

*Rapport d'étude*

# Étude des éco-comparateurs

Phase 1 - Synthèse d'études de cas

Juillet 2016



## Rédacteurs

Céline LENGLET – Cerema - Sud-Ouest

téléphone : 33 (0)5 56 70 63 52

mél : [celine.lenglet@cerema.fr](mailto:celine.lenglet@cerema.fr)

Laurent MORICEAU – Cerema - Sud-Ouest

téléphone : 33 (0)5 56 70 67 56

mél : [laurent.moriceau@cerema.fr](mailto:laurent.moriceau@cerema.fr)

## Relecteurs

Sarah GOYER - Cerema - Ouest

téléphone : 33 (0)2 96 75 93 25

mél : [sarah.goyer@cerema.fr](mailto:sarah.goyer@cerema.fr)

Thibaut LAMBERT - Cerema - Est

téléphone : 33 (0)3 88 77 46 14

mél : [thibaut.lambert@cerema.fr](mailto:thibaut.lambert@cerema.fr)

Arnaud FEESER - Cerema - Est

téléphone : 33 (0)3 88 77 46 50

mél : [arnaud.feesser@cerema.fr](mailto:arnaud.feesser@cerema.fr)

Joel M'BALLA - Cerema - Infrastructures de transport et matériaux

téléphone : 33 (0)0 60 52 31 3

mél : [joel.mballa@cerema.fr](mailto:joel.mballa@cerema.fr)

# Sommaire

<b>1 - INTRODUCTION.....</b>	<b>5</b>
<b>2 - FICHES DE CAS RETENUES.....</b>	<b>6</b>
<b>3 - COMPARAISON DES ÉCO-COMPARATEURS.....</b>	<b>7</b>
3.1 - Présentation des différents types d'éco-comparateurs.....	7
3.2 - Architecture des programmes SEVE et ECORCE.....	9
3.3 - Analyse et comparaison des éco-comparateurs retenus dans l'étude .....	10
<b>4 - COMPARAISONS DE TECHNIQUES ÉQUIVALENTES.....</b>	<b>11</b>
4.1 - Couche de forme : matériau d'apport ou matériau du site traité.....	11
4.2 - Béton ou enrobé.....	11
4.3 - Grave-émulsion (GE) ou Grave Bitume (GB).....	11
4.4 - Grave Bitume de classe 3 ou de classe 4 (GB3 – GB4).....	12
4.5 - Techniques d'entretien.....	12
<b>5 - RÉPARTITION DES IMPACTS ET PARAMÈTRES INFLUENTS.....</b>	<b>13</b>
5.1 - Phases de construction.....	13
5.2 - Postes matériaux, transport, mise en œuvre.....	13
5.3 - Fabrication des enrobés.....	14
<b>6 - CADRE D'UTILISATION DES ÉCO-COMPARATEURS.....</b>	<b>14</b>
<b>7 - POINTS DE VIGILANCE SUR L'UTILISATION DES ÉCO-COMPARATEURS.....</b>	<b>15</b>
<b>8 - PERSPECTIVES.....</b>	<b>16</b>
<b>GLOSSAIRE.....</b>	<b>17</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>19</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>20</b>

## Avant propos

Le Pôle de Compétences et d'Innovation « Évaluation des Projets et Politiques de Transport » (PCI EPPT) mis en place suite à la publication de la circulaire du 9 décembre 2008, est un groupe de réflexion qui contribue d'un point de vue méthodologique à l'évolution des référentiels et instructions cadre.

Souvent sollicité par les services de l'administration centrale en vue de contribuer à l'amélioration des méthodes et pratiques d'évaluation des projets et politiques de transport au sein du ministère, ses travaux s'orientent sur deux thématiques :

- l'acceptabilité sociale des projets et politiques de transport en s'intéressant aux démarches de concertation qui jalonnent le déroulement des études d'un projet d'infrastructures de transport ;
- l'évaluation socio-économique des projets et politiques de transport en s'intéressant non seulement aux méthodes et outils d'évaluation économique des impacts des projets de transport, mais aussi à leur évaluation environnementale en monétarisant ces différents impacts.

Cette étude sur les éco-comparateurs est rattachée à la thématique de l'évaluation socio-économique et s'insère dans le volet de l'évaluation des impacts environnementaux des transports. Dans ce volet, les études réalisées visent à définir des propositions en vue d'assurer une comparabilité globale des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur l'ensemble des phases fonctionnelles de la route (construction, entretien, fin de vie exploitation...).

Inscrite au programme des travaux du PCI EPPT en 2013, cette étude est séparée en 3 phases :

- Phase 1 : Cette phase, objet du présent document, capitalise les études réalisées par le Cerema (Dter Est, Dter Ouest et Dter Sud-Ouest) à l'aide d'éco-comparateurs. Ces études de cas particulières ont permis de mettre en évidence différents exemples d'utilisation des éco-comparateurs. Leur analyse a permis de faire ressortir des tendances relatives à l'impact environnemental de différentes techniques routières, de mettre en évidence des paramètres influents ainsi que des recommandations d'emploi ou des points de vigilance.
- Phase 2 : Cette phase compare de manière plus approfondie les données d'entrée des logiciels SEVE (v2) et ECORCE (v2.0), et notamment les facteurs d'émission utilisés.
- Phase 3 : Cette phase vise à comparer sur un cycle de vie le bilan environnemental de différentes structures de chaussées à partir d'un éco-comparateur. Alors que les bilans environnementaux sont souvent limités à la seule phase de construction, cette étude permettra d'évaluer l'incidence des politiques de dimensionnement initiales et de différentes politiques d'entretien.

# 1 - Introduction

Les éco-comparateurs sont des outils d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage. À la conception, ils permettent de comparer l'impact écologique de tracés, de variantes constructives pour un projet d'infrastructure de transport, ou d'opérations d'entretien.

De nombreux éco-comparateurs sont disponibles avec des fonctionnalités et des spécificités différentes :

- ECORCE (Eco-comparateur Route Construction Entretien) est un outil développé par le LCPC (devenu Ifsttar) ;
- SEVE (Système d'Evaluation de Variantes Environnementales) est un outil diffusé par l'Usirf (Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française) ;
- Bilan Carbone® est une méthode mise au point par l'Ademe et faisant l'objet d'un applicatif désormais diffusé par l'association ABC ;
- Variways® est un éco-comparateur de variantes routières mis au point par Egis.

Le présent rapport, consiste en une capitalisation des études de cas déjà réalisées au sein du Cerema, par les laboratoires de Bordeaux, de Saint-Brieuc et de Strasbourg.

Ces études de cas ont permis de mettre en évidence différents champs d'utilisation des éco-comparateurs (comparaison de variantes, opérations d'entretien routier, construction d'infrastructure, etc.). Elles ont permis de comparer, sur des exemples spécifiques, l'impact environnemental de différentes techniques routières ainsi que les résultats donnés par deux éco-comparateurs SEVE et ECORCE,

Leur examen a permis de faire ressortir des tendances, de mettre en évidence des paramètres influents ainsi que des points de vigilance, tels que la prise en compte de la durabilité des techniques.



*Illustration 1: Travaux de doublement de l'autoroute A9 au niveau de Montpellier  
(Sources : Cerema ITM)*

## 2 - Fiches de cas retenues

Les études de cas retenues ont été réalisées par les laboratoires de Bordeaux, Saint-Brieuc et Strasbourg et représentent un panel assez large de techniques routières. Afin de capitaliser les études de cas, un modèle de fiche commun et synthétique a été établi.

### Laboratoire de Bordeaux :

- comparaison chaussée enrobés bitumineux / chaussée béton (non armé) : fiche n°1
- analyse d'offres travaux de chaussées, bilan initial et après travaux : fiche n°2

### Laboratoire de Saint-Brieuc :

- étude de sensibilité sur un enduit mono-couche (paramètres de formulation et mise en œuvre) : fiche n°3
- étude de sensibilité sur grave-émulsion et grave-bitume (paramètres de formulation et mise en œuvre) : fiche n°4
- scénarios d'entretien structurel : fiche n°5
- scénarios d'entretien, reprise de déformations : fiche n°6

### Laboratoire de Strasbourg :

- analyse de variantes chaussées (enrobé tiède/chaud, GB4) : fiche n°7
- analyse de variantes terrassement (couche de forme non traitée granulats naturels/recyclés ou traitée en place) : fiche n°8
- analyse de variantes terrassement et chaussées : fiche n°9

À partir de ces différentes études de cas, plusieurs analyses ont pu être effectuées, portant sur :

- le champ d'utilisation des éco-comparateurs ;
- la comparaison des résultats donnés par les deux éco-comparateurs SEVE et ECORCE sur un même cas ;
- le bilan environnemental de différentes techniques de chaussée ou de terrassement offrant des performances techniques équivalentes, ainsi que de différents scénarios d'entretien.

## 3 - Comparaison des éco-comparateurs

### 3.1 - Présentation des différents types d'éco-comparateurs

#### Eco-comparateurs « génériques »

La méthode « Bilan Carbone® », développée par l'Ademe, permet de comptabiliser les émissions, directes ou indirectes, de gaz à effet de serre d'une activité ou d'un site. Le Bilan Carbone® s'applique à tous types d'activités : aux entreprises et associations de tout secteur et de toute taille, aux administrations, collectivités et territoires ainsi qu'aux événements. Bilan Carbone® est adapté au calcul des émissions de gaz à effet de serre générées par une activité et non par un produit. En effet, le calcul de l'impact environnemental d'un produit nécessite une analyse de cycle de vie.

#### Eco-comparateurs type « métier »

L'acte marquant de la création de ces outils est la signature par les représentants de la profession (FNTP<sup>1</sup>, SPTF<sup>2</sup>, USIRF, Syntec-Ingénierie), l'État (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie) et l'assemblée des départements de France de la Convention d'Engagement Volontaire en 2009. Cette convention comporte notamment l'objectif suivant :

« Accroître la performance environnementale des entreprises et de la Route : Afin de favoriser la comparaison des solutions environnementales, un « éco-comparateur » commun aux entreprises sera mis en place. Les indicateurs porteront sur : l'énergie consommée, les émissions de gaz à effet de serre, la préservation de la ressource naturelle. Cet « éco-comparateur » qui verra le jour au second semestre 2009 devrait être validé par la puissance publique. »

Plusieurs outils ont été créés, spécifiques au domaine routier, mais ces logiciels ne retiennent pas les mêmes indicateurs, les mêmes périmètres, et n'ont pas de base de données commune. L'IDRRIM (Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) a donc formé un groupe spécialisé « Eco-comparateurs » en lien avec l'OEET (Observatoire Énergie Environnement Transports) afin de valider les outils existants dans le domaine des travaux publics. En 2013, trois outils ont fait l'objet d'un avis technique IDRRIM :

- ECORCE : ECO-comparateur Routes Construction Entretien V2.0 (Ifsttar) : avis technique n°158
- SEVE : Système d'Évaluation de Variantes Environnementales V 2.0 (USIRF) : avis technique n°160
- Variways® : l'éco-comparateur de variantes routières V 1.1 (Egis) : avis technique n°159. Contrairement au deux premiers outils, dédiés à la construction de l'infrastructure, le logiciel Variways®, est un éco-comparateur dédié à la comparaison environnementale de la phase d'usage d'une infrastructure.

Egis a également développé deux éco-comparateurs permettant d'évaluer des variantes d'infrastructures routières en phase construction (avec les critères carbone et énergie) : Masster et ImpRoad.

Les principales différences entre ces outils métiers sont récapitulées dans le tableau 1.

1 FNTP : Fédération Nationale des Travaux Publics

2 SPTF : Syndicat Professionnel des Terrassiers de France

## Principales caractéristiques des éco-comparateurs type « métier »

Nom	Variways	MassTer	ImpRoad	SEVE	ECORCE
Propriétaire	Egis			Usirf	Ifsttar
Diffusion	Non (logiciel interne)			Oui (payant)	Oui (gratuit)
Utilisateurs	EGIS pour le compte de MOA			MOA / MOE / Entreprises / Universités	MOA / MOE / Entreprises / Universités
Utilisation	Comparaison de variantes routières (géométrie, vitesse, trafic...)	Aide à la conception et à l'optimisation du mouvement des terres	Comparaison de structures de chaussées	Comparaison de structures de chaussées	Comparaison de structures de chaussées et de terrassement
Indicateurs	GES, énergie	GES, énergie	GES, énergie, granulats, % agrégats	GES, énergie, granulats, % agrégats, tonnes transportées, possibilité d'intégrer des données spécifiques	GES, énergie, matériaux (dont agrégats), eau, acidification, eutrophisation, ozone photochimique, éco- toxicité, toxicité chronique
Revue critique de l'outil	Non			oui	non, mais données soumises à avis d'expert
Origine des données	Copert IV Note 92 SETRA Rapport Setra (mai 2010) sur monétarisation des externalités environnementales			Toutes les données sont issues des ICV <sup>3</sup> des spécialités (Euro Bitume, Union nationale des producteurs de granulats, etc.) et / ou justifiées	Les données proviennent des ICV fournis par les producteurs généralement regroupés entre eux (ATILH, UPC, Eurobitume...), des données publiées dans la littérature après revue (y compris publication Ifsttar), des normes. Le manuel de référence décrit les données utilisées.

Tableau 1 : comparaison des outils « métier »

## 3.2 - Architecture des programmes SEVE et ECORCE

### Architecture des programmes

Le logiciel ECORCE articule son fonctionnement autour de l'ouvrage fini. Pour établir les volumes de matériaux à considérer dans le calcul, la première étape consiste à définir l'ouvrage dans sa géométrie (surfaces et épaisseurs de couches). Dans un second temps, chacune des couches est définie par un matériau (caractérisé par sa masse volumique en place et sa distance de transport) lui-même décomposé en constituants déclinés selon leurs caractéristiques respectives (provenance, mode d'acheminement, taux constitutif dans le mélange). Cette structuration permet de décomposer le chantier niveau par niveau, de détailler l'ensemble des phases et donc de limiter les risques d'erreur ou les oublis. De plus, elle a l'avantage de toujours garder la référence de l'ouvrage complet.

Le logiciel SEVE, quant à lui, nécessite le renseignement de quantités de matériaux consommés (tonnes), avec pour paramètre les distances d'acheminement.

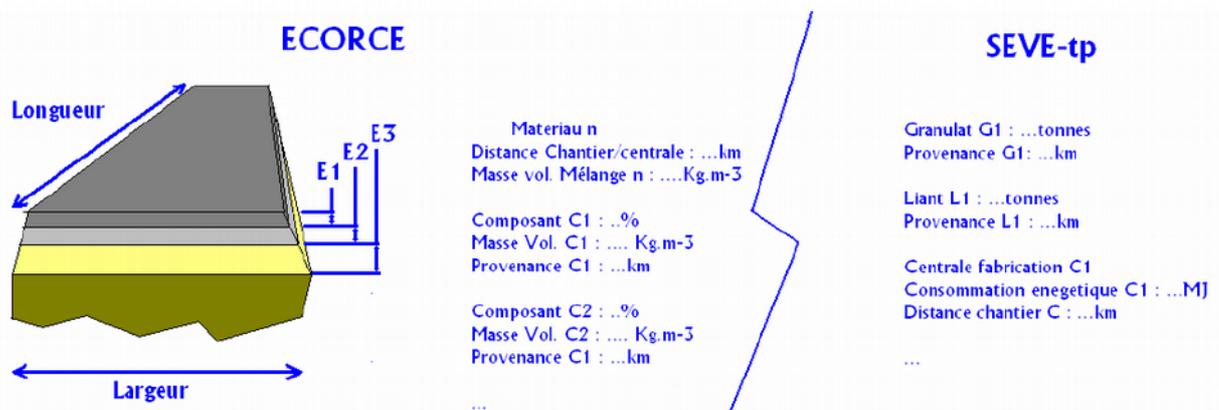


Schéma n°1 : Architecture des logiciels SEVE et ECORCE (Sources)

L'expression en tonnes correspond aux unités utilisées par la maîtrise d'œuvre dans le cadre du détail estimatif. Ainsi, pour l'utilisation d'ECORCE, il peut être nécessaire de corriger les quantités du détail estimatif exprimées en tonnes selon les masses volumiques réelles des granulats et des enrobés données dans les mémoires techniques.

### Utilisation - données pré-établies :

Pour l'utilisateur, il est confortable d'avoir accès à des données pré-établies dans l'éco-comparateur. Cependant, il faut s'assurer qu'elles soient représentatives du chantier étudié. Des données pré-établies sont fournies pour les ateliers de mise en œuvre dans SEVE et pour les températures de fabrication d'enrobés en centrale dans ECORCE.

Les données pré-établies sont particulièrement appréciables pour les modélisations a priori (phase amont) et pour les paramètres dont le contrôle est difficile à mettre en œuvre en phase travaux. Toutefois, si l'offre d'une entreprise est valorisée sur son aspect environnemental, les engagements de cette offre doivent pouvoir être suivis lors des travaux.

### **3.3 - Analyse et comparaison des éco-comparateurs retenus dans l'étude**

#### **Analyse des outils retenus dans l'étude**

Dans le domaine routier, les laboratoires ayant participé à l'étude utilisent seulement SEVE et ECORCE qui sont des éco-comparateurs orientés « métier ». Lors du cadrage de l'étude, il avait été envisagé d'utiliser également l'éco-comparateur « Bilan Carbone® » et les outils développés par Egis. Ces outils, internes à Egis, n'étaient pas disponibles à ce stade de l'étude.

La comparaison des émissions de gaz à effet de serre entre ECORCE et Bilan Carbone® a été réalisée dans le cadre d'études précédentes, visant à évaluer le logiciel ECORCE. Il est intéressant de rappeler ici les principaux résultats de ces études, avant de procéder à la comparaison des éco-comparateurs SEVE et ECORCE.

#### **Comparaison des résultats issus d'ECORCE v1 et Bilan Carbone®**

Quelques études de comparaison d'ECORCE avec Bilan Carbone® ont été réalisées dans le cadre de l'élaboration du cadre méthodologique d'ECORCE ([1] ou du PCI EPPT (comparaison de variantes sur un chantier d'entretien [2] ). Elles montrent des écarts parfois importants, dans les émissions de gaz à effet de serre calculés par les deux outils.

La comparaison entre ECORCE v1 et Bilan Carbone®, menée sur un cas théorique de structure de chaussée mixte ([1] ) montre des écarts importants entre les deux outils sur les émissions de gaz à effet de serre liées au poste « granulats » et dans une moindre mesure au poste « bitume ».

Ces écarts s'expliquent par l'utilisation de facteurs d'émission différents dans les deux outils. Ils proviennent essentiellement des données utilisées (de sources différentes dans le cas des granulats), ou des frontières du système environnemental pris en compte (l'intégration ou non des émissions liées aux procédés de fabrication de l'énergie dans les facteurs d'émission dans le cas du bitume).

La comparaison entre ECORCE v1 et Bilan Carbone® réalisée sur différentes variantes d'un chantier d'entretien réel ([2] ), avec un EME (Enrobé à Module Élevé) et un BBTM (Béton Bitumineux Très Mince) a mis en évidence une différence significative sur le poste matériau, due à des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre beaucoup plus élevés dans Bilan Carbone® pour les agrégats et le béton bitumineux.

#### **Comparaison des résultats issus d'ECORCE 2.0 et SEVE**

L'examen des avis techniques IDDRIM n°158 et 160 permettent de comparer les bilans environnementaux globaux donnés par SEVE et ECORCE 2.0 dans le cas d'un chantier urbain (réalisation d'un trottoir de 500 m<sup>2</sup>) et inter-urbain (30 000m<sup>2</sup>). La comparaison montre des écarts variant entre 3 et 18 % pour l'énergie, et entre 1 et 10 % pour les émissions de gaz à effet de serre.

Les fiches de cas n°1 et n°2 ont permis de compléter cette comparaison de SEVE et ECORCE sur d'autres cas de structures de chaussées. Elles mettent en évidence les éléments suivants :

- les bilans environnementaux donnés par les deux logiciels pour les gaz à effet de serre et l'énergie sont du même ordre de grandeur puisque les écarts observés sur les modélisations présentées varient de 3 à 8 %. Cela rejoint les observations précédemment faites à partir des informations contenues dans les avis IDDRIM ;
- les valeurs calculées par les deux logiciels pour chacun des postes contribuant au bilan global sont toutefois différentes et ne peuvent pas être comparées entre elles.
- Une analyse fine des résultats montre que des écarts significatifs existent sur certains postes (les postes « matériaux », « fabrication de l'enrobé » notamment).

Ces écarts peuvent provenir d'une différence de périmètre du système environnemental (la prise en compte par SEVE de l'impact environnemental de la construction des infrastructures de production par exemple) ou l'utilisation de données de sources différentes. Une analyse détaillée de ces écarts sera réalisée dans le rapport phase 2.

## 4 - Comparaisons de techniques équivalentes

Dans cette partie, quelques techniques de chaussée sont comparées à partir des résultats fournis par les éco-comparateurs métiers (SEVE et ECORCE). S'ils indiquent des tendances et donnent des ordres de grandeur, les exemples cités correspondent à des cas d'études spécifiques et ne sont pas généralisables à d'autres chantiers ou projets routiers. Le bilan environnemental dépend en effet fortement du contexte local et des caractéristiques du chantier (distances de transport, volumes de matériaux...).

### 4.1 - Couche de forme : matériau d'apport ou matériau du site traité

À l'exception des indicateurs « acidification » et « eutrophisation », la fiche de cas n°8 montre que la solution avec traitement au liant hydraulique est plus impactante que la solution avec matériau d'apport, qu'il s'agisse de granulats recyclés ou naturels. Même si cette analyse dépend des distances de transport prises en compte, il faudrait des distances extrêmement élevées pour compenser les écarts constatés.

Cependant, le traitement permet l'économie en ressources naturelles, non traduite par les indicateurs utilisés, mais qu'il importe de valoriser, ainsi qu'une diminution de la gêne à l'usager.

### 4.2 - Béton ou enrobé

La fiche de cas n°1 montre qu'une structure de chaussée utilisant le béton a un impact environnemental beaucoup plus important sur le flux énergie et l'indicateur gaz à effet de serre qu'une structure de chaussée bitumineuse de performance équivalente en raison de l'utilisation de clinker (deux fois plus d'énergie consommée et trois fois plus de GES émis).

Cet écart, valable quel que soit l'éco-comparateur utilisé, peut être nuancé par le fait que le paramètre de durée de vie n'est pas parfaitement intégré, car il peut être sous-estimé pour les solutions béton qui ont tendance à être surdimensionnées d'un point de vue mécanique.

Par ailleurs, le choix du liant hydraulique, et notamment sa teneur en clinker, est déterminant. Les solutions béton gardent leur domaine d'application spécifique au trafic lourd et aux effets de cisaillement. Il serait intéressant d'examiner l'impact des solutions grave ciment qui sont moins dosées en liant et utilisent potentiellement des liants moins riches en clinker.

### 4.3 - Grave-émulsion (GE) ou Grave Bitume (GB)

Pour une même épaisseur, une même teneur en liant, et de mêmes distances de transport, la fiche de cas n°4 montre que la consommation d'énergie d'une solution en grave bitume est quasiment doublée par rapport à une solution en grave émulsion.

L'écart entre les deux techniques (grave-émulsion et grave-bitume) est principalement lié à la phase fabrication en centrale :

- la grave-bitume est élaborée en centrale d'enrobage à chaud ;
- la grave-émulsion est élaborée à froid, en centrale de malaxage.

De plus, l'exemple fait ressortir que la part de fabrication pour la grave-émulsion (incluant le procédé de mise en émulsion) représente à peine 4 % du total, contre environ 50 % pour les enrobés à chaud.

La fiche de cas n°5 montre qu'un sur-dimensionnement de 2 cm de la grave émulsion basé sur les préconisations de certains catalogues régionaux<sup>4</sup> ne modifie pas les tendances constatées. Par ailleurs, ce cas met en évidence :

- l'impact prépondérant du bitume : 50 % de la consommation d'énergie pour les techniques à froid ;
- l'impact important de la fabrication à chaud, en centrale.

Même avec un sur-dimensionnement initial de 2 cm, les techniques en grave-émulsion restent très intéressantes par rapport aux techniques en grave bitume, du fait de l'absence de chauffage des granulats : Pour annuler ce gain en gaz à effet de serre, il faudrait, par exemple, augmenter fortement la part transport (soit dans ce cas particulier, un éloignement de la centrale de GE d'au moins 300 km).

## 4.4 - Grave Bitume de classe 3 ou de classe 4 (GB3 – GB4)

Une grave bitume de classe 4, plus performante, permet pour une épaisseur de mise en œuvre moindre de supporter un trafic équivalent à une Grave Bitume de classe 3, toutes choses égales par ailleurs.

La fiche de cas n° 7 montre que le gain d'épaisseur apporté par ce matériau (13 cm de GB4 par rapport à 16 cm de GB3 apporte un gain global d'environ 20 % sur l'ensemble des indicateurs. Des gains liés à la réduction d'épaisseur sont également observés dans la fiche de cas n°9 où, à performances équivalentes, 24 cm de GB3 sont remplacés par 20 cm de GB4.

## 4.5 - Techniques d'entretien

Dans cette partie, les bilans environnementaux de différentes techniques d'entretien sont présentés. Ils portent sur des chaussées faiblement déformées et des chaussées fortement déformées.

### Chaussées faiblement déformées

Plusieurs techniques d'entretien permettant le reprofilage de chaussées faiblement déformées ont été comparées dans la fiche de cas n°6 :

- un reprofilage en grave-émulsion (50 kg/m<sup>3</sup>) recouvert par un enduit bicouche ou un matériau bitumineux à froid (3 cm) ;
- un reprofilage par un BBSG (6cm).

Les résultats, en termes d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre, donnent les mêmes tendances :

- si la quantité de matériaux mis en œuvre est plus importante, il y a une augmentation de la consommation d'énergie et/ou des émissions de gaz à effet de serre ;
- la part de fabrication en centrale à chaud est impactante ;
- la part de fabrication à froid, en additionnant les procédés de mise en émulsion et de mélange en centrale, représente dans cet exemple moins de 3 % du bilan énergie ou de gaz à effet de serre).

### Chaussées fortement déformées

Plusieurs techniques permettant le reprofilage de chaussées fortement déformées ont été étudiées et comparées dans la fiche de cas n°6 :

---

4 À noter que la réalisation d'une analyse de cycle de vie sur les graves émulsion est rendue difficile par le manque de méthode de dimensionnement pour ces types de matériaux. Les dimensionnements généralement utilisés sont issus de catalogues régionaux.

- un reprofilage en grave-émulsion (90 kg/m<sup>3</sup>) recouvert par un enduit bicouche ou par un matériau bitumineux à froid (3 cm) ;
- un retraitement en place à l'émulsion recouvert par un enduit bicouche ou par un matériau bitumineux à froid (3 cm) ;
- une solution de reprofilage en BBSG (6 cm).

Les résultats (en termes d'énergie et de GES) donnent logiquement les mêmes conclusions que précédemment, avec tout de même une augmentation de la consommation en énergie et des émissions de GES, liée aux quantités de matériaux mis en œuvre plus importantes.

Pour le retraitement en place, malgré l'absence de transport de granulats pour la couche retraitée, la part de transport reste importante dans cet exemple, puisqu'elle intègre le déplacement de l'atelier. C'est un biais dû à ce cas théorique de 1 000 m<sup>2</sup> qui en pratique ne justifierait pas le déplacement d'un atelier de retraitement, usuellement déporté à partir de 45 000 m<sup>2</sup>.

Il est également observé que la part de consommation des engins de mise en œuvre est plus importante que pour une grave-émulsion de reprofilage, puisque l'atelier réunit les fonctions de fragmentation, de malaxage, et de répandage.

À titre indicatif, les résultats obtenus dans cet exemple pour le retraitement en place se situent dans un même ordre de grandeur que pour une reprofilage de faible épaisseur en grave-émulsion.

## 5 - Répartition des impacts et paramètres influents

L'objectif de cette partie est d'identifier, à partir des études de cas, l'existence de paramètres déterminants dans les bilans.

Ces résultats ne sont valables que pour les études de cas en question et sont donnés à titre d'illustration. Ils ne sont en aucun cas généralisables à l'ensemble des situations : cette analyse dépend par exemple fortement des distances de transport prises en compte.

### 5.1 - Phases de construction

Les fiches de cas n°8 et 9 montrent la part prépondérante des terrassements, par rapport aux chaussées, qu'ils soit limités à la partie supérieure des terrassements (PST) et à la couche de forme dans le cas n°8 ou qu'ils comprennent également des terrassements généraux dans le cas n°9.

Cependant, en fonction de la nature des travaux, de la configuration du chantier et des distances d'approvisionnement, les phases de terrassements ou de construction de chaussées pourront l'une ou l'autre être prépondérantes et plus ou moins fortes.

### 5.2 - Postes matériaux, transport, mise en œuvre

Le poste matériaux constitue, en général le poste le plus impactant dans le bilan environnemental global de la construction d'une route :

- dans l'exemple de la fiche de cas n°8, le poste matériaux représente 63 % du bilan environnemental contre 22 % pour le transport et 15 % pour la mise en œuvre ;
- dans l'exemple de la fiche de cas n°7, le poste matériaux représente 69 % du bilan environnemental contre 23 % pour le transport et 6 % pour la mise en œuvre. Dans ce dernier exemple, une augmentation de 20 % du taux d'agrégats d'enrobés induit une diminution en moyenne de 16 % des impacts de la production des matériaux pour l'ensemble des indicateurs.

Au sein du poste matériau, la part du ciment est significative sur l'indicateur d'émission de gaz à effet de serre.

- l'exemple de la fiche n°8 montre que le ciment représente 80 % de l'impact des différents constituants sur la production des matériaux contre 20 % pour les granulats (avec granulats naturels) ;
- l'exemple de la fiche de cas n°1 (comparaison chaussée béton / enrobés) montre que le poste matériau représente 85 % du bilan environnemental de la solution « béton » alors qu'il ne représente que 42 % du bilan environnemental de la solution « enrobés ».

En l'absence de ciment, le bitume a une part déterminante.

- la fiche de cas n°7 montre que la part du bitume dans le poste matériau est de 81 % contre 12 % pour les granulats et 7 % pour les agrégats d'enrobés (avec 40 % d'agrégats) ;
- la fiche de cas n°3 montre que la solution enduit est très peu sensible aux paramètres « transport » et « mise en œuvre » en raison du poids environnemental du bitume.

À noter par ailleurs que l'indicateur d'écotoxicité est quasi-proportionnel à la quantité de ciment et que l'indicateur de toxicité chronique est quasi-proportionnel à la quantité de bitume.

### **5.3 - Fabrication des enrobés**

L'utilisation d'enrobés faisant l'objet d'un abaissement de température peut présenter un intérêt environnemental (moins chauffé en centrale de fabrication). La fiche de cas n°7 montre que l'utilisation d'enrobés avec abaissement de température induit une diminution en moyenne de l'ordre de 15 % des impacts de la fabrication des matériaux pour les indicateurs gaz à effet de serre et énergie. En revanche, les effets des additifs sont aujourd'hui mal connus et non pris en compte.

Le recul sur la durabilité des enrobés avec abaissement de température vis-à-vis de celle des enrobés à chaud, paramètre important dans une étude environnementale et plus généralement de développement durable, est également actuellement insuffisant.

Par ailleurs, le combustible utilisé par la centrale d'enrobage, fioul lourd ou gaz, a un impact non négligeable, notamment sur les indicateurs d'acidification et d'ozone photochimique, pour lesquels le fioul est plus impactant que le gaz naturel comme le montre la fiche de cas n°9.

Le choix d'une technique ou d'un combustible peut avoir une incidence sur le choix de la centrale et donc les distances de transport, ce qui peut modifier les conclusions du bilan environnemental global. À titre d'exemple, la fiche de cas n°7 montre qu'une diminution de la distance de la centrale de 40 % induit une diminution de l'impact du transport total d'environ 26 % sur l'ensemble des indicateurs.

## **6 - Cadre d'utilisation des éco-comparateurs**

Les exemples précédents illustrent le champ d'utilisation des éco-comparateurs, à différents stades d'une opération. Au vu de ces exemples, certaines recommandations d'utilisation des éco-comparateurs peuvent d'ores et déjà être proposées avec une distinction par phases de projets.

- en phase amont : l'utilisation d'un éco-comparateur lors des études de projet (exemple fiche n°9) peut permettre de tenir compte des impacts environnementaux pour le choix entre différentes solutions techniques et d'orienter la rédaction du dossier de consultation des entreprises concernant les ouvertures à variantes et le jugement des offres. Cette utilisation nécessite des données génériques fiables, la connaissance du contexte environnemental local et une analyse de la sensibilité des résultats aux hypothèses importantes qui ne peuvent pas être connues à ce stade de l'opération ;

- en phase analyse des offres : la difficulté de disposer de données comparables sur les temps d'utilisation d'engins à partir des offres des entreprises a été mise en évidence. Une consommation du simple au double a par exemple été constatée dans l'exemple de la fiche de cas n°8 entre les solutions de base de deux entreprises. D'autres valeurs peuvent présenter des incohérences parmi les pièces fournies par une même entreprise, leur traitement doit être prévu au marché ;
- en suivi de travaux : un marché peut prévoir un suivi des paramètres environnementaux au cours des travaux en complément d'une analyse en phase d'analyse d'offres. L'évolution du bilan peut donner lieu à une prime / pénalité calculée selon des modalités spécifiées dans le dossier de consultation. Le marché impose alors un suivi précis des différents paramètres utilisés pour établir le bilan initial. Une attention particulière doit être portée aux modalités de calcul de la prime qui peut atteindre des montants importants ;
- en définition d'une politique d'entretien : à l'échelle d'un réseau, il peut être intéressant de comparer du point de vue environnemental différentes stratégies d'entretien. Ce type de démarche demande l'élaboration de scénarios d'entretien, et une bonne connaissance du contexte local.

## 7 - Points de vigilance sur l'utilisation des éco-comparateurs

Les chapitres précédents ont mis en évidence la sensibilité des indicateurs à un certain nombre de paramètres.

À l'issue de cette étude, quelques points de vigilance peuvent d'ores et déjà être relevés :

- lors de la comparaison de plusieurs variantes, il est primordial de bien estimer leur durée de vie, afin de pouvoir ramener les comparaisons sur des durées de vie équivalentes. Ceci peut notamment être délicat pour les structures en grave-émulsion dont le dimensionnement est principalement basé sur des expériences locales ;
- il est également important de prendre en compte, non seulement la phase de construction de l'ouvrage, mais également la phase d'entretien afin de pouvoir comparer sur l'ensemble de leur cycle de vie des solutions nécessitant des techniques ou des fréquences d'entretien différentes.

Ce point peut également s'avérer délicat à estimer : l'impact sur la durée de vie de la chaussée d'un renouvellement de la couche de roulement (qui implique le fraisage de la partie supérieure de l'assise) sera plus important pour une structure de chaussée utilisant des matériaux à module élevé que pour une structure « classique » :

- dans le cas d'une utilisation en suivi de chantier, il convient de bien distinguer les écarts générés par des adaptations proposées par l'entreprise et des écarts, non imputables à l'entreprise, entre les quantités du détail estimatif et les quantités réelles ;
- dans le cas d'un suivi de chantier assorti de primes/pénalités, la reprise de travaux peut conduire à appliquer une double sanction financière à l'entreprise (la pénalité liée au surcoût environnemental des travaux supplémentaire s'ajoutant alors au coût de la réfection). Les rédacteurs du DCE (Dossier de Consultation des Entreprises) devront être vigilants sur ce point. ;
- afin de pouvoir comparer un bilan environnemental avant et après travaux, il est indispensable de s'assurer que le logiciel utilise bien la même version de la base de données. L'utilisateur devra donc y être vigilant, notamment dans le cas de chantiers pluriannuels et dans le cas d'utilisation d'un outil en ligne comme SEVE où la mise à jour de l'application n'est pas du ressort de l'utilisateur ;

- de nombreux paramètres liés à l'exécution des travaux peuvent avoir une incidence sur le bilan environnemental, comme la température de fabrication des enrobés, le pourcentage de clinker dans les liants utilisés, la densité des matériaux mis en œuvre, etc. Dans le cas d'une utilisation d'un éco-comparateur dans le cadre d'un marché travaux, des contrôles spécifiques devront donc être mis en place afin de s'assurer du respect des engagements pris. Ils peuvent parfois être délicats à évaluer. La consommation d'eau associée aux procédés peut, par exemple être calculée par ECORCE, mais certaines quantités, dont le poids est important sont difficiles à appréhender (arrosage des matériaux traités aux liants hydrauliques, consommation d'eau en phase terrassement...);
- il est bien spécifié dans les principes de calcul de ces outils décrits dans les avis de l'IDRRIM qu'ils n'ont pas vocation à être utilisés pour un calcul de la valeur absolue des indicateurs, mais pour une comparaison de variantes.

## 8 - Perspectives

Dans le cadre de la phase 2, l'analyse des écarts entre SEVE et ECORCE sera approfondie en étudiant en détail les bases de données utilisées et notamment les facteurs d'émission. Contrairement à Bilan Carbone®, les outils SEVE et ECORCE ne donnent pas d'indication sur l'incertitude des résultats fournis, ce qui permettrait d'avoir une indication sur la représentativité des sources de données utilisées. Cet aspect mériterait d'être intégré dans les versions futures mais dépasse le cadre de cette étude.

En phase 3, de nouvelles études de cas seront réalisées afin de comparer le bilan environnemental de différentes structures de chaussées sur la durée de vie de l'ouvrage. Le bilan environnemental portera sur la construction de la chaussée et sur différents cycles d'entretien. Différentes politiques d'entretien pourront ainsi être testées.

# Glossaire

## ACV

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit (bien, service, procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation. Cette méthode normalisée consiste à inventorier les flux de matières et d'énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie d'un produit, puis à procéder à une évaluation de leurs impacts environnementaux.

## Ademe

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

## Association ABC

Association Bilan Carbone.

## BBSG

Béton bitumineux semi-grenu.

## Clinker

Produit de la cuisson des constituants principaux du ciment, à la sortie du four, mais avant broyage.

## CO2

Dioxyde de carbone

## COGNM

Composés Organiques Gazeux Non Méthaniques

## ECORCE

ECOcomparateur Route Construction Entretien

## FNTP

Fédération nationale des Travaux Publics

## ICV

L'inventaire de Cycle de Vie (ICV), ou inventaire des flux est une des étapes de l'Analyse du Cycle de Vie, au cours de laquelle les différents flux (entrants et sortants) traversant le système étudié sont quantifiés. Les données d'inventaires sont constituées de flux de matières (ressources naturelles notamment) et d'énergies entrants dans le système étudié, mais également des flux sortants correspondants (déchets, émissions gazeuses, liquides, etc.).

## IDRRIM

Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité

## GB

Grave bitume

## GB3

Grave bitume de classe 3

## GB4

Grave bitume de classe 4

GE

Grave émulsion

GES

Gaz à Effet de Serre

OEET

Observatoire Énergie, Environnement, Transports

SEVE

Système d'Évaluation de Variantes Environnementales

SPTF

Syndicat professionnel des terrassiers de France

Tombereaux

Véhicule automoteur, sur pneus, équipé d'une benne basculante et circulant exclusivement sur les chantiers

USIRF

Union des syndicats de l'industrie routière française

## Bibliographie

- [1] « L'outil logiciel ECORCE. Cadre méthodologique et contexte scientifique », sous la direction de Anne Ventura, Études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, CR 55, mai 2011
- [2] « Expérimentation du logiciel ECORCE sur une opération d'entretien routier de la DIR A », Rapport d'étude du PCI EEPT, CETE du Sud-Ouest, octobre 2011
- [3] « SEVE », Avis Technique n°160, IDRRIM, avril 2013
- [4] « ECORCE », Avis Technique n°158, IDRRIM, avril 2013

# Annexes

Fiches de cas :

- comparaison chaussée enrobés / chaussée béton (non armé) : fiche n°1
- analyse de variantes, bilan initial et après travaux : fiche n°2
- étude de sensibilité sur un enduit mono-couche : fiche n°3
- étude de sensibilité sur grave-émulsion et grave-bitume : fiche n°4
- scénarios d'entretien structurel : fiche n°5
- scénarios d'entretien, reprise de déformations : fiche n°6
- analyse de variantes chaussées (enrobé tiède/chaud, GB4) : fiche n°7
- analyse de variantes terrassement (couche de forme granulats naturels/recyclés/traitée) :  
fiche n°8
- analyse de variantes terrassement et chaussées : fiche n°9

# Fiche n°1 : Comparaison chaussée enrobés / chaussée béton (non armé)

## 1- Présentation

Le projet OA est une structure de chaussée en béton sur une surface de 500 m<sup>2</sup> qui a été comparée avec une structure équivalente en enrobé. Il s'agit d'un projet fictif. La modélisation a été réalisée pour le compte de l'IFSTTAR dans le cadre de l'opération de recherche EPEES.

Les travaux sont constitués de création de voies. L'évaluation environnementale comprend la réalisation des travaux et les procédés de mise en œuvre.

## 2 - Couches étudiées

1. une couche de forme en GNT sur 20cm
2. une couche de béton de propreté de 5 cm
3. une couche de béton de 15 cm

Matériaux			
Matériaux	(Tonnes)	Agregats, additifs	Commentaires
GNT	210		
Béton de propreté	63,75	0,00%	
Béton	191,25	0,00%	

## 3 - Principales hypothèses

Pour la solution de base :

Configuration							
transports utilisés (tonnes kilométriques)							
routier	41000	maritime	0	ferroviaire	0	fluvial	0

Fabrications	
centrale à béton	
distances (km)	50

## 4 - Variantes étudiées

La solution de structure de chaussée en béton a été comparée à la structure en enrobé équivalente suivante :

4. une couche de forme en GNT sur 18cm
5. une couche de grave ciment Classe 3 de 15 cm
6. une couche de BBSG de 5 cm

Fabrications			
centrales enrobage			
	chaud	tiède	froid
distances (km)	50	0	0

## 5 - Résultats

L'analyse a été conduite avec ECORCE 2.0 et Seve-tp pour les deux solutions.

- **solution béton :**

Résultats								
Ecorce	(version) 2.0	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX
MATERIAUX		36 876	238 200					
TRANSPORT		3 950	49 300					
FABRICATION		335	7 880					
MISE EN ŒUVRE		2 180	27 600					
<b>TOTAL</b>		<b>43 341</b>	<b>322 980</b>					
Seve-tp								
		GES	ENERGIE					
MATERIAUX		35 100	257 297					
TRANSPORT		4 000	49 106					
FABRICATION		300	8 203					
MISE EN ŒUVRE		2100	27 749					
<b>TOTAL</b>		<b>41 500</b>	<b>342 355</b>					

- **solution enrobé :**

Résultats								
Ecorce	(version) 2.0	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX
MATERIAUX		6 048	54 857					
TRANSPORT		3 870	48 300					
FABRICATION		1 380	23 870					
MISE EN ŒUVRE		2 970	37 500					
<b>TOTAL</b>		<b>14 268</b>	<b>164 527</b>					
Seve-tp								
		GES	ENERGIE					
MATERIAUX		5 800	64 618					
TRANSPORT		3 900	48 765					
FABRICATION		1 400	20 659					
MISE EN ŒUVRE		2700	34 961					
<b>TOTAL</b>		<b>13 800</b>	<b>169 003</b>					

## 6 - Analyse du cas

Les modélisations réalisées dans le cadre du «Projet OA» permettent d'une part de mettre en évidence des sensibilités différentes entre les éco-comparateurs et d'autre part d'identifier l'origine des divergences de résultats sur deux configurations de chaussée très différentes.

### Comparaison des solutions « béton » et « enrobé »

Entre les deux structures de chaussées, quel que soit l'éco-comparateur utilisé, on note un impact environnemental beaucoup plus lourd de la solution béton sur les deux indicateurs en raison de l'utilisation de ciment (2 fois plus d'énergie consommée et 3 fois plus de GES émis).

Résultats				
	GES Ecorce	GES Seve-TP	Energie Ecorce	Energie Seve-TP
<b>BETON</b>	<b>43 341</b>	<b>41 500</b>	<b>322 980</b>	<b>342 355</b>
<b>ENROBE</b>	<b>14 268</b>	<b>13 800</b>	<b>164 527</b>	<b>169 003</b>

### Comparaison SEVE-TP/ ECORCE

L'écart le plus important entre SEVE-TP et Ecorce est observé sur l'indicateur énergie de la solution béton (+6% pour SEVE-TP). Les autres écarts restent inférieurs à 5 %.

Cet écart provient essentiellement du poste matériaux et plus précisément des granulats qui sont plus impactants en termes d'énergie et moins impactants en termes de GES dans SEVE-TP, avec des écarts qui restent inférieurs à 6% sur le bilan global.

Pour l'utilisateur, il est confortable d'avoir accès à des données pré-établies dans l'éco-comparateur. C'est le cas de le cas des ateliers de mise en œuvre dans SEVE et des températures d'enrobage dans ECORCE.

Par ailleurs, les données pré-établies sont particulièrement appréciables pour les opérations dont le contrôle est difficile à mettre en œuvre en phase travaux. En effet, si l'offre d'une entreprise est valorisée sur son aspect environnemental, les engagements de cette offre doivent pouvoir être suivis lors des travaux.

Dans le cas de la température d'enrobage de la centrale, très difficile à contrôler, l'utilisateur appréciera que cette donnée soit pré-établie. Le choix offert entre les différentes classes de températures permet tout de même de valoriser des techniques tièdes.

Cependant, le risque existe de ne pas estimer de façon suffisamment précise l'adéquation des éléments proposés avec l'opération étudiée.

# Fiche n°2 : Analyse de variantes, bilan initial et après travaux

## Rocade de bordeaux, échangeur 15 – évaluation des offres

### 1 - Présentation

L'opération concerne l'aménagement de l'échangeur 15 de la rocade bordelaise auquel se raccorde l'A63 (Bayonne-Bordeaux).

L'évaluation a été demandée par la DREAL Aquitaine, maître d'ouvrage.

Les travaux sont constitués de création de voies et renforcement sur les voies existantes.

L'évaluation environnementale se limite aux travaux de structures sans considération de la mise en œuvre.

### 2 - Couches étudiées

- une couche de forme en matériau du site traité au LH avec correcteur granulaire en centrale mobile : 35cm
- les couches de base et fondation (EME2) intégrant des agrégats d'enrobé : 10 cm + 10 cm
- une couche de liaison en BBSG intégrant des agrégats d'enrobé : 6 cm
- un BBTM : 2,5 cm

Matériaux			
Matériaux	(Tonnes)	Agregats, additifs	Commentaires
BBTM	5796		
BBSG	4630	30,00%	
EME	12500	30,00%	
autre (préciser)			
GC	19386	20% CG+ 5,5%LH	
GL			
MTLH			
autre (préciser)			
GNT			

### 3 - Principales hypothèses

Pour la solution de base :

Configuration							
transports utilisés (tonnes kilométriques)							
routier	71940646	maritime	0	ferroviaire	0	fluvial	0

Fabrications			
centrales enrobage			
	chaud	tiède	froid
distances (km)	15,5	0	0

### 4 - Variantes étudiées

Cette modélisation correspond à une des offres de la consultation. Les différentes offres analysées diffèrent essentiellement selon les masses volumiques des matériaux proposés, des distances de transport et pour certaines d'entre elles selon le taux d'agrégats incorporés.

Résultats								
Ecorce	(version) 1.1 .3							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
MATERIAUX	993 151	11 634 174	2561	1940	125	1220	24735361	5209287
TRANSPORT	318 025	4 191 393	0	902	84	225	0	1577
FABRICATION	253 640	6 266 920	1102	129	9	129	3017	88568
MISE EN ŒUVRE	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1 564 816</b>	<b>22 092 487</b>	<b>3 663</b>	<b>2 971</b>	<b>218</b>	<b>1 574</b>	<b>2,47E+07</b>	<b>5 299 432</b>
Seve-tp								
	GES	ENERGIE						
MATERIAUX	973 616	10 148 021						
TRANSPORT	309 460	3 844 903						
FABRICATION	372 903	6 420 583						
MISE EN ŒUVRE	0	0						
<b>TOTAL</b>	<b>1 655 979</b>	<b>20 413 507</b>						

## 5 - Résultats

L'analyse a été conduite avec ECORCE 1.1.3 et SEVE-TP. Dans ECORCE, la nature du combustible de la centrale « Chaud » n'est pas précisée. Pour la Modélisation avec SEVE, le combustible utilisé est le Gaz.

## 6 - Analyse du cas

Le cas présenté est l'analyse de l'offre retenue dans le marché de travaux de l'aménagement de l'échangeur 15 de la rocade bordelaise. Le marché prévoit une notation environnementale des offres et un suivi des paramètres environnementaux. L'évolution du bilan donne lieu à une prime / pénalité.

Le marché impose donc un suivi précis des différents paramètres utilisés pour établir le bilan au moment de l'offre. Pour cette même raison il a été décidé de ne pas modéliser la partie liée à la mise en œuvre des matériaux qui aurait été trop lourde à suivre. Les éco-comparateurs semblent donner des résultats similaires avec quelques sensibilités légèrement différentes selon les postes analysés (matériaux, fabrication et transport).

# Fiche n°3 : Étude de sensibilité sur un enduit mono-couche

## 1 - Présentation

Cette étude théorique a été réalisée dans le cadre de la rédaction de l'ERLPC [1], lors de l'opération de recherche EPEES (2009 – 2013).

Elle a consisté à saisir un enduit, et à réaliser une étude paramétrique sur les principaux paramètres d'entrée : caractéristiques géométriques (longueur et largeur de la couche), distances de transport (granulats, émulsion, bitume, engins de mise en œuvre), et atelier de mise en œuvre (temps de travail, consommation des engins).

Il a été choisi de ne pas faire varier le dosage des constituants (fixé pour une étude donnée) : une augmentation des quantités revenant à augmenter les paramètres géométriques de la couche.

Les variantes étudiées sont les suivantes :

- augmentation de la surface (variation du paramètre longueur) ;
- augmentation des distances de transport :
  - carrière – chantier ;
  - usine de liant – chantier ;
  - raffinerie – usine de liant ;
  - dépôt des engins – chantier ;
- augmentation de la consommation des engins de mise en œuvre ;
- augmentation du temps de travail des engins de mise en œuvre (cette variante a pour objectif de prendre en compte des rendements de mise en œuvre moindres, liées à des configurations particulières de chantier).

Les variations étudiées ne sont pas forcément liées à une configuration réelle (nombre et éloignement des raffineries notamment), mais à une variation homogène de 10% de l'ensemble des paramètres étudiés.

## 2 - Couches étudiées

La couche étudiée est une couche unique, constituée d'un enduit monocouche, avec un dosage en émulsion de 1.3 kg/m<sup>2</sup> et un dosage en gravillons de 8 L/m<sup>2</sup>.

Matériaux							
Matériaux	(Tonnes)	Agregats, additifs	Commentaires				
Emulsion	9,8						
Bitume	6,7						
Granulats	84						

## 3 - Principales hypothèses

- Pour la solution de base :

Configuration transports utilisés (tonnes kilométriques)						
routier	4084	maritime		ferroviaire		fluvial

• **Détail des calculs des tonnes kilométriques :**

Produit	Bitume	Granulats ou gravillons	Émulsion	Total
Tonnage	6,7275 t	84 t	9,75 t	/
Distances de transport	150km	25km	100km	/
t.km	1009,125	2100	975	<b>4084,13</b>

Fabrications centrales enrobage						
	chaud	oui / non	tiede	oui / non	froid	oui / non
distances		non		non		non

## 4 - Variantes étudiées

Les variantes étudiées dans le cadre de cette étude théorique paramétrique sont les suivantes :

- augmentation de la surface (variation du paramètre longueur)
- augmentation des distances de transport :
  - carrière – chantier
  - usine de liant – chantier
  - raffinerie – usine de liant
  - dépôt des engins – chantier
- augmentation de la consommation des engins de mise en œuvre
- augmentation du temps de travail des engins de mise en œuvre

### 4.1.1 - Résultats

Résultats : cas de référence								
Ecorce	Version 1 bdd 16/11/2009							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
MATERIAUX	1660	35753		7,6		4,0	563,1	33409,0
TRANSPORT	723	9496		2,0		1,0	0,0	4,0
FABRICATION	0	1	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
MISE EN ŒUVRE	64	845		0,2		0,0	0,0	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>2448</b>	<b>46095</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>569</b>	<b>33420</b>

Ecorce	Version 2.0 bdd 10/02/2013							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
MATERIAUX	1471	26547		3,0	0,6	1,6	139820,0	96,0
TRANSPORT	485	6061		1,0	0,2	0,7	10605,0	60,0
FABRICATION	104	0		0,0	0,0	0,1	69522,0	62,0
MISE EN ŒUVRE	71	904		0,0	0,0	0,0	1583,0	8,0
<b>TOTAL</b>	<b>2131</b>	<b>33512</b>	<b>0,0</b>	<b>4,0</b>	<b>0,8</b>	<b>2,4</b>	<b>221530,0</b>	<b>226,0</b>
Seve-tp								
	GES	ENERGIE						
MATERIAUX								
TRANSPORT								
FABRICATION								
MISE EN ŒUVRE								

- Résultats détaillés pour une des variantes étudiées (augmentation de la consommation des engins de mise en œuvre) :

Résultats : temps de travail +10%								
Ecorce	Version 1 bdd 16/11/2009							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
MATERIAUX	1660	35753		7,6	0,4	3,8	563	33409
TRANSPORT	723	9496		2,0	0,2	0,5	0	4
FABRICATION	0	0		0,0	0,0	0,0	0	0
MISE EN ŒUVRE	77	1014		0,2	0,0	0,1	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>2460</b>	<b>46263</b>	<b>0</b>	<b>9,8</b>	<b>0,6</b>	<b>4,4</b>	<b>563,1</b>	<b>33412,9</b>
Ecorce	Version 2.0 bdd10/02/2013							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
MATERIAUX	1471	23558		3,0	0,6	1,6	139820,0	96,0
TRANSPORT	485	6061		1,0	0,2	0,7	10605,0	60,0
FABRICATION	104	2989		0,0	0,0	0,1	69522,0	62,0
MISE EN ŒUVRE	85	1085		0,0	0,0	0,0	1899,0	10,0
<b>TOTAL</b>	<b>2145</b>	<b>33693</b>	<b>0,0</b>	<b>4,0</b>	<b>0,8</b>	<b>2,4</b>	<b>221846,0</b>	<b>228,0</b>
Seve-tp								
	GES	ENERGIE						
MATERIAUX								
TRANSPORT								
FABRICATION								
MISE EN ŒUVRE								

- Synthèse des résultats pour l'ensemble des variantes étudiées :

Résultats : étude de sensibilité								
Ecorce	Version 1 bdd 16/11/2009							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence	2447	46094		9,8	0,60	4,3	563	33413
Long. 1100m	2645	50088		10,6	0,7	4,7	619	36754
Larg. 8.25m	2652	50178		10,7	0,70	4,8	620	36754
Distance carrière 27.5 km	2464	46309		9,8	0,60	4,4	563	33413
d raffinerie	2455	46194		9,8	0,60	4,4	563	33413
d usine émulsion	2455	46198		9,8	0,60	4,4	563	33413
Distance dépôt – chantier 22 km	2488	46625		9,9	0,60	4,4	563	33413
Temps de travail + 10%	2460	46263		9,8	0,62	4,4	563	33413
Consommation fuel +10%	2460	46263		9,8	0,62	4,4	563	33413
Ecorce	Version 2 bdd10/02/2013							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence	2133	33513	5,72	5,36	0,90	2,5	221532	229
Temps de travail + 10%	2147	33694	5,73	5,37	0,90	2,5	221848	230

Résultats : étude de sensibilité								
Ecorce	Version 1 bdd 16/11/2009							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Long. 1100m	84%	88%		92%	167%	116%	105%	100%
Larg. 8.25m	84%	89%		92%	167%	116%	101%	100%
Distance carrière 27.5 km	7%	5%		0%	0%	23%	0%	0%
d raffinerie	3%	2%		0%	0%	23%	0%	0%
d usine émulsion	3%	2%		0%	0%	23%	0%	0%
Distance dépôt – chantier 22 km	17%	12%		10%	0%	23%	0%	0%
Temps de travail + 10%	5%	4%		0%	33%	23%	0%	0%
Consommation fuel +10%	5%	4%		0%	33%	23%	0%	0%

Ecorce	Version 2 bdd 10/02/2013							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Temps de travail + 10%	0,65%	0,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,14%	0,00%

## 5 - Analyse du cas

Compte tenu du fort impact du procédé de fabrication du bitume, l'évaluation environnementale d'un enduit dépend principalement des quantités répandues. La variation d'autres paramètres liés à l'atelier de mise en oeuvre ou aux distances de transport a un impact accessoire.

## 6 - Références

[1] Ventura A., Dauvergne M., Tamagny P., Jullien A., Feeser A., Coin V., Goyer S., Beudelot L., Odeon H., Odie L. « L'outil logiciel ECORCE : cadre méthodologique et contexte scientifique, Eco-Comparateur Routes Construction Entretien » collection Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, CR 55, 201

# Fiche n°4 : étude de sensibilité sur grave-émulsion et grave-bitume

## 1 - Présentation

Cette étude théorique a été réalisée dans le cadre de l'opération de recherche OPTIMIRR, et a fait l'objet d'un article [1].

Elle a consisté à saisir une couche de grave émulsion, et une couche de grave bitume d'épaisseur identique, et à réaliser une étude paramétrique sur les principaux paramètres d'entrée pouvant varier sur chantier (formulation, à travers la teneur en liant et la compacité, et transport).

Cette étude correspond aux cas n°12 et 13 du tableau de références transmis par le DRLB, et dont les détails sont rappelés ci-dessous :

N°	Version de l'outil	Année	Type de chantier	Maître d'ouvrage	Utilisation	Commentaires
12	V2.0. Bdd : 25.08.11	2011 - 2012	Entretien sur chaussées à faible trafic : grave bitume	CG 35	Étude de sensibilité (teneur en liant, transport, compacité)	Opération de recherche OPTIMIRR, Références : GOYER ISAP
13			Entretien sur chaussées à faible trafic : grave émulsion structurante			

## 2 - Couches étudiées

Les 2 couches étudiées sont :

- une couche de 10 cm de grave émulsion (teneur en liant résiduelle 3.9% pour le cas de référence) ;
- une couche de 10 cm de grave bitume (teneur en liant résiduelle 3.9% pour le cas de référence).

Matériaux GE			
Matériaux	(Tonnes)	Agregats, additifs	Commentaires
Emulsion	15		MVRE : 2.580 t/m3
Bitume	8,8		Teneur en vides : 12,4%
Granulats	216		Teneur en eau : 3,7%
Eau	8,9		Teneur en liant : 3,9%

Dans les 2 cas, la section étudiée a une surface de 1000 m<sup>2</sup> (200 m de long and 5 m de large).

Matériaux GB			
Matériaux	(Tonnes)	Agregats, additifs	Commentaires
Emulsion	0		Masse volumique : 2.609 t/m3
Bitume	9,2		Teneur en vides : 8%
Granulats	231		Teneur en liant : 3,85%
Eau	0		

## 3 - Principales hypothèses

- Pour la solution de base :

Distances (km)		Commentaires
Carrière / centrale	55.5 km	GE et GB
Centrale / chantier	22.1 km	GE et GB
Raffinerie / centrale à chaud	323.0 km	GB
Raffinerie / Usine d'Emulsion	323.0 km	Usine d'émulsion
Aire de stockage / Chantier	22.1 km	Engins de mise en oeuvre



Résultats : étude de sensibilité GE								
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence TL = 3.9%	4731	81247	22	18	1,3	7	892	43811
TL = 3.8%	4675	80040	21	18	1,3	7	877	42671
TL = 4.2%	4896	84793	23	19	1,3	7	935	47160
TL = 4.5%	5062	88357	24	19	1,4	8	979	50526
d = 20 km	4692	80729	22	18	1,3	7	892	43811
d = 40 km	5066	85662	22	19	1,4	7	892	43813
d = 60 km	5441	90594	22	20	1,5	8	892	43815
v = 16%	4565	78273	21	17	1,2	7	855	42009
Ecorce	Version 2.0 bdd10/02/2013							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence TL = 3.9%	4997	74910	29	11	2,0	6	351328	578
TL = 3.8%	4944	74073	29	11	2,3	6	343887	572
TL = 4.2%	5152	77370	29	12	2,4	7	373183	594
TL = 4.5%	5308	79844	29	12	2,4	7	395156	611

Résultats : étude de sensibilité GE								
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence TL = 3.9%								
TL = 3.8%	-1%	-1%	-2%	-1%	-1%	-2%	-2%	-3%
TL = 4.2%	3%	4%	5%	4%	3%	5%	5%	8%
TL = 4.5%	7%	9%	10%	8%	5%	10%	10%	15%
d = 20 km	-1%	-1%	0%	-1%	-1%	0%	0%	0%
d = 40 km	7%	5%	0%	5%	7%	3%	0%	0%
d = 60 km	15%	12%	0%	11%	15%	7%	0%	0%
v = 16%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%
Ecorce	Version 2.0 bdd10/02/2013							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence TL = 3.9%								
TL = 3.8%	-1%	-1%	-2%	0%	15%	7%	-2%	-1%
TL = 4.2%	3%	3%	-1%	5%	18%	10%	6%	3%
TL = 4.5%	6%	7%	0%	9%	20%	13%	12%	6%

Résultats : étude de sensibilité GB								
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence	7027	140436	2	19	1,3	8	978	47449
TL = 3.8%	6969	139200	2	19	1,3	8	963	46256
TL = 4.2%	7200	144145	2	20	1,3	9	1024	51025
TL = 4.5%	7374	147854	2	20	1,4	9	1071	54601
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.02.10.13.							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Référence	8380	136519	7	12	2,5	10	263052	529
TL = 3.8%	8329	135764	7	12	2,5	10	258096	525
TL = 4.2%	8533	138782	7	13	2,5	10	277919	539
TL = 4.5%	8686	141045	8	13	2,6	10	292786	550

## 6 - Analyse du cas

On constate que pour la même teneur en bitume, et les mêmes distances de transport, l'écart entre les deux techniques (grave émulsion et grave bitume) est principalement lié à la phase de fabrication en centrale :

- la grave bitume est élaboré en centrale à chaud ;
- la grave-émulsion est élaborée, à froid, en centrale de malaxage.

Ainsi, la consommation d'énergie entre la grave émulsion et la grave bitume est quasiment doublée. De plus, on peut remarquer que la part de fabrication pour la grave-émulsion (incluant le procédé de mise en émulsion), représente à peine 4% du total (contre env. 50 % pour les enrobés à chaud).

## **7 - Références**

[1] Goyer S., Dauvergne M., Ropert C., Wendling L., Gaudefroy V., Environmental data of cold mix using emulsified bitumen for a better selection of road materials, 2<sup>nd</sup> ISAP Symposium on Asphalt Pavements and Environment, Fortaleza (Brésil), 2012

# Fiche n°5 : scénarios d'entretien structurel

## 1 - Présentation

Cette étude théorique a été réalisée dans le cadre de l'opération de recherche OPTIMIRR, et a fait l'objet d'un article [1] et d'une présentation à la journée COTITA « Entretien des couches de surface et techniques à froid » d'octobre 2012 [2]. L'objectif de cette étude est de comparer différentes techniques d'entretien, différentes couches de roulement, via des scénarios adaptés aux besoins des itinéraires à entretenir : déformation, besoin d'entretien structurel...).

Cependant, le dimensionnement de matériaux traités à l'émulsion de bitume est basé principalement sur des expériences locales, Et il n'y a pas d'indicateur formalisé de la fin de vie de ces techniques. Ainsi, une analyse de cycle de vie à durée de service équivalente ne peut pas être effectuée pour comparer des matériaux froids aux techniques classiques (comme les enrobés à chaud). Nous proposons donc une analyse comparative de scénarios d'entretien pour les routes à faible trafic, sur la base de guides régionaux, pour des chaussées nécessitant un entretien structurel. Ces scénarios incluent un rechargement et une couche de roulement.

Cette étude correspond aux cas n°7 et 8 du tableau de références transmis par le DRLB, et dont les détails sont rappelés ci-dessous :

N°	Version de l'outil	Année	Type de chantier	Maître d'ouvrage	Utilisation	Commentaires
7	V2.0. Bdd : 25.08.11	2011 - 2012	Entretien sur chaussées à faible trafic : grave émulsion structurante + couche de roulement (enduit, BBF ou BBSG)	CG 35	Comparaison théorique de scénarios d'entretien (techniques à chaud et à froid) sur la base de catalogues régionaux	Opération de recherche OPTIMIRR, Références : GOYER LCA
8			Entretien sur chaussées à faible trafic : grave bitume + couche de roulement (enduit, BBSG ou BBM)			

## 2 - Couches étudiées

Cette comparaison a pour objectif d'observer la partie de fabrication liée à la température d'enrobage : les couches structurantes GE ou GB sont calculées pour la même formule, avec la même teneur en liant résiduel, seule la technique d'enrobage change (à chaud ou à l'émulsion de bitume). Le dimensionnement relève de catalogue régionaux, et consiste à sur-dimensionner de 1 à 2 cm la GE par rapport à la GB, pour supporter le même trafic.

Chaussée déformée et nécessitant un entretien structurel	
GES* (12 cm) + Enduit bicouche	Grave Bitume (10 cm) + Enduit bicouche
GES (12 cm) + BBF (3 cm)	Grave Bitume (10 cm) + BBM (4 cm)
GES (12 cm) + BBSG (6 cm)	Grave Bitume (10 cm) + BBSG (6 cm)

\* GES : Grave Émulsion Structurante

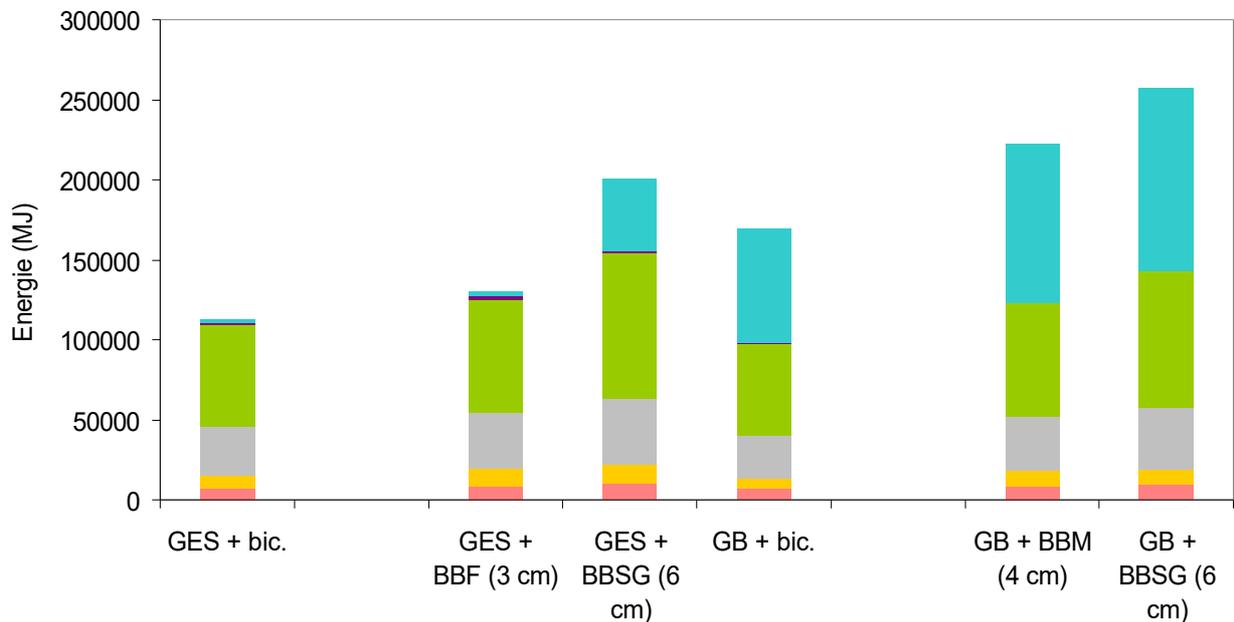
## 3 - Principales hypothèses

Le projet considéré pour ces calculs correspond à une section théorique de 1 000 m<sup>2</sup> : ce chantier est représentatif du contexte local dans la région Bretagne et du maillage des centrales, et des carrières. Les distances de transport utilisées dans les calculs sont résumées dans ce tableau.

Distances de transport	(km)
Carrières (enrobés) / centrale	55
Centrale / chantier	22
Carrière (enduits) / chantier	78
Aire de stockage (engins) / chantier	22
Raffinerie / Centrale (enrobés à chaud)	323
Raffinerie / Usine d'émulsion	323
Usine d'émulsion / Centrale (enrobés à froid)	0
Usine d'émulsion / Chantier	22

## 4 - Résultats

Résultats : Chaussée déformée et nécessitant un entretien structurel									
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
GES (12 cm) + BBF (3 cm)		7385	128132	34	28	2	11	1405	71835
GES (12 cm) + Enduit bicouche		6492	113133	29	25	2	10	11371	64390
GES (12 cm) + BBSG (6 cm)		11902	237711	4	33	2	15	1711	41594
Grave Bitume (10 cm) + BBM (4 cm)		10333	205315	4	28	2	13	1455	27887
Grave Bitume (10 cm) + Enduit bicouche		7960	157471	5	22	2	10	11274	12964
Grave Bitume (10 cm) + BBSG (6 cm)		10434	193373	28	35	2	15	1808	93020



Consommation d'énergie par techniques de renforcement de chaussées déformées 

## 5 - Analyse du cas

Pour les techniques permettant le renforcement : GE structurante (12 cm) ou grave bitume (10 cm), avec différentes couches de roulement, on observe toujours les mêmes tendances :

- impacts prépondérants du bitume (50 % de la consommation en énergie pour les techniques à froid) ;

- impact très important de la fabrication, à chaud, en centrale.

A couche de roulement équivalente, malgré les 2 cm d'épaisseur supplémentaire les techniques en GE restent très intéressantes, du fait de l'absence de chauffage des granulats : pour annuler ce gain en GES par exemple, il faudrait augmenter très fortement la part de transport (ce qui reviendrait dans ce cas particulier à éloigner la centrale de GE de 300 km...)

## 6 - Références

[1] Goyer S., Dauvergne M., Wendling L., Fabre J-C., De La Roche C., Gaudefroy V., "Environmental evaluation of gravel emulsion", International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction, Nantes, 2012

[2] Goyer S., "Scénarios d'entretien : comparaison environnementale", Journée COTITA Ouest « Entretien des couches de surface et techniques à froid », Rennes, 18 octobre 2012.

# Fiche n°6 : Scénarios d'entretien, reprise de déformations

## 1 - Présentation

Cette étude théorique a été réalisée dans le cadre de l'opération de recherche OPTIMIRR, et a fait l'objet d'un article [1] et d'une présentation à la journée COTITA « Entretien des couches de surface et techniques à froid » d'octobre 2012 [2]. L'objectif de cette étude est de comparer différentes techniques d'entretien, différentes couches de roulement, via des scénarios adaptés aux besoins des itinéraires à entretenir : déformation, besoin d'entretien structurel...).

Cependant, le dimensionnement de matériaux traités à l'émulsion de bitume est basé principalement sur des expériences locales, Et il n'y a pas d'indicateur formalisé de la fin de vie de ces techniques. Ainsi, une analyse de cycle de vie à durée de service équivalente ne peut pas être effectuée pour comparer des matériaux froids aux techniques classiques (comme les enrobés à chaud). Nous proposons donc une analyse comparative de scénarios d'entretien pour les routes à faible trafic, sur la base de guides régionaux, pour des chaussées faiblement ou fortement déformées (sans besoin d'entretien structurel). Ces scénarios incluent un reprofilage et une couche de roulement si nécessaire.

Cette étude correspond aux cas n°9 à 11 du tableau de références transmis par le DRLB, et dont les détails sont rappelés ci-dessous :

N°	Version de l'outil	Année	Type de chantier	Maître d'ouvrage	Utilisation	Commentaires
9	V2.0. Bdd : 25.08.11	2011 - 2012	Entretien sur chaussées à faible trafic : grave émulsion de reprofilage + couche de roulement (enduit ou BBF)	CG 35	Comparaison théorique de scénarios d'entretien (techniques à chaud et à froid) sur la base de catalogues régionaux	Opération de recherche OPTIMIRR, Références : GOYER LCA
10			Entretien sur chaussées à faible trafic : retraitement en place + couche de roulement (enduit ou BBF)			
11			Entretien sur chaussées à faible trafic : BBSG (1 couche ou reprofilage + roulement)			

## 2 - Couches étudiées

Pour des chaussées déformées (sans besoin d'entretien structurel), un reprofilage plus ou moins important à la grave émulsion, avec différentes couches de roulement, est comparé avec une technique à chaud (BBSG) mise en œuvre en 1 ou 2 couches

Ces scénarios sont définis en prenant en compte les limites technologiques de ces matériaux : la grave-émulsion pouvant se mettre en œuvre à la niveleuse, les épaisseurs moyennes peuvent être faibles (avec un passage à 0 en axe). Alors que les enrobés à chaud sont mis en œuvre au finisseur, et nécessitent des épaisseurs minimales plus importantes (BBSG : 4 cm mini en tout point).

Des calculs ont également été réalisés pour un retraitement en place de Classe 2 (à l'émulsion de bitume). Cette technique permet un reprofilage de la chaussée, tout en réutilisant les matériaux existants (granulats et liants anciens). Ces techniques sont généralement revêtues ; l'exemple porte ici sur une épaisseur moyenne de 6 cm (et 2 couches de roulement sont comparées : Enduit bicouche ou BBF (3 cm)).

Une émulsion de bitume spécifique est généralement utilisée (faible dosage en bitume : inférieur à 60%), avec éventuellement des additifs. Et ces techniques nécessitent un atelier spécifique (on peut en voir un exemple ici). Il y a peu d'ateliers de ce type en France, ce qui implique des distances importantes de transport des engins.

Évidemment, ce cas théorique de 1 000 m<sup>2</sup> pris pour ces calculs n'est pas représentatif de la réalité : en général, pour que ce soit intéressant économiquement, on considère qu'un chantier doit faire au minimum 15 000 m<sup>2</sup>, et un atelier se déplace dans une région pour 45 000 à 50 000 m<sup>2</sup> de surface à retraiter.

Chaussée faiblement déformée	Chaussée fortement déformée
GER* (50 kg/m <sup>2</sup> ) + Enduit bicouche GER (50 kg/m <sup>2</sup> ) + BBF** (3 cm) BBSG (6cm)	GER (90 kg/m <sup>2</sup> ) + Enduit bicouche GER (90 kg/m <sup>2</sup> ) + BBF (3 cm) Reprofilage au BBSG : 90 kg/m <sup>2</sup> + 6 cm Retraitement en place + Enduit bicouche Retraitement en place + BBF (3 cm)

\* GER : Grave Emulsion de Reprofilage

\*\* BBF : Béton Bitumineux à froid

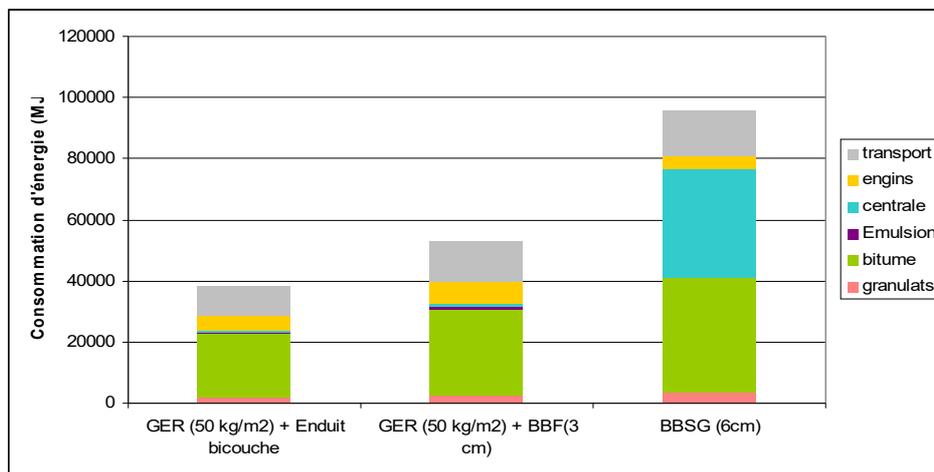
### 3 - Principales hypothèses

Le projet considéré pour ces calculs correspond à une section théorique de 1 000 m<sup>2</sup> : ce chantier est représentatif du contexte local dans la région Bretagne et du maillage des centrales, et des carrières. Les distances de transport utilisées dans les calculs sont résumées dans ce tableau.

Distances de transport	(km)
Carrières (enrobés) / centrale	55
Centrale / chantier	22
Carrière (enduits) / chantier	78
Aire de stockage (engins) / chantier	22
Raffinerie / Centrale (enrobés à chaud)	323
Raffinerie / Usine d'émulsion	323
Usine d'émulsion / Centrale (enrobés à froid)	0
Usine d'émulsion / Chantier	22

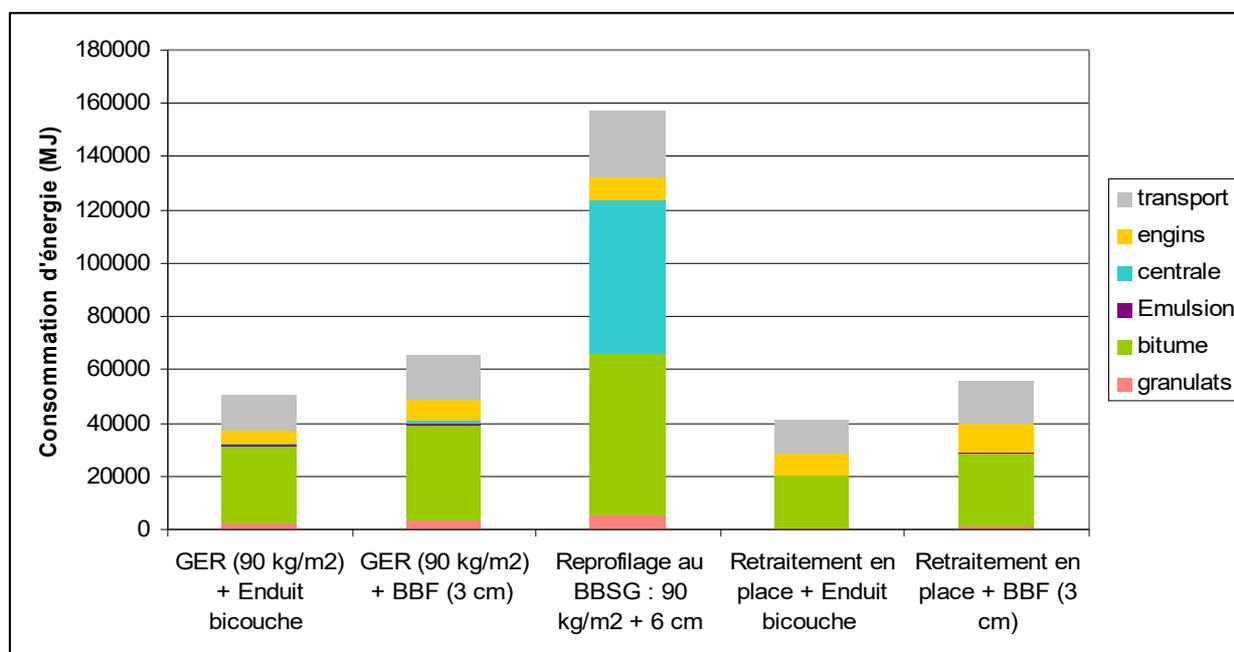
### 4 - Résultats

Résultats : chaussées faiblement déformées									
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
GER (50 kg/m <sup>2</sup> ) + Enduit bicouche	2205	38004	8	8	1	3	10491	21165	
GER (50 kg/m <sup>2</sup> ) +BBF (3 cm)	3099	53003	12	11	1	4	525	28610	
BBSG (6cm)	4801	95841	2	14	1	6	719	38912	



Résultats : chaussées faiblement déformées								
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
GER (90 kg/m <sup>2</sup> ) + Enduit bicouche	2895	50296	12	11	1	4	10642	28587
GER (90 kg/m <sup>2</sup> ) + BBF (3 cm)	3789	65295	16	14	1	6	676	36032
BBSG (90 kg/m <sup>2</sup> + 6 cm)	7934	157185	3	23	2	10	1156	62135

Résultats : retraitement en place								
Ecorce	ECORCE_v2.0 bdd.25.08.11.							
	GES	ENERGIE	EAU	ACIDIFICATION	EUTROPHISATION	O3	ECOTOX	TOX
Retrait + Enduit bicouche	2474	40829	11	9	1	3	10408	19814
Retrait + BBF (3 cm)	3368	55828	15	12	1	4	442	27259



## 5 - Analyse du cas

Pour les techniques permettant le reprofilage de faibles déformations : les résultats (en terme d'énergie et de GES) donnent les mêmes tendances :

évidemment, si la quantité de matériaux mis en œuvre est plus importante, il y a une augmentation de la consommation d'énergie ou les émissions de GES la part de fabrication en centrale (à chaud) est aussi très impactante

la part de fabrication à froid (en additionnant les procédés de mise en émulsion et de mélange en centrale) représente moins de 3% du bilan (énergie ou GES)

Pour les techniques permettant le reprofilage de fortes déformations, les résultats (en terme d'énergie et de GES) donnent logiquement les mêmes conclusions que précédemment, avec une augmentation de la consommation d'énergie ou des émissions de GES, liée aux quantités de matériaux mis en œuvre plus importante.

Dans le cas des retraitements en place, et malgré le bémol sur les distances de transport, les calculs ont été réalisés, pour le recyclage en place, avec différentes couches de roulement, et en comparaison de différentes épaisseurs de reprofilage à la GE.

On voit donc que même si on ne transporte pas de granulats pour la couche retraitée, la part de transport reste importante puisqu'elle intègre le déplacement de l'atelier : c'est donc un biais dû à ce cas théorique de 1 000 m<sup>2</sup>. On voit également que la part de consommation des engins de mise en œuvre est plus importante que pour une GER, puisque l'atelier réunit les fonctions de fragmentation, de malaxage, et de répandage. De plus, on constate logiquement l'influence de la teneur en bitume des matériaux utilisés pour les différentes combinaisons de couches de roulement. Ainsi, les résultats obtenus se situent dans les mêmes ordres de grandeur que des graves émulsion de reprofilage, donc mises en œuvre en épaisseur faible.

## 6 - Références

[1] Goyer S., Dauvergne M., Wendling L., Fabre J-C., De La Roche C., Gaudefroy V., "Environmental evaluation of gravel emulsion", International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction, Nantes, 2012

[2] Goyer S., "Scénarios d'entretien : comparaison environnementale", Journée COTITA Ouest « Entretien des couches de surface et techniques à froid », Rennes, 18 octobre 2012.

# Fiche n°7 : Analyse de variantes chaussées

## Appel d'offres RD14 bis - Chaussées

### 1 - Présentation

Contexte : Analyse d'offres

Commanditaire : CG67

Voie : RD14 - RD133

Nature des travaux : création d'un giratoire et réaménagement d'une RD sur environ 2 km jusqu'à l'arase terrassement

### 2 - Couches étudiées

Structure de la solution de base :

- 6cm BBSG2
- 8cm GB3
- 8cm GB3
- 70cm GTV (\*)
- traitée aux LHR (\*)

(\*) étudiées dans la partie terrassements

Matériaux			
Materiaux	(Tonnes)	Agregats, additifs	Commentaires
BB	3520	10,00%	
GB	7100	40,00%	Entreprise 1 : 40% et Entreprise 2 : 20%

### 3 - Principales hypothèses

Configuration							
transports utilisés (tonnes kilométriques) entreprise 1 base							
routier	78674	maritime		ferroviaire		fluvial	
transports utilisés (tonnes kilométriques) entreprise 2 base							
routier	57504	maritime		ferroviaire		fluvial	
transports utilisés (tonnes kilométriques) entreprise 2 variante 1							
routier	49604	maritime		ferroviaire		fluvial	

Fabrications						
centrales enrobage entreprise 1						
	chaud	oui / non	tiède	oui / non	froid	oui / non
distances			63 km	oui		
centrales enrobage entreprise 2						
	chaud	oui / non	tiède	oui / non	froid	oui / non
distances	38 km					

### 4 - Variantes étudiées

3 solutions étudiées comprenant :

#### **Entreprise 1 base**

- enrobés tiède
- centrale à 63 km
- 40 % d'agrégats

#### **Entreprise 2 base**

- enrobés chauds
- centrale à 38 km
- 20 % d'agrégats

## Entreprise 2 variante 1

- 13 cm GB4 (au lieu de 8cm+8cm GB3)
- enrobés chauds
- centrale à 38 km
- 20 % d'agrégats

## 5 - Résultats

Entreprise 1 Base

Chaussée	Granulats	GES	Energie	Eau	Acidification	Eutrophisatic	O3 Photochi	Ecotoxicité	Toxicité
Matériaux	6 904	101 548	2 095 521	150	469	27	219	34 309	1 842 447
Fabrication		88 781	2 248 630		31	1	54	1 367	40 979
Transport		81 554	1 074 838		231	22	58	0	405
Mise en œuvre		19 460	256 467		55	5	14	0	97
total	6 904	291 343	5 675 457	150	786	56	345	35 676	1 883 927

Entreprise 2 Base

Chaussée	Granulats	GES	Energie	Eau	Acidification	Eutrophisatic	O3 Photochi	Ecotoxicité	Toxicité
Matériaux	8 303	117 958	2 467 703	174	551	32	263	41 429	2 228 429
Fabrication		104 448	2 645 447		31	1	54	1 367	40 979
Transport		59 609	785 611		169	16	42	0	296
Mise en œuvre		18 465	243 352		52	5	13	0	92
total	8 303	300 480	6 142 113	174	803	54	373	42 796	2 269 795

Entreprise 2 Variante 1

Chaussée	Granulats	GES	Energie	Eau	Acidification	Eutrophisatic	O3 Photochi	Ecotoxicité	Toxicité
Matériaux	6 305	93 864	1 970 548	136	437	25	210	32 806	1 793 868
Fabrication		78 878	1 997 804		23	1	41	1 032	30 947
Transport		51 417	677 645		146	14	36	0	255
Mise en œuvre		15 363	202 471		44	4	11	0	76
total	6 305	239 521	4 848 469	136	650	44	299	33 839	1 825 146

## 6 - Analyse du cas

L'analyse des résultats montre :

- une proportion moyenne de : 69 % matériaux + fabrication / 23 % transport / 6 % mise en œuvre ;
- la proportion de l'impact des différents constituants sur la production des matériaux pour l'indicateur gaz à effet de serre est : 81 % bitume / 12 % granulats / 7 % agrégats (avec 40 % d'agrégats) ;
- l'indicateur de toxicité quasi-proportionnel à la quantité de bitume ;
- une augmentation de 20 % du taux d'agrégats induit une diminution en moyenne de 16% des impacts de la production des matériaux pour l'ensemble des indicateurs ;
- l'utilisation d'enrobés tièdes induit une diminution en moyenne de 15 % des impacts de la fabrication des matériaux pour les indicateurs GES et Energie ;
- une diminution de la distance centrale de 40 % induit une diminution de l'impact du transport total d'environ 26 % sur l'ensemble des indicateurs ;
- la variante GB4 apporte un gain global d'environ 20% sur l'ensemble des indicateurs.

# Fiche n°8 : analyse de variantes terrassement

## Appel d'offres RD14 bis - Terrassements

### 1 - Présentation

Contexte : Analyse d'offres

Commanditaire : CG67

Voie : RD14 - RD133

Nature des travaux : création d'un giratoire et réaménagement d'une RD sur environ 2 km jusqu'à l'arase terrassement

### 2 - Couches étudiées

Structure de la solution de base :

- 6cm BBSG2 (\*)
- 8cm GB3 (\*)
- 8cm GB3 (\*)
- 70cm GTV
- PST traitée aux LHR
- (\*) étudiées dans la partie chaussée

Matériaux			
Matériaux	(m³)	Agregats, additifs	Commentaires
Granuats	21900		
MTLH	6000		traité à 5 % de LHR (à 55 % de clinker)

### 3 - Principales hypothèses

Configuration						
transports utilisés (tonnes kilométriques) Entreprise 1 base						
routier	241796	maritime		ferroviaire		fluvial
transports utilisés (tonnes kilométriques) Entreprise 2 base						
routier	87240	maritime		ferroviaire		fluvial
transports utilisés (tonnes kilométriques) Entreprise 2 variante 2						
routier	93505	maritime		ferroviaire		fluvial

Fabrications						
apport couche de forme Entreprise 1						
	chaud	oui / non	tiede	oui / non	froid	oui / non
distances	45 km					
centrales enrobage Entreprise 2						
	chaud	oui / non	tiede	oui / non	froid	oui / non
distances	8 km					

### 4 - Variantes étudiées

3 solutions étudiées comprenant :

#### Entreprise 1 base

- couche de forme en granulats naturels
- distance approvisionnement : 45km

#### Entreprise 2 base

- couche de forme en matériaux recyclés béton
- distance approvisionnement : 8 km

#### Entreprise 2 variante 2

- 50 % de couche de forme en matériaux du site traité aux liants hydrauliques

## 5 - Résultats

### Entreprise 1 Base

CDF-terrasse	Granulats	GES	Energie	Eau	Acidification	Eutrophisatic	O3 Photochi	Ecotoxicité	Toxicité
Matériaux	46 914	384 453	3 701 765	677	816	69	415	10 749 896	34 502
Fabrication		0	0		0	0	0	0	0
Transport		250 645	3 303 354		711	66	177	0	1 243
Mise en œuvre		53 567	705 980		152	14	38	0	266
total	46 914	688 665	7 711 099	677	1 679	150	629	10 749 896	36 011

### Entreprise 2 Base

CDF-terrasse	Granulats	GES	Energie	Eau	Acidification	Eutrophisatic	O3 Photochi	Ecotoxicité	Toxicité
Matériaux	4 284	310 273	2 611 715	677	293	23	264	10 688 709	30 839
Fabrication		0	0		0	0	0	0	0
Transport		90 433	1 191 854		257	24	64	0	449
Mise en œuvre		106 256	1 400 393		302	28	75	0	527
total	4 284	506 962	5 203 963	677	851	75	403	10 688 709	31 815

### Entreprise 2 Variante 2

CDF-terrasse	Granulats	GES	Energie	Eau	Acidification	Eutrophisatic	O3 Photochi	Ecotoxicité	Toxicité
Matériaux	924	571 518	4 770 368	1 261	500	39	479	19 904 668	57 127
Fabrication		0	0		0	0	0	0	0
Transport		96 926	1 277 431		275	26	68	0	481
Mise en œuvre		134 051	1 766 708		380	36	95	0	665
total	924	802 495	7 814 506	1 261	1 155	100	642	19 904 668	58 273

## 6 - Analyse du cas

L'analyse des résultats montre :

- une proportion moyenne de : 63% matériaux / 22% transport / 15% mise en œuvre ;
- l'indicateur d'écotoxicité quasi-proportionnel à la quantité de ciment ;
- la proportion de l'impact des différents constituants sur la production des matériaux pour l'indicateur gaz à effet de serre est : 80% ciment / 20% granulats (avec granulats naturels).

Lors de cette étude, ont été mis en évidence :

- la difficulté à recueillir des données comparables lors de l'offre sur les temps d'utilisation d'engin : une consommation du simple au double a été constatée sur l'exemple en question entre les solutions de base des 2 entreprises ;
- la consommation d'eau utilisée sur le chantier non prise en compte et très largement supérieure à celle calculée (issue de la production des matériaux : clinker et ...).

La confrontation des résultats entre la partie chaussée et la partie terrassement abouti en moyenne sur les 3 cas aux proportions suivantes par indicateur :

Chaussée / Terrassement :

- GES : 33% / 67%
- Energie : 45% / 55%
- Acidification : 39% / 61%
- Eutrophisation : 33% / 67%
- O3 photochimique : 38% / 62%
- Ecotoxicité : 0% / 100%
- Toxicité : 98% / 2%

# Fiche n°9 : Analyse de variantes terrassement et chaussées

## Comparaison chaussée enrobés / chaussée béton (non armé)

### 1 - Présentation

Contexte : Phase projet

Commanditaire : DREAL Franche-Comté

Voie : Echangeur A36/RN1019

Nature des travaux : travaux neufs, section linéaire de 650 m à 3 voies avec déblais de 20m et remblais de 10m

### 2 - Couches étudiées

- déblai ;
- remblai ;
- couche de forme ;
- chaussée.

### 3 - Principales hypothèses

Les hypothèses communes à l'ensemble des solutions de base étudiées sont listées ci-après.

– pour les terrassements courants (cote projet-60 cm en déblai et cote projet-130 cm en remblai)

- longueur de déblai : 300 m ;
- volume de déblai : 180 000 m<sup>3</sup> ;
- consommation de carburant par m<sup>3</sup> extrait : 0,2 l/m<sup>3</sup> ;
- distance de transport des matériaux par tombereau : 300 m ;
- longueur de remblai : 350 m ;
- volume de remblai : 50 000 m<sup>3</sup> ;
- consommation de carburant par m<sup>3</sup> mis en œuvre : 0,1 l/m<sup>3</sup> ;
- distance d'approvisionnement en matériaux : 5 km ;

– pour la PST et la couche de forme

- longueur : 650 m ;
- largeur : 22 m ;
- consommation de carburant par m<sup>3</sup> mis en œuvre sans traitement : 0,1 l/m<sup>3</sup> ;
- consommation de carburant par m<sup>3</sup> mis en œuvre avec traitement : 0,2 l/m<sup>3</sup> ;
- distance d'approvisionnement en matériaux de remblai ou de couche de forme traitée : 5 km ;
- distance d'approvisionnement en matériaux granulaires : 20 km ;
- distance d'approvisionnement en liants hydrauliques routiers : 50 km.

– pour la chaussée

- longueur étudiée : 650 m ;

- largeur de BBSG : 17,80 m (2 × 2,00 m de bande dérasée droite + 3 × 3,50 m de voies circulées + 2,10 m de terre-plein minéralisé + 2 × 0,60 m de revêtement sous glissière de part et d'autre de la BDD) ;
- largeur de GB3 assise (base) : 18,20 m (sur-largeur de 20 cm de part et d'autre) ;
- largeur de GB3 assise (fondation) : 18,60 m (sur-largeur de 20 cm de part et d'autre) ;
- mise en œuvre de GNT pour combler le volume non occupé par un enrobé hydrocarboné ;
- mise en œuvre d'une couche d'accrochage à chaque interface bitumineuse ;
- distances centrales – chantier : 20 km ;
- distances carrières – centrales : 20 km ;
- distance raffinerie – centrales : 200 km ;
- distance fillers – centrales : 150 km ;
- utilisation d'une GB 0/14 contenant 20 % d'agrégats d'enrobés, fabriquée à chaud à partir d'un poste fixe fonctionnant au gaz naturel ;
- utilisation d'un BBSG 0/10 contenant 10 % d'agrégats d'enrobés, fabriqué à chaud à partir d'un poste fixe fonctionnant au gaz naturel.

#### 4 - Variantes étudiées

Les hypothèses particulières des quatre solutions de bases étudiées sont :

– solution 1 : PST non traitée très gélive/couche de forme granulaire/PF3

- couche de roulement : 6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;
- couche d'assise : 12 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche d'assise : 12 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche de forme en déblai : 30 cm de R21 ;
- couche de forme en remblai : 96 cm de R21.

– solution 2 : PST traitée peu gélive/couche de forme granulaire/PF3

- couche de roulement : 6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;
- couche d'assise : 12 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche d'assise : 12 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche de forme en déblai : 30 cm de R21 ;
- couche de forme en remblai : 75 cm de R21 ;
- PST en remblai : 35 cm de matériaux traités à 4 % de liant hydraulique contenant 50 % de clinker et 25 % de chaux.

– solution 3 : PST traitée très gélive/couche de forme traitée/PF4

- couche de roulement : 6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;
- couche d'assise : 10 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche d'assise : 10 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche de forme en déblai : 30 cm de GNT ;
- couche de forme en remblai : 93 cm de matériau B traité à 6 % de liant hydraulique contenant 70 % de clinker et protection par enduit gravillonné ;
- PST : 35 cm de matériaux traités à 2 % de liant hydraulique contenant 50 % de clinker et 25 % de chaux.

– solution 4 : PST traitée peu gélive/couche de forme traitée/PF4

- couche de roulement : 6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;
- couche d'assise : 10 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche d'assise : 10 cm de GB 0/14 de classe 3 ;
- couche de forme en déblai : 30 cm de GNT ;
- couche de forme : 74 cm de matériau B traité à 6 % de liant hydraulique contenant 70 % de clinker et protection par enduit gravillonné ;
- PST : 35 cm de matériaux traités à 4 % de liant hydraulique contenant 50 % de clinker et 25 % de chaux.

– variante AE : utilisation d'agrégats d'enrobés à plus fort taux

La solution considérée propose l'utilisation d'une GB3 0/14 contenant 30 % d'agrégats d'enrobés, fabriquée à chaud à partir d'un poste fixe fonctionnant au gaz naturel. Une étude à 40 % d'incorporation d'agrégats d'enrobés n'est pas prise en compte pour des questions techniques (validation par une épreuve de formulation de niveau 4).

– variante tiède : utilisation d'enrobés tièdes

La solution considérée propose l'utilisation d'enrobés tièdes (abaissement de température d'environ 30 °C par rapport à une technique classique) en lieu et place des enrobés étudiés dans les autres solutions. Conformément aux demandes du SIR AFC et de la politique de la DIR, il n'est pas étudié de solution mélangeant agrégats d'enrobés et technique tiède.

– variante BmP : utilisation de bitume modifié aux polymères

La solution examinée propose par rapport à la solution classique l'utilisation d'un bitume modifié aux polymères (élastomères) en couche de roulement afin d'atteindre les performances d'un BBSG classe 3, d'améliorer la susceptibilité thermique et d'augmenter potentiellement la durabilité de la couche de roulement.

– variante GB4 : utilisation de GB4

La solution examinée propose par rapport à la solution classique l'utilisation d'une GB4 0/14 contenant 20 % d'agrégats d'enrobés à la place d'une GB3.

- couche de roulement : 6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;
- couche d'assise : 10 cm de GB 0/14 de classe 4 ;
- couche d'assise : 10 cm de GB 0/14 de classe 4 ;
- couche de forme en déblai : 30 cm de R21 ;
- couche de forme en remblai : 96 cm de R21.

– variante transport : augmentation des distances d'approvisionnement

- distance d'approvisionnement en matériaux de remblai ou de couche de forme traitée : 10 km (au lieu de 5 km) ;
- distance d'approvisionnement en matériaux granulaires : 40 km (au lieu de 20 km) ;
- distance d'approvisionnement en liants hydrauliques routiers : 50 km (inchangé) ;
- distances centrales – chantier : 40 km (au lieu de 20 km) ;
- distances carrières – centrales : 20 km (inchangé) ;

– variante chaux : traitement des matériaux de remblai à la chaux

- traitement des matériaux de remblai à 1 % de chaux vive pure à 90 %.

– variante fioul : utilisation d'une centrale d'enrobage fonctionnant au fioul

- fabrication des enrobés à partir d'un poste fixe fonctionnant au fioul au lieu du gaz naturel.

## 5 - Résultats

	Granulats (t)	Energie (MJ)	Gaz à effet de serre (kg eq CO2)	Acidification (kg eq SO2)	Eutrophisation (kg eq PO4)	Ozone Photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1.4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1.4 DCB)
Base 1	26 452	9 909 520	666 958	1 046	260	854	17 786 457	65 731
Base 2	23 211	10 478 538	797 908	1 090	261	858	24 058 931	83 938
Base 3	11 078	11 749 189	1 129 735	1 251	260	848	42 891 577	93 760
Base 4	11 078	11 534 521	1 103 666	1 214	256	837	41 261 873	98 186

	Granulats (t)	Energie (MJ)	Gaz à effet de serre (kg eq CO2)	Acidification (kg eq SO2)	Eutrophisation (kg eq PO4)	Ozone Photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1.4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1.4 DCB)
Base 1	26 452	9 909 520	666 958	1 046	260	854	17 786 457	65 731
Variante AE	25 811	9 791 267	659 133	1 033	259	846	17 255 213	66 056
Variante tiède	27 885	9 471 526	637 162	1 059	261	812	18 912 241	64 861
Variante Bmp	26 452	10 121 144	678 414	1 082	265	887	20 433 696	67 100
Variante GB4	26 263	9 450 235	640 333	1 018	254	824	17 204 699	64 187

	Granulats (t)	Energie (MJ)	Gaz à effet de serre (kg eq CO2)	Acidification (kg eq SO2)	Eutrophisation (kg eq PO4)	Ozone Photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1.4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1.4 DCB)
Base 1	26 452	9 909 520	666 958	1 046	260	854	17 786 457	65 731
Variante chaud	26 452	13 157 349	1 424 934	1 204	291	906	46 338 172	278 163
Variante transport	26 452	11 054 066	758 627	1 229	309	993	19 789 236	77 226
Variante fioul	26 452	10 105 000	741 299	1 458	278	1 030	47 605 676	107 172

	Granulats (t)	Energie (MJ)	Gaz à effet de serre (kg eq CO2)	Acidification (kg eq SO2)	Eutrophisation (kg eq PO4)	Ozone Photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1.4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1.4 DCB)
Base 1								
terrassement	0	4 069 470	325 083	405	112	407	7 120 946	40 285
PST/CDF	19 294	1 434 208	82 163	266	74	147	1 813 478	9 130
chaussée	7 158	4 405 843	259 711	374	73	300	8 852 033	16 316

	Granulats (t)	Energie (MJ)	Gaz à effet de serre (kg eq CO2)	Acidification (kg eq SO2)	Eutrophisation (kg eq PO4)	Ozone Photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1.4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1.4 DCB)
Base 1								
Production	26 452	2 334 983	124 144	431	100	188		
Fabrication		2 365 330	126 704	54	5	130		
Transport		3 404 553	273 461	467	127	388		
Mise en œuvre		1 804 654	142 649	94	28	148		

## 6 - Analyse du cas

La répartition moyenne sur les différents indicateurs retenus (hors consommation de granulats) sur la solution de base 1 est :

- 44 % sur les terrassements généraux ;
- 20 % pour la PST et la couche de forme ;
- 36 % pour les couches de chaussées.

La répartition moyenne sur les différents indicateurs retenus (hors consommation de granulats) sur la solution de base 1 est :

- 29 % pour la production des matières premières (granulats, bitume, liants, ...) ;
- 13 % pour la fabrication des enrobés ;
- 43 % pour le transport ;
- 15 % pour la mise en œuvre.

La sensibilité aux distances d'approvisionnement, à l'utilisation de chaux sur les matériaux de remblai et à l'énergie de la centrale d'enrobage ont été étudiées :

- les distances d'approvisionnement ont un impact de l'ordre de 12 à 19 % sur l'ensemble des indicateurs (hors consommation en granulats) ;
- l'utilisation de chaux en remblai a un impact très fort sur la consommation d'énergie et sur les émissions de gaz à effets de serre (respectivement 33 % et 114 %) ;
- l'énergie de la centrale d'enrobage influe surtout sur l'acidification et sur l'ozone photochimique (respectivement 39 % et 21 %).

Ces résultats permettent de donner l'ordre de grandeur des gains environnementaux apportés par les différentes solutions techniques pour qu'ils soient significatifs.

Ensuite, un impact considérable est à noter sur le choix initial du couple terrassement-chaussée. En effet, la portance de couche de forme choisie pour la réalisation du projet nécessite, de par les performances visées, de réaliser cette couche de forme soit en matériau granulaire, soit en matériau traité au liant hydraulique.

La structure de chaussée est, dans ce cas, adaptée à la classe de portance choisie, une classe plus élevée permettant de réduire les couches de chaussée mises en œuvre pour des performances équivalentes.

Les résultats obtenus dans cette analyse particulière montrent qu'avec une couche de forme traitée, des économies importantes de ressources naturelles sont réalisées mais des impacts négatifs sont constatés sur les consommations en énergie, les émissions de gaz à effet de serre et le potentiel d'acidification.

Il est précisé qu'il n'est pas observé de différence significative sur les indicateurs d'ozone photochimique et d'eutrophisation dans ce cas.

Les études menées ont conduit à observer la variabilité sur les matériaux et structure de chaussée :

- les cas étudiés mettent en évidence des résultats environnementaux plus performants pour une solution en Grave Bitume de classe 4 par rapport à une solution classique en Grave Bitume de classe 3. Ceci est lié au gain d'épaisseur réalisée pour des performances mécaniques équivalentes ;
- il est montré que l'utilisation d'une solution avec agrégats d'enrobés permet un gain plus important sur l'économie en ressources naturelles et sur l'indicateur d'acidification ;
- il est mis en évidence qu'une solution en technique tiède permet une amélioration sur la consommation en énergie et sur les indicateurs d'émission de gaz à effet de serre et d'ozone photochimique (il est rappelé que le choix d'utilisation d'enrobés tièdes avec agrégats d'enrobés est exclue de l'étude réalisée, ce qui a tendance à pénaliser l'économie en ressources naturelles et les indicateurs d'acidification et d'eutrophisation sur le produit examiné).

Enfin ces résultats sont à croiser avec le contexte environnemental local.

## Résumé

Cette étude sur les éco-comparateurs a pour objectif de définir des propositions en vue d'assurer une comparabilité globale des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur l'ensemble des phases fonctionnelles de la route (construction, entretien, fin de vie, exploitation...).

Cette étude sur les éco-comparateurs est séparée en 3 phases :

- Phase 1 : Cette phase capitalise les études réalisées par le Cerema (Dter Est, Dter Ouest et Dter Sud-Ouest) à l'aide d'éco-comparateurs. Ces études de cas particulières ont permis de mettre en évidence différents exemples d'utilisation des éco-comparateurs. Leur analyse a permis de faire ressortir des tendances relatives à l'impact environnemental de différentes techniques routières, de mettre en évidence des paramètres influents ainsi que des recommandations d'emploi ou des points de vigilance.
- Phase 2 : Cette phase compare de manière plus approfondie les données d'entrée des logiciels SEVE (v2) et ECORCE (v2.0), et notamment les facteurs d'émission utilisés.
- Phase 3 : Cette phase vise à comparer sur un cycle de vie le bilan environnemental de différentes structures de chaussées à partir d'un éco-comparateur. Alors que les bilans environnementaux sont souvent limités à la seule phase de construction, cette étude permettra d'évaluer l'incidence des politiques de dimensionnement initiales et de différentes politiques d'entretien.

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.*

*En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.*

Référence : 1636w – ISRN : CEREMA-DteciTM-2016-036-1-FR

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement-

Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris, 77171 Sourdun - Tél. : +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public - Siret 130 018 310 00016 - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)