d'une filière, l'ACV met en exergue certains points critiques sous l'angle environnemental, et peut inspirer des démarches d'amélioration ;
- entre deux filières concurrentes, elle peut éclairer le choix du décideur.

En France, le comité français de l'AIPCR organisait en 2002 une première réunion rassemblant la communauté routière [1]. Depuis, les chercheurs se sont progressivement impliqués dans cette problématique [2], en parallèle avec les entreprises routières - dont certaines disposent à présent de logiciels opérationnels [3] - et l'industrie des matériaux [4]. Cependant, comme c'est toujours le cas lors du démarrage d'une activité nouvelle, on trouve une certaine diversité d'approche, et on est

parfois gêné par le caractère contradictoire des résultats des différentes études, qui ne partent pas des mêmes chiffres et qui ne font pas les mêmes calculs. On ressent à présent le besoin de converger vers des démarches communes, et de disposer au moins d'une base de données nationale (comme c'est déjà le cas dans le domaine du bâtiment [5]), voire d'un outil partagé, qui serait l'équivalent environnemental du logiciel Alizé [6] pour le dimensionnement mécanique des chaussées.

Cependant, la mise au point d'un tel outil suppose de prendre un certain nombre d'options méthodologiques, sur lesquelles il est nécessaire de recueillir un consensus. Cet article vise donc à présenter et à discuter quelques-unes de ces options, et à en montrer les conséquences sur un cas volontairement simplifié, celui de la comparaison du « coût environnemental » du mètre carré de chaussée, respectivement en enrobé bitumineux et en béton de ciment.

LA QUESTION DE LA FENÊTRE TEMPORELLE D'ANALYSE

En théorie, l'ACV s'applique « du berceau à la tombe », c'est-à-dire de la naissance du produit à sa fin de vie, en incluant son recyclage éventuel. Cependant, le concept de fin de vie est difficilement applicable à la route : depuis le début de l'ère industrielle, la croissance de la surface des routes revêtues est apparue le plus souvent comme un phénomène irréversible, et une surface élémentaire de chaussée routière ne revient pratiquement jamais à une autre fonction. Pour autant, il paraît difficile d'affirmer qu'une chaussée est éternelle, d'autant plus que la sommation de ses impacts sur sa durée de vie poserait alors des problèmes d'incertitude croissante sur les hypothèses d'échange, et de non-convergence mathématique... C'est ainsi que certains logiciels s'en tiennent à la période de construction de la chaussée. Pourtant, lorsqu'on choisit une technique de construction, celle-ci induit bien souvent une technique et une périodicité d'entretien, de sorte que la restriction à la période précédant la phase de service conduit à faire l'impasse sur l'impact des opérations de maintenance.

Sachant qu'en France, on conçoit les chaussées pour une durée de vie explicite - 20 ou 30 ans pour le réseau routier national - il paraît donc naturel de considérer la période qui va du démarrage des travaux jusqu'à la fin de cette « espérance de vie de projet » [2]. Au-delà, la chaussée peut faire l'objet d'un entretien lourd, à l'occasion duquel d'autres techniques peuvent être employées, ce qui signifie qu'à ce stade, le maître d'ouvrage retrouve une certaine liberté de décision. D'autre part, il est difficile de prévoir précisément les techniques d'entretien utilisées au-delà d'une durée de 30 ans comptée par rapport à la date de l'analyse...

Dans la mesure où on s'intéresse au choix d'une technique routière, ou aux moyens de la rendre plus favorable sous l'angle environnemental, on ne s'intéresse pas a priori au trafic et à son impact sur l'environnement, les véhicules ne faisant pas partie de l'unité fonctionnelle « Route ». Pourtant, certaines études préconisent de prendre en compte l'effet des techniques routières choisies sur la consommation des véhicules [4]. En théorie, tous les effets environnementaux liés à la décision objet de l'étude devraient être globalement étudiés. Cependant, l'état des connaissances est, de notre point de vue, encore trop parcellaire et la question trop controversée pour que cet aspect puisse être aujourd'hui pris en compte dans une méthode nationale. Il est cependant nécessaire de mener des recherches approfondies visant à quantifier l'effet des caractéristiques du système chaussée-pneumatique-véhicule sur la consommation de ces derniers.

LA QUESTION DE L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE DES COPRODUITS INDUSTRIELS

Les matériaux routiers peuvent se classer sous l'angle de leur procédé de production. On trouve ainsi :

– des *produits*, c'est-à-dire des objets résultant d'un procédé industriel organisé et financé à seule fin de leur production. C'est le cas des granulats de carrière, ou du ciment Portland ;

- des *coproduits*, issus d'un procédé ayant la propriété de fournir en parallèle plusieurs matériaux, utilisés et valorisés dans des applications et des secteurs industriels éventuellement différents. C'est le cas du bitume, produit du craquage du pétrole brut, lequel engendre également toute une collection de différentes substances telles que coke, fuel lourd, gazole, kérosène etc.
- des *sous-produits*, voire des *déchets*, dont l'industriel se débarrasse, et qui trouvent parfois un usage dans la route.

Le calcul de l'impact environnemental de l'unique produit d'un procédé industriel est relativement simple. Le problème se complique dans le cas des coproduits. Quant au déchet, son empreinte est souvent prise pour nulle, l'utilisation du déchet étant vue comme un acte vertueux évitant la mise en décharge.

Examinons à présent le cas de deux additions minérales, utilisées depuis fort longtemps dans les matériaux cimentaires, à savoir les laitiers moulus de haut-fourneau et les cendres volantes de centrales thermiques. Autrefois considérés comme déchets, ils sont aujourd'hui valorisés, et à juste titre, car, utilisés en combinaison avec du ciment Portland, ils apportent une contribution très significative à la résistance mécanique et à la durabilité des bétons et matériaux hydrauliques : en termes mécaniques, leur efficacité marginale à 90 jours est même comparable à celle du ciment Portland. Comme ce dernier matériau, ils sont issus de procédés thermiques qui consomment de l'énergie et dégagent du gaz à effet de serre. Est-il juste de prendre pour nulle leur impact environnemental, alors que, dans le contexte mondial de tension sur les matières premières, ils apparaissent comme des substances rares et précieuses ?

Tout comme on le fait pour le bitume, il nous semble plus raisonnable de répartir les nuisances entre ces produits et les produits principaux auxquels ils sont associés. Pour les cendres volantes, c'est l'électricité issue de la centrale thermique. Pour le laitier de haut-fourneau, c'est l'acier. Concernant ce dernier matériau, il faudrait même considérer le laitier d'*aciérie*, bien que le niveau de valorisation de ces derniers soit nettement plus faible que celui des laitiers de haut-fourneau.

Si l'on admet donc ce principe de répartition, comment l'effectuer concrètement ? On pourrait penser à un critère de masse, possibilité prévue par la norme de référence¹. Cependant, outre le fait que le concept de masse appliqué à l'électricité pose quelques difficultés, on voit bien qu'il est difficile de comparer un kilo d'acier et un kilo de laitier, et de leur affecter, par exemple, une même masse de CO₂ émise. Aussi, on suggère plutôt de raisonner au prorata des valeurs marchandes², la charge écologique pouvant se traduire par une fiscalité, en général proportionnelle au coût, ou par une incitation à des mesures correctives, toujours coûteuses. C'est sur cette base qu'on a effectué les calculs présentés dans le **tableau 1**. Sachant que les chiffres de référence n'ont qu'une valeur indicative, on voit que les ratios énergie et CO₂ de la cendre volante et du laitier restent inférieurs à ceux du ciment Portland, mais ont quand même un effet significatif sur les valeurs des ciments composés de type CEM II ou CEM III.

On pourrait également appliquer ce principe au cas de la fumée de silice, sous-produit de la fabrication du silicium métal et de ses alliages. L'intérêt d'une allocation par la valeur économique apparaît bien dans le cas de ce matériau, dont le coût a fortement augmenté depuis une vingtaine d'années, au point que certains industriels pourraient envisager d'en faire un produit « simple » - le four à arc électrique ne produisant plus de silicium, mais seulement de la fumée. Dans un tel cas, la charge écologique serait reportée intégralement sur le matériau de construction, ce qui est impossible avec les principes actuels.

¹ International Standardisation Organisation (ISO), *Environmental management-life cycle assessment, Principles and framework, ISO 14040, 2006.*

² *La variabilité des prix pose alors une difficulté dans l'établissement d'une méthode, et de coefficients relativement pérennes. Une solution peut consister à établir les paramètres environnementaux sur la base de statistiques de prix, et de réviser ces valeurs périodiquement : démarche imaginable dans le cas de la création et de l'entretien d'une base de données nationale.*

Produits	Granulats ^a	Bitume ^b	Ciment CEM I ^c	Laitier de hauts-fourneaux	Acier ^d	Cendres volantes ^e	Électricité ^e	Ciment CEM II B (35 % CV)	Ciment CEM III B (80 % de laitier HF)
Unité de production	Tonne	Tonne	Tonne	Tonne	Tonne	Tonne	kWh	Tonne	Tonne
Proportion des co-produits obtenus				1	3	1	40 000		
Prix de vente en € par unité de production ^f				40	500	20	0,07		
<i>Approche 1</i>									
Equivalent CO ₂ en t/t	0,002	0,069	0,85	0	2,10	0	55	0,55	0,17
Signature énergétique en GJ/unité	0,057	1,19	5,60	0	21,16	0	380	3,64	1,12
<i>Approche 2</i>									
Clé de répartition (%)				2,6	97,4	0,7	99,3		
Equivalent CO ₂ en t/t	0,002	0,069	0,85	0,16	2,04	0,39		0,69	0,30
Signature énergétique en GJ/unité	0,057	1,19	5,60	1,65	20,61	2,70		4,58	2,44

^a Source : UNPG ^b Source : Hoang [2] ^c Source : Team® ^d Source : Wikipedia

^e On admet que 15 tonnes de charbon contiennent une énergie matière de 9,3 TEP (tonnes équivalent-pétrole), soit 380 GJ, et génèrent 1 tonne de cendre volante. L'énergie électrique produite tient compte d'un rendement d'environ 40 % (source : Wikipedia).

^f Les coûts des différents matériaux sont des ordres de grandeur issus de différentes sources.

Tableau 1

Valeur énergétique et contribution au réchauffement climatique (en équivalent CO₂) de quelques matériaux, selon l'approche classique (affectation au seul produit principal), et selon l'approche proposée (affectation au prorata de la valeur économique). Dans cette deuxième approche, la clé de répartition est le rapport du chiffre d'affaire généré par un produit sur le total des chiffres d'affaire de l'ensemble des produits.

LA QUESTION DE LA SIGNATURE ÉNERGÉTIQUE DES MATÉRIAUX

Une autre question apparaît à propos de la contribution d'un matériau au bilan global, à savoir celle de sa valeur énergétique. L'énergie est aujourd'hui une ressource rare, et l'épuisement des énergies fossiles non-renouvelables, à un horizon de plus en plus court, apparaît inéluctable. La création d'un objet entraîne ainsi un certain prélèvement sur le stock d'énergie disponible pour l'humanité, dont la quantification constitue un des postes les plus importants de l'ACV.

Pour les matériaux de construction, cette valeur énergétique peut se décomposer en deux parties :

- l'énergie « procédé », c'est-à-dire celle qui a été dépensée dans le processus industriel pour la création d'une unité de masse de matériau ;
- et, pour certains matériaux combustibles, parmi lesquels figurent la plupart des matériaux organiques, l'énergie « matière », que l'on pourrait récupérer en brûlant le matériau en question.

Faut-il compter cette énergie « matière » ? Dans le cas d'une construction en bois- par exemple, un élément de charpente - le prélèvement énergétique sur stock constitué par l'emploi du bois dans une toiture de bâtiment est de nature provisoire. A la fin de la vie de l'ouvrage, la pièce de bois pourra être débitée et utilisée comme bois de chauffage. On peut alors imaginer de ne prendre en compte que l'énergie « procédé ».

Pour le bitume, dont l'énergie « matière » est importante (cf. [tableau 2](#)), on est dans un cas différent : le fait d'utiliser le bitume dans un matériau routier le détourne de façon définitive d'une utilisation énergétique. On pourrait remarquer que le bitume n'est pas utilisé comme carburant. Cependant, il serait utilisable dans des usines de type cimenterie ou centrales thermiques, car il diffère peu des fuels lourds, et, à condition d'utiliser des systèmes de désulfuration, il constituerait un carburant acceptable. D'ailleurs, le bitume n'est plus actuellement un produit « fatal », et l'industrie pétrolière a, dans une certaine mesure au moins, la capacité d'en maîtriser la proportion produite lors du craquage. Enfin, à ceux qui objecteront que le bitume dans la route n'est pas brûlé, et qu'on pourrait le récupérer dans un contexte d'énergie rare, on répondra que l'ACV doit qualifier des techniques existantes, et des processus standards et stabilisés. Or, on ne connaît pas aujourd'hui de cas de route faisant office de mine de combustible...

Tableau 2
*Valeur énergétique de
 quelques matériaux
 organiques, en distinguant
 l'énergie du procédé
 et l'énergie matière.*
 Sources : Hoang [2],
 Wikipedia.

Matériaux	Énergie « procédé » (consommée pour la production), GJ/t	Énergie « matière » (récupérable par combustion), GJ/t	Total (GJ/t)
Bois	5,5	13,1	18,6
Bitume	1,19	39	40,19

LA QUESTION DE LA PRISE EN COMPTE DU RECYCLAGE

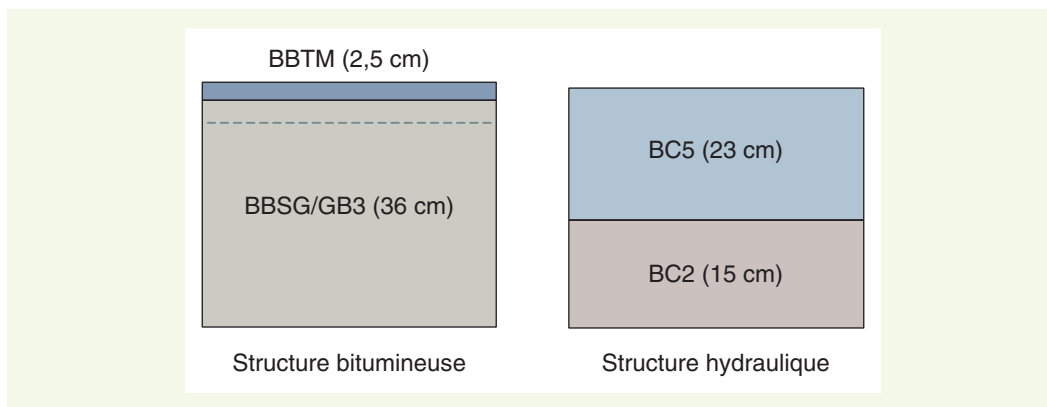
La réutilisation de matériau déconstruit dans la route est une pratique ancienne, qui retrouve à l'heure actuelle un regain d'intérêt, compte tenu notamment de la nécessaire économie des ressources non renouvelables que constituent les granulats. En théorie, l'ACV d'un objet englobe sa fin de vie et son recyclage, c'est-à-dire le processus visant à reconditionner l'objet pour permettre son retour dans le circuit de production et d'utilisation. On a dit les difficultés posées par le concept de fin de vie d'une route. Concernant la réutilisation de la route objet de l'ACV, il est difficile de prévoir si, au bout des 30 ans, la chaussée sera effectivement déconstruite ou simplement recouverte. De même, dans l'hypothèse de déconstruction, quel sera l'usage du produit obtenu ? On sait par exemple qu'un fraisat d'enrobé peut être réutilisé dans un enrobé neuf, dans un matériau traité (le liant pouvant d'ailleurs être hydrocarboné ou hydraulique), ou encore mis en remblais. En bref, la prise en compte dans les calculs d'ACV du devenir ultime des matériaux routiers semble difficile.

Par contre, si on regarde non plus la fin, mais le début de vie, on a la possibilité de substituer à une partie des matériaux neufs des produits issus de la déconstruction d'une autre chaussée. Les textes actuels permettent ainsi, dans un enrobé de surface, d'utiliser 10 % de fraisat, ce pourcentage pouvant monter à 20 % pour une grave-bitume, et ce sans refaire l'étude de formulation de l'enrobé concerné. Ces pourcentages peuvent bien sûr être augmentés, à condition de reformuler les mélanges, voire d'adapter les modes de fabrication. Il s'agit clairement d'une pratique vertueuse, qui a l'avantage non seulement d'économiser des granulats, mais également du bitume. Dans la mesure où les fraisats sont d'origine routière, on peut considérer que leur impact environnemental a été déjà comptabilisé lors de leur vie précédente. Ainsi, contrairement au cas des résidus neufs de procédés thermiques, traité plus haut dans cet article, il semble alors défendable de négliger la contribution de cet apport au nouveau mélange. Les différents indicateurs directement liés aux masses de matériaux neufs utilisés diminueront directement au prorata du taux de recyclage adopté.

APPLICATION : COMPARAISON DU MÈTRE CARRÉ DE CHAUSSÉE ROUTIÈRE, RESPECTIVEMENT EN ENROBE BITUMINEUX ET EN BÉTON DE CIMENT

Afin d'illustrer l'effet de la prise en compte des principes précédemment proposés, on traite ici un cas simplifié, dans lequel on compare deux « scénarios techniques » pour un même problème : construire une chaussée supportant un trafic de type TC 7 - 30 sur une plate-forme de type PF 3. Les structures simulées, présentées à la [figure 1](#), proviennent du catalogue des structures de la Direction des Routes [7]. La première structure, bitumineuse, comporte une couche de roulement en BBTM (béton bitumineux très mince), posée sur une couche de liaison en BBSG (béton bitumineux semi-grenu) et sur trois couches de GB 3 (grave-bitume de classe 3). On admet que la couche de roulement sera renouvelée deux fois pendant les 30 ans de durée de vie escomptée. La deuxième est une structure hydraulique ; elle comporte une dalle goujonnée en béton de ciment de type BC 5, reposant sur une dalle en béton maigre. Son entretien se réduirait à des séquences de grenailage, afin de restaurer l'adhérence qui décroît dans le temps par polissage des granulats.

figure 1
Structures routières comparées [2].

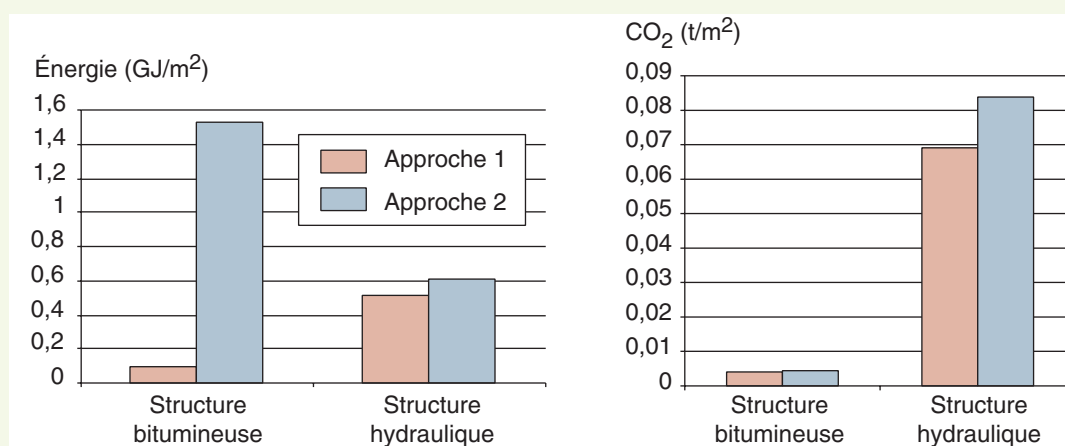


On se restreint dans ces calculs à deux paramètres environnementaux : la valeur énergétique (en GJ/m²) et la masse d'équivalent CO₂ émise. Par abus de langage, on parlera d'énergie et de carbone. Les sommations ne concernent que les matériaux de la chaussée ; on néglige ainsi notamment ceux de la plate-forme support. Les contributions des procédés de transport, de fabrication et de mise en œuvre des mélanges, et de traitement mécanique (grenailage), sont également négligées. Enfin, on ne s'intéresse qu'au mètre carré de chaussée courante, c'est-à-dire qu'on ne prend pas en compte les ouvrages annexes, bandes d'arrêt d'urgence, terre-plein etc. Toutes ces simplifications ont été adoptées afin de faire un calcul « transparent », vérifiable par le lecteur, ce qui est rarement le cas des résultats des logiciels spécialisés d'ACV. Il serait cependant intéressant de reprendre ces calculs dans le cadre d'une approche plus complète, avec prise en compte de l'ensemble des procédés, et avec une évaluation de l'incertitude liée aux marges d'erreur sur les paramètres d'entrée. De même, les différents paramètres d'entrées sont de diverses origines, et sont donc forcément discutables, en l'absence d'une base de données nationale reconnue et partagée.

Dans l'approche 1, on se restreint à la période de construction ; la contribution des coproduits industriels, en l'occurrence de la cendre volante incluse dans le ciment, et l'énergie matière des constituants sont négligés. Enfin, le taux de recyclage des enrobés est pris égal à zéro. Au contraire, les options opposées sont prises dans l'approche 2 : l'entretien pendant la période de service est pris en compte, ainsi que la participation des additions minérales et de l'énergie matière dans les bilans. Les taux de recyclage sont pris égaux à 10 % pour le BBTM, et à 20 % pour la GB. Les résultats de ces calculs apparaissent dans le **tableau 3** et dans la **figure 2**.

figure 2
Comparaison des indicateurs énergie et carbone pour les deux structures, selon les deux approches. Seules les contributions des constituants des mélanges de la chaussée sont prises en compte.

On voit que le cumul des quatre principes adoptés dans l'approche 2 conduit toujours à une augmentation des deux indicateurs sélectionnés. Côté carbone, il y a cependant peu de changement, les structures hydrauliques contribuant bien davantage à l'effet de serre que les structures bitumineuses. Par contre, au plan de l'énergie, la prise en compte de l'énergie matière renverse nettement le classement entre les deux technologies, ce qui était déjà souligné dans la littérature internationale [8].



	Ep. initiale (cm)	Rechar- gement	Taux de recyclage			Approche 1			Approche 2		
			(%)	kg/m ³	kg/m ²	Énergie (GJ/m ²)	CO ₂ (t/m ²)	kg/m ²	Énergie (GJ/m ²)	CO ₂ (t/m ²)	
Structure BBTM/GB											
BBTM	2,5	5 (2 x 2,5)	10 Granulat	1935	858,4	0,095	0,004	778,6	1,524	0,004	
			Bitume	120	38,9		36,8				
GB (+ BBSG)	36		20 Granulat	2250							
			Bitume	100							
Structure BCg/BM											
Béton BC5	23		Granulat	1800	696	0,510	0,069	696	0,613	0,084	
			Ciment CEM II	330	108,9		108,9				
Béton maigre BC2	15		Granulat	1880							
			Ciment CEM II	220							
Goujons (acier)	0,2	% en vol.	Acier		3,611			3,611			

Tableau 3

Calcul des indicateurs pour les deux structures-type, selon les deux approches.

CONCLUSION

L'analyse du cycle de vie est d'application relativement récente dans le domaine de la route, et il n'existe pas encore de consensus sur la meilleure façon de poser le problème. Alors que la communauté technique et scientifique est engagée dans une phase de dialogue, afin de converger vers des approches communes, on a proposé dans cet article quelques principes qui, s'ils étaient appliqués, iraient, du point de vue de l'auteur, dans le sens de l'objectivité, de l'exhaustivité, de l'équité entre les filières et de l'incitation aux pratiques vertueuses, sachant qu'il ne peut exister de vérité absolue, dans un domaine aux frontières des sciences dures, des sciences de l'environnement, de la technologie... et du choix politique. Ces principes sont les suivants :

- ❶ l'ACV *au sens strict* ne peut s'appliquer qu'à une technique connue et stabilisée, les inconnues étant trop nombreuses et prêtant trop à discussion dans le cas d'une technologie innovante ;
- ❷ la période de référence dans l'ACV d'une route doit comporter les phases de production des matériaux, de construction de la chaussée, et également la phase de service, au moins sous l'angle des travaux d'entretien prévisibles, jusqu'à la fin de la vie de la chaussée telle que prise en compte dans le dimensionnement (soit 20 ou 30 ans dans le contexte français, suivant le type de route et le niveau de trafic). Ce parti permet notamment de valoriser la durabilité mécanique des matériaux ;
- ❸ les coproduits industriels minéraux, en particulier ceux issus d'un procédé thermique - laitiers, cendres volantes, fumées de silice etc. - doivent se voir affecter une partie de la charge écologique imputable à leur processus de fabrication (sauf quand ces coproduits sont issus de stocks anciens). La répartition entre le produit principal et les autres coproduits peut se faire au prorata de leur valeur économique ;
- ❹ la valeur énergétique des matériaux combustibles doit, nous semble-t-il, intégrer l'énergie matière libérable par combustion, du moins lorsque les pratiques actuelles montrent que l'usage de ces produits dans l'infrastructure objet de l'analyse les détournent d'une utilisation énergétique. C'est le cas du bitume dans la route ;
- ❺ lorsque des matériaux routiers de déconstruction sont réinjectés dans une construction neuve, leur impact environnemental peut être réduit à celui lié à leur traitement - concassage, criblage - et

à leur transport, en excluant l'impact des constituants d'origine (granulats et liants), déjà pris en compte dans leur vie précédente.

L'observation de ces principes n'est pas sans effet dans les résultats d'une ACV simplifiée appliquée à un cas classiques : une chaussée en enrobé bitumineux comparée à une chaussée en béton. Même s'il serait nécessaire de tester la méthodologie à l'aide d'un logiciel plus professionnel, on peut penser que les conclusions suivantes, relatives aux deux filières « noires » et « blanches », resteraient valables.

Ainsi, pour les chaussées en enrobé, l'énergie apparaît comme un point critique. Si l'on veut réduire significativement cet indicateur, c'est vers le recyclage qu'il faut aller, car, au contraire du béton de ciment, il se traduit par une diminution directe de la quantité de liant neuf utilisé. S'agissant des chaussées en béton de ciment, leur principale faiblesse réside dans la quantité importante de gaz à effet de serre dégagée lors de la production du ciment. La substitution du ciment Portland par des additions minérales issues de procédés thermiques est une voie de réduction de ce ratio ; cependant, le gain est limité par la contribution propre des additions, comme on l'a montré plus haut. D'autre part, on se heurte vite à une limitation de la disponibilité de ces additions, au moins au niveau national. Pour une action plus radicale, une fois le procédé de fabrication du clinker et la formulation du béton optimisés, c'est plutôt vers le captage et la séquestration du gaz carbonique qu'il faudra s'orienter à terme. L'utilisation de ciments non Portland peut aussi constituer une voie de recherche.

Enfin, dans l'exemple simplifié présenté dans cet article, on s'est restreint aux deux indicateurs énergie et carbone. Dans une véritable ACV routière, il faudrait au moins en ajouter un relatif aux ressources non renouvelables.

AVERTISSEMENT

Les idées présentées dans cet article sont celles de l'auteur. Elles n'engagent pas le LCPC en tant qu'organisme.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie Nicolas Decousser (CERIB), Robert Le Roy (Institut Navier), Rémi Pochat et Guillaume Habert (LCPC) pour les échanges et discussions occasionnés par la rédaction de cet article.

RÉFÉRENCES

- 1 **COMITÉ FRANÇAIS DE L'ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE**, « Développement durable - Analyse du cycle de vie », CD-Rom, Paris, **décembre, 2002**.
- 2 **HOANG T.**, « Tronçons autoroutiers : une méthode de modélisation environnementale et économique pour différents scénarios de construction et d'entretien », thèse de l'école centrale et de l'université de Nantes, novembre, 2005. disponible en téléchargement sur <http://www.lcpc.fr>
- 3 **ATELIER** « Outils d'évaluation environnementale des projets d'infrastructure », Journées techniques routes 2008 du LCPC, http://www.lcpc.fr/fr/sources/seminaires/2008_jtr/index.dml
- 4 **CIMBETON**, « Analyse du cycle de vie de structures routières », Collection technique Cimbeton, **janvier, 2006**.
- 5 **INIES**, « Base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction », <http://www.inies.fr/>
- 6 **LCPC**, « Alizé-LCPC Routes, Logiciel de calcul des sollicitations créées par le trafic dans les structures de chaussées, et d'aide au dimensionnement des chaussées selon la méthode rationnelle LCPC-Setra », <http://www.lcpc.fr/fr/produits/alize/index.dml>
- 7 **LCPC/SETRA**, Catalogue des structures types de chaussées neuves, **1998**, 297 p.
- 8 **PONTAROLLO G., SMITH T.**, A Life-Cycle Analysis of the Environmental Impacts of Asphalt and Concrete Roads, Paris 2001 IRF World Road Congress, **2001**.