

# Introduction à l'analyse de cycle de vie

Exemple ACV – comparer des solutions sur un pont



**Adélaïde FERAILLE**

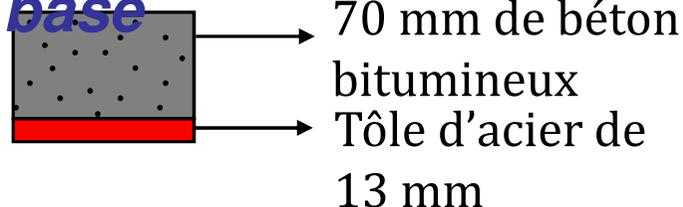
**Travail réalisé par Fernanda Gomes Rivallain**

# Objectif et cadre de l'étude

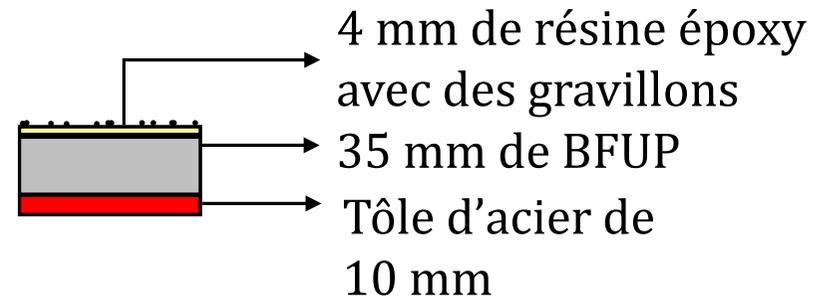
- Comparer deux conceptions alternatives de tablier à dalle orthotrope (notamment distinctes par la nature de leur revêtement) du point de vue de leur bilan environnemental. Il s'agit d'évaluer un ordre de grandeur de l'influence du choix de revêtement sur le bilan environnemental.

## *Solution de*

### *base*



## *Solution innovante*

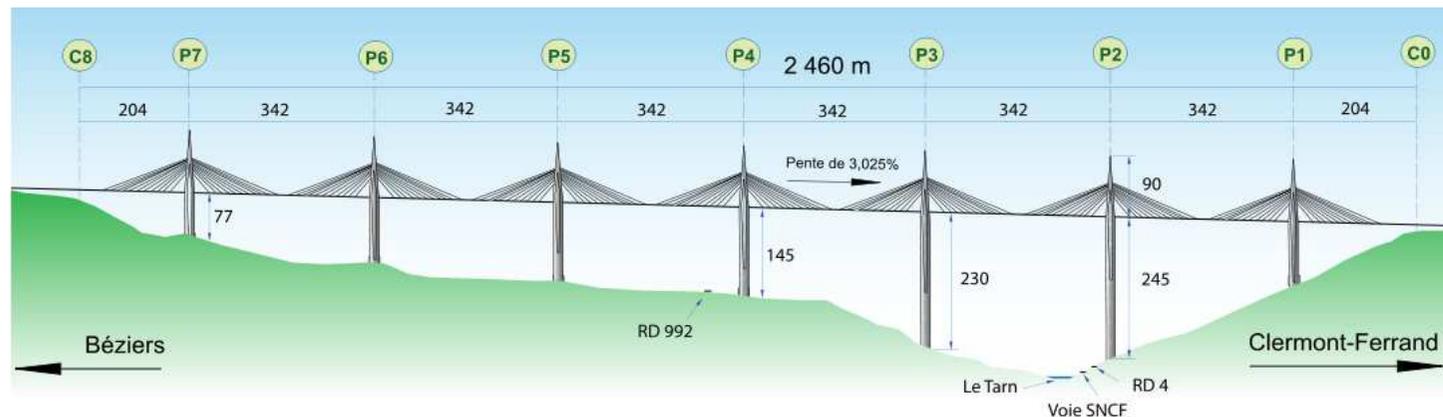


# Objectif et cadre de l'étude

- Le choix d'un type de revêtement ne peut être considéré indépendamment de la conception du reste de l'ouvrage. Des revêtements de chaussée équivalents en béton bitumineux ou en BFUP induisent un poids propre différent au tablier de pont, ce qui impose un dimensionnement propre de la structure : charpente métallique, haubans, appuis, etc.
- L'échelle de la dalle orthotrope qui a été utilisée pour les essais de fatigue n'est plus suffisante dans une perspective d'analyse de cycle de vie. Il est donc nécessaire de considérer globalement un ouvrage d'art mettant en œuvre un tablier à dalle orthotrope.

# Objectif et cadre de l'étude

- Système à l'étude :
  - Viaduc de Millau, pont multi haubané à tablier à dalle orthotrope; les éléments liés à la sécurité, à la signalétique routière, aux infrastructures autoroutières (péages, etc.) ne sont pas considérés dans cette étude; on s'est limités aux structures du génie civil.



# Objectif et cadre de l'étude

- Unité fonctionnelle :

Questions pour définir l'UF :

- Quoi? Fonctions délivrées par le produit étudié ?
- Combien?
- Pendant combien de temps?
- De quelle manière?
- Flux de référence (quantité associée).

## Objectif et cadre de l'étude

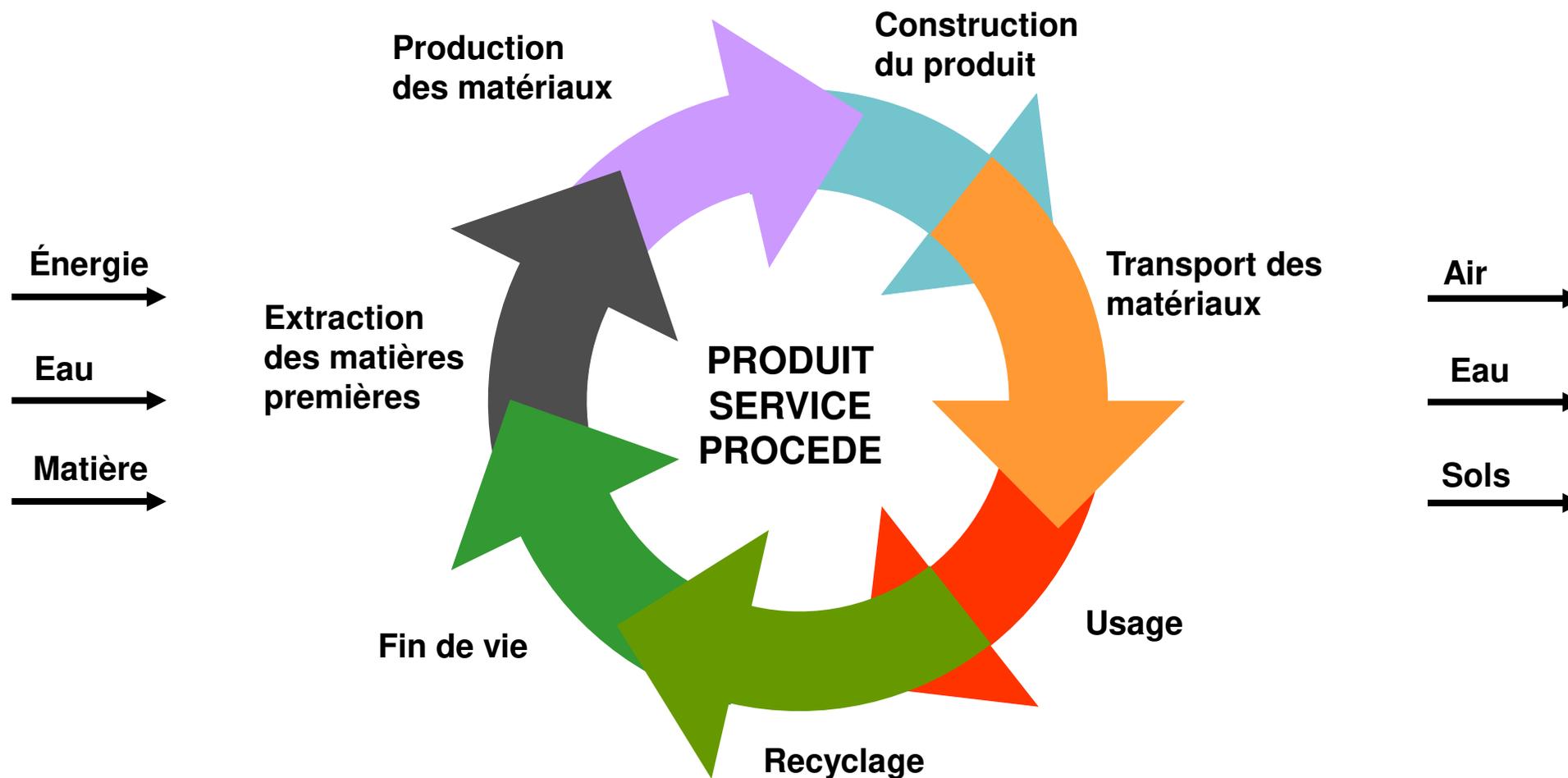
- Unité fonctionnelle :
  - Permettre le franchissement une vallée de 2460 m par un trafic de 13000 véhicules/jours (poids lourds et véhicules légers) et adapté au chargement au vent de la région de Millau, d'une durée de service au moins égale à 120 ans.

## Inventaire de cycle de vie

- Le cycle de vie étudié est du type du « berceau à la tombe » incluant consommations de matières premières, d'énergie, d'eau et les émissions dans les sols, l'air et l'eau, pour le terrassement, les piles, pylônes et haubans, la charpente métallique, le revêtement.

Le cycle de vie modélisé inclut les étapes d'extraction des matières premières, production des matériaux et énergies, le transport des matériaux, la construction sur site du viaduc, la vie en œuvre et les opérations de maintenance ainsi que la fin de vie.

# Inventaire de cycle de vie



# Inventaire de cycle de vie

- Production des matériaux : les principales différences

Type de conception, couche de roulement :	BB	BFUP
Tablier – Acier S355	23 000 t	idem
Tablier – Acier S460	12 500 t	10 900 t
Pylônes – Acier S355	3 200 t	idem
Pylônes – Acier S460	1 400 t	idem
Haubans – Torons T15 Super, classe 1860 MPa	1 500 t	1 380 t
Palées et chevêtres métalliques provisoires – Acier S355	3 200 t	idem
Palées et chevêtres métalliques provisoires – Acier S460	3 200 t	idem
Cage de télescopage	400 t	idem

- Transport des matériaux :

Les distances et les consommations de carburant sont issues entre autres du fascicule FDP 01-015.

## Inventaire de cycle de vie

- Construction :

Terrassement, pompage du béton, soudure des éléments de la charpente métallique, peinture de la face inférieure de la charpente métallique, lançage du tablier de pont par translations successives, mise en œuvre du BB (finisseur, compacteur), soudage treillis soudé pour la solution BFUP...

- Vie en œuvre/Maintenance

- BB :

- 15 ans : rabotage de 20 mm, ajout de 25 mm ;
    - 30 ans : rabotage de 75 mm, ajout de 70 mm ;
    - Etanchéité BB : tous les 30 ans.

- BFUP (résine époxy) : tous les 30 ans.

## Inventaire de cycle de vie

- Fin de vie :

Les volumes de béton ayant été mis en œuvre pour les palées provisoires, et les volumes de matériaux rabotés pendant les opérations de maintenance sont transportés jusqu'au centre de valorisation et de traitement le plus proche où il sont stockés (par hypothèse, 20 km).

Tous les matériaux sont stockés en tant que déchets inertes, même la résine époxy solide.

## *Frontières :*

- Le système étudié exclut la construction des bâtiments des sites industriels nécessaires à la production des matériaux de construction. Il en va de même pour la fabrication et le transport des machines, des outils et des hommes (sauf pour certaines données Ecoinvent).
- Dans cette étude simplifiée, nous ne tenons pas compte de l'influence potentielle du type de revêtement de chaussée sur les consommations énergétiques et l'usure éventuelle des véhicules empruntant les voies de circulation. On ne tient pas compte non plus de la gêne à l'utilisateur liée aux restrictions de circulation lors de travaux de maintenance.

- Epuisement des ressources, naturelles et énergétiques [en kg eq. Antimoine];
- Potentiel de réchauffement climatique ou effet de serre [en kg eq. CO<sub>2</sub>];
- Formation d'ozone photochimique [en kg eq. Ethylène];
- Acidification atmosphérique [en kg eq. SO<sub>2</sub>];
- Consommation d'énergie primaire totale [en MJ].

## Analyse des Inventaires du Cycle de Vie

- Principales bases de données consultées :
  - Ecoinvent, ATILH, WorldSteel, ELCD...
- Données environnementales manquantes ou très génériques :
  - Appuis du tablier, armatures de précontrainte, haubans, couche d'étanchéité...

# Exemple ICV - WorldSteel

Entrants (masse,	1 kg section,	1 kg plaque,	1 kg armature,
Crude oil (resource)	0.006595547	0.05507795	0.01428673
Hard coal (resource)	0.2954381	0.3120015	0.230543
Lignite (resource)	0.06483816	0.04679572	0.01184455
Natural gas (resource)	0.08786871	0.07592976	0.1040016
Uranium (resource)	3.163451E-006	3.003601E-006	1.157212E-006
Iron ore	0.4152018	0.5417098	0.4667641
Limestone (calcium carbonate)	0.05505151	0.06427412	-0.01417849
Dolomite	0.01215827	0.02455242	0.07520957
Tin ore	9.026617E-017	1.938829E-016	1.034312E-016
Water	1.327932	9.985716	11.88696
Tin ore approx 14% tin content.			

Sortants (masse,	EU sections, 85% EoL RR	EU plate, 85% EoL RR	Glo rebar, 85% EoL RR
Cadmium (+II)	2.153E-005	1.652E-005	3.269E-005
Carbon dioxide	1082	1201	949.5
Carbon monoxide	11.2	11.77	7.852
Chromium (total)	0.0001336	0.0003292	0.0004749
Dioxins (unspec.)	8.87E-009	7.176E-009	1.956E-008
Hydrogen chloride	0.02499	0.03135	0.03105
Hydrogen sulphide	0.05177	0.06525	0.05164
Lead (+II)	0.001025	0.0009536	0.001615
Mercury (+II)	7.415E-005	7.893E-005	9.742E-005
Methane	2.739	2.788	2.372
Nitrogen dioxide	-0.0001236	-0.007227	-0.001916
Nitrogen oxides	1.973	2.355	1.53
Nitrous oxide (laughing gas)	0.01165	0.01759	0.0953
NM VOC (unspecified)	0.0913	0.0709	0.138
Particles to air	0.5824	0.8926	0.6627
Sulphur dioxide	0.8892	1.1	1.333
Sulphur oxides (as SO <sub>2</sub> )	0.8227	1.304	0.3881

# Exemple Fiche DIOGEN



Produit	ACIER / Tôles fortes et profilés
Usages principaux	Structures métalliques
Caractéristiques principales	Nuances S235 à S960
Commentaires	Profilés laminés à chaud et tôles fortes - Geste sidérurgie (hors transformation - découpe, soudage, ... - et transport ultérieur)
Date de mise à jour de la fiche	30/03/2011

## INDICE DE CONFIANCE

Classe de données	Information prochainement accessible
Origine	Données génériques
Commentaires	Résulte d'une moyenne de l'ensemble des produits, sur 8 sites de production, toutes filières (fonte/électrique), complétée par des données de la base "Gabal"
Reserve	Donnée moyennée
Typologie (en cours d'évaluation)	E0 E1 E2 E3 E4 E6
	information prochainement accessible

## IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX selon la NF P01-010

Catégorie d'impact	Unité	Acier structurel : tôles fortes et profilés
Unité de référence du produit		kg
Consommation de ressources énergétiques		
énergie primaire totale	MJ	
énergie renouvelable		6,50E+01
énergie non renouvelable		1,95E+01
Épuisement de ressources	kg eq. Sb	9,77E+03
Consommation d'eau totale	l	6,75E+00
Déchets solides		4,53E+00
déchets valorisés total		
déchets éliminés :		
déchets dangereux	kg	
déchets non dangereux		
déchets inertes		
déchets radioactifs		
Changement climatique	kg eq. CO2	1,68E+00
Acidification atmosphérique	kg eq. SO2	3,47E+03
Pollution de l'air	m3	
Pollution de l'eau	m3	
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg eq. CFC-11	3,19E+08
Formation d'ozone photochimique	kg O2H4	7,55E+04

## IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX complémentaires

Catégorie d'impact	Unité	Acier structurel : tôles fortes et profilés
Unité de référence du produit		kg
Eutrophisation	kg PO4 3- eq	2,89E-04

## REFERENCE

Base de données de référence / accessibilité	Baufbrumstahl / EPD-BFD-2010111-E / www.bau-umwelt.com
Date de publication / de référence des données	publication 05/10/2010 - données de 2007/2008
Données complémentaires	La fiche comprend en outre des estimations relatives à la fin de vie, non prises en compte dans l'approche DIOGEN

## HYPOTHESES TECHNOLOGIQUES

Technologie / Procédé de production	Laminage à chaud
Fillière de production	haut fourneau et électrique, proportion non précisée - sites majoritairement européens
Données complémentaires	

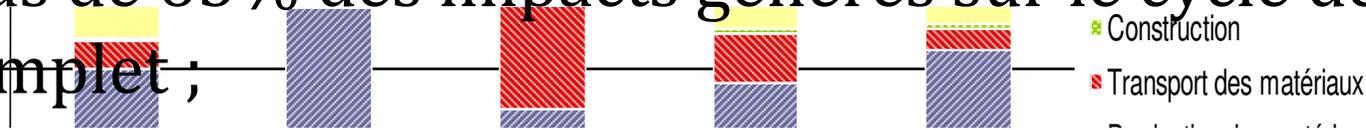
## HYPOTHESES MODULE D'INFORMATIONS ENVIRONNEMENTALES

Description de l'unité déclarée	1 kg d'acier structurel (profilé laminé ou tôle forte)
Hypothèses d'allocation (oulinon)	oui
si oui: type d'allocation (expansion de système/ répartition)	expansion
si répartition: type (massique, énergétique, économique)	non renseigné
Limites du système	
Liste des procédés d'extraction des matières premières	éléments disponibles dans la fiche
Liste des procédés de transformation de la matière	éléments disponibles dans la fiche
Composition du mix énergétique pour l'électricité	non renseigné
Distance totale des transports	non renseigné
Mix des modes de transports pris en compte (route, rail, fluvial, maritime)	non renseigné
Règle de coupure adoptée	1%

Cette fiche ne prend pas en compte la fin de vie, qui doit être ajustée au contexte particulier de l'étude. Des éléments sont disponibles sur www.bau-umwelt.com. L'acier est considéré comme un matériau en général facilement recyclable s'il est accessible.

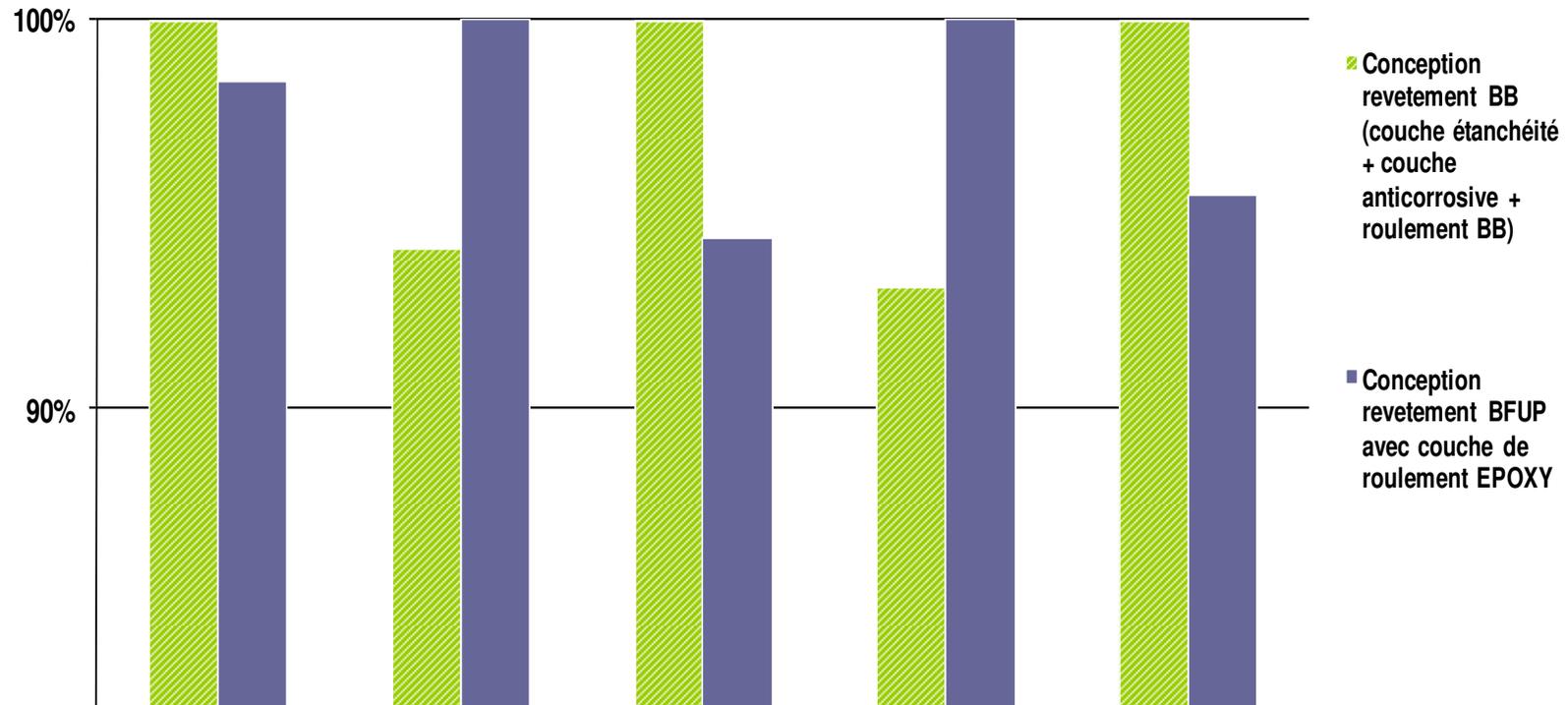
## Résultats et Interprétations (exemple BFUP)

- La phase de production des matériaux représente plus de 65% des impacts générés sur le cycle de vie complet ;



- Les impacts calculés pour les procédés de construction modélisés apparaissent négligeables ;
- Les impacts générés par les phases de transport des matériaux et de fin de vie sont faibles par rapport au cycle de vie complet ;
- La solution de revêtement du platelage acier représente des impacts sur l'environnement tout à fait non négligeables : 4% à 24% suivant les indicateurs et la conception retenue.

## Résultats et Interprétations (comparaison)



- Aucune des solutions ne permet de réduire le bilan environnemental de l'ouvrage sur tous les indicateurs considérés, sans exception : les différences sont toujours inférieures à 7%.

## Conclusions de l'étude

- Le choix de la solution de revêtement pour le platelage des dalles implique des impacts environnementaux non négligeables sur le cycle de vie de l'ouvrage, y compris à l'échelle du viaduc : 4% à 24% suivant les indicateurs et la conception retenue. La phase de maintenance, en particulier, est responsable de larges impacts sur l'environnement;

## Conclusions de l'étude

- L'association du matériau BFUP à une couche de roulement différente de la résine époxy actuelle fournirait sans doute une voie de recherche prometteuse;
- Manque des données environnementales spécifiques pour le génie civil.