



Rapport de projet

FDES - Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud représentatif français et d'une chaussée en enrobé bitumineux



Partners:



Period: 01.06.2014 - 31.05.2017 - Coordinator: USIRF - Total budget: 1,311,960€ - EU contribution: 655,960€



The SustainEuroRoad[®] Project is co-financed by LIFE Programme 2013

Sommaire

1	Introduction.....	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Objectifs.....	1
1.3	Contexte de réalisation de l'étude.....	2
1.4	Conformité aux normes.....	3
1.5	Entreprises dont les produits sont couverts par les FDES.....	3
1.6	Comité de pilotage.....	4
1.7	Revue critique.....	4
1.8	Tableau de correspondance avec la norme NF EN 15804.....	5
2	Méthodologie générale et champ de l'étude.....	7
2.1	Produits étudiés.....	7
2.2	Unités fonctionnelles étudiées.....	11
2.3	Systèmes étudiés.....	11
2.4	Règles de coupure.....	14
2.5	Règles pour la prise en compte du recyclage.....	14
2.6	Principes d'allocation entre co-produits.....	15
3	Source et qualité des données.....	16
3.1	Sources de données.....	16
3.2	Qualité des données.....	19
4	Points d'attention relatifs à l'étude.....	22
5	Inventaire du cycle de vie.....	23
5.1	Synoptiques des flux.....	24
5.2	Consommation de matières premières (A1).....	26
5.3	Acheminement des matières premières (A2).....	27
5.4	Fabrication de l'enrobé (A3).....	28
5.5	Transport des matériaux sur le chantier (A4).....	42
5.6	Mise en oeuvre de la chaussée (A5).....	45
5.7	Vie en oeuvre de la chaussée (B1-B7).....	47
5.8	Fin de vie de la chaussée (C1-C4).....	50
5.9	Bénéfices et charges au-delà des frontières du système (D).....	50
6	Évaluation de l'impact du cycle de vie.....	55
6.1	Indicateurs d'impacts environnementaux étudiés.....	55
6.2	Procédures de calcul.....	56
6.3	Avertissement.....	56
6.4	Résultats pour la production d'une tonne d'enrobé.....	57
6.5	Résultats pour la mise à disposition de 1 m ² de chaussée.....	70
6.6	Incertitudes.....	77
6.7	Variance par rapport aux moyennes des résultats.....	77
6.8	Comparaison des résultats avec la précédente étude.....	78
7	Conclusion.....	80
8	Annexes.....	81
8.1	Annexe 1 : Questionnaire de collecte des données pour les centrales d'enrobage.....	81
8.2	Annexe 2 : Données collectées auprès des centrales d'enrobage.....	87
8.3	Annexe 3 : Calcul des émissions de fumées de bitume.....	91
8.4	Annexe 4 : Modélisation des engins de chantier.....	94
8.5	Annexe 5 : Application de la méthode des stocks.....	97
8.6	Annexe 6 : Flux sortants et flux d'utilisation des ressources utilisés.....	101
8.7	Annexe 7 : Modélisation du kWh électrique français.....	102
8.8	Annexe 8 : Résultats pour la mise à disposition de 1 m ² de chaussée sans prise en compte des couches d'assise.....	104
8.9	Annexe 9 : Part d'impacts évités grâce aux bénéfices et charges au-delà des frontières du système pour tous les indicateurs.....	107
8.10	Annexe 10 : Note de vérification.....	108

Liste des abréviations

- ACV : Analyse de Cycle de Vie
- AIMCC : Association des Industries de Produits de Construction
- BB : Béton Bitumineux
- BTP : Bâtiment et Travaux Publics
- CML : Centre of Environmental Science University of Leiden – Pays Bas
- DEP : Déclaration Environnementale Produit
- EI : EcoInvent
- EME2 : Enrobés à Module Elevé 2
- FDES : Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire
- FE : facteur d'émission
- FOL : Fioul lourd
- GB3 : Grave Bitume 3
- GN : Gaz Naturel
- GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié
- ISO : International Organisation for Standardisation
- UF : Unité Fonctionnelle
- UNPG : Union Nationale des Producteurs de Granulats
- USIRF : Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française

1 Introduction

1.1 Contexte

L'USIRF, Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française, a pour mission de :

- fédérer et représenter les constructeurs de routes,
- être force de proposition pour défendre, promouvoir, valoriser la profession auprès des différents acteurs économiques et politiques,
- être un vecteur de promotion de la rue et de la route,
- évoluer dans une logique de proximité en fédérant 20 syndicats professionnels régionaux.

Parmi ses domaines d'action, l'USIRF est particulièrement impliquée dans le domaine de l'environnement et considère que la maîtrise des impacts environnementaux liés aux activités de la route constitue un défi et un formidable moteur d'innovation.

C'est dans ce contexte que, suite à la publication de la norme expérimentale XP 01-010 puis de la norme NF P01-010, l'USIRF a réalisé en 2006 puis en 2012-2014 l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) d'une tonne d'enrobé bitumineux et d'un mètre carré de chaussée. Même si la norme NF EN 15 804 concerne plus spécifiquement les produits de construction, elle constitue néanmoins le référentiel le plus adapté au domaine des travaux publics. Son application a ainsi permis à l'USIRF de mettre à la disposition des acteurs du BTP des informations précises et fiables sur la performance environnementale des chaussées bitumineuses.

Cependant, suite à ces travaux, différentes évolutions ont eu lieu avec notamment :

- des évolutions des bases de données utilisées pour réaliser les FDES (informations sur la performance environnementale des matières premières et des procédés utilisés aux différentes étapes du cycle de vie des produits),
- des évolutions relatives aux normes et réglementations qui encadrent l'évaluation environnementale des produits de construction (décret et arrêté du 23 décembre 2013, normes NF EN 15804+A1 et XP P01-064 CN parues en avril 2014).

C'est pourquoi l'USIRF a souhaité actualiser les travaux d'ACV et la FDES réalisés entre 2012 et 2014. On note cependant que les procédés de fabrication ont peu évolué au cours des dernières années, on considère donc que les données d'activité n'ont pas changé.

Cette étude a été réalisée par BIO by Deloitte, cabinet de conseil expert en analyse de cycle de vie.

1.2 Objectifs

Dans ce contexte, l'objectif de l'étude est de quantifier à l'aide de la méthode ACV les impacts environnementaux de l'enrobé bitumineux représentatif français (France métropolitaine) et d'une chaussée réalisée à partir de ce dernier.

Par conséquent, deux systèmes sont considérés dans cette étude :

- le système « production de l'enrobé » qui va de l'extraction des matières premières à la sortie de la centrale d'enrobage,
- le système « cycle de vie de la chaussée » qui va de l'extraction des matières premières à la fin de vie de la chaussée.

En particulier, les résultats de cette étude ont pour objectif de servir de base à la publication d'une Déclaration Environnementale Produit (DEP) sortie d'usine et une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) relatives respectivement à ces deux systèmes, élaborées conformément aux exigences de la norme NF EN 15804+A1 et son complément XP P01-064/CN. Comme pour la FDES parue en 2014, ces nouveaux documents :

- sont des fiches collectives, c'est-à-dire représentative des produits fabriqués par les adhérents de l'Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française,
- Ont pour objectif de mettre à disposition des informations environnementales sur l'enrobé bitumineux pour les acteurs du bâtiment et des travaux publics (maîtres d'œuvre, entreprises...).

La principale communication envisagée avec cette DEP sortie d'usine et cette FDES est de type professionnel vers professionnel (B to B) et les cibles visées sont plus particulièrement les maîtres d'ouvrage et les architectes. Par ailleurs, la FDES relative au système « cycle de vie de la chaussée » sera publiée dans la base de données INIES (www.base-inies.fr).

Le présent rapport de projet rassemble l'ensemble des données, hypothèses et méthodes de calcul utilisées pour réaliser l'ACV sur laquelle reposent la DEP sortie d'usine et la FDES et présente les résultats obtenus. Il a notamment pour but d'étayer le processus de vérification par tierce partie. Il est mis à la disposition du vérificateur ainsi que d'autres parties prenantes qui pourraient en faire la demande dans le respect des exigences de confidentialité spécifiées dans l'ISO 14025.

1.3 Contexte de réalisation de l'étude

Cette étude se base sur les mêmes données que pour l'ACV réalisée entre 2012 et 2014 (données d'activités collectées en 2012). Ceci se justifie par le fait que les procédés de fabrication et de mise en œuvre de l'enrobé bitumineux ont peu évolué dans les quatre dernières années.

Par ailleurs, l'étude précédente portait sur deux scénarios de chaussée définis par l'USIRF, afin d'évaluer l'influence des variations possibles en matière de conception et d'entretien de chaussée. Ces deux scénarios correspondaient à des chaussées utilisées pour des routes départementales et communales mais différent en termes de structure initialement mise en œuvre et d'entretien au cours de la durée de vie.

En revanche, un seul scénario typique de chaussée est étudié dans la présente étude. Il s'agit du scénario n°2 tel qu'il était nommé dans l'ancienne étude. Ce scénario est basé sur une structure type catalogue des structures SETRA d'octobre 1998 TC4PF3 30 ans. Selon l'USIRF, ce scénario est plus représentatif que l'autre scénario (scénario 1) car il est établi à partir d'une structure initiale type issue d'un catalogue utilisé par les entreprises de travaux publics. Qui plus est, c'est ce scénario 2 uniquement qui avait fait l'objet d'une FDES en 2014. Le choix est donc fait de repartir sur ce même scénario.

Enfin, une DEP supplémentaire a été créée sur la base de la présente étude, portant sur la production d'enrobé bitumineux à chaud. Deux types d'enrobés bitumineux à chaud sont étudiés : le béton bitumineux et la grave bitume 3. Cependant, le béton bitumineux est plus souvent mis en œuvre dans la réalité que la grave bitume 3, pour la mise en œuvre et l'entretien de la couche de roulement. Le choix est donc fait de produire une seule DEP sur la production de béton bitumineux.

Le tableau suivant résume les différentes études ACV réalisées par l'USIRF depuis 2006.

Tableau 1 - Historique des études ACV menées par l'USIRF

Étude	Année(s)	Praticien ACV externe	Système(s) étudié(s)	Conformité aux normes	FDES publiée(s)	Autres informations
ACV des enrobés bitumineux, Rapport d'étude de l'inventaire du transport, de la mise en œuvre, de la vie en œuvre et de la fin de vie	2002 - 2006	Henri Lecouls	Systèmes « production d'enrobé », et « Cycle de vie d'une chaussée »	Norme XP 01-010 puis NF P 01-010	Un projet de FDES ¹	Collecte de données de production auprès d'industriels sur les années 2001-2002 Indicateurs couverts : énergie primaire totale,

¹ Non officielle car la norme excluait temporairement les matériaux de chaussée. En revanche, un article a été publié dans la Revue Générale des routes et Aéroports n° 865 mars 2008 et rectificatif dans n°872 « Caractéristiques environnementales des matériaux routiers - Analyse du cycle de vie des enrobés bitumineux: Inventaire de la fabrication, du transport, de la mise en œuvre, de la vie en œuvre et de la fin de vie des enrobés à chaud Vers un amendement Matériaux routiers à la norme P01-010 ».

Étude	Année(s)	Praticien ACV externe	Système(s) étudié(s)	Conformité aux normes	FDES publiée(s)	Autres informations
des enrobés à chaud						changement climatique et acidification atmosphérique
Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud moyen français et d'une chaussée en enrobé bitumineux	2012 - 2014	BIO Intelligence Service	Systèmes « production d'enrobé » et « Cycle de vie d'une chaussée »	Norme NF P 01-010	Une FDES, relative au système « Chaussée »	Collecte de données de production auprès d'industriels sur l'année 2011 Utilisation d'EI v2.2
Mise à jour de l'analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud moyen français et d'une chaussée en enrobé bitumineux	2015	BIO by Deloitte	Identique à l'étude précédente	Norme NF EN 15804+A1 et son complément	Une DEP sortie d'usine relative au système « production d'enrobé » et une FDES relative au système « Chaussée »	Reprise des données d'activité de l'étude précédente. Utilisation d'EI v3.1

1.4 Conformité aux normes

Cette étude est réalisée en conformité avec les normes internationales relatives aux ACV mentionnées ci-dessous :

- NF EN ISO 14040 (Octobre 2006) : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Principes et cadre,
- NF EN ISO 14044 (Octobre 2006) : Management Environnemental – Analyse de Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices de la série ISO 14040 relatives aux analyses de cycle de vie,

De plus, compte tenu de l'objectif, cette étude est également réalisée en conformité avec les normes françaises relatives aux FDES :

- NF EN 15804+A1 (Avril 2014) : Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles réagissant les catégories de produits de construction,
- XP P01-064/CN (Avril 2014) : Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles réagissant les catégories de produits de construction – Complément national à la NF EN 15804+A1.

Toutefois, il faut noter que la refonte complète du rapport de projet de l'ancienne étude pour structurer le rapport de projet tel que présenté au chapitre 8.2 de la norme NF EN 15804+A1 n'est pas prévu dans le cadre de cette mise à jour. Néanmoins, les exigences et recommandations de la norme NF EN 15804+A1 concernant les éléments à intégrer dans le rapport de projet ont été suivies. Des renvois mentionnant les correspondances entre les informations disponibles dans ce rapport et la structure du rapport de projet tel que définie dans la norme est présenté au chapitre 1.8.

Enfin on notera que les FDES publiées sur la base de cette étude sont conformes avec la norme NF EN ISO 14025 (Octobre 2006) : Marquages et déclarations environnementaux – Déclarations environnementales de Type III – Principes et modes opératoires.

1.5 Entreprises dont les produits sont couverts par les FDES

Comme mentionné précédemment, la DEP de la production d'enrobé et la FDES de la chaussée en enrobé bitumineux sont toutes deux des fiches collectives représentatives des produits et techniques utilisés par les adhérents de l'USIRF.

Les entreprises dont les produits sont couverts par la FDES sont les entreprises routières membres de l'USIRF et/ou d'un des 20 Syndicats Professionnels Régionaux de l'Industrie Routière (SPRIR)².

On gardera en tête que les enrobés bitumineux à chaud modélisés dans cette étude sont des enrobés génériques. Cependant, ils correspondent à 90% de la production nationale d'enrobés. Ils correspondent à deux cas « extrêmes » de recettes d'enrobé, qui se différencient surtout sur leurs taux d'incorporation respectifs de bitume,

De même, la chaussée modélisée ici est une chaussée représentative de la diversité de chaussées mises en œuvre sur les chantiers.

À cet égard, ces produits sont commercialisés de professionnel à professionnel (B-to-B). Établir un cadre de validité pour ces produits n'est donc pas rendu obligatoire par les textes réglementaires.

1.6 Comité de pilotage

Cette étude a été encadrée par un comité de pilotage dirigé par l'USIRF et regroupant des représentants de différentes entreprises de l'industrie routière, à savoir :

- François VERHÉE, USIRF ;
- Christine LEROY, USIRF ;
- Ismaïl CAVAGNOL, Office des Asphaltes/USIRF ;
- Vincent BESSE, COLAS ;
- Carole BURGUE-MAZARS, Entreprise MALET ;
- Clara LORINQUER, EUROVIA ;
- Ludovic PERISSE, EIFFAGE Travaux Publics ;

1.7 Revue critique

Cette étude ACV, ainsi que la FDES qui a été réalisée à partir de cette étude, ont fait l'objet d'une vérification par tierce partie, par deux experts :

- François Witte, chef de projet ACV, de la société Quantis,
- Sébastien Lasvaux, vérificateur FDES habilité AFNOR, du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).

Le rapport de revue critique est fourni en annexe 8.10.

² Voir : <http://www.usirf.com/usirf/organisation/organisation-20-sprir/>

1.8 Tableau de correspondance avec la norme NF EN 15804

Le tableau suivant vise à expliciter la correspondance entre les différentes sections du présent rapport et la section 8.2 de la norme NF EN 15804+A1 « Éléments du rapport de projet en relation avec l'ACV ».

Tableau 2 - Correspondance entre les sections du rapport et éléments du rapport de projet à intégrer selon la norme NF EN 15804+A1

Éléments du rapport de projet	Section du rapport correspondante
Commanditaire de l'ACV, praticien interne ou externe de l'ACV	1.1 Contexte 1.4 Conformité aux normes
Date du rapport	Page de garde
Mention stipulant que l'étude a été réalisée conformément aux exigences de la présente norme	Titre 1.4 Conformité aux normes 1.7 Revue critique
Objectifs de l'étude	1.2 Objectifs
Champ de l'étude	2.1 Produits étudiés
Unité déclarée/fonctionnelle, y compris : i) définition, incluant la (es) spécification(s) technique(s) pertinente(s) ; ii) règles de calcul des données moyennes, par exemple lorsque l'unité déclarée/fonctionnelle est définie pour : - un groupe de produits similaires produits par différents fournisseurs.	2.2 Unités fonctionnelles étudiées 3.1 Sources de données
Frontières du système conformément à l'approche modulaire décrite à la Figure 1, y compris : i) omission de certaines étapes du cycle de vie, processus ou données requis ; ii) quantification des intrants et extrants d'énergie et de matières, en tenant compte de la façon dont les données à l'échelle de l'usine sont affectées aux produits déclarés ; iii) hypothèses relatives à la production d'électricité et autres données fondamentales pertinentes ;	2.3.1 Frontières du système 2.3.2 Étapes du cycle de vie exclues des systèmes 2.6 Principes d'allocation entre co-produits 3.1.3 Données environnementales et 8.7 Annexe 7 : Modélisation du kWh électrique français
Critères de coupure	2.4 Règles de coupure
Inventaire du cycle de vie : 1) description qualitative/quantitative des processus élémentaires nécessaires pour modéliser les étapes du cycle de vie de l'unité déclarée, en tenant compte des dispositions de l'EN ISO 14025 relatives à la confidentialité des données ; 2) Sources de données génériques ou littérature utilisée pour mener l'ACV ; 3) Validation des données ; 4) Principes et procédures d'affectation.	3 Source et qualité des données et 5 Inventaire du cycle de vie 5 Inventaire du cycle de vie 3.2 Qualité des données 2.6 Principes d'allocation entre co-produits
Évaluation de l'impact du cycle de vie : 1) procédures EICV, calculs et résultats de l'étude ; 2) Relation entre les résultats de l'EICV et les résultats de l'ACV ; 3) Référence à tous les modèles de caractérisation, facteurs de caractérisation et méthodes utilisées 4) mention stipulant que les résultats de l'EICV sont des expressions relatives et ne président pas les impacts finaux par catégorie, le dépassement de seuils, les marges de sécurité ou les risques.	6 Évaluation de l'impact du cycle de vie 6.2 Procédures de calcul 6.1 Indicateurs d'impacts environnementaux étudiés 6.3 Avertissement

Éléments du rapport de projet	Section du rapport correspondante
<p>Interprétation du cycle de vie</p> <p>1) Résultats ;</p> <p>2) Hypothèses et limitations associées à l'interprétation des résultats, tels que déclarés dans la DEP, en relation avec la méthodologie et les données ;</p> <p>3) Il convient de décrire la variance par rapport aux moyennes des résultats de l'EICV, si les données génériques déclarées proviennent de plusieurs sources ou concernent une gamme de produits similaires ;</p> <p>4) Évaluation de la qualité des données ;</p> <p>5) Transparence totale en termes de choix de valeurs, justifications et appréciations d'expert.</p>	<p>6.4 Résultats pour la production d'une tonne d'enrobé et 6.5 Résultats pour la mise à disposition de 1 m² de chaussée</p> <p>4 Points d'attention relatifs à l'étude</p> <p>6.6 Incertitudes et 6.7 Variance par rapport aux moyennes des résultats</p> <p>3.2 Qualité des données</p> <p>n/a</p>

2 Méthodologie générale et champ de l'étude

2.1 Produits étudiés

2.1.1 Enrobés bitumineux étudiés

Les enrobés bitumineux sont des mélanges de granulats (graviers, sable, filler, etc.) et de liant bitumineux (bitume). Ils constituent le principal matériau utilisé pour la réalisation de chaussées en France.

On peut distinguer les enrobés bitumineux en fonction de leur procédé de fabrication. On distingue ainsi :

- les enrobés à chaud : Ces enrobés sont fabriqués dans des centrales d'enrobage à des températures allant de 130°C à 180°C selon le type de liant. Cette température permet d'enrober les granulats séchés.
- les enrobés tièdes : Le procédé de fabrication repose sur l'utilisation d'une technique ou d'un additif qui permet de réduire la température de séchage et de chauffage des granulats (en comparaison des enrobés à chaud).
- les enrobés à froid : Ce procédé repose sur l'utilisation d'une émulsion de bitume qui permet de s'affranchir du séchage et du chauffage des granulats.

Les enrobés à chaud constituent la majeure partie des enrobés produits en France métropolitaine. Toutefois, les enrobés tièdes constituent une alternative qui est appelée à croître fortement dans les années à venir. À l'heure actuelle, la proportion d'enrobés tièdes est faible (< 5% de la production totale pour les 8 centrales). Les enrobés tièdes présentent a priori un meilleur bilan environnemental que les enrobés à chaud (moindre consommation d'énergie lors de la production). Les enrobés tièdes ont donc été assimilés à des enrobés à chaud. On notera que cette hypothèse est conservatrice vis-à-vis du système étudié

Dans le cadre de cette étude, seuls les enrobés à chaud sont étudiés et sont nommés par la suite « enrobés ». De plus, on peut également distinguer les enrobés en fonction de leur composition (taux de liant, granulométrie des granulats, ...). Selon leur composition, les enrobés bitumineux présentent des caractéristiques techniques différentes et peuvent être utilisés dans les différentes couches d'une chaussée : couche de fondation, couche de base et couche de surface.

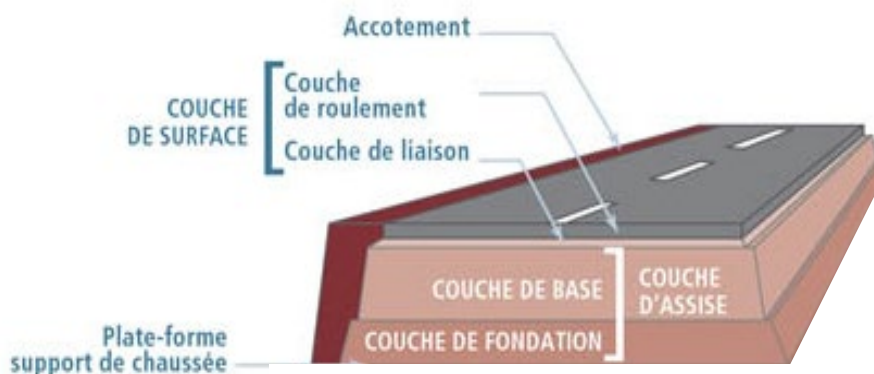


Figure 1 - Coupe-type de chaussée (USIRF)

Dans le cadre de cette étude, on étudie deux types d'enrobés qui diffèrent selon leur composition et qui sont utilisés dans des couches de chaussées différentes :

- le Béton Bitumineux (BB), utilisé pour la couche de surface,
- la Grave Bitume (GB3), utilisée pour les couches de base et de fondation.

Ces enrobés ont été sélectionnés par l'USIRF et sont représentatifs des enrobés utilisés en France métropolitaine pour la réalisation de chaussées.

2.1.2 Chaussée en enrobé bitumineux étudiée

2.1.2.1 Type de chaussée étudiée

Il existe de nombreux types de chaussées en enrobé bitumineux qui peuvent avoir des structures très différentes.

La chaussée considérée dans cette étude correspondent aux chaussées en enrobé bitumineux utilisées sur les routes départementales et communales, qui sont les routes plus représentatives du réseau routier français.

Comme indiqué dans les tableaux ci-dessous, les linéaires de ces réseaux sont estimés à environ 380 000 km pour les routes départementales et 666 000 km pour les routes communales, ce qui représente environ 98% de la longueur du réseau routier français. En termes de trafic routier, ce réseau de routes départementales et communales représente 66% des km parcourus en véhicule.

Ainsi, la chaussée considérée dans cette étude correspond aux chaussées en enrobé bitumineux utilisées sur les routes constituant le linéaire majoritaire du réseau routier français et supportant la majorité du trafic. De plus, ce linéaire constitue également le support de la majorité des travaux d'entretien effectués par les entreprises de travaux publics.

Ces chaussées sont adaptées à un trafic moyen (trafic cumulé de 3 à 6 millions de poids lourds sur 30 ans).

Tableau 3 - Répartition des types de chaussées en France

Types de chaussée	Longueur du réseau routier		Source
	en km	en % de km	
Autoroutes (concédées et non concédées)	11 465	0,9%	SOeS, Chiffres-clés du transport, Edition 2014 (portant sur l'année 2012)
Routes nationales	9 784	1,1%	
Routes départementales	377 965	35,5%	
Routes communales	666 343	62,5%	
Total	1 065 557	100%	

Tableau 4 – Répartition de la circulation en France

Types de chaussée	Circulation en % de véhicule.km	Source
Autoroutes (concédées et non concédées)	29,9%	SOeS, Chiffres-clés du transport, Edition 2014 (portant sur l'année 2012)
Routes nationales	4,0%	
Routes départementales	66,1%	
Routes communales		
Total	100%	

2.1.2.2 Structure générale

La chaussée en enrobé bitumineux considérée dans cette étude est constituée par :

- une couche de fondation et une couche de base, qui constituent les couches d'assise de la chaussée,
- une couche de surface.

Les différentes couches en enrobé bitumineux sont collées avec une couche d'accrochage composée d'émulsion de bitume, c'est-à-dire un mélange de bitume et d'eau.

La couche de forme qui sert de plateforme à la chaussée n'est pas incluse dans le périmètre de cette étude. En effet, elle n'est pas incluse dans la définition technique d'une chaussée et ne fait pas partie intégrante de la chaussée.

2.1.2.3 *Durée de vie de référence*

La définition de la durée de vie de référence d'une chaussée est un sujet de débat au sein des experts des travaux publics et des praticiens ACV.

En effet, la couche de surface (ou couche de roulement) fait l'objet d'un entretien régulier pendant la vie de la chaussée, soit par rechargement soit par enlèvement et remplacement.

À l'inverse, les couches d'assise (couche de base + couche de fondation) restent en général en place. Elles sont utilisées comme support pour les couches de surface successives. Elles ne sont que très rarement déconstruites.

Pour répondre aux exigences du chapitre 6.3.3 de la norme NF EN 15804+A1 (prise en compte de l'ensemble des éléments permettant d'assurer la fonction de chaussée), le principe retenu pour la présente étude est de considérer une durée de vie de référence de 100 ans pour la chaussée avec un entretien régulier de la couche de surface par rechargement ou remplacement permettant d'assurer les fonctions de la chaussée sur cette durée de vie de référence.

De plus, à titre d'information, les résultats ACV de la couche de surface seule, c'est-à-dire la chaussée sans prise en compte des couches d'assise (couche de base + couche de fondation), sont présentés en annexe 8.8. de ce rapport

2.1.2.4 *Structure initiale et entretien*

Comme évoqué en section 1.3, le choix est fait ici de n'étudier que le scénario basé sur une structure type catalogue des structures SETRA d'octobre 1998 TC4PF3 30 ans (appelé scénario 2 dans la précédente étude).

Dans le scénario étudié, la structure initiale est dimensionnée pour une durée de vie de 30 ans (sans entretien). Les étapes d'entretien considérées lors de la vie en œuvre permettent ensuite à la chaussée d'assurer ses fonctions sur 100 ans.

La structure initiale et l'entretien de la chaussée étudiée sont calculés selon la méthode française de dimensionnement définie par la norme NF P 98 086 « Dimensionnement structurel des chaussées routières – Application aux chaussées neuves ». L'endommagement est pris en compte en appliquant la « Loi de Miner cumul des dommages ». Ces scénarios sont représentatifs et actuels de la plupart des autres pratiques existantes en France.

La structure initiale de la chaussée est présentée dans la Figure 2 ci-après.

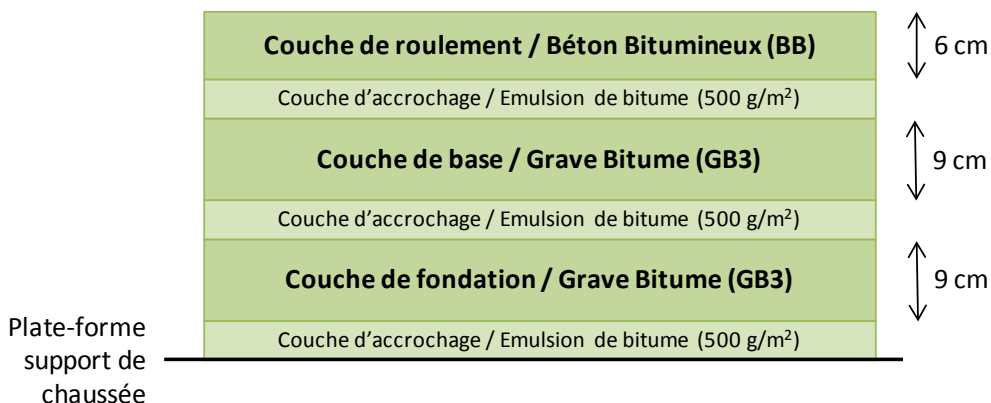


Figure 2 – Structure de la chaussée étudiée

Les masses de matériaux mis en œuvre sur l'ensemble du cycle de vie de la chaussée sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les masses volumiques du Béton Bitumineux (BB) et de la Grave Bitume (GB3) ont été considérées comme identiques et égales à 2,35 t/m³ (source : USIRF).

Tableau 5 - Masse des matériaux mis en œuvre dans le scénario retenu

Matériaux		Détail	Masse par m ² (kg)
Mise en œuvre initiale	Couche de roulement	Béton Bitumineux (BB) (4,8% de bitume)	1,41E+02
	Couche de base	Grave Bitume (GB3) (3,95% de bitume)	2,12E+02
	Couche de fondation	Grave Bitume (GB3) (3,95% de bitume)	2,12E+02
	Couches d'accrochage	Émulsion de bitume (60% de bitume)	1,50E+00
Entretien pendant la vie en œuvre	Couche de roulement	Béton Bitumineux (BB) (4,8% de bitume)	6,82E+02
	Couches d'accrochage	Émulsion de bitume (60% de bitume)	4,00E+00
Total			1,25E+03

Le scénario d'entretien calculé pour cette chaussée est présenté dans le tableau ci-dessous.

Pour l'entretien à 26 ans, on notera qu'un enrobé à module élevé (EME2) est utilisé à la place du béton bitumineux classique (BB). Cette utilisation relève d'une optimisation économique, l'EME2 étant un enrobé plus structurant. Néanmoins, celui-ci ayant une composition (et en particulier une teneur en bitume) très proche de celle du béton bitumineux (BB), il est assimilé à du béton bitumineux.

Tableau 6 - Scénario d'entretien (traitement correctif et préventif) de la chaussée étudiée dans le scénario retenu

Age	Entretien
13 ans	Ajout : 2,5 cm de béton bitumineux (BB) + 1 couche d'accrochage
26 ans	Rabotage : 8,5 cm Ajout : 8 cm d'enrobé à module élevé (EME2) + 2,5 cm de béton bitumineux (BB) + 2 couches d'accrochage
39 ans	Rabotage : 2,5 cm Ajout : 2,5 cm de béton bitumineux (BB) + 1 couche d'accrochage
52 ans	Rabotage : 2,5 cm Ajout : 6 cm de béton bitumineux (BB) + 1 couche d'accrochage
65 ans	Ajout : 2,5 cm de béton bitumineux (BB) + 1 couche d'accrochage
78 ans	Rabotage : 2,5 cm Ajout : 2,5 cm de béton bitumineux (BB) + 1 couche d'accrochage
91 ans	Rabotage : 2,5 cm Ajout : 2,5 cm de béton bitumineux (BB) + 1 couche d'accrochage
100 ans	Fin de vie

2.2 Unités fonctionnelles étudiées

L'Unité Fonctionnelle (UF) d'un bilan environnemental est une référence à laquelle tous les flux de matière et d'énergie sont ramenés. Cette unité de référence permet d'évaluer un système en fonction du service rendu par celui-ci. Dans le cadre de la présente étude, l'unité fonctionnelle retenue pour la partie cycle de vie de la chaussée est :

« Mettre à disposition 1 m² de chaussée durant 100 ans »

Dans le cas de la partie production de l'enrobé, on parle non pas d'unité fonctionnelle mais d'unité déclarée, conformément au chapitre 6.3.2 de la norme NF EN 15804+A1. Pour ce système, l'unité déclarée est donc :

« Produire 1 tonne d'enrobé à chaud représentatif français »

2.3 Systèmes étudiés

2.3.1 Frontières du système

Comme indiqué précédemment, deux systèmes sont considérés dans cette étude :

- le système « production de l'enrobé » qui va de l'extraction des matières premières à la sortie de la centrale d'enrobage,
- le système « cycle de vie de la chaussée » qui va de l'extraction des matières premières à la fin de vie de la chaussée.

Ces systèmes sont présentés dans les figures ci-dessous. Des synoptiques plus détaillés des flux entrants et sortants sont fournis en section 5.1.

Il est important de noter que le premier système (système « production de l'enrobé ») correspond à l'étape de production du second système (système « cycle de vie de la chaussée »).

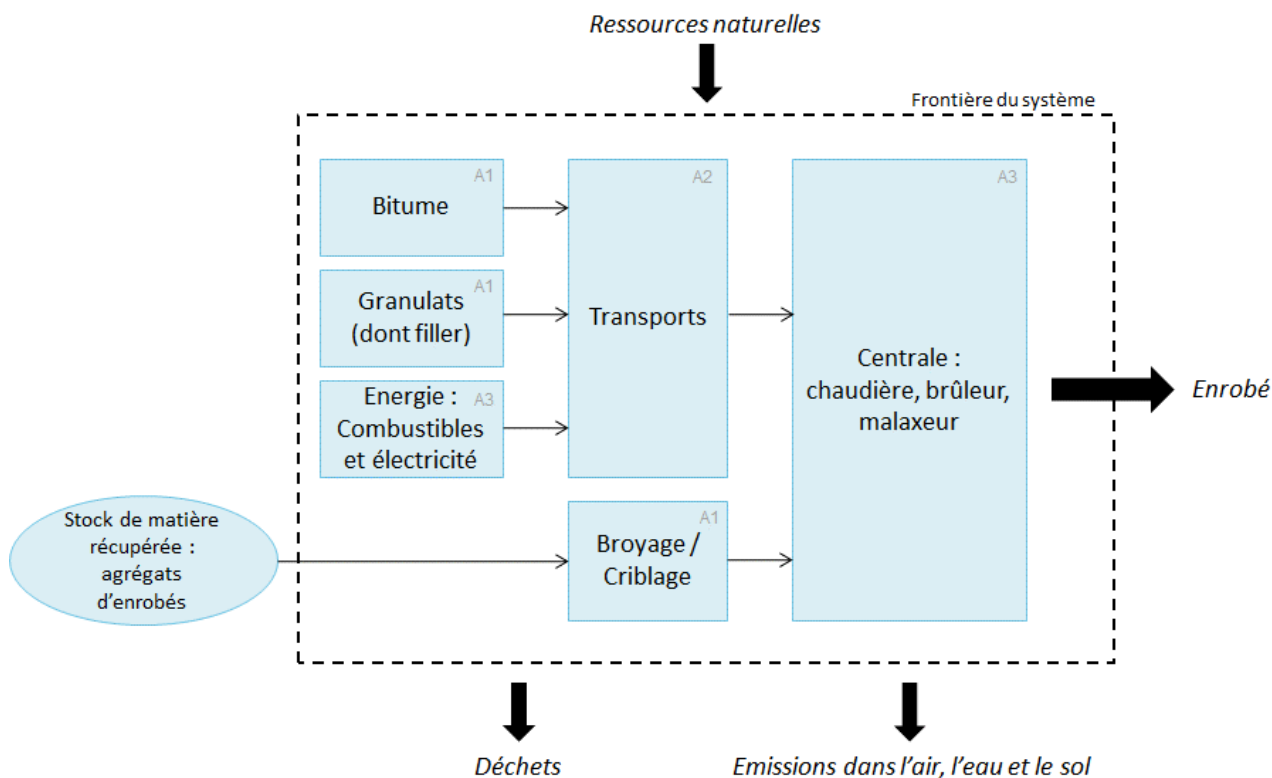


Figure 3 – Système étudié pour la production de l'enrobé

Pour le système « cycle de vie de la chaussée », les frontières du système sont présentées en conformité avec le principe de modularité de la norme NF EN 15804+A1.

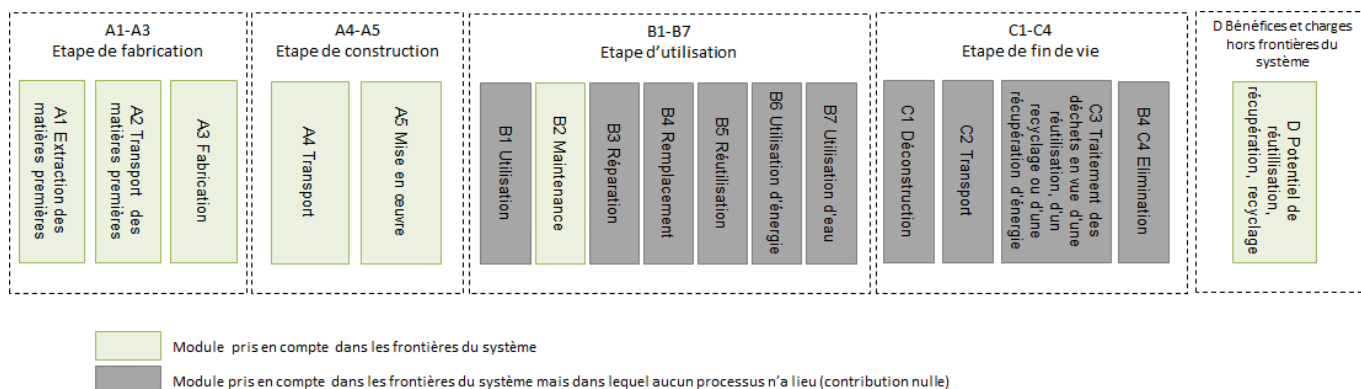


Figure 4 – Frontières du système étudié pour le cycle de vie de la chaussée

L'entretien de la chaussée durant sa vie en œuvre a été placé dans le module B2 – Maintenance. En effet, conformément à la section 6.3.4.4.2 de la norme NF EN 15804+A1, on considère que cet entretien correspond à un ensemble « d'action techniques et administratives associées planifiées pendant la durée de vie d'un produit de construction ou de ses parties [...] afin qu'il retrouve un état acceptable lui permettant d'assurer ses performances fonctionnelle et technique requises ».

Le tableau ci-dessous présente de façon détaillée les différentes étapes du cycle de vie de la chaussée. Il est important de noter que l'étape de vie en œuvre, qui correspond aux différentes étapes d'entretien sur la durée de vie de la chaussée, comprend elle-même des étapes de production, transport et mise en œuvre d'enrobé pour les rechargements et remplacements. Par ailleurs, les étapes de fin de vie de l'enrobé (1^{er} cycle de vie) et des enrobés suivants jusqu'au cycle n-1 sont prises en compte.

Tableau 7 - Détail des étapes du cycle de vie

Étape (module)	Détail
Production (A1-A3)	Extraction et traitement des matières premières utilisées pour la production des enrobés bitumineux de la chaussée (A1) : <ul style="list-style-type: none"> - Extraction et traitement des matières premières utilisées pour la production des différents types d'enrobé (A1) - Traitement des matériaux secondaires (concassage des agrégats d'enrobé recyclés) utilisés dans l'enrobé bitumineux (A1) Transport des matières premières jusqu'aux sites de production d'enrobé bitumineux (A2) Production des différents types d'enrobé (A3) : <ul style="list-style-type: none"> - Consommations d'énergie, - Consommations d'eau, - Consommation de produits complémentaires (consommables), - Émissions dans l'air et dans l'eau, - transport et élimination des déchets, infrastructures, - Production et acheminement de l'émulsion de bitume constituant les autres couches de la chaussée (couches d'accrochage).
Transport jusqu'au chantier (A4)	Acheminement jusqu'au chantier des matériaux utilisés pour la structure initiale de la chaussée : <ul style="list-style-type: none"> - Émission de fumées de bitume lors du chargement des camions, - Transport par camion.
Mise en œuvre (A5)	Mise en œuvre des matériaux utilisés pour la structure initiale de la chaussée : <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'engins de chantier, - Émission de fumées de bitume lors de la mise en œuvre
Vie en œuvre (B1-B7)	Phase d'entretien comprenant des étapes de maintenance de la couche de roulement (B2) : <ul style="list-style-type: none"> - Production, transport et mise en œuvre des matériaux utilisés, - Utilisation d'engins de chantier pour le rabotage (enlèvement).
Fin de vie (C1-C4)	Chaussée laissée en place après la durée de vie considérée (100 ans) : <ul style="list-style-type: none"> - Production de déchets valorisés (Les matériaux laissés en place peuvent servir de support pour une future chaussée) (C3)

Étape (module)	Détail
Bénéfices et charges au-delà des frontières du système (D)	Bénéfices associés à la valorisation des fraisats d'enrobés : <ul style="list-style-type: none"> - Concassage des fraisats d'enrobé pour réutilisation en tant qu'agrégats d'enrobé - Production évitée de constituants « vierges » constituant l'enrobé bitumineux Bénéfices associés à la valorisation des matériaux restant en place lors de la fin de vie : <ul style="list-style-type: none"> - Production, acheminement et mise en œuvre évitée des couches d'assise constituant la chaussée.

On peut également noter que la production et la fin de vie de la centrale d'enrobage ainsi que la production et la fin de vie de l'ensemble des engins de chantier utilisés sur le cycle de vie de la chaussée ont été pris en compte.

2.3.2 Étapes du cycle de vie exclues des systèmes

Aucune étape du cycle de vie de la chaussée n'a été exclue des systèmes étudiés. Cependant, certaines étapes n'ont aucune contribution aux impacts environnementaux car aucun processus n'a lieu durant ces étapes :

- Les étapes d'utilisation autres que le remplacement (B1, B3 à B7) ;
- Les étapes de déconstruction (C1-C4) (à l'exception de production de déchets valorisés).

En effet, on considère dans cette étude que les couches d'assise de la chaussée restent en place après la période de 100 ans considérée. En conséquence, les impacts environnementaux de l'étape de fin de vie sont nuls. Seule la matière restant en place à l'issue des différentes étapes d'entretien est comptabilisée dans le flux « Composants destinés à la réutilisation ».

Il faut noter qu'à l'issue de la fin de vie, une partie de la chaussée est réutilisée. Pour les matériaux restant en place à la fin de vie, aucun impact lié à des processus de recyclage ou de récupération n'est considéré.

Par ailleurs, des fraisats d'enrobés sont générés par le rabotage de la chaussée (module B2), et ont vocation à être recyclés.

Pour ces fraisats d'enrobé, des opérations de rabotage sont incluses dans l'étape de vie en œuvre, ayant lieu indépendamment du devenir des fraisats. La réglementation concernant le statut de fin de déchet de ces matériaux est encore en cours d'élaboration entre la profession et les autorités publiques au moment de la réalisation de cette étude. Cependant, on se place dans un scénario prospectif où le cas des fraisats d'enrobé est traité du point de vue législatif. Ce scénario correspond en effet aux pratiques actuelles mais il est qualifié de « prospectif » car il est prudent par rapport à la réglementation en cours d'élaboration. Conformément au guide du CEREMA « Acceptabilité des matériaux de déconstruction en technique routière » (à paraître), ces derniers doivent subir des tests de conformité afin de prouver qu'ils ne contiennent pas de substances dangereuses de type amiante ou goudron. Comme ces substances ne sont plus utilisées en technique routière depuis plusieurs décennies, on considère que les tests sont concluants et que les fraisats peuvent être réutilisés, conformément au chapitre 6.4.3.3 de la norme NF EN 15804+A1. On considère également que la masse de matériaux testés est faible et l'on néglige le transport associé à cette procédure. Afin d'être réutilisés, les fraisats subissent néanmoins des opérations de broyage et de criblage.

Conformément à la norme NF EN 15804+A1, aucun bénéfice ou impact environnemental relatif à la valorisation de ces deux types de déchets et situé au-delà du statut de « fin de déchet » n'est pris en compte dans les frontières du système. Ces deux types de valorisations sont pris en compte en tant que bénéfices et charges au-delà des frontières du système (D), en considérant :

- que les couches de base et de fondation restant en place à la fin de vie de la chaussée se substitue aux couches d'assise « vierges » de la chaussée (couche de base, couche d'accrochage, couche de fondation et enfin couche d'accrochage),
- que les fraisats d'enrobé générés lors du rabotage se substituent à du bitume et des granulats.

Le calcul du module D est effectué sur les flux nets (matériaux secondaires sortants moins matériaux secondaires entrants).

On note que d'autres déchets générés lors du cycle de vie de la chaussée font l'objet d'une valorisation ultérieure : engins de chantier, pneus, ferraille usagée. Néanmoins, ces quantités d'autres déchets valorisés comptent pour

moins de 1% par rapport aux quantités de fraisats valorisés et de matériaux restant en place à la fin de vie (voir Tableau 58 page 51 pour le détail du calcul). C'est pourquoi on estime que les bénéfices et charges associées à ces valorisations ont une contribution négligeable par rapport aux impacts environnementaux du système étudié.

Enfin, il faut mentionner que les travaux de terrassement et la constitution de la couche de forme qui sert de plateforme à la chaussée ne sont pas considérés dans l'étude car ils ne font pas partie intégrante de la chaussée. La phase d'utilisation de la chaussée et notamment les consommations de carburant des véhicules circulant sur la chaussée n'est pas intégrée dans le périmètre de l'étude. Il en est de même des éléments de type barrières, bornes ou peinture qui n'ont pas été pris en compte dans l'étude.

2.4 Règles de coupure

Dans le but de simplifier l'inventaire, la norme NF EN 15804 autorise un seuil de coupure à 99% en masse des flux entrants, à condition que les substances très toxiques, toxiques, nocives ou dangereuses pour l'environnement et qui sont introduites intentionnellement dans la fabrication des produits étudiés soient prises en compte.

Dans le cadre de cette étude, ce seuil de coupure a été respecté, conformément au chapitre 6.3.5 de la norme NF EN 15804+A1.

En effet, d'une part, d'après l'USIRF, aucune substance très toxique, toxique, nocive ou dangereuse pour l'environnement n'est utilisée pour la fabrication des enrobés bitumineux.

D'autre part, par rapport aux données collectées, seules les consommations de filler additionnel³, de colorants et d'additifs ont été négligées. Elles rentrent certes dans la composition des enrobés mais représentent moins de 0,1% en masse des matériaux utilisés pour produire une tonne d'enrobé, et ce pour 7 des 8 centrales interrogées (la 8^{ème} n'ayant pas de données, cf. Annexe 2 : Données collectées auprès des centrales d'enrobage).

Enfin, conformément au chapitre 6.3.5 de la norme XP P01-064/CN, les flux suivants ont été omis du système :

- l'éclairage, le chauffage et le nettoyage des sites de production,
- le département administratif,
- le transport des employés,
- les émissions à long terme (au-delà de 100 ans, et qui concernent majoritairement les émissions liées aux processus d'enfouissement des déchets).

Concernant les émissions à long-terme, on note que le bitume et les enrobés sont considérés comme des déchets inertes. Comme défini par la Directive Européenne 1999/31/CE du 26/04/99, les déchets inertes sont « des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importantes. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. »

2.5 Règles pour la prise en compte du recyclage

Conformément aux exigences de la norme NF EN 15804, la méthode des stocks est la méthode utilisée dans cette étude pour quantifier les flux de matériaux destinés au recyclage à la récupération ou à la valorisation d'énergie.

Dans cette étude, seule la valorisation matière est considérée (pas de valorisation énergétique considérée). Les flux de matériaux concernés pour la valorisation matière sont :

³ Il faut noter que les fillers sont naturellement présents en faible quantité dans les granulats et ne sont donc pas systématiquement rajoutés dans la composition des enrobés.

- Les déchets de pneus et de ferraille, les blancs de poste ainsi que les infrastructures en fin de vie lors de la fabrication (module A3) ;
- Les engins en fin de vie, utilisés lors de la mise en œuvre de la chaussée (module A5) ;
- Tous les items précédents, lors de la vie en œuvre de la chaussée (module B2) ;
- Les fraisats issus de l'entretien lors du rabotage de la vie en œuvre (module B2) ;
- Les matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée (module C3).

Pour les fraisats, le broyage et criblage des fraisats qui sont mis en œuvre se situent hors des frontières du système (module D).

Dans le module D, les bénéfices du recyclage se traduisent de la façon suivante :

- Pour le produit qui utilise de la matière recyclée (c'est-à-dire de la matière récupérée issue du stock), cela revient à bénéficier de matière sans impact et seul l'impact du procédé de recyclage est pris en compte.
- Pour le produit qui est recyclé en fin de vie (c'est-à-dire qui est envoyé vers le stock de matière récupérée), cela se traduit par l'absence d'élimination et des impacts associés à cette élimination.

Le schéma ci-après présente la méthode des stocks de manière générale.

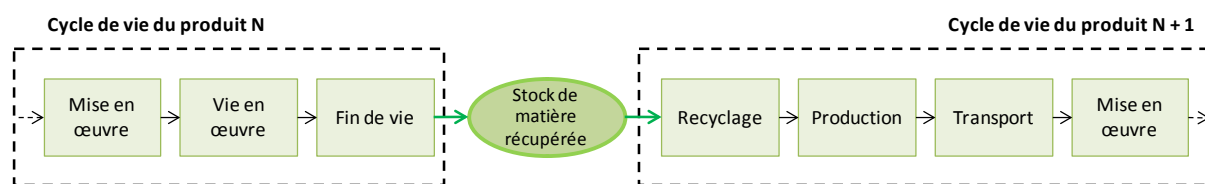


Figure 5 – Illustration de la méthode des stocks pour la prise en compte du recyclage

Le cas du recyclage est rencontré à plusieurs reprises dans cette étude. L'application de la méthode des stocks dans chacun de ces cas est détaillée en annexe 8.5.

2.6 Principes d'allocation entre co-produits

La plupart des centrales participant à la collecte de données produisent à la fois des enrobés à chaud et des enrobés tièdes.

Cependant, sur la période de référence des données (2010 ou 2011 selon les centrales), la proportion d'enrobés tièdes est très faible (<5% de la production totale pour les 8 centrales). Ainsi, les enrobés tièdes ont été assimilés à des enrobés à chaud. De fait, aucune allocation entre co-produits n'a été effectuée. Par ailleurs, comme les conditions de chauffage des enrobés tièdes sont moindres que celles des enrobés à chaud, on peut supposer que les impacts des enrobés tièdes sont moindres. Cette assimilation est donc conservatrice vis-à-vis du système étudié.

Pour mémoire, les règles d'allocations utilisées pour l'établissement de l'Inventaire du Cycle de Vie du Bitume dans l'étude Eurobitume lors des diverses étapes de sa production sont :

- Extraction et transport : allocation massique,
- Raffinage : allocation économique.

Les différentes hypothèses et justifications associées sont répertoriées dans le rapport publié en 2011 par Eurobitume « *Life Cycle Inventory of Bitumen* »⁴, qui a fait l'objet d'une revue critique selon les normes ISO 14040 et 14044.

⁴ Accessible via : <http://www.eurobitume.eu/homepage/focus/eurobitume-life-cycle-inventory-bitumen>

3 Source et qualité des données

3.1 Sources de données

On peut distinguer les données utilisées dans l'étude selon trois catégories :

- les données de base sur la production de l'enrobé,
- les données de base sur le cycle de vie des chaussées,
- les données environnementales (Inventaires de Cycle de Vie), qui permettent d'établir l'inventaire de cycle de vie de l'enrobé et de la chaussée à partir des données de base.

Pour chaque catégorie, les données utilisées proviennent de différentes sources décrites ci-dessous.

3.1.1 Données de base sur la production de l'enrobé

En France métropolitaine, on compte environ 500 centrales d'enrobage qui produisent environ 32 millions de tonnes d'enrobé à chaud par an⁵. Les données de base utilisées dans cette étude pour la production de l'enrobé proviennent de différentes sources de données présentées dans le tableau ci-après.

On peut noter que les données utilisées concernant les consommations d'énergie sont issues d'un ensemble de centrales appartenant respectivement aux entreprises Colas, Eiffage et Eurovia, dont la production représente environ 77% de la production française.

En ce qui concerne les émissions dans l'air, elles sont issues de mesures réalisées sur site auprès de 73 centrales et l'on peut estimer que ces 73 centrales produisent environ 15% de la production française. Néanmoins, compte tenu de l'homogénéité des enrobés utilisés en France et de l'homogénéité des procédés de fabrication, ces centrales sont jugées comme étant représentatives des centrales fixes exploitées en France actuellement

Enfin, pour les autres données pour lesquelles il n'était pas possible de disposer d'informations consolidées au niveau d'un nombre de centrales aussi important, les données utilisées sont issues d'une enquête réalisée dans le cadre de la précédente étude ACV de 2012-2014 auprès de 8 centrales. Ces 8 centrales réparties sur toute la France ont une production annuelle d'environ 1 Mt d'enrobé, soit environ 3% de la production française. Néanmoins, compte tenu de l'homogénéité des enrobés utilisés en France et de l'homogénéité des procédés de fabrication, ces 8 centrales sont jugées par l'USIRF comme étant représentatives des centrales fixes exploitées en France actuellement.

On notera à propos de la représentativité de ces données que le niveau de qualité des données d'ICV sont variables. Les efforts de l'USIRF concernant la caractérisation des émissions de polluants atmosphériques dans l'air associées aux activités de l'industrie de la route permettent notamment d'améliorer la qualité de ces données par rapport aux données génériques incluses dans Ecoinvent.

Tableau 8 - Sources des données de base relatives à la production de l'enrobé

Type de données	Source de données
Consommation de matières premières (composition représentative des enrobés bitumineux)	Estimation du comité de pilotage de l'USIRF + enquête auprès de 8 centrales d'enrobage pour la répartition entre les types de granulats
Acheminement des matières premières	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Consommation d'eau	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage

⁵ Données 2013 issues du Bilan Environnemental de l'USIRF, paru en mai 2014, accessible via http://www.usirf.com/wp-content/uploads/BILAN_ENVIRONNEMENTAL_2013_v06052014.pdf

Type de données	Source de données
Consommation de consommables	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Acheminement des consommables	Hypothèse BIO
Taux de répartition des centrales en fonction du type de combustible utilisé au niveau du brûleur sécheur + Consommation d'énergie au brûleur sécheur	Données consolidées au niveau de l'ensemble des centrales de 3 grandes entreprises françaises de l'industrie routière Détail de la source : Les données sont issues de l'ensemble des centrales d'enrobage des entreprises Colas, Eiffage et Eurovia qui produisent environ 27 Mt d'enrobé par an sur les 35 Mt produites par an en France, soit environ 77% de la production française (données 2011).
Autres consommations d'énergie	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Émissions dans l'air	Base de données USIRF relative aux émissions des centrales + Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage + Base de données Ecoinvent v3.1 Détail des sources : La base de données USIRF regroupe des données d'émission atmosphériques au niveau du brûleur pour environ 150 centrales parmi les 500 centrales présentes en France métropolitaine. Ces données correspondent à des mesures effectuées dans le cadre de rapports réglementaires ou de campagnes volontaires. Dans le cadre de cette étude, seuls les jeux de données collectés après 2009 et présentant l'ensemble des informations nécessaires à leur prise en compte ont été utilisés. Ces jeux de données ont ensuite été complétés avec les données d'émissions issues de l'enquête réalisée auprès de 8 centrales. Ainsi, au total, les émissions dans l'air issues de 73 centrales ont été utilisées. On peut estimer que ces 73 centrales couvrent environ 15% de la production française. Enfin, la base Ecoinvent a été utilisée afin de compléter les émissions relatives à certains flux pour lesquels aucune donnée n'était disponible. Ecoinvent est une base de données d'inventaires de cycle de vie reconnue au niveau internationale qui regroupe des données environnementales (consommations et rejets) sur plusieurs milliers de procédés.
Émissions dans l'eau	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Production de déchets	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Infrastructures	Outil SEVE de l'USIRF + anciennes études ACV de l'USIRF sur les chaussées en enrobés bitumineux Détail des sources : L'outil SEVE est un éco-comparateur développé par l'USIRF entre 2010 et 2011. Il permet de comparer différentes solutions techniques d'un point de vue environnemental dans le cadre de réponse à appels d'offres pour des chantiers de travaux publics. Cet outil a fait l'objet d'une revue critique en 2011 puis en 2014. Les anciennes études ACV sur les chaussées en enrobé bitumineux correspondent aux études suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques environnementales des matériaux routiers, ACV des enrobés bitumineux, Rapport d'étude de l'inventaire du transport, de la mise en œuvre, de la vie en œuvre et de la fin de vie des enrobés à chaud, USIRF, 2006. - Analyse de Cycle de Vie de l'enrobé bitumineux à chaud moyen français et d'une chaussée en enrobé bitumineux, USIRF, 2014.

- **Détails concernant les données issues de l'enquête réalisée auprès de 8 centrales**

La sélection des centrales d'enrobage a été effectuée sur la base de leur production annuelle d'enrobés, du type de combustible utilisé (gaz naturel ou fioul lourd) et du type de centrale (continu ou discontinu). En effet, lors de l'étude ACV réalisée par l'USIRF en 2006, ces trois paramètres avaient été identifiés comme les principaux paramètres influençant la performance environnementale des centrales. Ainsi, ces différents paramètres ont conduit à un panel de 2³ = 8 centrales qui ont été choisies par les entreprises participant au comité de pilotage de l'étude de 2014. Comme les mêmes données ont été prise pour la présente étude, ceci n'a pas été modifié.

Ces 8 centrales sont réparties sur toute la France et ont une production annuelle d'environ 1Mt d'enrobé, soit environ 3% de la production française.

La répartition des centrales en fonction des paramètres listés ci-dessus est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 - Répartition des 8 centrales sélectionnées en fonction des différents paramètres⁶

Paramètre	Détail	Nombre de centrales
Combustible utilisé au brûleur	FOL	3
	GN	4
	GPL ⁵	1
Type de fonctionnement	Continu	3
	Discontinu	5
Production annuelle	< 80 000 t/an	3
	Entre 80 000 et 150 000 t/an	3
	> 150 000 t/an	2

Une fois les centrales sélectionnées en concertation avec l'USIRF, les données ont été collectées au moyen d'un questionnaire envoyé au responsable d'exploitation de chacune des centrales. Ces questionnaires, dont un exemplaire vierge est fourni en annexe 8.1, ont permis de collecter les données suivantes :

- caractéristiques des centrales (notamment au regard des paramètres listés ci-dessus),
- nature et quantité de matières premières consommées,
- nature et quantité d'énergies consommées,
- consommations d'eau et autres consommables,
- nature et quantité des émissions dans l'air,
- nature et quantité des émissions dans l'eau,
- nature et quantité des déchets produits.

Les données collectées ont ensuite été pondérées par les productions respectives des différentes centrales afin de déterminer les données retenues pour l'étude.

L'ensemble des données collectées auprès des centrales d'enrobage est présenté en annexe 8.2.

3.1.2 Données de base sur le cycle de vie des chaussées

Les différentes sources utilisées pour les données de base relatives au cycle de vie des chaussées sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 - Sources des données de base relatives au cycle de vie des chaussées

Type de données	Source de données
Durée de vie des chaussées	Estimation du comité de pilotage de l'USIRF
Structure initiale et entretien des chaussées sur leur durée de vie	Calcul effectué par le comité de pilotage de l'USIRF selon la méthode française de dimensionnement définie par la norme NF P 98 086
Distance de transport entre les centrales et les chantiers	Estimation du comité de pilotage de l'USIRF
Émissions de fumées de bitume lors du transport et de la mise en œuvre	Calcul effectué par BIO à partir des données de la base CIMAROUT Détail de la source : La base CIMAROUT a été créée en 2011. Elle est constituée d'une part par une base documentaire rassemblant les études toxicologiques et épidémiologiques ayant fait l'objet d'une publication dans des revues scientifiques internationales. Elle contient d'autre part

⁶ Pour des raisons pratiques, une centrale fonctionnant au GPL a été retenue pour la collecte des données en 2012. Néanmoins, compte tenu du fait que ce combustible est très minoritaire en France dans les centrales d'enrobage, les consommations d'énergie de cette centrale n'ont pas été prises en compte lors de la consolidation des données collectées.

Type de données	Source de données
	une base de données rassemblant plus d'une centaine d'études d'évaluation de l'exposition des salariés effectuées sur chantier avec l'INRS, les laboratoires Interrégionaux de Chimie des CARSAT, la médecine du travail et les entreprises.
Utilisation d'engins pour la mise en œuvre (y compris infrastructure des engins)	Outil SEVE de l'USIRF Détail de la source : L'outil SEVE est un éco-comparateur développé par l'USIRF entre 2010 et 2011. Il permet de comparer différentes solutions techniques d'un point de vue environnemental dans le cadre de réponse à appels d'offres pour des chantiers de travaux publics. Cet outil a fait l'objet d'une revue critique en 2011 et en 2014.
Fin de vie des chaussées	Hypothèse du comité de pilotage de l'USIRF

3.1.3 Données environnementales

Les différentes sources utilisées pour les inventaires de cycle de vie sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 - Sources de données environnementales relatives au cycle de vie des chaussées

Type de données	Source de données
Inventaire de production de bitume	EUROBITUME: Life Cycle Inventory of Bitumen Production, 2011
Inventaire de production de granulat	UNPG: Module d'informations environnementales - Granulats issus de roches massives / meubles, 2011
Autres inventaires de cycle de vie (matériaux, énergie, transport...)	Base de données Ecoinvent v3.1 Détail de la source : La base Ecoinvent est une base de données d'inventaires de cycle de vie reconnue au niveau internationale qui regroupe des données environnementales (consommations et rejets) sur plusieurs milliers de procédés.

3.2 Qualité des données

3.2.1 Représentativité temporelle

Les données de consommation d'énergie pour la production d'enrobé sont des données de 2011. En ce qui concerne l'enquête réalisée auprès de 8 centrales, elles sont représentatives de l'année 2010 pour 1 centrale et de l'année 2011 pour 7 centrales.

L'USIRF estime que les procédés de fabrication et les technologies utilisées pour la fabrication et la mise en œuvre des enrobés n'ont pas significativement évolué dans les quatre à cinq dernières années. Les données ainsi collectées auprès des centrales sont donc toujours représentatives de la situation actuelle. En conformité avec la section 6.3.7 « Exigences de qualités des données » de la norme NF EN 15804, ces données ont bien moins de 5 ans. Quant aux données complémentaires, elles proviennent de sources récentes de moins de 5 ans également (données d'émissions dans l'air issues de la base de données de l'USIRF datant de 2009 à 2012, création de la base CIMAROUT en 2011, vérification de l'outil SEVE en 2011 et 2014).

Pour ce qui concerne la chaussée, les scénarios considérés sont calculés selon les méthodes toujours en vigueur selon l'USIRF. De plus, les données complémentaires utilisées proviennent de sources récentes.

Enfin, les données environnementales utilisées sont également récentes (inventaires de bitume et de granulats réalisés en 2011, mise à jour de la base Ecoinvent 3.1 en 2014).

3.2.2 Représentativité technologique

Les données utilisées sont représentatives des technologies employées par les professionnels de l'industrie routière française.

En fonction des types de données, les données de base utilisées pour la production d'enrobé sont issues d'un nombre de centrales variable produisant entre 3 et 77% de la production française (voir section 3.1). Et, compte tenu de l'homogénéité des enrobés utilisés en France et de l'homogénéité des procédés de fabrication, les données utilisées sont jugées par l'USIRF comme étant toujours représentatives de la technologie employée dans les centrales fixes exploitées en France en 2015.

En ce qui concerne les chaussées considérées dans cette étude, elles sont représentatives des chaussées en enrobé bitumineux utilisées sur les routes départementales et communales, qui sont les routes les plus représentatives en France en termes de linéaire et de circulation (98% de la longueur du réseau routier français et 66% des km parcourus en véhicule, voir section 2.1.2.1). Néanmoins, il est important de mentionner qu'il existe de nombreux types de chaussées en enrobé bitumineux qui peuvent avoir des structures très différentes et donc des impacts environnementaux très différents. En particulier, il faut mentionner que cette étude ne porte pas sur les chaussées utilisées pour les autoroutes ou les routes nationales très circulées.

3.2.3 Représentativité géographique

Les données de base utilisées pour l'enrobé et les scénarios considérés pour les chaussées sont représentatifs de la situation française (France métropolitaine).

En ce qui concerne les données environnementales, les inventaires de granulats utilisés sont représentatifs des granulats produits et commercialisés en France. Il en est de même pour l'inventaire d'électricité utilisé qui est représentatif du mix électrique français (cf. annexe 8.7). L'inventaire utilisé pour le bitume est représentatif de la production de bitume utilisé en Europe. Enfin, les inventaires de la base Ecoinvent sont généralement représentatifs de procédés européens.

3.2.4 Complétude

Pour toutes les étapes du cycle de vie de la chaussée (et donc pour la production de l'enrobé), l'ensemble des flux a été inventorié et pris en compte soit directement à partir des données de l'USIRF, soit par le biais de données Ecoinvent. Ainsi, le niveau de complétude des données est jugé bon.

3.2.5 Cohérence

Toutes les données d'inventaires de cycle de vie utilisées sont issues de la base de données Ecoinvent v3.1 ou sont des données de l'UNPG et d'Eurobitume qui reposent elles-mêmes sur des données issues de la base de données Ecoinvent. Par conséquent, la cohérence des données est jugée bonne.

3.2.6 Reproductibilité

La reproductibilité des résultats de l'étude est assurée par un haut niveau de transparence dans la restitution des sources utilisées pour les données de l'étude.

3.2.7 Précision

Les données utilisées pour l'étape de production sont des données de site qui présentent un bon niveau de confiance et de précision et qui sont notamment basées sur des rapports officiels de type déclaration annuelle des émissions polluantes du site.

Les données utilisées pour les autres étapes du cycle de vie sont issues de l'expérience des membres du comité de pilotage et des nombreuses routes réalisées et entretenues par ces derniers.

Le degré de précision des données est donc jugé bon.

4 Points d'attention relatifs à l'étude

Les principales limites et points d'attention relatifs à l'étude sont résumés ci-dessous :

- **Type de chaussée étudiée**

Il existe de nombreux types de chaussées en enrobé bitumineux qui peuvent avoir des structures différentes et donc des impacts environnementaux différents. Il convient de rappeler que les chaussées considérées dans cette étude correspondent aux chaussées en enrobé bitumineux utilisées sur les routes départementales et communales, qui sont les routes les plus représentatives en France en termes de linéaire et de circulation (voir section 2.1.2.1). Cette étude ne porte pas sur les chaussées utilisées pour les autoroutes ou les routes nationales très circulées.

- **Durée de vie des chaussées étudiées**

La définition de la durée de vie d'une chaussée est un sujet de débat au sein des experts des travaux publics et des praticiens ACV. En effet, la couche de surface (ou couche de roulement) fait l'objet d'un entretien pendant la vie de la chaussée, soit par rechargement soit par enlèvement et remplacement. À l'inverse, les couches d'assise (couche de base + couche de fondation) restent en général en place. Elles sont utilisées comme support pour les couches de surface successives. Elles ne sont que rarement déconstruites. Ainsi, le principe retenu pour la présente étude est de considérer par défaut une durée de vie de 100 ans pour la chaussée puis de prendre en compte les entretiens nécessaires pour que la chaussée puisse assurer ses fonctions sur cette durée de vie. Cette approche permet d'« amortir » les impacts des couches inférieures de la chaussée, qui servent à plusieurs couches de roulement successives.

- **Représentativité temporelle et technologique des données**

Comme évoqué précédemment et notamment en section 3.2, aucune nouvelle collecte des données n'a été effectuée pour cette étude. Les données collectées pour la précédente FDES ont été réutilisées et seul le modèle a été mis à jour (mise en conformité avec les nouvelles normes, actualisation des données environnementales). Il réside donc une certaine part d'incertitude liée à l'évolution potentielle des technologies sur la période couverte par l'étude, notamment pour les phases d'utilisation et de fin de vie. Cependant, l'USIRF considère que les technologies employées ainsi que les procédés utilisés n'ont pas évolué de façon significative dans les quatre dernières années. Les données sont ainsi toujours représentatives de la situation actuelle. On note toutefois que conformément à la norme NF EN 15804+A1, les données d'activité seraient à actualiser dès 2016.

- **Impacts environnementaux étudiés**

Les indicateurs étudiés dans cette étude sont les indicateurs de la norme NF EN 15804+A1 et son complément XP P01-064/CN. Ils sont scientifiquement reconnus et apportent un éclairage multicritère sur les aspects environnementaux dans le domaine du BTP. Néanmoins, il faut mentionner que ces indicateurs ne couvrent pas l'ensemble des aspects environnementaux qui peuvent être générés par les infrastructures de transport (dont les chaussées en enrobés bitumineux) comme par exemple l'occupation du sol, l'imperméabilisation, le bruit, le fractionnement des écosystèmes, etc.

5 Inventaire du cycle de vie

Ce chapitre présente les hypothèses et données retenues pour établir l'inventaire de cycle de vie des deux systèmes étudiés. Les données sont présentées selon le principe de modularité de la norme NF EN 15804.

Tout d'abord, les données relatives à la production d'une tonne d'enrobé sont présentées de la section 5.2 à la section 5.4, en distinguant les deux types d'enrobés suivants :

- le Béton Bitumineux (BB), utilisé pour la couche de roulement des chaussées,
- la Grave Bitume (GB3), utilisée pour les couches de base et de fondation de la chaussée.

Comme indiqué au chapitre 3, les données utilisées proviennent de différentes sources et notamment d'une enquête réalisée auprès de 8 centrales d'enrobage. L'ensemble des données collectées auprès des centrales d'enrobage est présenté en annexe 8.2.

À partir de la section 5.4.8 et jusqu'à la fin de ce chapitre 5, ce sont les données relatives au cycle de vie de la chaussée en enrobé bitumineux qui sont présentées. Pour les autres étapes du cycle de vie (transport, mise en œuvre, vie en œuvre et fin de vie), les données utilisées proviennent de différentes sources (comité de pilotage de l'USIRF, base CIMAROUT, outil SEVE...).

Comme indiqué précédemment, un seul scénario de chaussée est étudié dans le cadre de cette étude, contre deux dans la précédente (il s'agit du scénario nommé « scénario 2 » dans l'étude de 2014). Les tableaux ci-dessous ne présentent donc les données que pour le seul scénario étudié.

5.1 Synoptiques des flux

La figure suivante présente l'ensemble des flux entrants et sortants du cycle de vie du système « production d'enrobé ».

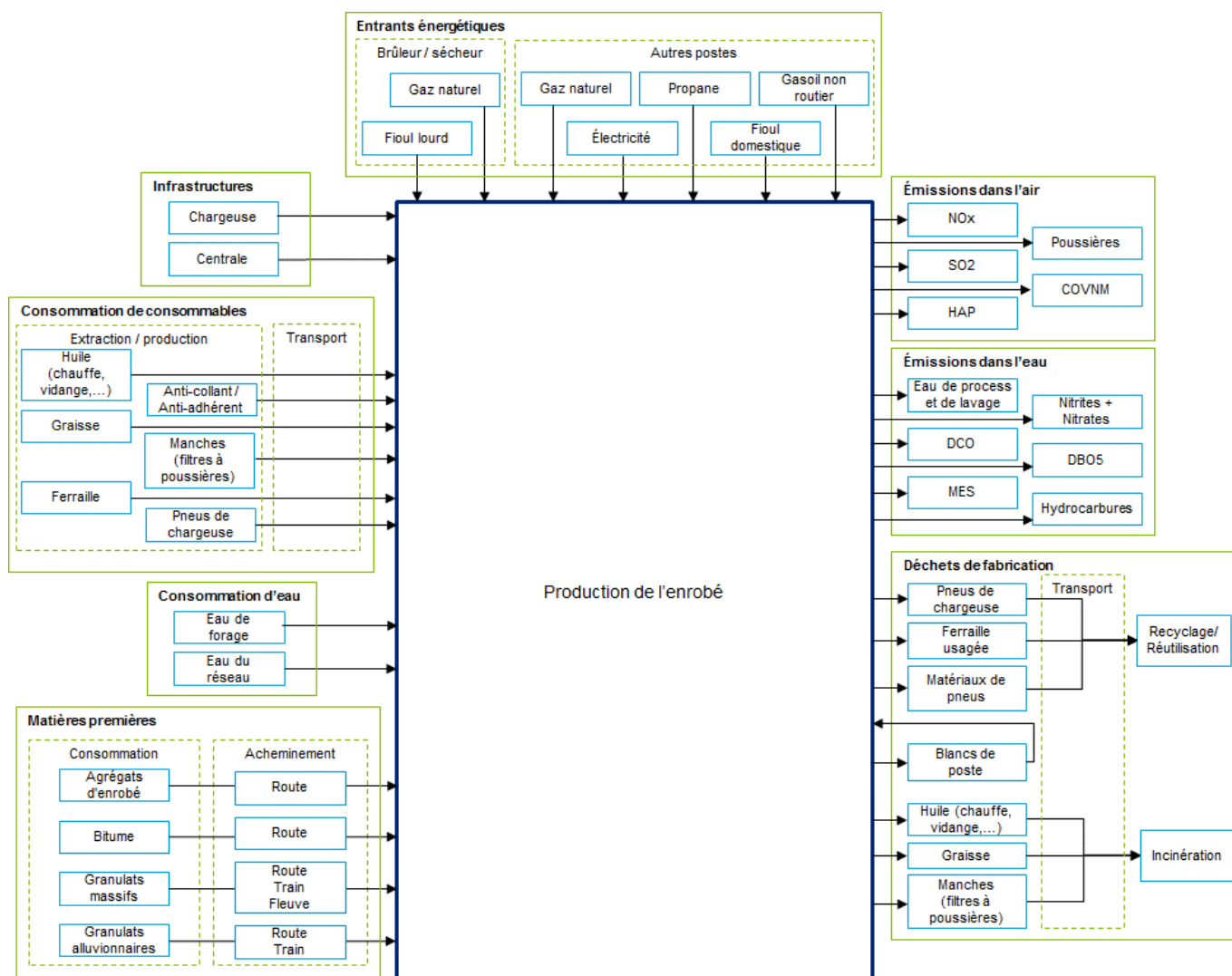


Figure 6 - Synoptique des flux entrants et sortants du système « Production d'enrobé bitumineux »

Cette figure présente l'ensemble des flux entrants et sortants du cycle de vie pour le second système étudié : le système « cycle de vie d'une chaussée ». On notera que le premier système (système « production de l'enrobé ») correspond à l'étape de production du second système (système « cycle de vie de la chaussée »).

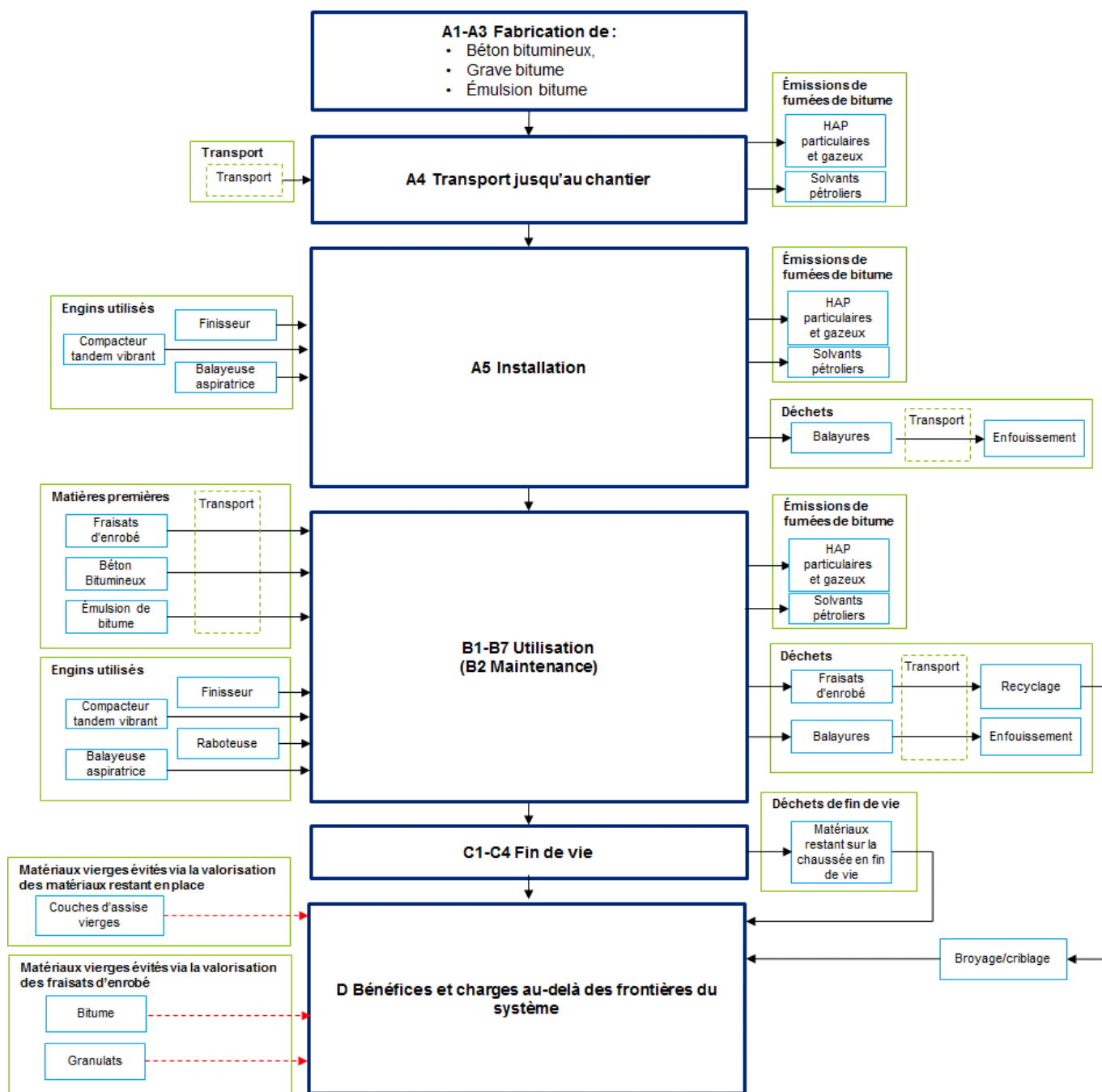


Figure 7 – Synoptique des flux entrants et sortants du système « cycle de vie de la chaussée »

5.2 Consommation de matières premières (A1)

5.2.1 Données de base

La composition représentative des enrobés de type Béton Bitumineux (BB) et Grave Bitume (GB3) a été fournie par le comité de pilotage de l'USIRF. Ces données sont présentées ci-dessous.

Tableau 12 – Données relatives à la composition des enrobés

Matière première	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB)	Valeurs pour 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Agrégats d'enrobé	kg	9,50E+01	9,50E+01	Comité de pilotage USIRF
Bitume	kg	4,80E+01	3,95E+01	
Granulats (massifs & alluvionnaires)	kg	8,57E+02	8,66E+02	
TOTAL	kg	1,00E+03	1,00E+03	

De façon à estimer les consommations de matières premières pour la production d'une tonne de Béton Bitumineux (BB) et d'une tonne de Grave Bitume (GB3), il a été considéré un taux de pertes de 3% pour les granulats (granulats perdus sur le site de la centrale, valeur fournie par le comité de pilotage de l'USIRF). Par ailleurs, aucune perte n'est considérée pour le bitume, ce dernier étant stocké en cuve.

De plus, la répartition entre granulats massifs et granulats alluvionnaires a été calculée à partir des données collectées lors de l'enquête réalisée auprès de 8 centrales d'enrobage. Le taux de répartition est de 76,4% de granulats massifs et 23,6% de granulats alluvionnaires.

Les valeurs obtenues en considérant ce taux de pertes et cette répartition sont présentées ci-dessous.

Tableau 13 - Données relatives à la consommation de matières premières

Matière première	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB)	Valeurs pour 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Agrégats d'enrobé	kg	9,50E+01	9,50E+01	Comité de pilotage USIRF + Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Bitume	kg	4,80E+01	3,95E+01	
Granulats massifs	kg	6,74E+02	6,81E+02	
Granulats alluvionnaires	kg	2,09E+02	2,11E+02	
TOTAL	kg	1,03E+03	1,03E+03	

Le filler additionnel, les colorants et les additifs mentionnés dans la collecte des données auprès des 8 centrales sont négligés. Ces matières représentent moins de 0,2% de la masse d'enrobé.

Des flux d'utilisation des ressources sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

5.2.2 Données environnementales

Les données environnementales utilisées pour la production des matières premières sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 – Données utilisées pour la modélisation des matières premières

Données environnementales	
Agrégats d'enrobé	Méthode des stocks (voir annexe)
Bitume	EUROBITUME: Life Cycle Inventory of Bitumen (with infrastructure) (2011)
Granulats massifs	UNPG: Module d'informations environnementales - Granulats issus de roches massives (2011)
Granulats alluvionnaires	UNPG: Module d'informations environnementales - Granulats issus de roches meubles (2011)

5.3 Acheminement des matières premières (A2)

5.3.1 Données de base

Les distances et modes de transport des matières premières sont issus de la collecte des données auprès de 8 centrales d'enrobage. Les données sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Donnée	Mode d'acheminement	Pourcentage	Distance (km)	Source
Agrégats d'enrobé	Route	100%	0,00E+00	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Bitume	Route	100%	2,34E+02	
Granulats massifs	Route	74,81%	4,90E+01	
	Train	18,77%	3,02E+02	
	Fleuve	6,41%	9,13E+01	
Granulats alluvionnaires	Route	97,97%	3,37E+00	
	Train	2,03%	1,10E+02	

On note une distance d'approvisionnement nulle pour les agrégats d'enrobé. Comme ils sont généralement stockés et recyclés dans les centrales d'enrobages, ces distances de transport sont considérées comme nulles (cf. section 8.5.1).

5.3.2 Données environnementales

Contrairement à la précédente étude, le transport routier n'a pas été modélisé en conformité avec le fascicule FD P 01-015. À la place, ce sont des inventaires Ecoinvent de transport par camion en tonnes.kilomètres qui ont été utilisés. Il s'agit d'inventaires représentatifs de transport par camion de norme EURO 4 et de charge utile 16 à 32 t exprimés en tonne.kilomètre. Ils tiennent compte d'un taux de chargement et d'un taux de retour à vide représentatif en Europe. Ils ne sont donc pas spécifiquement adaptés aux conditions réelles du transport étudié mais permettent d'approximer les flux associés à ce transport. Cet ICV considère notamment un poids nominal brut de 15,79 t et un chargement de 5,79 t, selon des données reprises du projet européen TREMOVE de 2007 et l'éco-calculateur EcoTransIT de 2011. Le kilométrage total du véhicule sur sa durée de vie (permettant d'estimer l'impact des infrastructures) est estimé à 540 000 km.

Les autres inventaires Ecoinvent de transport ferroviaire ou fluvial considèrent également des conditions représentatives d'utilisation à l'échelle européenne.

Tableau 17 – Données utilisées pour la modélisation de l'acheminement des matières premières

Données environnementales	
Transport routier	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec
Transport ferroviaire	Transport, freight train {FR} processing Alloc Rec
Transport fluvial	Transport, freight, inland waterways, barge {RER} processing Alloc Rec

5.4 Fabrication de l'enrobé (A3)

5.4.1 Consommation d'eau

5.4.1.1 Données de base

Les consommations d'eau nettes de process et de lavage sont directement issues de la collecte de données auprès des 8 centrales. Elles sont présentées ci-dessous. Les consommations d'énergie pour pomper l'eau de forage sont prises en compte dans les consommations d'énergie générales pour le fonctionnement de la centrale.

Tableau 15 - Données relatives à la consommation d'eau pour le process et le lavage

Type d'eau	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Eau du réseau	m ³	2,23E-03	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Eau de forage	m ³	9,53E-05	

5.4.1.2 Données environnementales

Les données environnementales utilisées pour la consommation d'eau sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 16 – Données utilisées pour la modélisation de la consommation d'eau

Données environnementales	
Eau du réseau	Tap water {Europe without Switzerland} market for Alloc Rec
Eau de forage	Flux "water, well, in ground"

5.4.2 Consommation de consommables

5.4.2.1 Données de base

Les données pour la consommation de consommables sont directement issues de la collecte de données auprès de 8 centrales. Elles sont présentées ci-dessous.

Tableau 20 – Données relatives à la consommation de consommables

Matière première	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Huile (chauffe, vidange,...)	L	4,77E-03	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Graisse	kg	1,31E-04	
Pneus de chargeuse	kg	4,42E-03	
Ferraille	kg	3,54E-02	
Anti-collant / Anti-adhérent (huile d'ester méthylique de colza)	L	1,67E-03	
Manches (filtres à poussières)	kg	7,82E-04	

En complément des données présentées ci-dessus, une distance de 100 km a été considérée pour l'approvisionnement des consommables. Cette hypothèse faite par BIO est jugée acceptable au vu des faibles quantités de consommables par tonne d'enrobé.

Des flux d'utilisation des ressources sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6.

5.4.2.2 Données environnementales

Les données environnementales utilisées pour la consommation de consommables sont présentées ci-dessous.

Tableau 17 – Données utilisées pour la modélisation de la consommation de consommables

Données environnementales	
Huile (chauffe, vidange,...)	Lubricating oil {RER} production Alloc Rec
Graisse	Lubricating oil {RER} production Alloc Rec
Pneus de chargeuse	ICV de pneu reconstruit par BIO IS (voir ci-dessous)
Ferraille	Steel, low-alloyed {RER} steel production, electric, low-alloyed Alloc Rec
Anti-collant / Anti-adhérent	ICV de "rape methyl ester, at regional storage, reconstruit par BIO (voir ci-dessous)
Manches (filtres à poussières)	Nylon 6, at plant / RER

Pour les pneus de la chargeuse, les données utilisées sont présentées dans les deux tableaux ci-dessous.

Tableau 18 – Données relatives aux pneus de chargeuse

Donnée	Unité	Valeurs par kg de pneu (430 kg par pneu)	Source
Caoutchouc	kg	2,00E-01	Hypothèses reprises des modules d'informations environnementales de l'UNPG
Acier	kg	1,30E-01	
Laiton	kg	1,00E-02	
Noir de carbone	kg	2,50E-01	
Résine	kg	1,30E-01	
Soufre	kg	2,80E-01	

Des flux d'utilisation des ressources sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

Tableau 19 – Données utilisées pour la modélisation des pneus de chargeuse

Données environnementales	
Caoutchouc	Synthetic rubber, at plant/RER
Acier	Steel, low-alloyed, at plant/RER
Laiton	Brass, at plant/CH
Noir de carbone	Carbon black, at plant/GLO
Résine	Polyester resin, unsaturated, at plant/RER
Soufre	Secondary sulphur, at refinery/RER

Pour l'anti-collant, l'ICV « Rape methyl ester, at regional storage/CH » issu d'ecoinvent v2.2 avait été utilisé dans la précédente étude. Or, cet inventaire n'a pas été transposé dans ecoinvent v3.1. Seul l'inventaire « Vegetable oil methyl ester {CH}| esterification of rape oil » subsiste, mais il lui manque une étape de fabrication afin d'être représentatif des anti-collants utilisés. Les données d'activité de l'ICV « Rape methyl ester, at regional storage/CH » issue d'ecoinvent v2.2 ont donc été réutilisées à partir de l'ICV d'ester méthylique de colza estérifié.

Tableau 20 - Données relatives à l'anti-collant/anti-adhérent à base d'ester méthylique de colza

Donnée	Unité	Valeurs par kg d'huile	Source
Huile de colza	kg	1,0005	Données d'activités de l'ICV Ecoinvent v2.2 « Rape methyl ester, at regional storage/CH »
Eau	kg	6,89E-4	
Transport en train	tkm	0,10005	
Transport en camion	tkm	0,15007	
Infrastructure de distribution	unités	2,62E-10	
Électricité	kWh	6,70E-3	
Combustion de fioul domestique	MJ	6,21E-4	
Émission dans l'air de chaleur	MJ	2,41E-2	
Émission dans l'eau de DBO5	kg	3,50E-3	
Émission dans l'eau de DCO	kg	3,50E-3	
Émission dans l'eau de COD	kg	4,33E-4	
Émission dans l'eau de COT	kg	4,33E-4	
Émission dans le sol d'huile d'origine biogénique	kg	5,00E-4	
Déchets de raffinerie	kg	1,68E-4	
Déchets municipaux	kg	6,27E-6	
Traitement des eaux lessivées	m3	7,50E-5	
Traitement de l'eau	m3	6,89E-7	

Tableau 21 - Données utilisées pour la modélisation de l'anti-collant/anti-adhérent

Données environnementales	
Huile de colza	Vegetable oil methyl ester {CH} esterification of rape oil Alloc Rec
Eau	Tap water {CH} market for Alloc Rec
Transport en train	Transport, freight train {CH} market for Alloc Rec
Transport en camion	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec
Infrastructure de distribution	Infrastructure, for regional distribution of oil product {RER} construction Alloc Rec
Électricité	Electricity, low voltage {CH} market for Alloc Rec
Combustion de fioul domestique	Heat, central or small-scale, other than natural gas {CH} heat production, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating Alloc Rec
Émission dans l'air de chaleur	Flux « Heat, waste » dans l'air
Émission dans l'eau de DBO5	Flux « BOD5, Biological Oxygen Demand » dans l'eau
Émission dans l'eau de DCO	Flux « COD, Chemical Oxygen Demand » dans l'eau
Émission dans l'eau de COD	Flux « DOC, Dissolved Organic Carbon » dans l'eau
Émission dans l'eau de COT	Flux « TOC, Total Organic Carbon » dans l'eau
Émission dans le sol d'huile d'origine biogénique	Flux « Oils, biogenic » dans le sol
Déchets de raffinerie	Refinery sludge {CH} treatment of, hazardous waste incineration Alloc Rec
Déchets municipaux	Municipal solid waste {CH} treatment of, sanitary landfill Alloc Rec
Traitement des eaux lessivées	Rainwater mineral oil storage {CH} treatment of, in wastewater treatment plant, capacity 1.1E10l/year Alloc Rec
Traitement de l'eau	Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 1.1E10l/year Alloc Rec

5.4.3 Consommation d'énergie

On distingue les consommations d'énergie au niveau du brûleur sécheur et au niveau des autres postes (chaudière pour parc à liant, fonctionnement général, engins).

5.4.3.1 Données de base concernant les consommations d'énergie au brûleur sécheur

Selon l'USIRF, environ 65% des centrales françaises sont équipées d'un brûleur sécheur au gaz naturel et 35% des centrales sont équipées d'un brûleur sécheur au fioul lourd. De plus, compte tenu du fait qu'il y a un grand nombre de centrales sur le territoire français (environ 500 en métropole), l'USIRF indique qu'on peut considérer qu'environ 65% des quantités d'enrobé produites en France sont fabriquées avec un brûleur au gaz naturel et 35% avec un brûleur au fioul lourd (hypothèse d'une production homogène entre les centrales au gaz naturel et au fioul lourd).

En ce qui concerne les consommations d'énergie au brûleur sécheur, les données utilisées correspondent à des données consolidées sur l'ensemble des centrales de 3 grandes entreprises françaises de l'industrie routière produisant environ 27 Mt d'enrobé par an sur les 35 Mt produites par an, soit environ 77% de la production française (données 2011).

Tableau 22 – Données sources relatives aux consommations d'énergie des brûleurs sécheurs au gaz naturel et au fioul lourd

Entreprise	Source d'énergie	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3) (en kWh)	Production annuelle (en Mt)	Source
Entreprise 1	Fioul lourd	6,70E+01	7	Données consolidées sur l'ensemble des centrales de 3 grandes entreprises produisant 77% de la production française d'enrobé
	Gaz naturel	6,90E+01	7	
Entreprise 2	Fioul lourd	6,10E+01	1,7	
	Gaz naturel	8,30E+01	4,7	
Entreprise 3	Tous brûleurs sécheurs	6,80E+01	6,2	

Concernant l'entreprise 3, qui ne dispose que de données globales sans distinction par type de brûleur, il a été fait l'hypothèse que cette entreprise produit 65% de son enrobé avec des brûleurs au gaz naturel et 35% avec des brûleurs au fioul lourd (répartition nationale). De plus, il a été considéré que tous les brûleurs de cette entreprise consomment la même quantité d'énergie à la tonne produite.

Sur la base de ces hypothèses, les consommations moyennes des brûleurs au gaz naturel et des brûleurs au fioul lourd ont été calculées en effectuant la moyenne des consommations pondérées par les productions pour les deux types de brûleurs des 3 entreprises. On obtient ainsi les données présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23 – Calcul des consommations d'énergie moyennes des brûleurs sécheurs au gaz naturel et au fioul lourd

Entreprise	Source d'énergie	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3) (en kWh)	Production annuelle (en Mt)	Source	
Entreprise 1	Fioul lourd	6,70E+01	7	Données consolidées sur l'ensemble des centrales de 3 grandes entreprises produisant 77% de la production française d'enrobé	
	Gaz naturel	6,90E+01	7		
Entreprise 2	Fioul lourd	6,10E+01	1,7		
	Gaz naturel	8,30E+01	4,7		
Entreprise 3	Fioul lourd	6,80E+01	2,17		Hypothèses et calcul
	Gaz naturel	6,80E+01	4,03		
Moyenne pondérée par type de brûleur sur les 3 entreprises	Fioul lourd	6,63E+01	10,9		
	Gaz naturel	7,29E+01	15,7		

Enfin, pour obtenir les consommations d'énergie au brûleur pour une tonne d'enrobé représentative en France, la répartition française entre les brûleurs sécheurs au gaz naturel (65%) et les brûleurs sécheurs au fioul lourd (35%)

a été appliquée aux consommations d'énergies moyennes par type de brûleur présentées dans le tableau précédent. Les données finales utilisées sont présentées ci-dessous.

Tableau 24 – Calcul des consommations d'énergie au niveau du brûleur sécheur pour un brûleur sécheur moyen en France

Poste	Source d'énergie	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Brûleur sécheur	Fioul lourd	kWh	2,32E+01	Comité de pilotage, hypothèses et calcul
	Gaz naturel	kWh	4,74E+01	

5.4.3.2 Données de base concernant les consommations d'énergie des autres postes

Les autres consommations d'énergie sont directement issues de la collecte des données auprès de 8 centrales d'enrobage. Les données utilisées sont présentées ci-dessous.

Tableau 25 – Données relatives aux consommations d'énergie des autres postes

Poste	Source d'énergie	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Chaudière pour parc à liant	Électricité	kWh	6,55E-01	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
	Propane	kWh	1,58E+00	
	Gaz naturel	kWh	2,81E+00	
Fonctionnement de la centrale	Électricité	kWh	3,51E+00	
Engins	Gasoil non routier	L	9,39E-02	
	Fioul domestique	t	9,31E-05	

5.4.3.3 Données environnementales

Les données environnementales utilisées pour les consommations d'énergie sont présentées ci-dessous.

Tableau 26 – Données utilisées pour la modélisation des consommations d'énergie

Données environnementales	
Fioul lourd	Production : Adaptation de "Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland} heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW Alloc Rec – Production" en supprimant tous les flux liés aux émissions dans l'air
	Combustion : Voir paragraphe Émissions dans l'air
Gaz naturel (brûleur sécheur)	Production : Adaptation de "Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Alloc Rec – Production" en supprimant tous les flux liés aux émissions dans l'air
	Combustion : Voir paragraphe Émissions dans l'air
Électricité	Electricity, medium voltage {FR} market for Alloc Rec (voir Annexe 8.7)
Propane	Propane, burned in building machine {GLO} propane, burned in building machine Alloc Rec
Gaz naturel (Chaudière)	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Alloc Rec
Gasoil non routier	Diesel, burned in building machine {GLO} processing Alloc Rec
Fioul domestique	Light fuel oil, burned in building machine {GLO} processing Alloc Rec
	Combustion : Adaptation de Diesel, burned in building machine {GLO} processing Alloc Rec pour ne conserver que les émissions dans l'air

5.4.4 Emissions dans l'air

On distingue les émissions dans l'air au niveau du brûleur sécheur et au niveau des autres postes (chaudière pour parc à liant, fonctionnement général, engins).

5.4.4.1 Données de base concernant les émissions dans l'air au niveau du brûleur sécheur

Les données utilisées dans l'étude sont calculées à partir :

- des données présentes dans la base de données USIRF,
- des données spécifiques collectées auprès des 8 centrales (rapports d'émissions atmosphériques).

La moyenne est pondérée en fonction de la production des centrales.

Pour ce qui est des données de la base de données USIRF, seules les données collectées pour le rapport de janvier 2009 ont été prises en compte. Les données antérieures n'ont pas été intégrées dans les calculs car jugées trop anciennes. De plus, seules les données des centrales ayant renseigné à la fois leur capacité de production et leurs flux d'émissions ont été prises en compte. Pour ces centrales, la production a été estimée à 70% de la capacité de production, comme cela avait été fait dans la précédente étude ACV. Ce chiffre est estimé par l'USIRF comme étant le rapport entre la production annuelle effective et la production au régime maximum d'une centrale.

Par ailleurs, pour les centrales présentant différents jeux de données dans la base de données USIRF, seule la moyenne des données a été prise en compte pour cette centrale. Enfin, pour les données de type "<x" avec x=seuil de détection, la donnée retenue est x/2.

De plus, la base de données Ecoinvent a été utilisée pour compléter les types d'émissions pour lesquels il n'y avait pas de mesures disponibles. Dans ce cas, les émissions ont été ramenées à une tonne d'enrobé en considérant la consommation représentative de combustible (gaz naturel ou fioul lourd) par tonne d'enrobé. On note par ailleurs que les facteurs d'émissions correspondant ont légèrement évolué entre ecoinvent v2.2 et ecoinvent v3.1. Les consommations représentatives de combustible (gaz naturel ou fioul lourd) utilisées sont les consommations représentatives françaises par type de brûleur présentées dans le Tableau 23. Les inventaires utilisés sont ceux présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 27 – Données utilisées pour compléter les émissions au brûleur sécheur

Données environnementales	
Fioul lourd	Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland} heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW Alloc Rec
Gaz naturel	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Alloc Rec

Les émissions obtenues sont présentées dans les tableaux ci-dessous. Le premier tableau est relatif aux brûleurs sécheurs utilisant du fioul lourd, le second aux brûleurs sécheurs utilisant du gaz naturel. Enfin, le dernier tableau présente les émissions moyennes au niveau d'un brûleur sécheur représentatif en France pour 1 tonne d'enrobé. Il prend en compte les deux types de combustibles sur la base de la répartition nationale entre brûleurs sécheurs au gaz naturel (65%) et au fioul lourd (35%).

L'exemple ci-dessous illustre les opérations réalisées pour le flux de SO₂.

Emissions de SO₂ (kg/t enrobé)

$$= \text{Emissions SO}_2 \text{ brûleur Fioul (kg/t enrobé)} \times \text{Part brûleur Fioul} \\ + \text{Emissions SO}_2 \text{ brûleur gaz (kg/t enrobé)} \times \text{Part brûleur Gaz}$$

$$\text{Emissions de SO}_2 \text{ (kg/t enrobé)} = 2,67E - 02 \times 35\% + 2,94E - 03 \times 65\%$$

$$\text{Emissions de SO}_2 \text{ (kg/t enrobé)} = 1,13E - 02 \text{ kg/t enrobé}$$

Tableau 28 - Données relatives aux émissions dans l'air d'un brûleur sécheur au fioul lourd

Flux	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source	
Poussières	kg	2,93E-03	Base de données USIRF + Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage	
CO	kg	1,47E-01		
SO ₂	kg	2,67E-02		
NO _x	kg	3,97E-02		
COVNM en eq. C	kg	1,54E-02		
CH ₄	kg	8,75E-04		
HAP totaux	kg	2,20E-05		
Aldéhyde formique (formaldéhyde)	kg	1,86E-04		
Benzène	kg	1,16E-04		
Béryllium	kg	8,18E-07		
Chrome	kg	5,94E-06		
Arsenic	kg	1,31E-06		
Nickel	kg	5,75E-06		
Vanadium	kg	1,27E-05		
Manganèse	kg	5,26E-06		
Cobalt	kg	4,12E-06		
Cuivre	kg	2,11E-06		
Zinc	kg	1,18E-05		
Étain	kg	1,32E-06		
Antimoine	kg	9,95E-07		
Plomb	kg	2,79E-06		
Cadmium	kg	4,45E-07		
Sélénium	kg	4,32E-06		
Tellure	kg	1,99E-06		
Thallium	kg	5,76E-07		
Mercure	kg	7,60E-07		
Acetaldehyde	kg	3,77E-05		Ecoinvent v3.1
Acetic acid	kg	1,51E-04		
Acetone	kg	3,77E-05		
Ammonia	kg	2,51E-06		
Benzo(a)pyrene	kg	7,03E-09		
Calcium	kg	2,76E-05		
Carbon dioxide, fossil	kg	1,98E+01		
Dinitrogen monoxide	kg	2,01E-04		
Ethanol	kg	7,54E-05		
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg	1,51E-04		
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg	7,54E-06		
Hydrocarbons, aromatic	kg	3,77E-05		
Hydrogen chloride	kg	3,62E-04		
Hydrogen fluoride	kg	1,21E-05		
Iron	kg	2,06E-04		
Methanol	kg	1,28E-04		
Molybdenum	kg	2,01E-06		
Propane	kg	7,54E-06		
Sodium	kg	1,88E-04		
Toluene	kg	7,54E-06		

Tableau 29 - Données relatives aux émissions dans l'air d'un brûleur sécheur au gaz naturel

Flux	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source	
Poussières	kg	3,48E-03	Base de données USIRF + Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage	
CO	kg	5,05E-02		
SO ₂	kg	2,94E-03		
NO _x	kg	7,83E-03		
COVNM en eq. C	kg	8,14E-03		
CH ₄	kg	9,34E-03		
HAP totaux	kg	3,78E-06		
Aldéhyde formique (formaldéhyde)	kg	2,46E-04		
Benzène	kg	9,19E-05		
Cuivre	kg	3,17E-06		
Plomb	kg	1,63E-06		
Mercuré	kg	8,29E-09		
Acetaldehyde	kg	2,76E-07		Ecoinvent v3.1
Acetic acid	kg	4,15E-05		
Benzo(a)pyrene	kg	2,76E-09		
Butane	kg	1,93E-04		
Carbon dioxide, fossil	kg	1,55E+01		
Dinitrogen monoxide	kg	2,76E-05		
Pentane	kg	3,32E-04		
Propane	kg	5,53E-05		
Propionic acid	kg	5,53E-06		
Toluene	kg	5,53E-05		

Tableau 30 – Données relatives aux émissions dans l'air d'un brûleur sécheur représentatif français

Flux	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source	
Poussières	kg	3,29E-03	Base de données USIRF + Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage	
CO	kg	8,44E-02		
SO ₂	kg	1,13E-02		
NO _x	kg	1,90E-02		
COVNM en eq. C	kg	1,07E-02		
CH ₄	kg	6,38E-03		
HAP totaux	kg	1,01E-05		
Aldéhyde formique (formaldéhyde)	kg	2,25E-04		
Benzène	kg	1,00E-04		
Béryllium	kg	2,86E-07		
Chrome	kg	2,08E-06		
Arsenic	kg	4,60E-07		
Nickel	kg	2,01E-06		
Vanadium	kg	4,43E-06		
Manganèse	kg	1,84E-06		
Cobalt	kg	1,44E-06		
Cuivre	kg	7,38E-07		
Zinc	kg	4,14E-06		
Etain	kg	4,62E-07		
Antimoine	kg	3,48E-07		
Plomb	kg	2,03E-06		
Cadmium	kg	1,56E-07		
Sélénium	kg	1,51E-06		
Tellure	kg	6,95E-07		
Thallium	kg	2,02E-07		
Mercure	kg	2,71E-07		
Acétaldehyde	kg	1,34E-05		Ecoinvent v3.1
Acetic acid	kg	7,97E-05		
Acetone	kg	1,32E-05		
Ammonia	kg	8,79E-07		
Benzo(a)pyrene	kg	4,26E-09		
Butane	kg	1,26E-04		
Calcium	kg	1,57E-07		
Carbon dioxide, fossil	kg	1,70E+01		
Dinitrogen monoxide	kg	8,83E-05		
Ethanol	kg	2,64E-05		
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg	5,27E-05		
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg	2,64E-06		
Hydrocarbons, aromatic	kg	1,32E-05		
Hydrogen chloride	kg	1,27E-04		
Hydrogen fluoride	kg	4,22E-06		
Iron	kg	7,21E-05		
Methanol	kg	4,48E-05		
Molybdenum	kg	7,07E-06		
Pentane	kg	2,16E-04		
Propane	kg	3,86E-05		
Propionic acid	kg	3,59E-06		
Sodium	kg	6,59E-05		
Toluene	kg	3,86E-05		

5.4.4.2 Données de base concernant les émissions dans l'air liées aux autres postes

Les émissions dans l'air liées aux autres postes proviennent des consommations d'énergies de ces postes. Elles sont modélisées à partir des ICV de la base de données Ecoinvent v3.1 présentés dans le Tableau 26.

5.4.5 Emissions dans l'eau

Les émissions dans l'eau proviennent de deux types de rejets d'eau :

- les rejets d'eau utilisée pour le process et le lavage,
- les rejets d'eau pluviale.

5.4.5.1 Données de base concernant les rejets d'eau de process et de lavage

En ce qui concerne les rejets d'eau de process et de lavage, les quantités sont considérées égales aux consommations d'eau de process et de lavage.

Tableau 31 - Données relatives aux rejets d'eaux de process et lavage

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Eau de process et de lavage (réseau + forage)	m ³	2,32E-03	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage

5.4.5.2 Données de base concernant les rejets d'eau pluviale

Les émissions dans l'eau associées aux rejets d'eau pluviale ont été calculées à partir des données collectées auprès de 8 centrales.

Les rejets d'eau pluviale ont été estimés en prenant en compte la pluviométrie moyenne française (867 mm/an selon la Banque Mondiale), les surfaces des sites des centrales d'enrobage et en considérant une surface imperméabilisée de 20% pour les sites (source : comité de pilotage USIRF).

Ensuite, les rapports d'émissions dans l'eau des centrales, qui fournissent les concentrations en polluant dans l'eau, ont été utilisés pour calculer les émissions annuelles des centrales puis les émissions par tonne d'enrobé pour chaque centrale.

Ces valeurs ont ensuite été pondérées en fonction de la production de chaque centrale de façon à déterminer les émissions dans l'eau pour une tonne d'enrobé représentative.

Tableau 32 – Émissions dans l'eau liées aux eaux pluviales ruisselant sur le site des centrales

Flux	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Nitrites + Nitrates	kg N	3,57E-06	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
DCO	kg O ₂	8,26E-04	
DBO5	kg O ₂	4,84E-05	
MES	kg	7,49E-04	
Indice hydrocarbure	kg	5,82E-06	

5.4.5.3 Données environnementales

Les émissions liées au rejet des eaux de process et de lavage sont modélisées par les données présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 35 – Données utilisées pour la modélisation des émissions dans l'eau liées aux rejets d'eaux de process et lavage

Données environnementales	
Eau de process et de lavage envoyées en station d'épuration	Wastewater, average {CH} treatment of, capacity 5E9l/year Alloc Rec
Émission de nitrites et de nitrates dans l'eau	Flux « Nitrate » dans l'eau

Données environnementales	
Émission de DCO dans l'eau	Flux « COD, « Chemican Oxygen Demand » dans l'eau
Émission de DBO5 dans l'eau	Flux « Biologic Oxygen Demand » dans l'eau
Émission de MES	Flux « Suspended solids, unspecified » dans l'eau
Émission d'hydrocarbures dans l'eau	Flux « Hydrocarbons, unspecified » dans l'eau

5.4.6 Production de déchets

5.4.6.1 Données de base

Les déchets des centrales correspondent aux déchets de consommables et aux blancs de poste. Les données utilisées sont issues de la collecte des données auprès de 8 centrales et sont présentées ci-dessous.

La production de déchets de consommables a été considérée égale à la consommation de consommables des centrales.

Les blancs de poste (déchets correspondant aux débuts et fin de production) sont utilisés sur les sites des centrales pour fournir des agrégats d'enrobés. Ces déchets sont donc recyclés en interne.

Tableau 33 – Données relatives à la production de déchets

Type	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Huile (chauffe, vidange,...) incinérée	L	4,77E-03	Enquête auprès de 8 centrales d'enrobage
Graisse incinérée	kg	1,31E-04	
Pneus de chargeuse recyclés	kg	4,42E-03	
Ferraille recyclée	kg	3,54E-02	
Manches (filtres à poussières) incinéré	kg	7,82E-04	
Blancs de poste recyclés en interne	kg	9,88E+00	
Distance de transport des déchets	km	3,00E+01	Hypothèse BIO

Des flux sortants sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

5.4.6.2 Données environnementales

Les données environnementales utilisées pour modéliser les flux associés au traitement des déchets sont présentées ci-dessous.

Tableau 34 – Données utilisées pour la modélisation des déchets

Données environnementales	
Huile (chauffe, vidange,...)	Waste mineral oil {CH} treatment of, hazardous waste incineration Alloc Rec
Graisse	Waste mineral oil {CH} treatment of, hazardous waste incineration Alloc Rec
Pneus de chargeuse	Recyclage (hypothèse utilisée par l'UNPG) --> Méthode des stocks (voir annexe)
Ferraille	Recyclage (hypothèse utilisée par l'UNPG) --> Méthode des stocks (voir annexe)
Matériaux de pneus et de ferraille destinés au recyclage	Flux « Matériaux destinés au recyclage »
Manches (filtres à poussières)	Waste plastic, mixture {CH} treatment of, municipal incineration Alloc Rec
Blancs de poste	Recyclage --> Méthode des stocks (voir annexe)
Transport routier en fin de vie	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

Concernant les déchets partant à l'incinération, on considère que ces déchets sont évacués vers un incinérateur d'ordures ménagères, et non vers une centrale utilisant des combustibles secondaires (cf. Note 4 du chapitre 7.2.5 de la norme NF EN 15804+A1). De ce fait, on considère qu'aucune énergie n'est fournie à l'extérieur.

5.4.7 Infrastructures

5.4.7.1 Données de base

On distingue dans cette partie les infrastructures de la centrale et celles liées aux chargeuses utilisées pour la production de l'enrobé.

Pour la chargeuse, les données utilisées sont issues de l'outil SEVE (masse et durée de vie de la chargeuse issues de « Chargeuse sur pneus 20 à 25 t »). L'amortissement de la chargeuse a été pris en compte en considérant la production totale d'enrobés sur la durée de vie de la chargeuse. En complément, les hypothèses/données suivantes ont été utilisées :

- Les pneus ne sont pas pris en compte car intégrés dans la section sur les consommables (5.4.2).
- Le coefficient d'entretien (tel que défini dans SEVE⁷) est considéré nul car l'acier utilisé pour l'entretien de la chargeuse est intégré dans la section sur les consommables (5.4.2).
- Le carburant n'est pas pris en compte car intégré dans la section sur les consommations d'énergies (5.4.3).
- La structure en acier de la chargeuse en fin de vie est considérée recyclée à 100% (hypothèse prise dans les modules d'informations de l'UNPG). Selon la méthode des stocks, elle ne porte donc pas d'impact en fin de vie. Seul un transport de 30 km a été considéré.

Les données utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 35 – Calcul de la masse amortie de chargeuse

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Masse de la chargeuse	t	2,20E+01	Outil SEVE - USIRF
Durée de vie de la chargeuse	h	1,20E+04	
Capacité de production moyenne d'une centrale	t enrobés/h	1,51E+02	Collecte de données
Masse de la chargeuse par tonne d'enrobé	t/t d'enrobé	1,22E-05	Calcul

Pour les infrastructures de la centrale, les données sont issues de la précédente étude ACV de l'USIRF. Par souci de consistance, la production de la centrale considérée est également issue de cette précédente étude.

Comme pour la chargeuse, la structure en acier de la centrale en fin de vie est considérée recyclée à 100%. Selon la méthode des stocks, elle ne porte donc pas d'impact en fin de vie. Seul un transport de 30 km a été considéré. Des flux sortants et des flux d'utilisation des ressources sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6.

Les données utilisées sont présentées dans le tableau ci-après.

⁷ Le coefficient d'entretien est défini dans SEVE comme le coefficient qu'il faut appliquer à la masse d'un engin pour évaluer le coût de l'entretien (en moyenne 1 pour les matériels classiques et 2 pour les matériels consommant beaucoup de pièces d'usure).

Tableau 36 – Calcul de la masse amortie de centrale

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Masse de la centrale	t	3,00E+02	Précédente étude USIRF
Durée de vie de la centrale	années	2,00E+01	
Production de la centrale	t enrobés/an	1,00E+05	
Masse de la centrale par tonne d'enrobé	t/t d'enrobé	1,50E-04	Calcul

5.4.7.2 Données environnementales

En accord avec les hypothèses réalisées dans l'outil SEVE et la précédente étude de l'USIRF, la chargeuse et la centrale sont considérées comme intégralement en acier. Les données environnementales associées à la production et à la fin de vie des matériaux constituant les infrastructures sont présentées dans le tableau ci-dessous. Il faut noter que la mise en forme des matériaux, qui est généralement une étape de moindre impact que la production des matériaux, a été négligée.

Tableau 37 – Données utilisées pour la modélisation des infrastructures

Données environnementales	
Production chargeuse	Steel, low-alloyed, at plant / RER
Production centrale	Steel, low-alloyed, at plant / RER
Fin de vie chargeuse	Flux « Matériaux destinés au recyclage »
Fin de vie centrale	Flux « Matériaux destinés au recyclage »
Transport	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

5.4.8 Données consolidées sur la fabrication d'une tonne d'enrobé

Cette section présente les hypothèses et données retenues pour établir l'inventaire de cycle de vie de la production d'un m² de chaussée durant un an. Elle fait en quelque sorte le lien entre les deux systèmes étudiés : la fabrication d'une tonne d'enrobé d'une part, et le cycle de vie de la chaussée d'autre part.

5.4.8.1 Données de base

Les quantités de matériaux nécessaires aux différentes couches de la chaussée ont été calculées à partir de la structure de chaussée fournie par le comité de pilotage de l'USIRF (cf. Figure 2). Celle-ci est rappelée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 38 – Données sources relatives aux matériaux utilisés dans la chaussée

Couche	Unité	Valeurs pour 1m ² de chaussée	Source
Couche de roulement - Béton Bitumineux	cm	6,00E+00	Comité de pilotage USIRF
Couche d'accrochage - Émulsion de bitume	g/m ²	5,00E+02	
Couche de base - Grave Bitume	cm	9,00E+00	
Couche d'accrochage - Émulsion de bitume	g/m ²	5,00E+02	
Couche de fondation - Grave Bitume	cm	9,00E+00	
Couche d'accrochage - Émulsion de bitume	g/m ²	5,00E+02	

Les compositions respectives du béton bitumineux et de la grave bitume étant sensiblement différentes, leurs densités respectives ne sont pas rigoureusement identiques (1% à 2% de différence). Cependant, cet écart est jugé négligeable d'après le Comité de Pilotage de l'USIRF. Les masses volumiques du Béton Bitumineux (BB) et de la Grave Bitume (GB3) ont donc été considérées comme identiques et égales à 2,35 t/m³.

Par ailleurs, en accord avec le Comité de Pilotage de l'étude, le taux de pertes est considéré nul.

Les données issues de ces calculs sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 39 – Données relatives à la production des différents matériaux utilisés dans la chaussée

Couche	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Couche de roulement - Béton Bitumineux	t/m ²	1,41E-01	Calcul
Couche d'accrochage - Émulsion de bitume	t/m ²	5,00E-04	
Couche de base - Grave Bitume	t/m ²	2,12E-01	
Couche d'accrochage - Émulsion de bitume	t/m ²	5,00E-04	
Couche de fondation - Grave Bitume	t/m ²	2,12E-01	
Couche d'accrochage - Émulsion de bitume	t/m ²	5,00E-04	
Masse totale	t/m²	5,66E-01	

Pour la production du Béton Bitumineux (BB) et de la Grave Bitume (GB3), les données utilisées sont présentées aux sections précédentes. Pour les couches d'accrochages, les données utilisées sont présentées ci-dessous.

Tableau 40 – Données relatives à la consommation de matières premières pour la production des couches d'accrochages

Matière première	Unité	Valeurs pour 1 t de couche d'accrochage	Source
Bitume	kg	6,00E+02	Comité de pilotage USIRF
Eau	kg	4,00E+02	

En ce qui concerne les étapes de transport relatives aux couches d'accrochage, on fait une hypothèse simplificatrice qui consiste à considérer que l'émulsion de bitume est produite au niveau des centrales puis est transportée sur le chantier depuis les centrales. Ainsi, la distance de transport pour l'acheminement du bitume utilisé dans l'émulsion de bitume est considérée identique à celle du bitume utilisé dans le BB et le GB3, à savoir 234 km. Cette hypothèse est sans conséquence sur les résultats de l'ACV. En effet, la masse des couches d'accrochage étant très faible par rapport à la masse des couches d'enrobé, l'impact environnemental du transport de l'émulsion de bitume est très faible par rapport aux impacts du transport de l'enrobé.

5.4.8.2 *Données environnementales*

Les données environnementales utilisées pour la production du Béton Bitumineux (BB) et de la Grave Bitume (GB3) sont présentées dans les sections précédentes. Pour les couches d'accrochages, les données utilisées sont présentées ci-dessous.

Tableau 41 – Données utilisées pour la modélisation de la couche d'accrochage

Données environnementales	
Bitume	EUROBITUME: Life Cycle Inventory of Bitumen (with infrastructure) (2011)
Eau	Tap water, at user / RER

5.5 Transport des matériaux sur le chantier (A4)

Pour cette étape, les sources d'impacts à considérer sont le transport de l'enrobé jusqu'au chantier et les émissions de fumées de bitume lors du chargement des camions. Ces fumées proviennent des vapeurs chaudes émises par le bitume qui se condensent en refroidissant. Les fines gouttelettes ainsi formées créent un nuage que l'on appelle « fumées de bitume ». Ensuite, pendant le transport, les émissions de fumées de bitume sont considérées comme nulles car les camions sont bâchés.

5.5.1 Données de base

Une distance de transport de 30 km a été retenue par le comité de pilotage comme étant une distance moyenne entre la centrale d'enrobage et le chantier. En effet, quand les distances entre un chantier et les centrales fixes existantes sont trop importantes (> 60 km environ), des centrales mobiles sont utilisées. Néanmoins, on peut indiquer que ce paramètre de distance a une influence peu significative sur les impacts globaux de la chaussée (moins de 5% des impacts sur tout le cycle de vie de la chaussée, cf. section 6.5.5).

Les fumées de bitume ont été prises en compte à partir de données de composition et de concentration des fumées fournies par la base CIMAROUT. L'ensemble de la modélisation effectuée est détaillée en annexe 8.3.2 de ce document.

Les données utilisées pour l'étape de transport sont présentées dans les deux tableaux ci-dessous. Comme indiqué au paragraphe précédent, on fait l'hypothèse simplificatrice que l'émulsion de bitume suit le même parcours logistique que l'enrobé et est acheminée sur la même distance (30 km).

Tableau 42 – Données relatives au transport des matériaux de la centrale vers le chantier

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Distance de transport (centrale - chantier)	km	3,00E+01	Comité de pilotage USIRF
Masse totale à transporter	t	5,66E-01	Calcul

Tableau 43 – Données relatives aux émissions de fumées de bitume lors du transport des matériaux de la centrale vers le chantier

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Fluoranthène	kg	1,82E-12	Calcul
Pyrène	kg	1,22E-12	Calcul
Benzo(a)anthracène	kg	5,78E-14	Calcul
Chrysène	kg	2,65E-13	Calcul
Benzo(b)fluoranthène	kg	1,42E-13	Calcul
Benzo(j)fluoranthène	kg	5,29E-14	Calcul
Benzo(k)fluoranthène	kg	6,02E-14	Calcul
Benzo(a)pyrène	kg	8,42E-14	Calcul
Benzo(e)pyrène	kg	2,02E-13	Calcul
Dibenzo(a,h)fluoranthène	kg	3,37E-14	Calcul
Benzo(ghi)pérylène	kg	1,08E-13	Calcul
Indeno(1,2,3,cd)pyrène	kg	4,33E-14	Calcul
Naphtalène	kg	2,25E-07	Calcul
Acénaphène	kg	4,78E-08	Calcul
Fluorène	kg	2,64E-08	Calcul
Phénanthrène	kg	4,72E-08	Calcul
Anthracène	kg	2,20E-09	Calcul
Fluoranthène	kg	2,94E-09	Calcul
Pyrène	kg	1,78E-09	Calcul
Benzène	kg	4,21E-09	Calcul
Cyclopentane	kg	4,81E-09	Calcul
n-Hexane	kg	1,20E-08	Calcul
Toluène	kg	3,37E-08	Calcul
Styrène	kg	2,41E-09	Calcul
Xylènes	kg	8,88E-07	Calcul
Ethylbenzène	kg	8,45E-07	Calcul
Formaldéhyde	kg	2,41E-09	Calcul

5.5.2 Données environnementales

La modélisation retenue pour le transport est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 44 – Données utilisées pour la modélisation du transport des matériaux de la centrale vers le chantier

Données environnementales	
Transport des matériaux (centrale - chantier)	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

Les fumées de bitume ont été intégrées directement dans l'inventaire au niveau des flux indiqués dans le tableau ci-dessous. Certains flux n'existant pas dans la base de données Ecoinvent, ils ont été modélisés par des flux approximatifs (exemple : le cyclopentane modélisé comme un flux « Hydrocarbures, unspecified » émis dans l'air). Ceci ne nuit pas à la modélisation dans la mesure où ces flux approximatifs ne contribuent qu'à des catégories de flux agrégés (Hydrocarbures non spécifiés, HAP non spécifiés, COV) de l'indicateur pollution de l'air avec des facteurs de conversion égaux à 1.

Tableau 45 – Données utilisées pour la modélisation des émissions des fumées de bitume lors du transport des matériaux de la centrale vers le chantier

Substance	Flux associé
Fluoranthène	Flux « Fluoranthene » dans l'air
Pyrène	Flux « Pyrene » dans l'air
Benzo(a)anthracène	Flux « Benzo(a)anthracene » dans l'air
Chrysène	Flux « Chrysene » dans l'air
Benzo(b)fluoranthène	Flux « Benzo(b)fluoranthene » dans l'air
Benzo(j)fluoranthène	Flux « PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons » dans l'air
Benzo(k)fluoranthène	Flux « Benzo(k)fluoranthene » dans l'air
Benzo(a)pyrène	Flux « Benzo(a)pyrene » dans l'air
Benzo(e)pyrène	Flux « PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons » dans l'air
Dibenzo(a,h)fluoranthène	Flux « PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons » dans l'air
Benzo(ghi)pérylène	Flux « Benzo(g,h,i)perylene » dans l'air
Indeno(1,2,3,cd)pyrène	Flux « Indeno(1,2,3-cd)pyrene » dans l'air
Naphtalène	Flux « Naphtalene » dans l'air
Acénaphène	Flux « Acenaphtene » dans l'air
Fluorène	Flux « Fluorene » dans l'air
Phénanthrène	Flux « Phenanthrene » dans l'air
Anthracène	Flux « Anthracene » dans l'air
Fluoranthène	Flux « Fluoranthene » dans l'air
Pyrène	Flux « Pyrene » dans l'air
Benzène	Flux « Benzene » dans l'air
Cyclopentane	Flux « Hydrocarbons, unspecified » dans l'air
n-Hexane	Flux « Hexane » dans l'air
Toluène	Flux « Toluene » dans l'air
Styrène	Flux « Styrene » dans l'air
Xylènes	Flux « Xylene » dans l'air
Ethylbenzène	Flux « Benzene, ethyl- » dans l'air
Formaldéhyde	Flux « Formaldehyde » dans l'air

5.6 Mise en oeuvre de la chaussée (A5)

Pour l'étape de mise en oeuvre, les sources d'impacts environnementaux à prendre en compte sont les engins utilisés pour la mise en oeuvre des différents matériaux et les fumées de bitume engendrées par le chauffage des enrobés lors de leur mise en oeuvre.

5.6.1 Données de base

Les données concernant les engins de mise en oeuvre sont issues de l'outil SEVE (Atelier de mise en oeuvre machine moyenne cadence 700 t/j), de la précédente étude USIRF et du comité de pilotage de l'USIRF. Les engins utilisés pour la mise en oeuvre sont un finisseur et un compacteur. De plus, le passage d'une balayeuse aspiratrice est nécessaire avant la mise en oeuvre des matériaux.

Les données sources utilisées sont présentées dans le tableau qui suit.

Tableau 46 – Données sources relatives aux engins utilisés pour la mise en oeuvre

Donnée	Unité	Valeurs	Source
Cadence du finisseur (15 à 20t)	t/j	7,00E+02	Outil SEVE - USIRF
Cadence du compacteur tandem vibrant V1	t/j	3,50E+02	
Cadence de la balayeuse (sans rabotage préalable)	m ² /j	2,00E+03	Comité de pilotage USIRF
Production de balayures (sans rabotage)	L/m ²	2,00E+00	Précédente étude USIRF

Les données relatives aux engins de mise en oeuvre ont ensuite été exprimées en jour d'engins nécessaires à la mise en oeuvre d'un mètre carré de chaussée. Pour les balayures, la donnée source étant déjà exprimée en mètre carré, aucun calcul n'est nécessaire. Le volume de balayures a été converti en masse en considérant une masse volumique de 1 kg/L (source : précédente étude USIRF). Le résultat de ces calculs est indiqué ci-dessous. En complément, on considère une distance de transport des balayures de 30 km du chantier jusqu'au lieu d'enfouissement (source : hypothèse BIO).

Tableau 47 – Données relatives aux engins de mise en oeuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Finisseur (15 à 20t)	jour	8,08E-04	Calcul
Compacteur tandem vibrant V1	jour	1,62E-03	
Balayeuse aspiratrice	jour	5,00E-04	
Production de balayures (sans rabotage)	kg	2,00E+00	

Des flux d'utilisation des ressources sont également comptabilisés, relativement à l'acier contenu dans ces engins. Ils sont présentés en annexe 8.6

Enfin, pour les fumées de bitume, les données de composition et de concentration fournies par le comité de pilotage de l'USIRF ont été utilisées. La modélisation effectuée pour prendre en compte ces fumées est détaillée en annexe (8.3). Le résultat de ces calculs est présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 48 – Données relatives aux émissions de fumées de bitume lors de la mise en œuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Fluoranthène	kg	4,28E-08	Calcul
Pyrène	kg	2,87E-08	
Benzo(a)anthracène	kg	1,36E-09	
Chrysène	kg	6,22E-09	
Benzo(b)fluoranthène	kg	3,34E-09	
Benzo(j)fluoranthène	kg	1,24E-09	
Benzo(k)fluoranthène	kg	1,41E-09	
Benzo(a)pyrène	kg	1,98E-09	
Benzo(e)pyrène	kg	4,75E-09	
Dibenzo(a,h)fluoranthène	kg	7,92E-10	
Benzo(ghi)pérylène	kg	2,54E-09	
Indeno(1,2,3,cd)pyrène	kg	1,02E-09	
Naphtalène	kg	5,30E-03	
Acénaphène	kg	1,12E-03	
Fluorène	kg	6,20E-04	
Phénanthrène	kg	1,11E-03	
Anthracène	kg	5,17E-05	
Fluoranthène	kg	6,91E-05	
Pyrène	kg	4,18E-05	
Benzène	kg	9,90E-05	
Cyclopentane	kg	1,13E-04	
n-Hexane	kg	2,83E-04	
Toluène	kg	7,92E-04	
Styrène	kg	5,66E-05	
Xylènes	kg	2,09E-02	
Ethylbenzène	kg	1,98E-02	
Formaldéhyde	kg	5,66E-05	

5.6.2 Données environnementales

Les données environnementales associées aux engins de mise en œuvre de la chaussée sont présentées ci-dessous et détaillées en annexe 8.4. Pour les balayures, un enfouissement en décharge de déchets inertes est considéré.

Tableau 49 – Données utilisées pour la modélisation de la mise en œuvre

Données environnementales	
Finisseur (15 à 20t)	Finisseur (15 à 20t) (voir annexe)
Compacteur tandem vibrant V1	Compacteur tandem vibrant V1 (voir annexe)
Balayeuse aspiratrice	Balayeuse aspiratrice (voir annexe)
Balayures enfouies	Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill Alloc Rec
Transport des balayures	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

Comme pour les fumées de bitume émises lors du chargement des camions, les fumées de bitume émises à la mise en œuvre ont été intégrées directement dans l'inventaire (voir Tableau 45).

5.7 Vie en oeuvre de la chaussée (B1-B7)

Plusieurs étapes d'entretien sont réalisées au cours de la durée de vie de la chaussée. En lien avec le principe de modularité de la norme NF EN 15804, le choix est fait de les classer dans le module B2 Maintenance.

5.7.1 Données de base

Les données de base pour l'étape de vie en oeuvre sont issues des scénarios d'entretien définis par le comité de pilotage de l'USIRF (Tableau 6 et Tableau 7). Pour la production, le transport et la mise en oeuvre d'enrobé durant l'étape de vie en oeuvre, les données sources présentées dans les parties précédentes ont été réutilisées et ajustées aux quantités nécessaires à l'entretien de la chaussée.

Les données relatives à la production et au transport sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 50 – Données relatives à la production durant l'étape de vie en oeuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Béton Bitumineux	t/m ²	6,82E-01	Calcul
Émulsion de bitume	t/m ²	4,00E-03	

Tableau 51 – Données relatives au transport durant l'étape de vie en oeuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Masse à transporter	t	6,86E-01	Calcul
Distance de transport	km	3,00E+01	

Tableau 52 – Données relatives aux émissions de fumées de bitume lors du transport des matériaux de la centrale vers le chantier durant l'étape de vie en oeuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Fluoranthène	kg	2,21E-12	Calcul
Pyrène	kg	1,48E-12	
Benzo(a)anthracène	kg	7,00E-14	
Chrysène	kg	3,21E-13	
Benzo(b)fluoranthène	kg	1,72E-13	
Benzo(j)fluoranthène	kg	6,42E-14	
Benzo(k)fluoranthène	kg	7,29E-14	
Benzo(a)pyrène	kg	1,02E-13	
Benzo(e)pyrène	kg	2,45E-13	
Dibenzo(a,h)fluoranthène	kg	4,08E-14	
Benzo(ghi)pérylène	kg	1,31E-13	
Indeno(1,2,3,cd)pyrène	kg	5,25E-14	
Naphtalène	kg	2,73E-07	
Acénaphène	kg	5,79E-08	
Fluorène	kg	3,20E-08	
Phénanthrène	kg	5,72E-08	
Anthracène	kg	2,67E-09	
Fluoranthène	kg	3,56E-09	
Pyrène	kg	2,16E-09	
Benzène	kg	5,10E-09	

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Cyclopentane	kg	5,83E-09	
n-Hexane	kg	1,46E-08	
Toluène	kg	4,08E-08	
Styrène	kg	2,92E-09	
Xylènes	kg	1,08E-06	
Ethylbenzène	kg	1,02E-06	
Formaldéhyde	kg	2,92E-09	

Comme indiqué au paragraphe 5.4.8, on fait l'hypothèse simplificatrice que l'émulsion de bitume suit le même parcours logistique que l'enrobé et est acheminée sur la même distance (30 km).

En complément du finisseur et compacteur utilisé pour la mise en œuvre de l'enrobé, l'entretien de la chaussée nécessite des rabotages périodiques ainsi que des balayages avant chaque application d'enrobé. Les données sources relatives à ces engins sont issues du comité de pilotage de l'USIRF et sont présentées ci-dessous.

Tableau 53 – Données sources relatives aux engins de mise en œuvre durant l'étape de vie en œuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Nombre de rabotage	nombre	5,00E+00	Outil SEVE+ Comité de pilotage USIRF
Cadence de la raboteuse	t/j	7,00E+02	
Nombre de passage de balayeuse (sans rabotage)	nombre	2,00E+00	
Cadence de la balayeuse (sans rabotage)	m ² /j	2,00E+00	
Production de balayures (sans rabotage)	L/m ²	2,00E+00	
Nombre de passage de balayeuse (avec rabotage)	nombre	5,00E+00	
Cadence de balayeuse (avec rabotage)	m ² /j	2,00E+03	
Production de balayures (avec rabotage)	L/m ²	8,00E+00	

L'ensemble des données relatives aux engins ont ensuite été rapportées au mètre carré de chaussée.

Tableau 54 – Données relatives aux engins de mise en œuvre durant l'étape de vie en œuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Finisseur (15 à 20t)	jour	9,79E-04	Calcul
Compacteur tandem vibrant V1	jour	1,96E-03	
Raboteuse 2m à 2,2m	jour	6,21E-04	
Fraisats d'enrobé	kg	4,35E+02	
Balayeuse aspiratrice	jour	3,50E-03	
Balayures	kg	4,40E+01	

En complément de ces données, on considère une distance de 30 km pour le transport des déchets de rabotage et des balayures du chantier jusqu'au site d'enfouissement (source : hypothèse BIO IS). Des flux sortants sont également comptabilisés lors de cette étape. Ils sont présentés en annexe 8.6

Enfin, les données relatives aux fumées de bitume au cours des différentes phases de mise en œuvre durant l'étape de vie en œuvre sont présentées ci-dessous.

Tableau 55 – Données relatives aux émissions de fumées de bitume lors de la mise en œuvre durant l'étape de vie en œuvre

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Fluoranthène	kg	5,18E-08	Calcul
Pyrène	kg	3,48E-08	
Benzo(a)anthracène	kg	1,65E-09	
Chrysène	kg	7,54E-09	
Benzo(b)fluoranthène	kg	4,04E-09	
Benzo(j)fluoranthène	kg	1,51E-09	
Benzo(k)fluoranthène	kg	1,71E-09	
Benzo(a)pyrène	kg	2,40E-09	
Benzo(e)pyrène	kg	5,76E-09	
Dibenzo(a,h)fluoranthène	kg	9,60E-10	
Benzo(ghi)pérylène	kg	3,08E-09	
Indeno(1,2,3,cd)pyrène	kg	1,23E-09	
Naphtalène	kg	6,42E-03	
Acénaphène	kg	1,36E-03	
Fluorène	kg	7,52E-04	
Phénanthrène	kg	1,34E-03	
Anthracène	kg	6,27E-05	
Fluoranthène	kg	8,38E-05	
Pyrène	kg	5,07E-05	
Benzène	kg	1,20E-04	
Cyclopentane	kg	1,37E-04	
n-Hexane	kg	3,43E-04	
Toluène	kg	9,60E-04	
Styrène	kg	6,86E-05	
Xylènes	kg	2,53E-02	
Ethylbenzène	kg	2,41E-02	
Formaldéhyde	kg	6,86E-05	

On notera qu'aucune émission dans l'eau durant la vie en œuvre n'a été considérée. En effet, les études faites sur agrégats d'enrobés dans le cadre de l'élaboration du guide « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les matériaux de déconstruction issus du BTP » et sur enrobés neufs dans le cadre d'une étude USIRF montrent des niveaux de relargage extrêmement faibles. En particulier, l'étude USIRF indique que « les quantités de polluants relarguées dans les lixiviats sont [...] extrêmement faibles pour les enrobés bitumineux. Les concentrations en solution de tous les éléments recherchés sont en effet presque systématiquement inférieures aux limites de quantification ».

5.7.2 Données environnementales

En complément des données environnementales présentées dans les paragraphes précédents, les données suivantes sont utilisées.

Tableau 56 – Données utilisées pour la modélisation de la vie en œuvre

Données environnementales	
Raboteuse 2m à 2,2m	Raboteuse 2m à 2,2m (voir annexe)
Fraisats d'enrobé	Recyclage - Méthode des stocks (voir annexe)
Transport des déchets de rabotage	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec
Balayeuse aspiratrice	Balayeuse aspiratrice (voir annexe)
Balayures	Inert waste {CH} treatment of, sanitary landfill Alloc Rec
Transport des balayures	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

5.8 Fin de vie de la chaussée (C1-C4)

On considère dans cette étude que la chaussée reste en place après la période de 100 ans considérée et pourra être réutilisée comme support pour une future chaussée.

Ainsi, aucune phase de déconstruction n'est considérée à l'étape de fin de vie.

La quantité de chaussée restant en place est calculée de la façon suivante :

- 566 kg sont appliqués lors de la mise en œuvre initiale de la chaussée (A3).
- Sur la durée totale de la vie en œuvre, en considérant ajouts supplémentaires d'enrobé et rabotages, environ 10,5 cm d'enrobé est rajouté. En considérant une masse volumique de 2 350 kg/m³ pour l'enrobé (source : USIRF), ceci correspond à environ 245 kg de matériaux restant en place lors de la fin de vie.

Tableau 57 – Données relatives à la fin de vie

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 m ² de chaussée	Source
Masse de matériaux restant sur la chaussée en fin de vie	t	8,11E-01	Calcul

Seuls des flux sortants sont comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6.

5.9 Bénéfices et charges au-delà des frontières du système (D)

5.9.1 Préambule

La prise en compte des bénéfices (et charges) au-delà des frontières du système est une évolution normative permettant de considérer les bénéfices environnementaux liés à la valorisation énergétique ou matière (recyclage) des flux valorisables en fin de vie.

Conformément à la norme NF EN 15804+A1, ces bénéfices et charges sont calculés :

- sur la base des flux nets de matériaux secondaires sortants (matériaux secondaires sortants moins matériaux secondaires entrants),
- et en prenant en compte les impacts liés aux processus de recyclage ou récupération au-delà des frontières du système (après le statut de fin de déchet) jusqu'au point d'équivalence fonctionnelle où la matière remplace la production primaire et en soustrayant les impacts résultant de la production de matière remplacée.

Les flux correspondants sont :

- Pour les flux de matériaux secondaires sortants :
 - Les fraisats d'enrobé issus du rabotage lors de la vie en œuvre de la chaussée ;

- La masse de chaussée restant en place à la fin de vie de la chaussée.
- Pour les flux de matériaux secondaires entrants :
 - L'utilisation d'agrégats d'enrobés lors de la fabrication de l'enrobé incorporé dans la chaussée.
- Concernant les processus de recyclage ou de récupération :
 - Pour les fraisats d'enrobé, des opérations de rabotage sont incluses dans l'étape de vie en œuvre, ayant lieu indépendamment du devenir des fraisats. La réglementation concernant le statut de fin de déchet de ces matériaux est encore en cours d'élaboration entre la profession et les autorités publiques au moment de la réalisation de cette étude. Cependant, on se place dans un scénario prospectif où le cas des fraisats d'enrobé est traité. Conformément au guide du CEREMA « Acceptabilité des matériaux de déconstruction en technique routière » (à paraître), ces derniers doivent subir des tests de conformité afin de prouver qu'ils ne contiennent pas de substances dangereuses de type amiante ou goudron. Comme ces substances ne sont plus utilisées en technique routière depuis plusieurs décennies, on considère que les tests sont concluants et que les fraisats peuvent être réutilisés. On considère également que la masse de matériaux testés est faible et l'on néglige le transport associé à cette procédure. Afin d'être réutilisés, les fraisats subissent néanmoins des opérations de broyage et de criblage estimées identiques à celles subies par les agrégats d'enrobé (cf. section 8.5.1).
 - Pour les matériaux restant en place à la fin de vie, aucun impact lié à des processus de recyclage ou de récupération n'est considéré.
- En concertation avec les membres de l'USIRF, les impacts évités résultant de la production de matière remplacée correspondent :
 - Pour les fraisats, à la production de bitume et de granulats constituant la recette de l'enrobé bitumineux;
 - Pour la masse de matériaux restant en place à la fin de vie, à la production, au transport et à la mise en œuvre des couches d'assise.

On peut noter que d'autres déchets générés sur le cycle de vie de la chaussée font également l'objet d'une valorisation (pneus, ferraille usagée, infrastructures, acier issus des engins en fin de vie). Le tableau suivant reprend les résultats pour les indicateurs de flux « Composants destinés à la réutilisation » et « Matériaux destinés au recyclage » sur le cycle de vie de la chaussée (modules A1-A3 à C1-C4).

Tableau 58 - Flux de matériaux réutilisés ou recyclés sur le cycle de vie de la chaussée

Étape	Matériaux	Type de valorisation	Valeurs pour 1 m ² de chaussée (en kg)
A1-A3 Fabrication	Pneus Ferraille Chargeuse Centrale	Matériaux destinés au recyclage	1,14E-01
A5 Installation	Engins	Matériaux destinés au recyclage	6,73E-02
B2 Maintenance	Engins Matériaux destinés au recyclage durant A1-A3 Matériaux destinés au recyclage durant A5	Matériaux destinés au recyclage	3,47E-01
	Fraisats d'enrobé	Matériaux destinés au recyclage	4,35E+02
C3 Traitement des déchets	Matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée	Composants destinés à la réutilisation	8,11E+02

Comme le montre le tableau précédent, les masses de ces matériaux valorisés représentent moins de 0,05% des quantités totales de déchets valorisés. Elles sont donc négligées et seule la valorisation des fraisats et des matériaux restant en place à la fin de vie est considérée dans le cadre de la modélisation du module D.

Les cas des fraisats et des matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée sont abordés séparément dans les deux sections qui suivent.

5.9.2 Cas des fraisats d'enrobé

- Flux de matériaux secondaires entrants et sortants

Le tableau suivant résume les flux de matériaux secondaires sortants et entrants du système aux différentes étapes du cycle de vie.

Tableau 59 - Flux de matériaux secondaires entrants et sortants (pour 1 m² de chaussée)

Type de flux	Étape	Matériau	Valeur (kg/m ²)
Flux entrants : utilisation de matières secondaires	Étape de production A1-A3	Agrégats d'enrobés	5,21E+01
	Étape de vie en œuvre - maintenance B2	Agrégats d'enrobés	6,29E+01
Flux sortants : matériaux destinés au recyclage et à la réutilisation	Étape de vie en œuvre - maintenance B2	Fraisats d'enrobé substitués à de l'enrobé bitumineux	4,35E+02

Le tableau suivant présente le bilan des flux nets sortants pour les fraisats d'enrobé.

Tableau 60 - Calcul des flux nets sortants

Type de matière secondaire	Flux	Valeur
Fraisats d'enrobés substitués à des agrégats d'enrobés	Flux sortant net = flux sortant – flux entrant (kg/m ²)	3,20E+02

- Composition des matériaux substitués

Le tableau suivant présente la composition de la matière remplacée. On estime que le fraisat d'enrobé qui est concassé puis introduit dans les procédés de production remplace les matériaux contenus dans cette matière, en considérant uniquement des matériaux vierges. On estime ainsi que le recyclage évite la production des matériaux constitutifs de enrobé bitumineux « vierge » (sans contenu en agrégat d'enrobé).

Comme l'étude porte sur deux types d'enrobé, on considère la composition de l'enrobé « vierge » substitué comme la moyenne de la composition en bitume et granulats du béton bitumineux et de la grave bitume. Cette approximation est acceptable étant donné la composition relativement proche des deux types d'enrobé étudiés (similaire à 1% près).

Tableau 61 - Composition des matériaux remplacés grâce à la valorisation matière de la chaussée en fin de vie

Type de matière secondaire	Substitution	Matériau remplacé	Valeur (%)
Fraisats d'enrobés recyclés	Remplacement des matériaux vierges constitutifs de l'enrobé bitumineux	Bitume (%)	4,70%
		Granulats massifs (%)	72,6%
		Granulats alluvionnaires (%)	22,6%

- **Calcul des bénéfices et charges au-delà des frontières du système**

Pour un flux de matière secondaire dans une voie de valorisation, la formule permettant de calculer les bénéfices et charges au-delà des frontières du système est la suivante :

$$I_D = M_{\text{sortant}} \times (I_{PR(i+1)} - I_{PV(i+1)}) - M_{\text{entrant}} \times (I_{PR(i)} - I_{PV(i)})$$

Avec :

- I_D : Inventaire relatif au module D
- M_{sortant} : masse de matériau secondaire sortant du système étudié i pour aller dans le système suivant i+1
- M_{entrant} : masse de matériau secondaire entrant dans le système étudié i
- $I_{PR(i+1)}$: Inventaire relatif au processus de recyclage aboutissant à la production du matériau secondaire prêt à l'emploi utilisé dans le système suivant i+1
- $I_{PV(i+1)}$: Inventaire relatif à la production du matériau vierge substitué dans le système i+1
- $I_{PR(i)}$: Inventaire relatif au processus de recyclage aboutissant à la production du matériau secondaire prêt à l'emploi utilisé dans le système étudié i
- $I_{PV(i)}$: Inventaire relatif à la production du matériau vierge substitué dans le système étudié i

Pour chacun des deux types de valorisation, les termes sont explicités dans le tableau suivant :

Tableau 62 - Explication des termes pour chacun des types de valorisation de la chaussée

Type de traitement	M_{sortant}	M_{entrant}	$I_{PR(i+1)}$	$I_{PV(i+1)}$	$I_{PR(i)}$	$I_{PV(i)}$
Fraisats d'enrobés se substituant à des agrégats d'enrobé	Flux sortant de fraisats d'enrobé	Flux entrant d'agrégats d'enrobé	Inventaire de broyage et criblage des fraisats	Inventaire de production de matériaux vierges constitutifs de l'enrobé	Inventaire de broyage et criblage des agrégats d'enrobé	Inventaire de production de matériaux vierges constitutifs de l'enrobé

Comme évoqué précédemment, le recyclage des fraisats correspond aux opérations de traitement subies par les agrégats d'enrobé. La formule relative au module D pour cette valorisation devient alors :

$$I_{D \text{ fraisats d'enrobé}} = (M_{\text{fraisats recyclés sortants}} - M_{\text{agrégats recyclés entrants}}) \times (ICV_{\text{broyage/concassage}} - ICV_{\text{production des matériaux vierges de l'enrobé}})$$

5.9.3 Cas des matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée

Comme évoqué en préambule en section 5.9.1, les matériaux restant en place à la fin de vie se substituent à la production, au transport et à la mise en œuvre des couches d'assise produites à l'étape A1-A3.

Les recommandations de la norme concernant l'approche « matériaux » pour le calcul des bénéfices du module D ont été adaptées compte-tenu de la spécificité du système étudié. En effet, les matériaux restant en place lors de la fin de vie permettent d'éviter de produire, de transporter et de mettre en œuvre des couches d'assise « vierges » pour la chaussée. Une approche « fonction » a donc été choisie. Le tableau ci-dessous présente les hypothèses retenues pour cette approche.

Tableau 63 - Description des étapes de traitement et des étapes substitués dans le cadre de la valorisation des matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée

Matériaux secondaires réutilisés		Matériaux substitués	
Étape	Description/détail	Étape	Description/détail
Sortie du statut de fin de déchet	Aucun impact lié à des processus de recyclage ou de récupération n'est considéré.	Production des matériaux substitués	Production du grave bitume des couches d'assise
			Production de la couche d'accrochage située entre la couche de forme et la couche de fondation
			Production de la couche d'accrochage située entre la couche de fondation et la couche de base.
Opérations de	Aucune, les matériaux sont	Acheminement des	Transport en camion des couches d'assise ainsi que

Matériaux secondaires réutilisés		Matériaux substitués	
traitement avant réutilisation par le système suivant	directement réutilisables.	matériaux substitués	des couches d'accrochage Émissions de fumées de bitumes
		Mise en œuvre des matériaux substitués	Émissions de fumées de bitumes Utilisation d'engins (balayeuse, finisseur, compacteur tandem vibrant V1) Transport en site de traitement et traitement des balayures ;

Toutefois, les données relatives aux modules A4 et A5 en sections 5.5 et 5.6 sont fournies pour la chaussée dans sa globalité, incluant non seulement les couches d'assise mais également la couche de roulement et une troisième couche d'accrochage.

Il est décidé d'approximer les impacts associés à la substitution des étapes A4 et A5 selon la part massique des couches d'assise. Celles-ci représentent 75% de la masse de matériaux mis en œuvre pour 1 m² de la chaussée. Étant donné le manque d'informations spécifiques sur la répartition des impacts des procédés entre couches d'assise et couche de roulement (à propos des émissions de fumées de bitume notamment), cette approche simplificatrice est jugée acceptable.

- Calcul des bénéfices et charges au-delà des frontières du système

La formule relative au module D pour cette valorisation est alors :

$$I_D \text{ Matériaux restant en place} = - ICV_{\text{production des couches d'assise « vierges »}} - ICV_{\text{transport des couches d'assise « vierges »}} - ICV_{\text{mise en œuvre des couches d'assise « vierges »}}$$

Avec les ICV décrits ci-dessous :

Tableau 64 - ICV des matériaux vierges substitués par les matériaux restant en place à la fin de vie de la chaussée

ICV	Item	Unité	Valeur pour 1 m ² de chaussée
ICV production des couches d'assise « vierges »	Couche de fondation – Grave bitume	kg	2,12E+02
	Couche de base – Grave bitume	kg	2,12E+02
	Couches d'accrochage – émulsion bitume	kg	1,00E+00
ICV transport des couches d'assise « vierges »	Module A4 Transport au chantier de 1m ² de chaussée	-	75%
ICV mise en œuvre des couches d'assise « vierges »	Module A5 Installation de 1m ² de chaussée	-	75%

6 Évaluation de l'impact du cycle de vie

6.1 Indicateurs d'impacts environnementaux étudiés

Les paramètres environnementaux étudiés sont ceux spécifiés dans la norme NF EN 15804+A1 et son complément XP P01-064/CN. Les paramètres sont présentés dans les tableaux suivants. Ils sont regroupés en différentes catégories :

- les paramètres décrivant les impacts environnementaux,
- les paramètres décrivant l'utilisation des ressources,
- les paramètres décrivant les catégories de déchets,
- les paramètres décrivant les flux sortants.

Les facteurs de caractérisation sont ceux présentés en Annexe C de la norme NF EN 15804+A1 et Annexes C, t J et K du complément XP P01-064/CN.

Tableau 65 - Paramètres décrivant les impacts environnementaux

Catégorie d'impact	Paramètre	Unité	Modèle EICV
Réchauffement climatique	Potentiel de réchauffement global, GWP	kg de CO ₂ équiv.	Global Warming Potential for a 100-year time horizon as in IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)].
Appauvrissement de la couche d'ozone	Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, ODP	kg de CFC 11 équiv.	Ozone Depletion Potentials for Steady-state as in WMO (World Meteorological Organisation): Scientific assessment of ozone depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project Reports. 2003.
Acidification des sols et de l'eau	Potentiel d'acidification des sols et de l'eau, AP	kg de SO ₂ équiv.	Acidification Potentials for average Europe total as in Huijbregts, M., 1999b: Life cycle impact assessment of acidifying and eutrophying air pollutants. Calculation of equivalency factors with RAINS-LCA. Interfaculty Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, University of Amsterdam, The Netherlands.
Eutrophisation	Potentiel d'eutrophisation, EP	kg de (PO ₄) ³⁻ équiv.	Heijungs, R., J. Guinée, G. Huppes, R.M. Lanckreijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. van Duin, H.P. de Goede, 1992: Environmental Life Cycle.
Formation d'ozone photochimique	Potentiel de formation d'ozone troposphérique, POCP	kg d'éthène équiv.	Jenkin, M.E. & G.D. Hayman, 1999: Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters. Atmospheric Environment 33: 1775-1293. Derwent, R.G., M.E. Jenkin, S.M. Saunders & M.J. Pilling, 1998. Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master chemical mechanism. Atmospheric Environment, 32. p 2429-2441.
Épuisement des ressources abiotiques - éléments	Potentiel d'épuisement (ADP-éléments) pour les ressources abiotiques non fossiles	kg de Sb équiv.	Abiotic Resource Depletion Potentials for Ultimate ultimate reserves as in Oers, L.F.C.M., van & Koning, A., de & Guinée, J.B. & Huppes, G., 2002. Abiotic resource depletion in LCA: improving characterisation factors for abiotic depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook. Delft: Ministry of Transport, Public Works and Water Management.
Épuisement des ressources abiotiques - combustibles fossiles	Potentiel d'épuisement (ADP-éléments) pour les ressources abiotiques fossiles	MJ, pouvoir calorifique inférieur	+ Complément XP P01-064/CN:2014:04, Annexe C
Pollution de l'eau	Pollution de l'eau	m ³ d'eau pollués	Méthode de volume fictif d'eau ou d'air pollué, basée sur les seuils des articles 27 et 32 de l'arrêté du 2 février 1998
Pollution de l'air	Pollution de l'air	m ³ d'air pollués	Complément XP P01-064/CN:2014:04, Annexes C et J

Tableau 66- Paramètres décrivant l'utilisation des ressources

Paramètre	Unité
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	MJ, PCI
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées en tant que matière première	MJ, PCI
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ, PCI
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	MJ, PCI
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières	MJ, PCI
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ, PCI
Utilisation de matière secondaire	kg
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ, PCI
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ, PCI
Utilisation nette d'eau douce	m ³

Tableau 67 - Paramètres décrivant les catégories de déchets

Paramètre	Unité
Déchets dangereux éliminés	kg
Déchets non dangereux éliminés	kg
Déchets radioactifs éliminés	kg

Tableau 68 - Paramètres décrivant les flux sortants

Paramètre	Unité
Composants destinés à la réutilisation	kg
Matériaux destinés au recyclage	kg
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	kg
Énergie fournie à l'extérieur	MJ, PCI

6.2 Procédures de calcul

Les données ont été reprises du fichier Excel ayant servi à la précédente étude. La réalisation des calculs a ensuite été faite sous Simapro v8.0.4. Les émissions à long-terme (au-delà de 100 ans) ont été exclues des calculs.

6.3 Avertissement

Les résultats sont des expressions relatives et ne prédisent pas les impacts finaux par catégorie, le dépassement de seuils, les marges de sécurité ou les risques.

6.4 Résultats pour la production d'une tonne d'enrobé

6.4.1 Production d'une tonne de béton bitumineux (BB)

Le tableau et le graphique ci-dessous présentent les impacts environnementaux de la production d'une tonne de béton bitumineux.

Les indicateurs pour lesquels les valeurs d'impacts environnementaux sont nulles ne sont pas présentés dans les graphiques correspondants.

Tableau 69 - Impacts environnementaux de la production de 1 tonne de béton bitumineux

	Indicateur	Unité	Amont		Centrale						Total
			A1 - BB - Consommation de matières premières	A2 - BB - Acheminement des matières premières	A3 - Consommation d'eau	A3 - Consommation de consommables	A3 - Consommation d'énergie et émissions dans l'air	A3 - Emissions dans l'eau	A3 - Production de déchets	A3 - Infrastructures	
Impacts environnementaux	Réchauffement climatique	kg CO ₂ eq	1,46E+01	7,54E+00	8,81E-04	4,07E-02	2,31E+01	9,19E-04	1,39E-02	4,38E-01	4,57E+01
	Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	1,02E-06	1,52E-06	8,96E-11	8,82E-09	4,05E-06	9,56E-11	6,87E-11	3,08E-08	6,62E-06
	Acidification des sols et de l'eau	kg SO ₂ eq	1,28E-01	3,33E-02	4,44E-06	2,36E-04	5,88E-02	8,37E-06	2,32E-06	3,95E-03	2,24E-01
	Eutrophisation	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	1,78E-02	5,36E-03	4,64E-07	6,72E-05	5,86E-03	4,78E-05	5,68E-07	7,36E-04	2,99E-02
	Formation d'ozone photochimique	kg C ₂ H ₄ eq	7,78E-03	1,47E-03	2,90E-07	1,41E-05	5,44E-03	3,48E-07	8,87E-08	2,51E-04	1,50E-02
	Épuisement ressources (éléments)	kg Sb eq	1,46E-05	2,37E-05	2,49E-09	4,05E-07	3,29E-06	5,34E-09	1,18E-09	1,26E-05	5,46E-05
	Épuisement ressources (fossiles)	MJ	2,22E+03	1,12E+02	1,33E-02	9,60E-01	3,71E+02	9,52E-03	5,54E-03	6,15E+00	2,71E+03
	Pollution de l'eau	m ³	9,52E+00	2,71E+00	3,02E-04	9,92E-02	5,61E+00	3,87E-02	3,98E-04	3,03E-01	1,83E+01
	Pollution de l'air	m ³	2,82E+03	1,14E+03	1,46E-01	8,39E+00	1,26E+03	2,17E-01	6,53E-02	1,56E+02	5,39E+03
Utilisation des ressources	Energie procédé renouvelable	MJ	2,49E+00	3,57E+00	1,19E-03	1,05E-01	4,27E+00	1,31E-03	1,31E-04	5,38E-01	1,10E+01
	Energie matière renouvelable	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie primaire totale renouvelable	MJ	2,49E+00	3,57E+00	1,19E-03	1,05E-01	4,27E+00	1,31E-03	1,31E-04	5,38E-01	1,10E+01
	Energie procédé non renouvelable	MJ	3,21E+02	1,48E+02	1,75E-02	1,06E+00	4,19E+02	1,38E-02	5,71E-03	6,97E+00	8,96E+02
	Energie matière non renouvelable	MJ	1,93E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,93E+03
	Energie primaire totale non-renouvelable	MJ	2,25E+03	1,48E+02	1,75E-02	1,06E+00	4,19E+02	1,38E-02	5,71E-03	6,97E+00	2,83E+03
	Utilisation de matière secondaire	kg	9,50E+01	0,00E+00	0,00E+00	1,33E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,00E-02	9,51E+01
	Energie secondaire renouvelable	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie secondaire non renouvelable	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation nette d'eau douce	m ³	1,21E-01	3,94E-02	2,34E-03	8,92E-04	4,59E-02	-2,07E-03	5,78E-06	5,72E-03	2,13E-01	
Production de déchets	Déchets dangereux éliminés	kg	3,68E-01	1,16E-01	9,02E-05	4,88E-03	1,00E-01	1,61E-04	1,28E-04	5,32E-02	6,43E-01
	Déchets non dangereux éliminés	kg	2,09E+00	5,75E+00	4,60E-04	1,19E-02	1,01E+00	1,45E-03	2,91E-04	4,24E-01	9,29E+00
	Déchets radioactifs éliminés	kg	7,70E-04	1,20E-03	7,85E-08	5,25E-06	1,92E-03	8,53E-08	2,88E-08	2,01E-05	3,92E-03
Flux sortants	Composants pour réutilisation	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Matériaux pour recyclage	kg	1,50E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,98E-02	1,62E-01	2,02E-01
	Matériaux pour récupération d'énergie	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie fournie ext - Electricité	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie fournie ext - Vapeur	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energie fournie ext - Gaz	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	

NOTE : le résultat d'impact de « A3 – Émissions dans l'eau » pour l'indicateur « Utilisation nette d'eau douce » est négatif. Cette sous-étape correspond aux rejets d'eau (sortants) de process et de lavage. La consommation d'eau (entrante) est en « A3 – Consommation d'eau ». Le bilan de masse entre l'entrée et la sortie d'eau est bien équilibré (2,32E-03 m³ d'eau par tonne d'enrobé).

Par ailleurs, si l'on additionne les valeurs de ces deux sous-étapes pour l'indicateur « Utilisation nette d'eau douce », le résultat est positif. Cela signifie donc bien que dans son ensemble, le système prélève de l'eau dans l'environnement et non l'inverse.

Répartition des impacts environnementaux de la production de Béton Bitumineux par contributeurs

UF : Produire 1 tonne de Béton Bitumineux

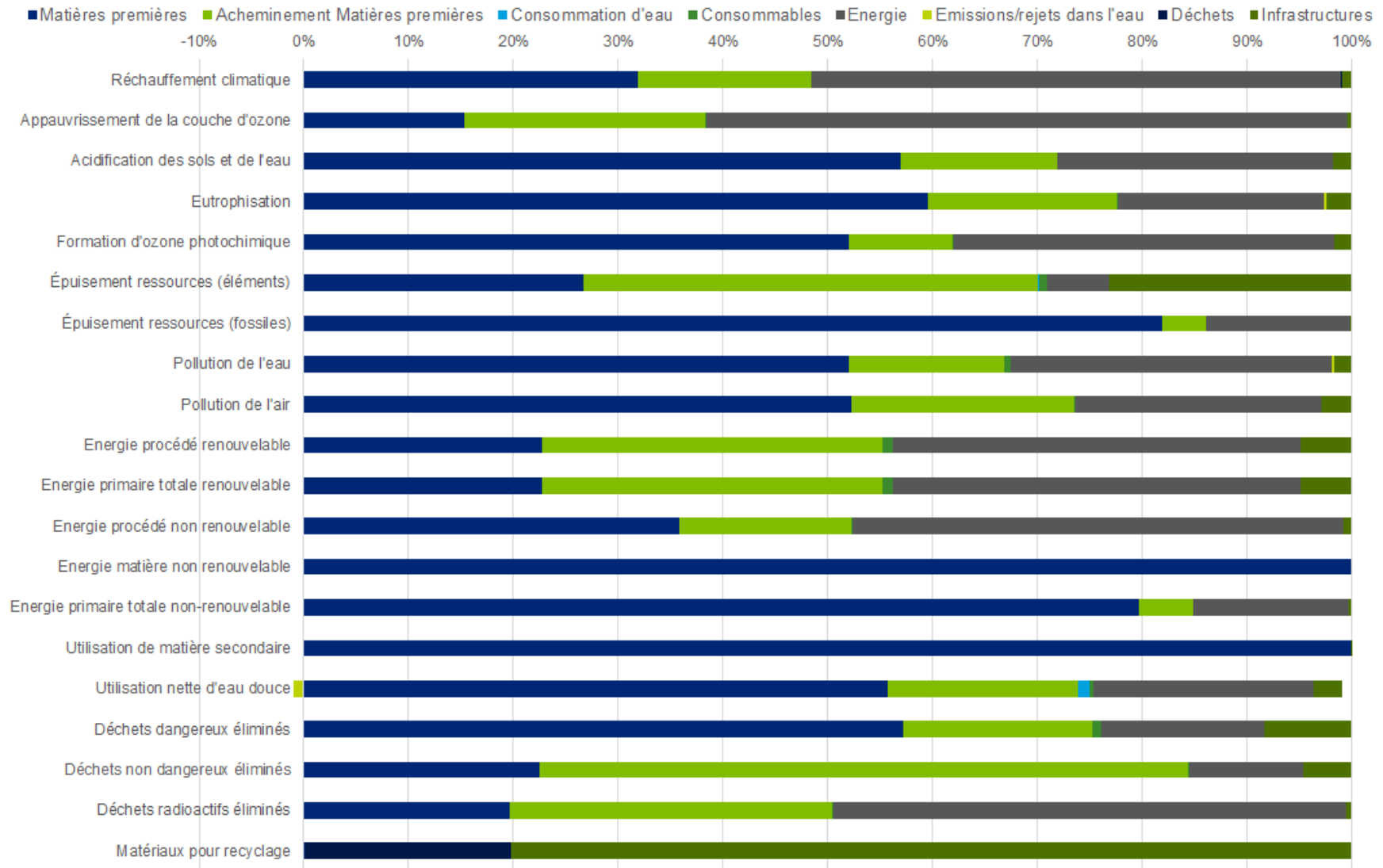


Figure 8 - Répartition des impacts environnementaux de la production de 1 tonne de béton bitumineux, par contributeurs

On constate que :

- l'extraction et l'acheminement des matières premières ainsi que l'énergie sont les principales sources d'impacts sur tous les indicateurs, à l'exception des matériaux pour recyclage ;
- l'impact des postes consommables, consommation d'eau, émissions/rejets dans l'eau, déchets et infrastructure sont négligeables sur tous les indicateurs (sauf pour l'épuisement des ressources éléments dans le dernier cas).

Un focus est fait sur les contributeurs majeurs via les graphiques ci-dessous.

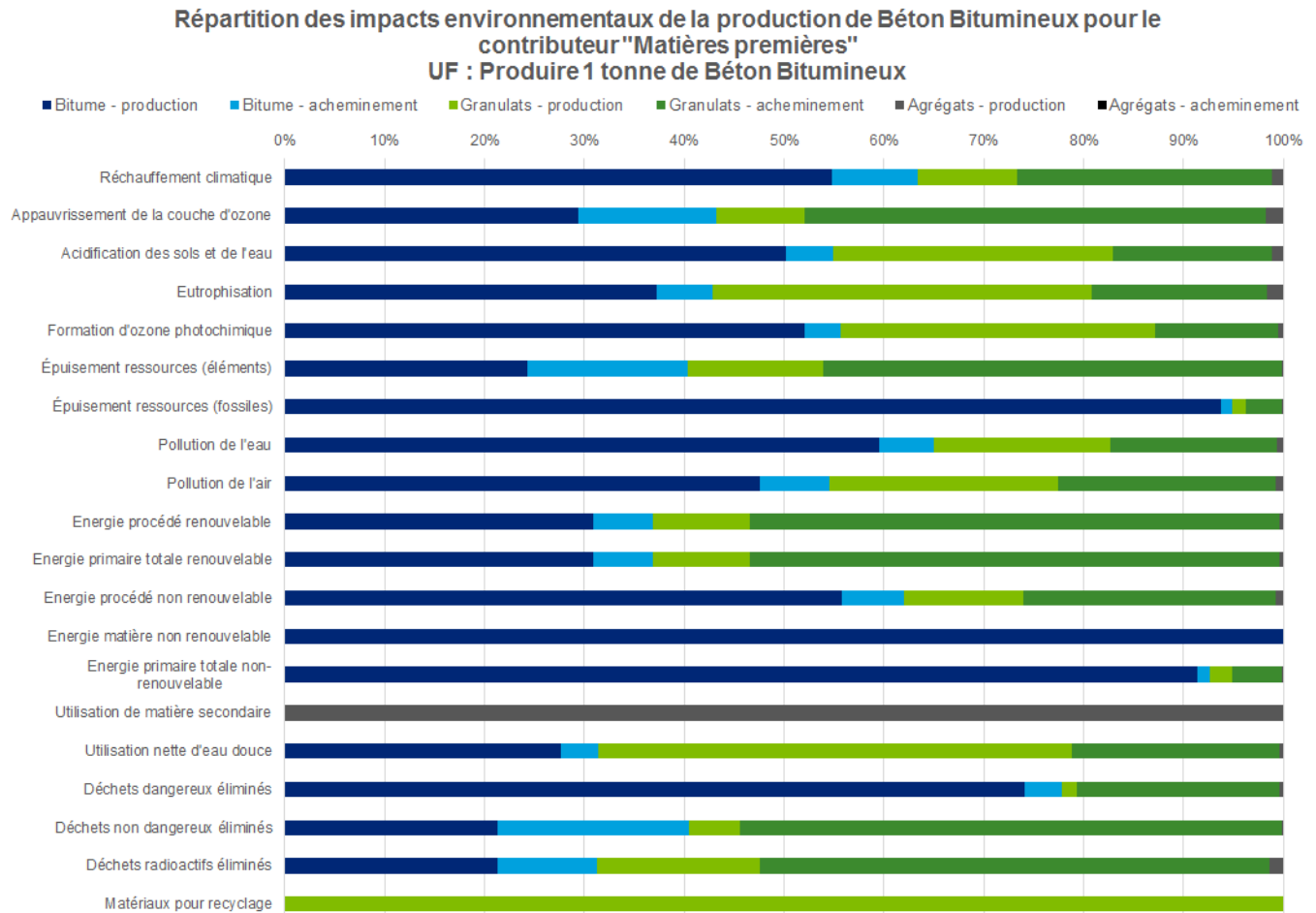


Figure 9 - Répartition des impacts environnementaux de la production de 1 tonne de béton bitumineux pour le contributeur « Matières premières »

D'après le graphique ci-dessus, on constate que :

- La production du bitume est un contributeur de premier ordre pour une majorité des impacts potentiels sur l'environnement et pour les indicateurs d'épuisement des ressources. Cette contribution est notamment liée aux impacts environnementaux intrinsèques de la production du bitume (253 kg CO₂ éq. par tonne produite par exemple)
- La production des granulats ainsi que leur acheminement représentent le second facteur d'impacts potentiels sur l'environnement. Cette contribution s'explique notamment par la proportion importante de granulats utilisée par tonne de béton bitumineux (891 kg/tonne d'enrobé), les impacts environnementaux unitaires par tonne de granulats étant relativement faibles en comparaison avec le bitume (par exemple seulement 2,57 kg CO₂ éq. par tonne pour les granulats issus de roches massives, selon les données de l'UNPG). La contribution significative de l'acheminement des granulats s'explique notamment par le caractère pondéreux de ces matériaux.
- Pour tous les indicateurs environnementaux considérés, la part de la production des agrégats d'enrobés est très peu significative. Cela est principalement dû à la prise en compte de l'utilisation de cette matière

secondaire selon la méthode des stocks. Les impacts du poste « acheminement » des agrégats sont nuls puisque pour rappel, on ne considère aucun transport pour le recyclage de ces matériaux.

Sur les indicateurs de consommation d'énergie en particulier, la distinction peut être faite entre énergie primaire matière (énergie contenue dans les matériaux utilisés) et énergie primaire procédé (ressources énergétiques utilisées dans les procédés) :

- D'après le Tableau 69, l'énergie primaire matière est à 100% d'origine non-renouvelable. Comme le montre la figure précédente, cela provient de la production du bitume, fraction lourde du pétrole (une ressource énergétique à la base) utilisée comme matière première.
- L'énergie procédé est utilisée pour la production et l'acheminement de toutes les matières premières (criblage et concassage des granulats et des agrégats d'enrobés, extraction et raffinage du pétrole pour produire du bitume, etc.). Là aussi cette énergie procédé est majoritairement d'origine non-renouvelable.

L'énergie primaire totale est à 70% une énergie matière. Cependant, l'énergie matière contenue dans le bitume n'est pas perdue une fois utilisée dans l'enrobée. En effet, alors que l'énergie procédé est dissipée après utilisation, l'énergie matière du bitume peut en effet être réutilisée via la réutilisation agrégats d'enrobés

La répartition des impacts pour le poste « Énergie » est fournie par la figure ci-dessous.

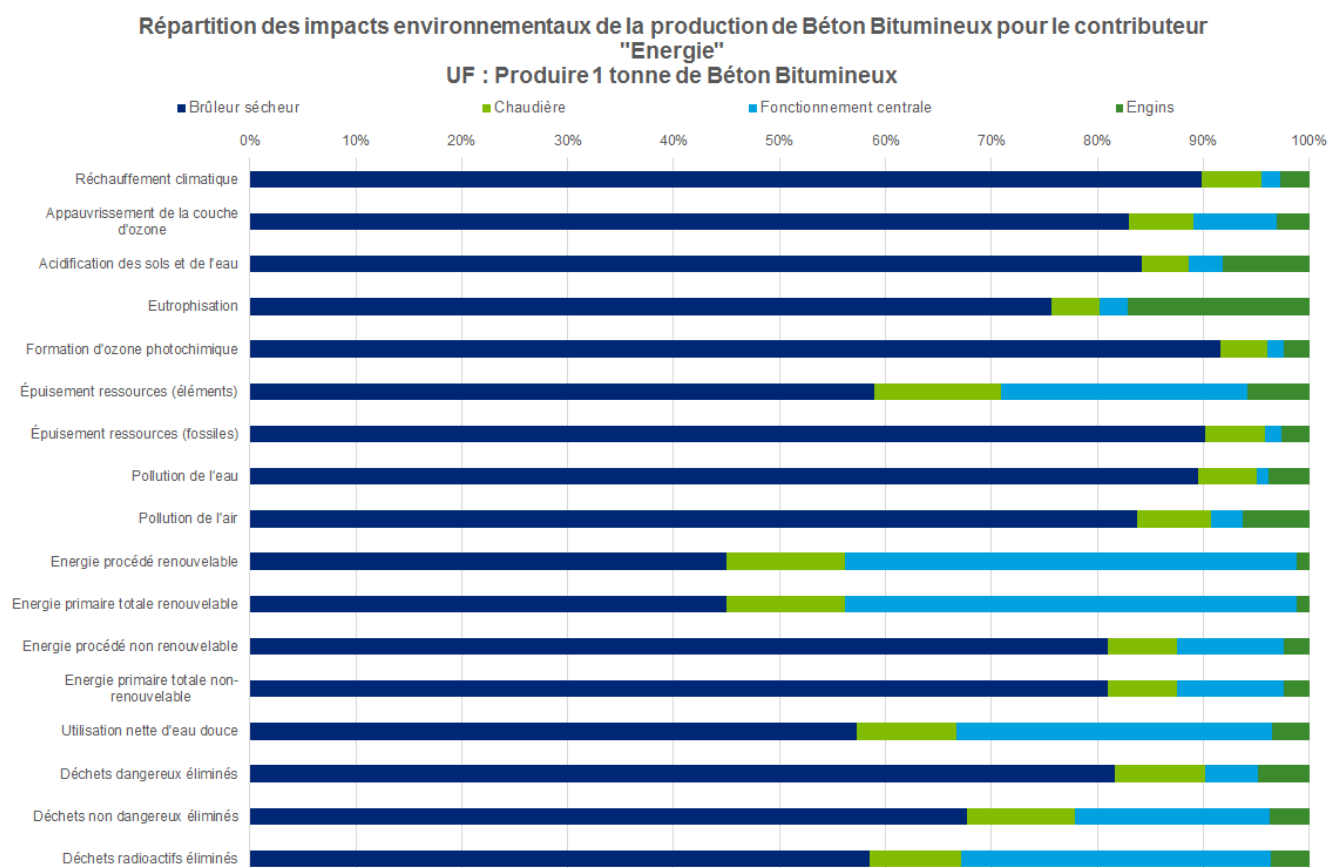


Figure 10 - Répartition des impacts environnementaux de la production de 1 tonne de béton bitumineux pour le contributeur « Énergie »

Comme le montre la figure ci-dessus, le brûleur sécheur prédomine sur la majorité des indicateurs. Ceci s'explique par la consommation d'énergie du brûleur sécheur comparativement aux autres postes (respectivement $2,32E+01$ kWh de fioul lourd et $4,74E+01$ kWh de gaz naturel par tonne d'enrobé, contre par exemple $3,51E+00$ kWh d'électricité par tonne d'enrobé pour le fonctionnement de la centrale).

Les impacts de la chaudière et des engins sont pour chacun inférieurs à 10% des impacts du poste « Énergie » sur l'ensemble des indicateurs environnementaux.

En revanche, la contribution de la consommation d'électricité est significative sur plusieurs indicateurs tels que l'énergie procédé renouvelable, l'utilisation nette d'eau douce et la production de déchets radioactifs. Ceci est dû au profil du mix électrique français moyen (productions significatives d'électricité d'origine nucléaire et hydraulique).

6.4.2 Production d'une tonne de grave bitume (GB3)

Comme pour le béton bitumineux, les résultats pour le grave bitume sont présentés sous forme de tableau et de graphique ci-après.

Tableau 70 - Impacts environnementaux de la production de 1 tonne de grave bitume

	Indicateur	Unité	Amont		Centrale						Total
			A1 - GB3 - Consommation de matières premières	A2 - GB3 - Acheminement des matières premières	A3 - Consommation d'eau	A3 - Consommation de consommables	A3 - Consommation d'énergie et émissions dans l'air	A3 - Emissions dans l'eau	A3 - Production de déchets	A3 - Infrastructures	
Impacts environnementaux	Réchauffement climatique	kg CO ₂ eq	1,25E+01	7,26E+00	8,81E-04	4,07E-02	2,31E+01	9,19E-04	1,39E-02	4,38E-01	4,33E+01
	Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	8,86E-07	1,47E-06	8,96E-11	8,82E-09	4,05E-06	9,56E-11	6,87E-11	3,08E-08	6,44E-06
	Acidification des sols et de l'eau	kg SO ₂ eq	1,14E-01	3,22E-02	4,44E-06	2,36E-04	5,88E-02	8,37E-06	2,32E-06	3,95E-03	2,09E-01
	Eutrophisation	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	1,64E-02	5,17E-03	4,64E-07	6,72E-05	5,86E-03	4,78E-05	5,68E-07	7,36E-04	2,82E-02
	Formation d'ozone photochimique	kg C ₂ H ₄ eq	6,96E-03	1,43E-03	2,90E-07	1,41E-05	5,44E-03	3,48E-07	8,87E-08	2,51E-04	1,41E-02
	Épuisement ressources (éléments)	kg Sb eq	1,30E-05	2,28E-05	2,49E-09	4,05E-07	3,29E-06	5,34E-09	1,18E-09	1,26E-05	5,21E-05
	Épuisement ressources (fossiles)	MJ	1,84E+03	1,08E+02	1,33E-02	9,60E-01	3,71E+02	9,52E-03	5,54E-03	6,15E+00	2,32E+03
	Pollution de l'eau	m ³	8,25E+00	2,61E+00	3,02E-04	9,92E-02	5,61E+00	3,87E-02	3,98E-04	3,03E-01	1,69E+01
	Pollution de l'air	m ³	2,49E+03	1,10E+03	1,46E-01	8,39E+00	1,26E+03	2,17E-01	6,53E-02	1,56E+02	5,02E+03
Utilisation des ressources	Energie procédé renouvelable	MJ	2,17E+00	3,54E+00	1,19E-03	1,05E-01	4,27E+00	1,31E-03	1,31E-04	5,38E-01	1,06E+01
	Energie matière renouvelable	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie primaire totale renouvelable	MJ	2,17E+00	3,54E+00	1,19E-03	1,05E-01	4,27E+00	1,31E-03	1,31E-04	5,38E-01	1,06E+01
	Energie procédé non renouvelable	MJ	2,75E+02	1,44E+02	1,75E-02	1,06E+00	4,19E+02	1,38E-02	5,71E-03	6,97E+00	8,46E+02
	Energie matière non renouvelable	MJ	1,59E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,59E+03
	Energie primaire totale non-renouvelable	MJ	1,86E+03	1,44E+02	1,75E-02	1,06E+00	4,19E+02	1,38E-02	5,71E-03	6,97E+00	2,43E+03
	Utilisation de matière secondaire	kg	9,50E+01	0,00E+00	0,00E+00	1,33E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,00E-02	9,51E+01
	Energie secondaire renouvelable	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie secondaire non renouvelable	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation nette d'eau douce	m ³	1,14E-01	3,86E-02	2,34E-03	8,92E-04	4,59E-02	-2,07E-03	5,78E-06	5,72E-03	2,06E-01	
Production de déchets	Déchets dangereux éliminés	kg	3,04E-01	1,14E-01	9,02E-05	4,88E-03	1,00E-01	1,61E-04	1,28E-04	5,32E-02	5,77E-01
	Déchets non dangereux éliminés	kg	1,80E+00	5,53E+00	4,60E-04	1,19E-02	1,01E+00	1,45E-03	2,91E-04	4,24E-01	8,77E+00
	Déchets radioactifs éliminés	kg	6,99E-04	1,18E-03	7,85E-08	5,25E-06	1,92E-03	8,53E-08	2,88E-08	2,01E-05	3,83E-03
Flux sortants	Composants pour réutilisation	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Matériaux pour recyclage	kg	1,51E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,98E-02	1,62E-01	2,02E-01
	Matériaux pour récupération d'énergie	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie fournie ext - Electricité	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Energie fournie ext - Vapeur	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energie fournie ext - Gaz	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	

Répartition des impacts environnementaux de la production de Grave Bitume par contributeurs

UF : Produire 1 tonne de Grave Bitume

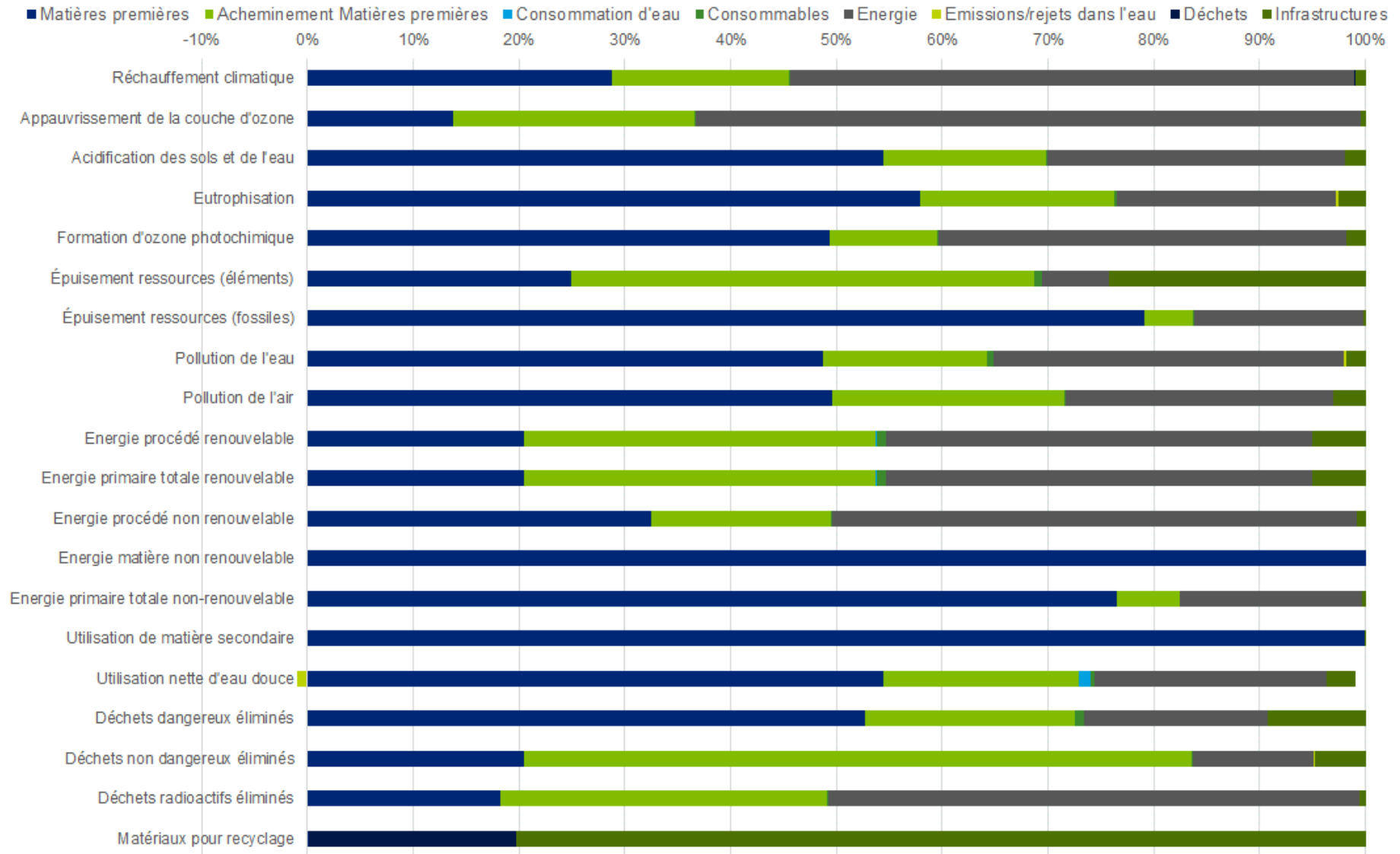


Figure 11 - Répartition des impacts environnementaux de la production de 1 tonne de grave bitume, par contributeurs

Le profil environnemental du grave bitume est globalement similaire à celui du béton bitumineux, en termes de répartition des impacts. Ceci est logique, étant donné que les seules données d'activité différentes entre ces deux types d'enrobés sont leurs compositions en bitume et en granulats.

Cependant, en chiffres absolus, les impacts de la production du grave bitume sont plus faibles que ceux de la production du béton bitumineux. Cela s'explique par la plus faible part de bitume dans la composition du grave bitume, et par le fait que les impacts unitaires du bitume sont plus importants que les impacts unitaires des granulats.

6.4.3 Résultats pour la production d'une tonne de béton bitumineux (BB) selon les tableaux de la norme NF EN 15804+A1 et son complément

Les résultats pour la production d'une tonne de béton bitumineux sont présentés selon les tableaux requis par la norme NF EN 15804+A1 et son complément XP P01 064/CN ci-après. Conformément aux préconisations du programme AFNOR, les étapes de la production de l'enrobé sont distinguées selon les modules A1, A2 et A3. Ces tableaux sont repris dans la DEP sortie d'usine associée à ce rapport.

6.4.3.1 Impacts environnementaux

Tableau 71 - Impacts environnementaux de la production de 1 tonne de béton bitumineux
UF : Produire 1 tonne d'enrobé à chaud représentatif français

Impacts environnementaux	Étape de production				Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre								Étape de fin de vie				D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	
	A1 Extraction	A2 Acheminement	A3 Fabrication	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge		Total fin de vie
Réchauffement climatique kg CO2 eq/UF	1,46E+01	7,54E+00	2,36E+01	4,57E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone kg CFC 11 eq/UF	1,02E-06	1,52E-06	4,09E-06	6,62E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Acidification des sols et de l'eau kg SO2 eq/UF	1,28E-01	3,33E-02	6,30E-02	2,24E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Eutrophisation kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF	1,78E-02	5,36E-03	6,66E-03	2,98E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Formation d'ozone photochimique kg Ethene eq/UF	7,78E-03	1,47E-03	5,71E-03	1,50E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Épuisement des ressources abiotiques (éléments) kg Sb eq/UF	1,46E-05	2,37E-05	1,63E-05	5,46E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Épuisement des ressources abiotiques (fossiles) MJ/UF	2,22E+03	1,12E+02	3,78E+02	2,71E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pollution de l'eau m3/UF	9,52E+00	2,71E+00	6,02E+00	1,82E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pollution de l'air m3/UF	2,82E+03	1,14E+03	1,43E+03	5,39E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

6.4.3.2 Utilisation des ressources

Tableau 72 - Utilisation des ressources de la production de 1 tonne de béton bitumineux
UF : Produire 1 tonne d'enrobé à chaud représentatif français

Utilisation des ressources	Etape de production				Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre							Etape de fin de vie				D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système			
	A1 Extraction	A2 Acheminement	A3 Fabrication	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets		C4 Décharge	Total fin de vie	
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières MJ/UF	2,49E+00	3,57E+00	4,91E+00	1,10E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables en tant que matières premières MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/UF	2,49E+00	3,57E+00	4,91E+00	1,10E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières MJ/UF	3,21E+02	1,48E+02	4,27E+02	8,96E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables en tant que matières premières MJ/UF	1,93E+03	0,00E+00	0,00E+00	1,93E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/UF	2,25E+03	1,48E+02	4,27E+02	2,83E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de matière secondaire kg/UF	9,50E+01	0,00E+00	7,33E-02	9,51E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation nette d'eau douce m3/UF	1,21E-01	3,94E-02	5,48E-02	2,16E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

6.4.3.3 Catégories de déchets

Tableau 73 - Production de déchets de la production de 1 tonne de béton bitumineux
UF : Produire 1 tonne d'enrobé à chaud représentatif français

Catégorie de déchets	Étape de production				Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre							Étape de fin de vie				D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système			
	A1 Extraction	A2 Acheminement	A3 Fabrication	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets		C4 Décharge	Total fin de vie	
Déchets dangereux éliminés kg/UF	3,68E-01	1,16E-01	1,59E-01	6,42E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Déchets non dangereux éliminés kg/UF	2,09E+00	5,75E+00	1,45E+00	9,28E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Déchets radioactifs éliminés kg/UF	7,70E-04	1,20E-03	1,95E-03	3,92E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

6.4.3.4 Flux sortants

Tableau 74 - Flux sortants de la production de 1 tonne de béton bitumineux
UF : Produire 1 tonne d'enrobé à chaud représentatif français

Flux sortants		Étape de production				Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre							Étape de fin de vie				D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système				
		A1 Extraction	A2 Acheminement	A3 Fabrication	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets		C4 Décharge	Total fin de vie		
Composants destinés à la réutilisation kg /UF		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Matériaux destinés au recyclage kg/UF		1,50E-04	0,00E+00	2,02E-01	2,02E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Matériaux destinés à la récupération d'énergie kg/UF		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energie fournie à l'extérieur (par vecteur énergétique) M/J/UF	Electricité	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	vapeur	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Gaz de process	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

6.5 Résultats pour la mise à disposition de 1 m² de chaussée

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de l'évaluation de l'impact du cycle de vie. Les résultats sont d'abord présentés selon les tableaux requis par la norme NF EN 15804+A1 et son complément XP P01 064/CN, avant d'être mis sous forme graphique afin de faciliter l'interprétation. Ces tableaux sont repris dans la FDES associée à ce rapport.

6.5.1 Impacts environnementaux

Tableau 75 - Impacts environnementaux pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Impacts environnementaux	Étape de fabrication	Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre								Étape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie
Réchauffement climatique kg CO2 eq/UF	2,51E+01	2,86E+00	1,25E+00	4,11E+00	0,00E+00	4,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,21E+01	-2,54E+01
Appauvrissement de la couche d'ozone kg CFC 11 eq/UF	3,68E-06	5,24E-07	2,48E-07	7,72E-07	0,00E+00	6,65E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,65E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,11E-05	-3,48E-06
Acidification des sols et de l'eau kg SO2 eq/UF	1,22E-01	1,16E-02	9,16E-03	2,08E-02	0,00E+00	2,19E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,19E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,62E-01	-1,40E-01
Eutrophisation kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF	1,64E-02	1,97E-03	1,90E-03	3,87E-03	0,00E+00	3,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,29E-02	-1,94E-02
Formation d'ozone photochimique kg Ethene eq/UF	8,18E-03	4,98E-04	1,55E-02	1,60E-02	0,00E+00	3,11E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,11E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,53E-02	-2,04E-02
Épuisement des ressources abiotiques (éléments) kg Sb eq/UF	3,01E-05	9,30E-06	5,09E-07	9,81E-06	0,00E+00	5,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,94E-05	-3,41E-05
Épuisement des ressources abiotiques (fossiles) MJ/UF	1,41E+03	4,35E+01	1,98E+01	6,34E+01	0,00E+00	2,13E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,13E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,60E+03	-1,74E+03
Pollution de l'eau m3/UF	9,90E+00	1,01E+00	4,85E-01	1,49E+00	0,00E+00	1,69E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,69E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,83E+01	-1,12E+01
Pollution de l'air m3/UF	2,93E+03	4,17E+02	8,77E+03	9,18E+03	0,00E+00	1,47E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,47E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,68E+04	-9,84E+03

6.5.2 Utilisation des ressources

Tableau 76 - Utilisation des ressources pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Utilisation des ressources	Etape de fabrication	Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre								Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système		
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie	
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières MJ/UF	6,09E+00	5,44E-01	1,45E-01	6,89E-01	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,63E+01	-5,75E+00
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables en tant que matières premières MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/UF	6,09E+00	5,44E-01	1,45E-01	6,89E-01	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,63E+01	-5,75E+00
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières MJ/UF	4,91E+02	4,43E+01	2,02E+01	6,44E+01	0,00E+00	8,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,36E+03	-4,99E+02
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables en tant que matières premières MJ/UF	9,82E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,41E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,41E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,39E+03	-1,30E+03
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/UF	1,47E+03	4,43E+01	2,02E+01	6,44E+01	0,00E+00	2,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,75E+03	-1,80E+03
Utilisation de matière secondaire kg/UF	5,37E+01	0,00E+00	2,49E-02	2,49E-02	0,00E+00	6,49E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,49E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,19E+02	2,80E+02
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation nette d'eau douce m ³ /UF	1,19E-01	9,10E-03	4,73E-03	1,38E-02	0,00E+00	1,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,28E-01	-1,37E-01

6.5.3 Catégories de déchets

Tableau 77 - Production de déchets pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Catégorie de déchets	Etape de fabrication	Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre								Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie
Déchets dangereux éliminés kg/UF	3,42E-01	2,73E-02	1,77E-02	4,50E-02	0,00E+00	5,84E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,84E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,71E-01	-3,92E-01
Déchets non dangereux éliminés kg/UF	5,09E+00	2,27E+00	2,10E+00	4,37E+00	0,00E+00	5,57E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,57E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,51E+01	-7,64E+00
Déchets radioactifs éliminés kg/UF	2,19E-03	2,97E-04	1,40E-04	4,38E-04	0,00E+00	3,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,51E-03	-2,11E-03

6.5.4 Flux sortants

Tableau 78 - Flux sortants pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Flux sortants	Etape de fabrication	Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre								Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie
Composants destinés à la réutilisation kg /UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,11E+02	0,00E+00	8,11E+02	8,11E+02	0,00E+00
Matériaux destinés au recyclage kg/UF	1,14E-01	0,00E+00	6,73E-02	6,73E-02	0,00E+00	4,35E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,35E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,36E+02	-1,36E-01
Matériaux destinés à la récupération d'énergie kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energie fournie à l'extérieur (par vecteur énergétique) MJJF	Electricité	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	vapeur	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Gaz de process	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

6.5.5 Interprétation

L'interprétation est faite ci-dessous pour le cycle de vie de la chaussée. En revanche, les bénéfices et charges au-delà des frontières du système sont abordés séparément.

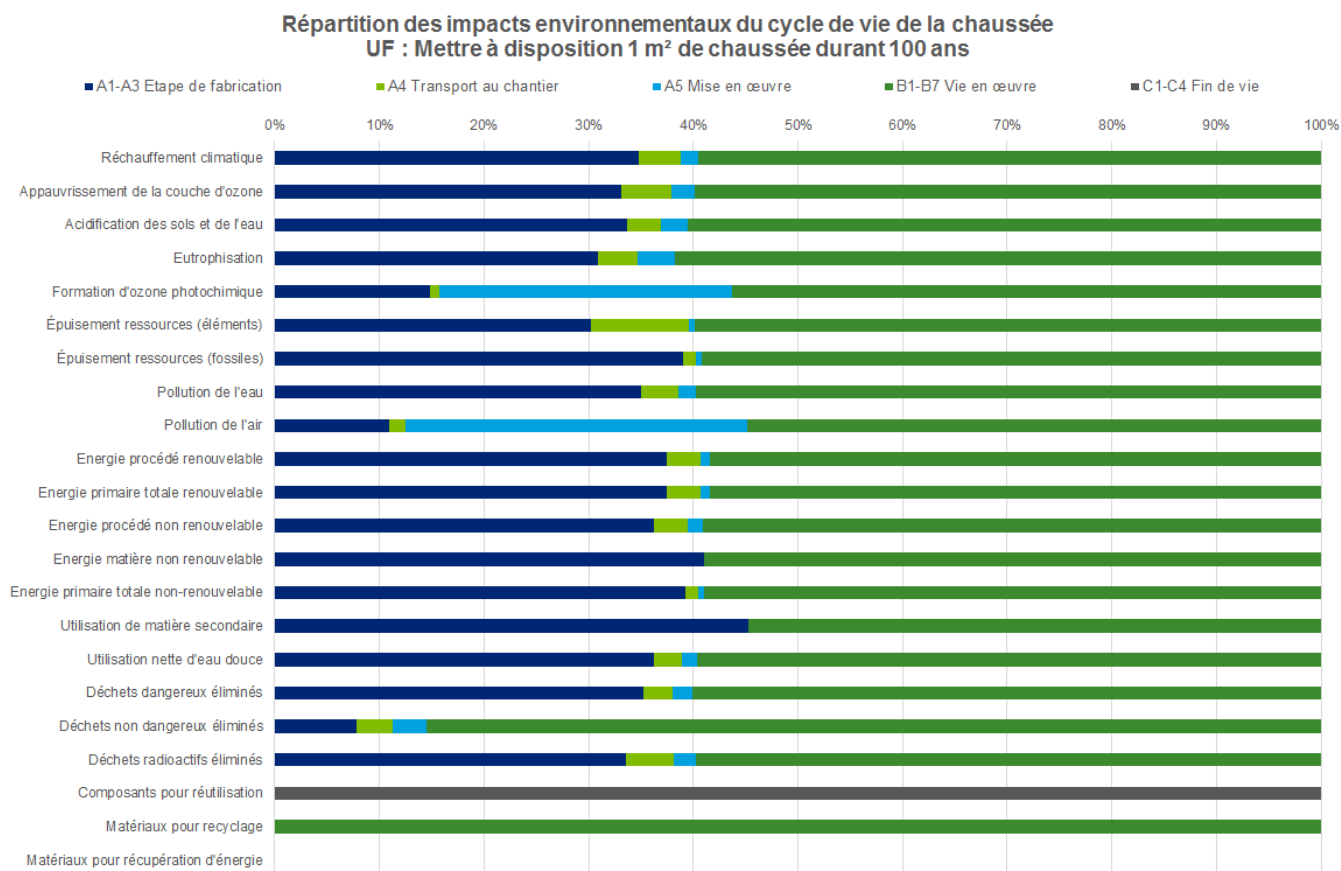


Figure 12 - Répartition des impacts environnementaux de la mise à disposition d'une chaussée en enrobé bitumineux à chaud pendant 100 ans – sans bénéfices et charges au-delà des frontières du système

Les observations suivantes peuvent être faites :

- Sur la majorité quasi-absolute des indicateurs, l'étape de vie en œuvre (B2) présente la plus forte contribution aux impacts environnementaux. L'étape de fabrication (A1-A3) des différentes couches de la chaussée est également un contributeur significatif aux impacts environnementaux sur la plupart des indicateurs considérés. Ceci s'explique par les quantités d'enrobé mises en jeu à chaque étape. En effet, lors de la fabrication, environ 565 kg/m² d'enrobé sont produits, tandis que 682 kg/m² sont produits, transportés et mis en œuvre lors de la vie en œuvre de la chaussée.
- On observe que l'étape d'installation (A5) contribue de façon significative aux impacts pour les indicateurs pollution de l'air et formation d'ozone photochimique. Ceci est dû aux émissions de fumées de bitume qui ont lieu durant cette phase. Sur les autres indicateurs, la contribution de cette phase aux impacts est peu significative.
- Par ailleurs, les déchets allant en valorisation matière sont générés lors de l'étape de vie en œuvre (B2) et la fin de vie (C1-C4). Il s'agit des fraisats d'enrobé générés lors du rabotage de la chaussée et des matériaux laissés en place à l'issue des 100 ans de durée de vie de la chaussée, qui sont valorisés au-delà des frontières du système. Les déchets non dangereux éliminés sont principalement générés lors de la vie en œuvre, il s'agit en majorité des balayures lors des rabotages.
- On observe que des déchets dangereux et des déchets radioactifs sont éliminés sur le cycle de vie du produit. Il s'agit d'impacts indirects sur le cycle de vie de la chaussée. Les déchets radioactifs sont principalement générés par la consommation d'électricité (mix électrique français fortement nucléarisé). Quant aux déchets dangereux, ils proviennent de la fabrication du bitume, lors de l'étape de raffinage.
- Des quantités significatives de matière secondaire entrante sont consommées sur les phases de mise en œuvre (A5) et vie en œuvre (B2). Elles correspondent en majorité aux agrégats d'enrobé incorporés dans les recettes d'enrobés bitumineux. Cependant, les valeurs d'impact sont légèrement différentes des

valeurs présentées au Tableau 59, car de l'acier (d'origine partiellement recyclée) est également consommé lors de la production et la vie en œuvre des enrobés (engins de chantier, infrastructures, pneus et ferraille).

- Enfin, l'étape de transport jusqu'au chantier (A4) contribue de façon peu significative aux impacts environnementaux (moins de 10% des impacts sur tout le cycle de vie).

6.5.6 Résultats incluant les bénéfices et charges au-delà des frontières du système

La figure ci-dessus présente les impacts du cycle de vie de la chaussée (CdV Chaussée avec CdV signifiant « cycle de vie ») en incluant la part d'impacts évités via le module D. Afin de rester lisible, le graphique ci-dessous n'inclue que les indicateurs d'impacts environnementaux. Les autres résultats sont présentés en annexe 8.9.

Comparaison des impacts environnementaux du cycle de vie de la chaussée et des impacts évités inclus dans le module D
UF : mettre à disposition 1 m² de chaussée durant 100 ans

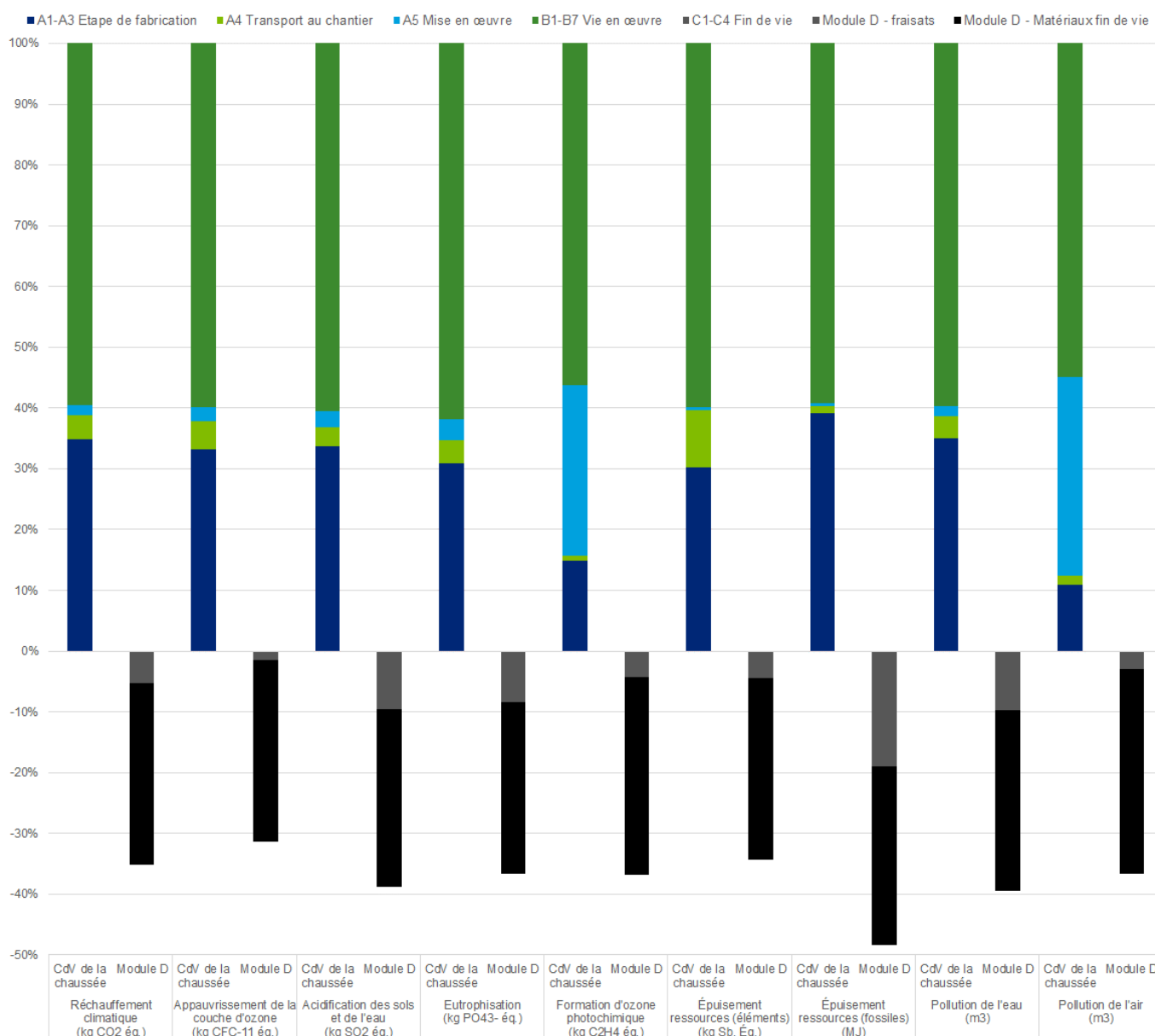


Figure 13 – Répartition des impacts environnementaux de la mise à disposition d'une chaussée en enrobé bitumineux à chaud pendant 100 ans – avec bénéfices et charges au-delà des frontières du système

Sur la base de ces résultats, on peut faire les observations suivantes :

- La valorisation des fraisats d'enrobé permet d'éviter environ 10% d'impacts environnementaux sur la plupart des indicateurs. Cependant, pour certains indicateurs, cette part est plus importante. Elle atteint

notamment 19% pour l'épuisement des ressources éléments et 25% pour l'énergie matière non-renouvelable. Cela s'explique par l'évitement de la production de bitume, qui va de pair avec une moindre consommation des ressources naturelles et d'énergie matière non-renouvelable. Cas particulier, pour l'utilisation de matière secondaire, cette valeur monte à 270% en raison du flux sortant net valorisé qui est de 320 kg d'agrégats utilisés par m² de chaussée.

- La valorisation des matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée représente sur la plupart des indicateurs environ 30% des impacts sur tout le cycle de vie de la chaussée. D'après la Figure 12 (cf. section précédente), la fabrication, le transport et la mise en œuvre contribuent pour environ 40% des impacts sur tout le cycle de vie de la chaussée. Étant donné que les couches d'assise représentent 75,0% de la masse de chaussée, cette valeur de 30% d'impacts évités est logique. On note que pour l'utilisation de matière secondaire, le module D apporte une majoration de 320 kg/m² de matière secondaire utilisée. Ceci correspond au flux net sortant de fraisats recyclés.
- Dans l'ensemble, les bénéfices au-delà des frontières du système correspondent en valeur absolue à environ 40% des impacts totaux du cycle de vie de la chaussée. L'inclusion des bénéfices associés au module D est donc équivalente aux impacts de la production, du transport et de la mise en œuvre initiale de la chaussée, sur la plupart des indicateurs environnementaux.

Ces résultats confirment la pertinence des pratiques actuelles des professionnels de l'industrie routière, notamment le fait de laisser les matériaux en place lors de la fin de vie. Via ces résultats, on peut en effet considérer que la destruction de l'ensemble de la chaussée lors de la fin de vie reviendrait théoriquement à générer environ 30% d'impacts supplémentaires.

6.6 Incertitudes

Le présent rapport porte sur des revêtements produits sur plusieurs sites de production appartenant à différentes entreprises. Cependant, la représentativité des données de base collectées est bonne et il y a une incertitude limitée sur les données de base utilisées pour évaluer les impacts environnementaux de ces produits.

Néanmoins, les résultats de cette étude présentent des incertitudes, notamment liées aux aspects suivants :

- incertitudes sur certaines hypothèses générales (scénario de vie en œuvre ou de fin de vie dans 50 ou 100 ans...),
- incertitudes sur les données environnementales utilisées (modules d'informations, inventaires Ecoinvent...).

La quantification globale de l'incertitude nécessiterait de connaître les incertitudes spécifiques associés aux différents aspects mentionnés ci-dessus et de propager ces incertitudes dans les différentes étapes de calcul aboutissant à l'évaluation environnementale des produits étudiés.

Cependant, pour les principales matières premières (granulats et bitume), les données d'incertitudes ne sont pas disponibles. De plus, les autres incertitudes spécifiques sont difficilement estimables. De ce fait, il n'est pas possible de calculer l'incertitude globale sur les paramètres environnementaux étudiés.

6.7 Variance par rapport aux moyennes des résultats

Évaluer la variance des résultats par rapport aux moyennes des données de base utilisées nécessite de prendre les données minimum et maximum récoltées pour chacun des paramètres et d'observer l'écart entre les résultats publiés dans la FDES et les résultats avec les « extrêmes » des données de base

L'interprétation faite précédemment a notamment mis en lumière les principaux paramètres influençant les impacts environnementaux de la chaussée, qui sont la production de bitume et l'utilisation de brûleur sécheur. Cependant, la quantité de bitume contenue dans les recettes d'enrobé est une donnée fixe, fournie par le Comité de Pilotage. En revanche, les données sur les consommations d'énergie du brûleur sécheur proviennent de données moyennes fournies par trois entreprises différentes sur l'ensemble de leurs sites respectifs.

Une évaluation simple de la variance des résultats est effectuée ci-dessous sur le seul flux « Carbon dioxide, fossile » émis dans l'air lors de la combustion. Pour rappel, il est considéré que 65% des brûleurs sécheurs

fonctionnent au gaz naturel contre 35% au fioul lourd (source : USIRF). Les valeurs décrites dans le tableau suivant sont reprise du Tableau 22, section 5.4.3.1 page 31.

Tableau 79 - Consommations moyennes, minimales et maximales des brûleurs sécheurs

Paramètre	unité	Valeur Brûleurs sécheurs FOL	Valeur Brûleurs sécheurs GN	Valeur pondérée
Consommation énergétique <u>minimale</u>	kWh/t d'enrobé	6,10E+01	6,80E+01	6,56E+01
Consommation énergétique <u>moyenne</u>	kWh/t d'enrobé	6,63E+01	7,29E+01	7,06E+01
Consommation énergétique <u>maximale</u>	kWh/t d'enrobé	6,80E+01	8,30E+01	7,78E+01

La valeur du flux « Carbon dioxide, fossil » par MJ émis dans l'air lors de la combustion provient des ICV Ecoinvent v3.1 utilisés pour modéliser les activités associées aux brûleurs sécheurs. La conversion en Kg CO₂ / t d'enrobé est faite avec les valeurs du tableau précédent.

Tableau 80 – Calcul des émissions moyennes, minimales et maximales de CO2 des brûleurs sécheurs

Paramètre	unité	Valeur Brûleurs sécheurs FOL	Valeur Brûleurs sécheurs GN	Valeur pondérée
Facteur d'émission (FE) du CO ₂ fossile	Kg CO ₂ / MJ	8,30E-02	5,90E-02	Sans objet
FE <u>minimal</u> du CO ₂ fossile	Kg CO ₂ / t d'enrobé	1,82E+01	1,45E+01	1,58E+01
FE <u>moyen</u> du CO ₂ fossile	Kg CO ₂ / t d'enrobé	1,98E+01	1,55E+01	1,70E+01
FE <u>maximal</u> du CO ₂ fossile	Kg CO ₂ / t d'enrobé	2,03E+01	1,76E+01	1,86E+01

D'après ces valeurs, sur le flux de CO₂ émis dans l'air lors de la combustion, la variabilité est comprise entre -7% et 9% par rapport à la moyenne, et ce uniquement pour le poste « Consommation d'énergie lors de la production ». La variabilité globale des résultats pour l'ensemble du système par rapport à ce paramètre est donc d'autant plus faible.

Par ailleurs, l'exercice de la plage de variance des résultats est lié au cadre de validité. Celui-ci ne concerne que les produits commercialisés de professionnel à particulier (B-to-C). Il n'est donc pas obligatoire pour les chaussées en enrobé bitumineux. Par ailleurs, la méthodologie relative à ce cadre de validité ne devrait être clairement établie qu'à l'horizon 2017.

C'est au vu de ces différents points que la variance des résultats de la présente étude par rapport aux moyennes des résultats n'a pas été évaluée plus en détail.

6.8 Comparaison des résultats avec la précédente étude

Compte tenu des multiples raisons possibles :

- évolution des normes et des aspects méthodologiques associés ;
- évolution des bases de données ;
- évolution des indicateurs ;

Il a été décidé avec l'USIRF de ne pas faire de comparaison des résultats avec l'ancienne étude. Seule une analyse basée sur un cadre d'évaluation cohérent aurait été pertinent pour quantifier les évolutions liées à l'évolution des pratiques du secteur.

Néanmoins, si l'on regarde le Bilan Environnemental 2014 de l'USIRF⁸, on observe notamment que les émissions de GES des brûleurs par tonne d'enrobé produit ont baissé sur les six dernières années. De fait, on peut donc supposer que la présente étude ne sous-estime pas les impacts environnementaux des enrobés bitumineux ; elle est conservatrice vis-à-vis des progrès potentiels de la profession.

⁸ Voir : <http://www.usirf.com/wp-content/uploads/BILAN-ENVIRONNEMENTAL-2014.pdf>

7 Conclusion

Cette étude permet à l'USIRF de fournir aujourd'hui des résultats actualisés sur les chaussées en enrobé bitumineux. L'USIRF et ses partenaires disposent ainsi d'informations objectives et fiables pour communiquer sur la performance environnementale globale de projets de constructions faisant intervenir des enrobés à chaud. Ces nouveaux résultats doivent être considérés comme l'information environnementale la plus représentative à propos des enrobés bitumineux et des chaussées en enrobé bitumineux utilisés sur le marché français.

Plusieurs améliorations ont été apportées à cette étude, notamment :

- La mise à jour des données environnementales utilisées, faite en passant de la base de données Ecoinvent v2.2 à Ecoinvent v3.1 ;
- La mise en conformité avec les nouvelles normes NF EN 15804+A1 et XP P01-064/CN en vigueur pour l'élaboration de FDES pour le marché français ;
- La prise en compte des bénéfices environnementaux dus aux efforts de la profession quant à la valorisation des fraisats d'enrobés et des couches d'assise restant en place lors de la fin de vie ;
- Une nouvelle vérification par un panel de revue critique, qui a permis de consolider encore plus la robustesse et la fiabilité du modèle ainsi que des hypothèses faites dans le cadre de cette étude.

La FDES et la DEP sortie d'usine associées à la présente étude sont valides pour les cinq prochaines années à partir de leur publication. Les axes de progrès suivants pour une future actualisation sont à considérer :

- La collecte de nouvelles données d'activité relatives à la production et à la mise en œuvre des enrobés ;
- La mise à jour par EUROBITUME de l'ICV de la production du bitume, en conformité avec la norme européenne 15804 ;
- La mise à jour des modules d'information environnementale de la production de granulats massifs et meubles par l'UNPG, en conformité avec la norme NF EN 15804 (travail en cours au moment de la réalisation de la présente étude).

Enfin, une autre utilisation possible de cette étude par l'USIRF et ses partenaires est d'en exploiter les résultats pour continuer à améliorer la performance environnementale de leurs activités dans le cadre d'une démarche d'écoconception. Les pistes d'amélioration suivantes peuvent par exemple être envisagées :

- Améliorer les procédés de fabrication et de mise en œuvre de l'enrobé, notamment en termes de consommation d'énergie associées aux fortes températures appliquées ;
- Poursuivre les efforts de valorisation de déchets dans les techniques routières, d'autant plus que la présente étude a démontré la pertinence environnementale des pratiques actuelles ;
- Lancer des travaux de recherche sur la réduction des émissions de fumées de bitume lors du transport et la mise en œuvre, ces émissions ayant un impact significatif sur plusieurs indicateurs de pollution de l'air.

8 Annexes

8.1 Annexe 1 : Questionnaire de collecte des données pour les centrales d'enrobage



Analyse de cycle des enrobés à chaud et tièdes 2011

QUESTIONNAIRE RELATIF A L'INVENTAIRE DE LA FABRICATION

NOM DE LA CENTRALE :
NOM DE LA PERSONNE AYANT RENSEIGNE LE DOCUMENT :
DONNEES DE L'ANNEE : 2011
ANNEE DE COLLECTE : 2012

PRESENTATION

L'USIRF a réalisé en 2002 une première enquête auprès de 16 centrales en vue de disposer d'informations permettant d'établir l'inventaire de la fabrication des enrobés à chaud. Cet inventaire a ensuite été complété par celui de l'application afin de réaliser l'Analyse de cycle de vie (ACV) de l'enrobé à chaud (1).

Compte tenu de l'évolution depuis 2002 des techniques, des matériels et de la réglementation, la commission Développement Durable de l'USIRF a décidé d'actualiser cette première étude. Pour faire cette actualisation, des données doivent être recueillies. Pour l'inventaire de la fabrication, une nouvelle enquête est faite auprès de centrales représentatives du parc français. C'est l'objet du présent questionnaire.

QU'EST-CE QUE L'INVENTAIRE D'UNE PRODUCTION ?

L'inventaire d'une production est un bilan complet des échanges de matières et d'énergie aux frontières d'une unité de production, ici une centrale d'enrobage.
Ce bilan permet de recenser les impacts sur l'environnement générés par cette production.

Dans le présent cas, c'est la production d'enrobés qui a été étudiée.

QUELLES DONNEES RECENSER ?

Les données concernant les entrées et sorties dues à la fabrication d'un enrobé peuvent être :

- soit relevées
- soit mesurées,
- soit calculées
- soit estimées par imputation au produit d'une partie des données globales de l'usine.

(1) Article de la revue générale des Routes et Aérodrômes présentant les résultats de cette Analyse de cycle de vie joint

Pour faire cet inventaire, vous pouvez nous aider en nous fournissant des renseignements chiffrés et représentatifs d'une année de production, 2011 en l'occurrence, sur :

- les matières consommées sur le site (origines, quantités utilisées,...), lors des différentes phases de la fabrication de l'enrobé.
- la consommation d'énergie, détaillée par mode d'énergie utilisé (énergie électrique, gaz, fuel...).
- la consommation d'eau (différentes origines, quantité consommée).
- le transport en amont du poste des matériaux, des emballages et des suremballages en précisant le détail des palettisations, le mode de transport (moyen et tonnage), les distances parcourues.
- les émissions atmosphériques telles que les poussières, SO₂, NO_x, HC, CO, CO₂ et les effluents tels que les matières en suspension, la DBO, la DCO, les hydrocarbures, huiles, solvants ainsi que les déchets solides (nature, tonnages et destination), rapportés à une année de production.

Les données transmises resteront confidentielles. Elles ne seront utilisées que par l'USIRF et présentées sous forme anonyme et compilée rendant impossible l'identification de la source et toute comparaison spécifique à l'une des entités parties prenantes.

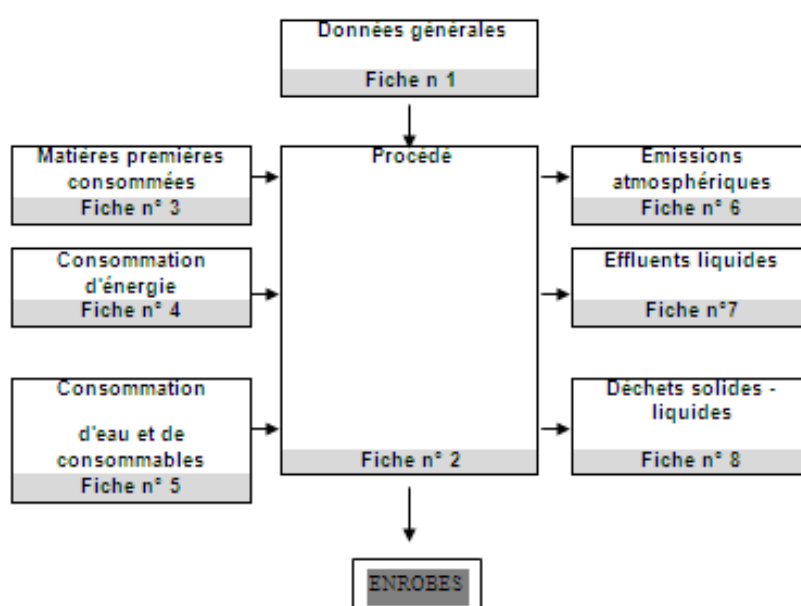
Contact USIRF : François VERHEE 01 44 13 32 94 / 06 09 17 99 72

LE RECUEIL DES DONNES

Pour bien renseigner les données, nous vous remercions de toujours indiquer les unités.

Le schéma ci-dessous présente l'articulation des différentes fiches du questionnaire à remplir.

ARTICULATION DES DIFFERENTES FICHES DU QUESTIONNAIRE



Nom de la société**Centrale****Marque et dénomination du poste****Caractéristiques**

- Type (Continu ou Discontinu)
- Débit nominal à 3% humidité

Installation

- surface du site
- surface imperméabilisée (sol + bâtiments)
- surface recouverte en enrobé

Production d'enrobés année 2011 (tonnes)

- production totale d'enrobés
 - dont production d'enrobés tièdes
- consommation totale d'agrégats d'enrobés introduits dans la production d'enrobés
- pour information
 - production 2010
 - production 2009

L'USIRF s'engage à ce que les données indiquées sur ces fiches soient exploitées de façon anonyme.

Principaux types d'équipements et de procédés de la centrale

- Couverture des stocks (oui/non et surface):
 - sable
 - agrégats d'enrobés
- Stockage bitume
 - nombre de cuves
 - capacité de chacune d'elles
 - type de chauffage
- Brûleur sécheur
 - type
 - puissance
 - combustible(s)
- Chaudière pour liant
 - type
 - puissance
 - combustible
- Stockage produits finis
 - nombre trémies
 - volume de chacune d'elles
 - chauffage casque éventuel
- Prétraitement des eaux pluviales
 - Décanteur/déshuileur : oui/non
- Engins
 - Chargeur 1
 - Marque et type
 - Chargeur 2
 - Marque et type
 - Autre engin
 - Marque et type
 - ...

Fiche n° 3

INVENTAIRE DES MATIERES PREMIERES CONSOMMEES

Rappel: Production d'enrobés de l'année 2011 :

nom courant	dénominatio n	quantité	unité	conditionneme nt	TRANSPORT ROUTE		TRANSPORT RAIL		TRANSPORT FLUVIAL	
					tonnage	départ / distance	tonnage	départ	tonnage	départ
Exemple : bitume	XYZ	800	tonnes	vrac	600	Le Havre				
Massif										
- carrière 1										
- carrière 2										
- carrière 3										
- ...										
Alluvionnaire										
- carrière 1										
- carrière 2										
- carrière 3										
- ...										
Filler										
Bitume										
- raffinerie 1										
- raffinerie 2										
- ...										
Colorants										
Additifs										
.....										

Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française
9, rue de Berré 75008 PARIS

Consommation pour l'année 2011

Pour les sites ne pouvant répartir les consommations entre les différentes utilisations

Source d'énergie	Consommation totale		
Fioul lourd*			
Gaz naturel			
Electricité			
Gasoil non routier			
FOD			
Propane			

* Pour le fioul lourd, préciser le % de soufre

Consommations de l'année 2011

Eau

TOTAL	Origine de l'eau consommée (1)	Quantité consommée	unité

(1) eau de pluie, puits de rivière, du réseau urbain

Consommables (facultatif)

Poste de consommation	Nom et nature du consommable (2)	Quantité consommée	unité
Ex : chaudière	Huile de chauffe	1000.KG	
- huile de chauffe			
- pneus			
- huiles autres			
- graisses			
- ferraille			
- anti-collant/anti-adhérent pour enrobés (EMHV)			
- filtres à poussières (fines)			

(2) nature : du solvant, détergents, produits de traitement de l'eau, etc...

Joindre à ce questionnaire le rapport des émissions à la cheminée et le rapport de réglage du brûleur (complété éventuellement par la notice constructeur).

Joindre à ce questionnaire le rapport des rejets des eaux du site.

Joindre à ce questionnaire les Bordereaux de Suivi des Déchets Industriels (BDSI) pour la période du 01/01/2011 au 31/06/2012 et compléter le tableau ci-dessous.



Nature du déchet (1)	Origine du déchet	Volume ou poids total pour l'usine	Valorisé en interne (2)	Sous-traité à l'extérieur		
			Destination	Opérateur	adresse	téléphone
Exemple : huile de chauffe	chaudière	500 litres	récupération			
- huile de vidange	engins					
- huile de chauffe	chaudière					
- huile claire						
- solvants usés						
- ferraille						
- bois						
- retours de fabrication						
- ...						
Pour information (1)						
- blancs de poste						

(1) ne sont pas de vrais déchets au sens de la législation

(2) par exemple récupération, recyclage, incinération, décharge.

8.2 Annexe 2 : Données collectées auprès des centrales d'enrobage

Les tableaux ci-dessous présentent les données collectées auprès des 8 centrales d'enrobages enquêtées au cours de cette étude. Il est important de noter que les données relatives aux émissions dans l'air et dans l'eau présentées ci-dessous sont des données retravaillées sur la base des rapports d'émissions fournis par les centrales. Le détail des calculs appliqués à ces données est présenté dans le corps du rapport.

Par ailleurs, il est important de noter que sur la période de référence des données (2010 ou 2011 selon les centrales), la proportion d'enrobés tièdes est très faible (<5% de la production totale pour les 8 centrales). Ainsi, les enrobés tièdes ont été assimilés à des enrobés à chaud et il n'y a eu aucune allocation entre les différents enrobés. Les données par tonne d'enrobé à chaud ont été estimées en considérant les données globales des centrales divisées par la production totale des centrales (enrobé à chaud et enrobé tiède).

		N° de la centrale	1	2	3	4	5	6	7	8
		Année de référence	2011	2011	2010	2010/2011	2011	2011	2011	2011
Fiche 1 - Données générales										
Caractéristiques	Type	Discontinu	Discontinu	Discontinu	Continu	Continu	Discontinu	Discontinue	Continu	
	Débit (t/h)	320	160	100	140	240	320	260	180	
Installation	Surface du site (m ²)	15000	40000		15000	18000	36700	9713	45200	
	Surface imperméabilisée	3000	8000		3000	3600	7340	1943	9040	
Production d'enrobés	Production totale d'enrobés (t)	269810	97600	45200	119849	75596	237543	147798	56450	
	dont enrobés tièdes (t)	16116	4300	0	5000	0	8544	12116	85	
Fiche 2 - Description du procédé										
Brûleur sécheur	Combustible	GN	FOL	FOL	GN	FOL	GN	GN	GPL	
Chaudière	Combustible	Electrique	Propane	Electrique	GN	Electrique	GN	Electrique	GPL	
Engins (chargeuse)	Nombre	2	2	1	1	1	1	1	1	

		N° de la centrale							
		Année de référence							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		2011	2011	2010	2010/2011	2011	2011	2011	2011
Fiche 3 - Inventaire des matières premières consommées									
Granulats massifs	Carrière 1 / Quantité totale (t)	118339	40300	8200	110049	0	210998	0	26800
	Carrière 1 / Route (km)	93	650	141	20	0	0	0	53
	Carrière 1 / Route / Quantité (t)	100979	300	8200	110049	0	210998	0	26800
	Carrière 1 / Train (km)	0	650	0	0	0	0	0	0
	Carrière 1 / Train / Quantité (t)	0	40000	0	0	0	0	0	0
	Carrière 1 / Fluvial (km)	120	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 1 / Fluvial / Quantité (t)	17361	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 2 / Quantité totale (t)	124126	55000	27188	0	0	3608	0	21700
	Carrière 2 / Route (km)	135	200	0,5	0	0	30	0	267
	Carrière 2 / Route / Quantité (t)	43411	5000	27188	0	0	3608	0	21700
	Carrière 2 / Train (km)	125	200	0	0	0	0	0	0
	Carrière 2 / Train / Quantité (t)	50184	50000	0	0	0	0	0	0
	Carrière 2 / Fluvial (km)	75	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 2 / Fluvial / Quantité (t)	30531	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 3 / Quantité totale (t)	428	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 3 / Route (km)	596	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 3 / Route / Quantité (t)	428	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 3 / Train (km)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 3 / Train / Quantité (t)	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 3 / Fluvial (km)	0	0	0	0	0	0	0	0
Carrière 3 / Fluvial / Quantité (t)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Granulats alluvionaires	Carrière 1 / Quantité totale (t)	4683	0	0	0	65780	1410	159060	0
	Carrière 1 / Route (km)	0	0	0	0	10	75	0	0
	Carrière 1 / Train (km)	110	0	0	0	0	0	0	0
	Carrière 1 / Fluvial (km)	0	0	0	0	0	0	0	0
Filler	Quantité (t)	0	0	0	0	0	83	262	0
	Distance route (km)	0	0	0	0	0	190	530	0
Bitume	Raffinerie 1 / Quantité (t)	7150	4000	25	4381	3684	11845	8398	1610
	Raffinerie 1 / Distance route (km)	274	173	661	64	150	180	232	470
	Raffinerie 2 / Quantité (t)	230	2000	921	747	0	0	39	330
	Raffinerie 2 / Distance route (km)	244	870	600	397	0	0	580	560
	Raffinerie 3 / Quantité (t)	25	0	673	0	0	0	16	610
	Raffinerie 3 / Distance route (km)	244	0	450	0	0	0	580	700
	Raffinerie 4 / Quantité (t)	5875	0	750	0	0	0	0	0
Raffinerie 4 / Distance route (km)	76	0	135	0	0	0	0	0	
Colorants	Nom	Oxyde de fer	Oxyde de fer	0	0		Oxyde de fer	Oxyde de fer	0
	Quantité (t)	66	10	0	0		74	16	0
	Distance route (km)	331	160	0	0		110	1300	0
Additifs	Nom	DOP CWM	CWM	0					DOPE
	Quantité (t)	3,0	17,2	0,0	4,8		3,4	3,0	0,2
	Distance route (km)	1077		0	150			2000	
Agrégats d'enrobé	Quantité (t)	30284	3900	0	12961	8475	20829	10870	7190
	Distance route (km)	0	0	0	0			3	0

		N° de la centrale	1	2	3	4	5	6	7	8
		Année de référence	2011	2011	2010	2010/2011	2011	2011	2011	2011
Fiche 4 - Consommations d'énergies										
Brûleur sécheur	FOL (kWh)	-	570	263	-	351	-	-		
	GN (kWh)	18767025	-	-	8105000	-	17465501	11425681		
Chaudière pour parc à liant	Electricité (kWh)	222560	-	53794	-	94001	-	280127		
	Propane (kWh)	-	1571940	-	-	-	-	-		
	GN (kWh)	-	-	-	1064985	-	1727357	-		
Fonctionnement de la centrale	Electricité (kWh)	850068	467000	215176,8	317286,64	376003,2	818811	443308		
Engins	GnR (L)	0	0	9382	16912	15016	34430	12323	10563	
	FOD (t)	38,2	36,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,6	
Fiche 5 - Consommation d'eau et de consommables										
Eau de process et de lavage	Réseau - Quantité (m3)	514	550	380	31	549	0	207	108	
	Forage - Quantité (m3)	0	0	0	0	0	100	0	0	
Huile & Graisse	Huile (chauffe, vidange,...) (L)	600	408	624	909					
	Graisses (kg)	30	40	0	0					
Pneus de chargeuse	Nombre	1	1	2	2			1		
Ferraille	Toles de blindage (t)	3	10							
Anti-collant / Anti-adhérent	Nom	BIO 3100								
	Quantité (L)	1000	10				0			
Filtres à poussières	Manche de filtre (kg)	100	40				333			
Fiche 6 - Emissions dans l'air										
Emissions au brûleur sécheur (calculées à partir des rapports d'émissions)	Poussières (kg/an)	92	21	3	155	4	297	2287	21	
	SOx (oxydes de soufre en kg SO2eq/an)	891	4201	4003	6258	139	9	29	1	
	NOx (oxydes d'azote en kg NO2eq/an)	1311	4383	3164	1032	2093	1555	1118	287	
	NO (kg/an)		2613							
	CO (kg/an)	4611		1937	1306	2090	6342	950	336	
	COV totaux (en kg Ceq/an)	2767	97	258	1757	74	5135	374	1156	
	CH4 (en kg CH4eq/an)	1456			181		3968			
	COVNM (en kg Ceq/an)	1553	93	194	1621		1755	368	1149	
	Benzène (kg/an)		4,8							
HAP (kg/an)		0,03								

		N° de la centrale	1	2	3	4	5	6	7	8
		Année de référence	2011	2011	2010	2010/2011	2011	2011	2011	2011
Fiche 7 - Emissions dans l'eau										
Rejets d'eau de process et de lavage	Quantité (m3)		514	550	380	31	549	100	207	108
Emissions liées aux rejets d'eau pluviale (sortie du séparateur hydrocarbures) (calculées à partir des rapports d'émissions)	Nitrites + Nitrates (N) (kg/an)		1,0							
	DCO (kg O2/an)		153,5			26,0		95,5		290,0
	DBO5 (kg O2/an)		13,0			7,8		9,5		
	MES (kg/an)		221,1			44,2	259,1	12,7		31,4
	indice hydrocarbure (kg/an)		0,8			1,1	0,2	0,3		2,0
	Phosphore total (P) (kg/an)		0,2							
Fiche 8 - Déchets										
Huile & Graisse	Huile (chauffe, vidange,...) (L)		600	408	624	909				
	Graisses (kg)		30	40	0	0				
Pneus de chargeuse	Nombre		1	1	2	2			1	
Ferraille	Toles de blindage (t)		3	10						
Filtres à poussières	Manche de filtre (kg)		100	40				333		0
Retours de fabrication	Quantité (t)		10000	2000	0					
Blancs de poste	Quantité (t)		1000	3000	540	720				

8.3 Annexe 3 : Calcul des émissions de fumées de bitume

8.3.1 Données générales

Des émissions de fumées de bitume ont lieu lors du chargement des camions et lors de la mise en œuvre de l'enrobé. Afin d'évaluer les impacts de ces émissions de fumées de bitume, des données fournies par le comité de pilotage de l'USIRF ont été utilisées. Ces données sont issues de la base CIMAROUT⁹ et correspondent aux concentrations des différents composés présents dans les fumées de bitume. Elles sont obtenues en effectuant des mesures derrière le finisseur lors de la mise en œuvre de l'enrobé. Les données utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 81 – Données sources pour la modélisation des fumées de bitume

Famille de composé	Composé	Valeur	Unité
HAP particuliers	Fluoranthène	7,56	ng/m3 air
	Pyrène	5,08	ng/m3 air
	Benzo(a)anthracène	0,24	ng/m3 air
	Chrysène	1,10	ng/m3 air
	Benzo(b)fluoranthène	0,59	ng/m3 air
	Benzo(j)fluoranthène	0,22	ng/m3 air
	Benzo(k)fluoranthène	0,25	ng/m3 air
	Benzo(a)pyrène	0,35	ng/m3 air
	Benzo(e)pyrène	0,84	ng/m3 air
	Dibenzo(a,h)fluoranthène	0,14	ng/m3 air
	Benzo(ghi)pérylène	0,45	ng/m3 air
	Indeno(1,2,3,cd)pyrène	0,18	ng/m3 air
HAP gazeux	Naphtalène	936,62	µg/m3 air
	Acénaphène	198,51	µg/m3 air
	Fluorène	109,67	µg/m3 air
	Phénanthrène	196,15	µg/m3 air
	Anthracène	9,14	µg/m3 air
	Fluoranthène	12,22	µg/m3 air
	Pyrène	7,4	µg/m3 air
Solvants pétroliers	Benzène	17,5	µg/m3 air
	Cyclopentane	0,02	mg/m3 air
	n-Hexane	0,05	mg/m3 air
	Toluène	0,14	mg/m3 air
	Styrène	0,01	mg/m3 air
	Xylènes	3,69	mg/m3 air
	Ethylbenzène	3,51	mg/m3 air
Autres agents chimiques	Formaldéhyde	0,01	mg/m3 air

⁹ La base CIMAROUT a été créée en 2011. Elle est constituée d'une part par une base documentaire rassemblant les études toxicologiques et épidémiologiques ayant fait l'objet d'une publication dans des revues scientifiques internationales. Elle contient d'autre part une base de données rassemblant plus d'une centaine d'études d'évaluation de l'exposition des salariés effectuées sur chantier avec l'INRS, les laboratoires Interrégionaux de Chimie des CARSAT, la médecine du travail et les entreprises.

8.3.2 Fumées de bitume lors du chargement des camions

8.3.2.1 Hypothèses et constantes

Comme indiqué précédemment, les données sources pour la modélisation des fumées de bitume sont issues de mesures derrière le finisseur à l'étape de mise en œuvre. Elles ne correspondent donc pas aux émissions lors du chargement des camions. Toutefois, compte tenu du fait que très peu de données sont disponibles sur ces fumées de bitume, il a été considéré que la composition des fumées de bitume lors de la mise en œuvre de l'enrobé est identique à celle observée lors du chargement des camions.

Pour déterminer les émissions des différents composés présents dans les fumées de bitume lors du chargement des camions, une approche similaire à celle utilisée dans l'étude de 2004 est utilisée. La principale hypothèse de cette approche consiste à dire que le volume d'air déplacé dans la benne (contenant des fumées de bitume) est égal au volume de la quantité d'enrobé correspondante.

En considérant une masse volumique de l'enrobé de 2,35 t/m³, le volume d'air déplacé par tonne d'enrobé est donc :

$$V_{\text{déplacé}} = \frac{1}{\rho_{\text{enrobé}}} = 0,425 \text{ m}^3$$

En utilisant les concentrations présentées dans le tableau précédent et le volume d'air déplacé, il est possible d'estimer les émissions des différents composés présents dans les fumées de bitume.

Un exemple de calcul est présenté ci-dessous. Les données finales sont présentées dans le corps du rapport.

- Concentration de fluoranthène dans les fumées de bitume : 7,56 ng/m³ d'air
- Volume d'air déplacé au chargement des camions : 0,425 m³/t d'enrobé
- Émissions de fluoranthène au chargement des camions :
- 0,425 m³ x 7,56 ng/m³ = 3,22E-12 kg/t d'enrobé

8.3.3 Fumées de bitume à la mise en œuvre de l'enrobé

Concernant l'étape de mise en œuvre, les données de concentration présentées précédemment ont également été utilisées.

Le volume d'air concerné par les émissions de fumées de bitume a été déterminé en utilisant une approche similaire à celle utilisée lors de la précédente étude de l'USIRF. Cette approche est présentée ci-dessous.

8.3.3.1 Volume d'air concerné

Les hypothèses et données de base utilisées pour les calculs sont présentées ci-dessous.

Tableau 82 - Hypothèses et constantes pour le calcul des émissions de fumées de bitume à la mise en œuvre de l'enrobé

Grandeur	Notation	Valeur	Unité
Vitesse moyenne du vent	V_{moy}	20	km.h ⁻¹
		20 000	m.h ⁻¹
Section verticale du chantier exposée au vent	S	50	m ²
Quantité d'enrobé mise en place par heure	Q	100	t. h ⁻¹

En une heure le volume d'air contenant des fumées de bitume est :

$$V = S \times v \times 1h = 10^6 \text{ m}^3$$

En considérant que la quantité d'enrobé mise en œuvre en une heure est de 100 t (donnée calculée à partir des données de SEVE¹⁰). Le volume d'air contenant des fumées de bitume par tonne d'enrobé mise en œuvre est donc de : $10^6/100 = 10^4 \text{ m}^3$.

À partir des données de concentrations fournies dans le Tableau 67, il est donc possible d'estimer les émissions des différents composés présents dans les fumées de bitume pour une tonne d'enrobé mise en œuvre (et donc ensuite pour 1 m² de chaussée). Les données finales ainsi obtenues sont présentées dans le corps du rapport. Un exemple de calcul est présenté ci-dessous :

- Concentration de fluoranthène dans les fumées de bitume : 7,56 ng/m³ air
- Volume d'air contenant les fumées de bitume par tonne d'enrobé : 10⁴ m³
- Émissions de fluoranthène à la mise en œuvre de l'enrobé $7,56 \times 10^{-12} \times 10^4 = 7,56 \times 10^{-8} \text{ kg/t d'enrobé}$

¹⁰ L'outil SEVE de l'USIRF donne un chantier de mise en œuvre avec une capacité de 700 t/j pour 7h de travail par jour.

8.4 Annexe 4 : Modélisation des engins de chantier

Les données utilisées pour les engins sont exprimées en jour d'utilisation de l'engin considéré.

8.4.1 Finisseur (15 à 20 t)

8.4.1.1 Données de base

Les données sources pour la modélisation du finisseur sont issues de l'outil SEVE de l'USIRF et présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 83 – Données sources pour le finisseur

Donnée	Unité	Valeurs	Source
Consommation - Fonctionnement	L/j	1,46E+02	Outil SEVE - USIRF
Consommation de carburant - Transfert	L/j	5,00E+00	
Nombre moyen d'heures de fonctionnement	h/j	7,00E+00	
Durée de vie de l'engin	h	1,00E+04	
Masse de l'engin	t	1,70E+01	
Coefficient d'entretien	-	2,00E+00	
Carburant	-	FOD	

Ensuite, pour ramener la masse de l'engin à une « masse par jour » (ce qui revient à prendre en compte l'amortissement du finisseur), la formule suivante est utilisée :

$$Masse\ de\ l'engin(t/j) = \frac{Masse\ de\ l'engin(t) \times Durée\ d'utilisation(h/j)}{Durée\ de\ vie\ (h)}$$

Le coefficient d'entretien¹¹, est ensuite appliqué à la masse de l'engin déterminée par la formule précédente pour prendre en compte les besoins d'entretien de l'engin considéré. En pratique, dans le cas du finisseur, cela revient à prendre en compte trois fois la masse de l'engin (en t/j) (une fois pour la production de l'engin et deux fois pour l'entretien).

Enfin, pour la fin de vie des engins, l'hypothèse retenue est celle de l'outil SEVE. On considère que les engins sont reconditionnés pour alimenter le marché d'occasion. La masse des engins ainsi que la masse correspondant aux besoins d'entretien est comptabilisée dans le flux « Production de déchets valorisés, Matière Récupérée : Acier ».

8.4.1.2 Données environnementales

Les données utilisées pour modéliser le finisseur sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 84 – Données utilisées pour la modélisation du finisseur

Données environnementales	
Consommation - Fonctionnement	Diesel, burned in building machine {GLO} processing Alloc Rec
Consommation de carburant - Transfert	Production : Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Rec
	Combustion : Adaptation de l'inventaire : Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec
Production de l'engin / Entretien	Steel, low-alloyed {RER} steel production, electric, low-alloyed Alloc Rec

¹¹ Le coefficient d'entretien est le coefficient qu'il faut appliquer à la masse de matière initiale pour évaluer le coût de l'entretien (en moyenne 1 pour les matériels classiques et 2 pour les matériels consommant beaucoup de pièces d'usures).

8.4.2 Compacteur tandem vibrant V1

L'approche retenue pour la modélisation du compacteur est strictement identique à celle utilisée pour le finisseur.

8.4.3 Données de base

Tableau 85 – Données sources pour le compacteur

Donnée	Unité	Valeurs	Source
Consommation - Fonctionnement	L/j	6,40E+01	Outil SEVE - USIRF
Consommation de carburant - Transfert	L/j	5,00E+00	
Nombre moyen d'heures de fonctionnement	h/j	7,00E+00	
Durée de vie de l'engin	h	8,00E+03	
Masse de l'engin	t	8,00E+00	
Coefficient d'entretien	-	1,00E+00	
Carburant	-	FOD	

8.4.3.1 Données environnementales

Les données environnementales pour le compacteur sont identiques à celles du finisseur.

8.4.4 Raboteuse (2m à 2,2m)

L'approche retenue pour la modélisation de la raboteuse est strictement identique à celle utilisée pour le finisseur.

8.4.4.1 Données de base

Tableau 86 – Données sources pour la raboteuse

Donnée	Unité	Valeurs	Source
Consommation - Fonctionnement	L/j	3,85E+02	Outil SEVE - USIRF
Consommation de carburant - Transfert	L/j	5,00E+00	
Nombre moyen d'heures de fonctionnement	h/j	5,00E+00	
Durée de vie de l'engin	h	8,00E+03	
Masse de l'engin	t	3,10E+01	
Coefficient d'entretien	-	2,00E+00	
Carburant	-	FOD	

8.4.4.2 Données environnementales

Les données environnementales pour la raboteuse sont identiques à celles du finisseur.

8.4.5 Balayeuse aspiratrice

L'approche retenue pour la modélisation de la balayeuse est strictement identique à celle utilisée pour le finisseur.

8.4.5.1 Données de base

Tableau 87 – Données sources pour la balayeuse aspiratrice

Donnée	Unité	Valeurs	Source
Consommation - Fonctionnement	L/j	2,34E+02	Outil SEVE - USIRF
Consommation de carburant - Transfert	L/j	5,00E+00	
Nombre moyen d'heures de fonctionnement	h/j	7,00E+00	
Durée de vie de l'engin	h	8,00E+03	
Masse de l'engin	t	1,20E+01	
Coefficient d'entretien	-	1,00E+00	
Carburant	-	Gasoil	

8.4.5.2 Données environnementales

Les données environnementales pour la raboteuse sont identiques à celles du finisseur.

8.5 Annexe 5 : Application de la méthode des stocks

8.5.1 Application aux agrégats d'enrobés utilisés lors de la production d'enrobé

8.5.1.1 Présentation

Les agrégats d'enrobés sont définis¹² comme des enrobés provenant de :

- fraisage /rabotage de couche d'enrobés,
- concassage de plaques extraites de chaussées en enrobés,
- morceaux de plaques d'enrobés,
- déchets d'enrobé ou de surplus des productions d'enrobés.

Selon la méthode des stocks, les agrégats d'enrobés utilisés lors de la production d'enrobé constituent une matière issue du stock qui ne porte pas d'impact environnemental. On considère en effet qu'ils atteignent directement le statut de fin de déchet, d'après le guide du CEREMA « Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière » (à paraître). Toutefois, afin que ces déchets soient valorisés, il convient de prendre en compte les impacts du procédé de recyclage des agrégats, c'est-à-dire des étapes de broyage et de criblage qui sont effectuées afin de pouvoir utiliser les agrégats (voir schéma ci-dessous). Les étapes de transport des agrégats depuis le stock jusqu'au lieu de recyclage et depuis le lieu de recyclage jusqu'au lieu d'utilisation doivent également être prises en compte. Néanmoins, les agrégats étant généralement stockés et recyclés dans les centrales d'enrobages, ces distances de transport sont considérées comme nulles.

Le schéma ci-dessous présente l'application de la méthode des stocks dans le cas des agrégats d'enrobés.

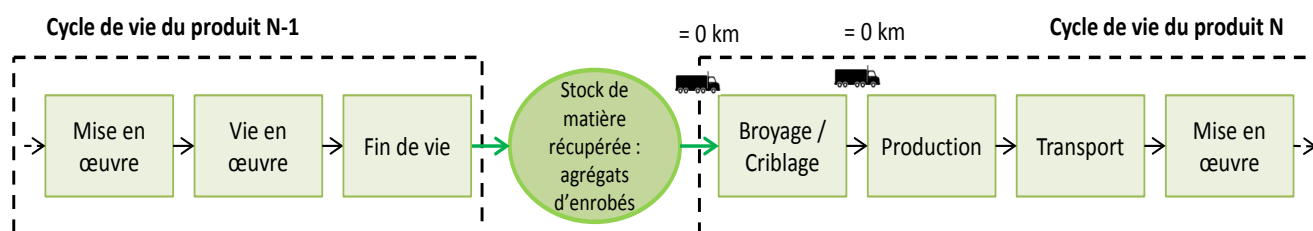


Figure 14 - Illustration de la méthode des stocks appliquée aux agrégats d'enrobés

8.5.1.2 Données de base

Les données utilisées concernant les étapes de broyage et de criblage des agrégats d'enrobés correspondent aux consommations d'énergies issues du module d'informations environnementales de l'UNPG « Production de granulats recyclés ». Ces données sont présentées ci-dessous.

Tableau 80 – Données relatives à la production d'agrégats d'enrobés

Source d'énergie	Unité	Valeurs pour 1 t d'agrégats d'enrobés	Source
Fioul + Diesel	g/t d'agrégats d'enrobés	6,43E+02	UNPG: Module d'informations environnementales de la production de granulats recyclés
Électricité	kWh/t d'agrégats d'enrobés	1,85E-01	

¹² Norme NF EN 13 108-8 Mélanges bitumineux – Spécifications de matériaux – Partie 8 Agrégats d'enrobés

8.5.1.3 Données environnementales

Tableau 88 – Données utilisées pour la modélisation des consommations d'énergie pour la production d'agrégats d'enrobés

Données environnementales	
Fioul + Diesel	Diesel, burned in building machine {GLO} processing Alloc Rec
Électricité	Electricity, medium voltage {FR} market for Alloc Rec

Des flux d'utilisation des ressources sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

8.5.2 Application aux déchets de rabotage

8.5.2.1 Présentation

Les déchets de rabotage sont considérés comme étant recyclés à 100 %. Ils correspondent à des agrégats d'enrobés envoyés vers le stock.

L'application de la méthode des stocks aux déchets de rabotage revient donc à ne prendre en compte que le transport de ces déchets du site d'implantation de la route jusqu'au stock. Pour ce transport, une distance de 30 km est considérée. Cette valeur correspondant à la distance entre le site d'implantation de la chaussée et la centrale d'enrobage (sur laquelle se situe le stock de matière récupérée).

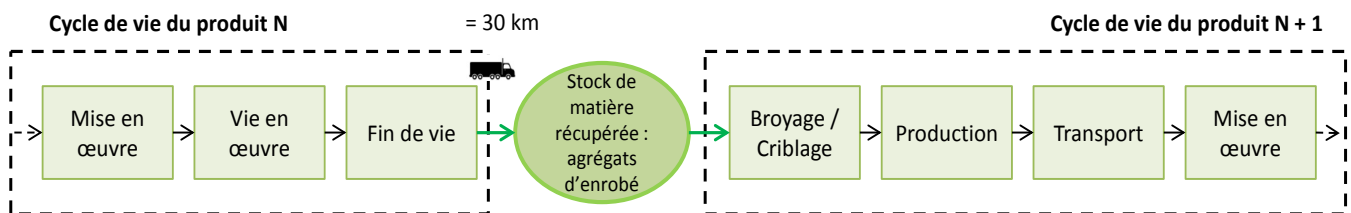


Figure 15 - Illustration de la méthode des stocks appliquée aux déchets de rabotage

Pour ces déchets, les bénéfices environnementaux liés à leur valorisation ultérieure est prise en compte au sein du module D.

8.5.2.2 Données de base

Les déchets de rabotage sont produits aux étapes de vie en œuvre et de fin de vie de la chaussée. Les masses de déchets produites à chacune de ces étapes sont présentées dans le corps du rapport. Comme évoqué préalablement, la distance de transport considérée est de 30 km.

Des flux sortants sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

8.5.2.3 Données environnementales

Tableau 89 – Donnée utilisée pour la modélisation du transport vers le stock des déchets de rabotage

Données environnementales	
Transport	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

8.5.3 Application aux pneus de chargeuse

8.5.3.1 Présentation

On considère dans cette étude que les pneus de chargeuse arrivés en fin de vie sont recyclés à 100% (source : Modules d'informations environnementales de la production de granulats, UPNG 2011). En conséquence, tous les pneus usagés sont envoyés vers le stock. On considère qu'ils atteignent directement le statut de fin de déchet lorsqu'ils arrivent sur le lieu de valorisation. Il n'y a donc aucun impact environnemental autre que le transport associé à leur fin de vie à prendre en compte.

8.5.3.2 Données de base

Les données utilisées pour la modélisation de la fin de vie des pneus sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 90 – Données relatives au transport vers le stock des pneus de chargeuse

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Masse envoyée vers le stock	t	4,42E-06	Collecte de données
Distance de transport	km	3,00E+01	Hypothèse BIO

8.5.3.3 Données environnementales

La modélisation associée à ces données est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 84 – Donnée utilisée pour la modélisation du transport vers le stock des pneus de chargeuse

Données environnementales	
Transport	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

Des flux sortants sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

8.5.4 Application aux blancs de poste

Les blancs de poste (déchets correspondant aux débuts et fin de production) sont utilisés sur les sites des centrales pour fournir des agrégats d'enrobés. Ces déchets sont donc recyclés en interne. Il n'y a pas de transport à considérer.

D'après la méthode des stocks, il n'y a donc aucun impact environnemental à prendre en compte pour la fin de vie des blancs de poste.

8.5.5 Application à la ferraille usagée

8.5.5.1 Présentation

On considère dans cette étude que la ferraille usagée (qui correspond aux pièces d'usure des engins de productions) est recyclée à 100% et est envoyée vers le stock (source : Modules d'informations environnementales de la production de granulats, UPNG 2011). Elle atteint directement le statut de fin de déchet une fois arrivé sur le lieu de valorisation. Il n'y a donc aucun impact environnemental autre que leur transport associé à leur envoi vers le stock à prendre en compte.

8.5.5.2 Données de base

Les données utilisées pour la modélisation de cette étape sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 91 – Données relatives au transport vers le stock de la ferraille usagée

Donnée	Unité	Valeurs pour 1 t de Béton Bitumineux (BB) ou 1 t de Grave Bitume (GB3)	Source
Masse envoyée vers le stock	t	3,54E-05	Collecte de données
Distance de transport	km	3,00E+01	Hypothèse BIO

Des flux sortants sont également comptabilisés. Ils sont présentés en annexe 8.6

8.5.5.3 Données environnementales

Tableau 92 – Donnée utilisée pour la modélisation du transport vers le stock de la ferraille usagée

Données environnementales	
Transport	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Alloc Rec

8.6 Annexe 6 : Flux sortants et flux d'utilisation des ressources utilisés.

Avec la norme NF EN 15804+A1 et son complément XP P01-064/CN, plusieurs indicateurs non traditionnels de l'ACV sont considérés, tels que l'énergie procédé renouvelable ou non renouvelable, l'utilisation de matière secondaire, les flux de matériaux pour recyclage, pour réutilisation, etc. Certains de ces flux étaient déjà comptabilisés dans les FDES respectant la norme NF P01-010, et de nouveaux sont apparus.

L'objectif de cette annexe est de présenter ces flux comptabilisés tout au long du cycle de vie de la chaussée, ainsi que les hypothèses de modélisation sous-jacentes. Dans la modélisation sur Simapro, ces flux ont directement été ajoutés aux inventaires concernés.

Tableau 93 - Flux sortants et flux d'utilisation des ressources considérés dans le cycle de vie de la chaussée

Flux	Application(s)	Valeur	Unité	Source et/ou commentaire	Modélisation
Énergie matière contenue dans le bitume	Bitume contenu dans les enrobés, et dans les émulsions bitume (matières premières)	40,2	MJ/kg de bitume	IEA Énergie considérée 100% non-renouvelable.	Utilisation des ressources d'énergie primaire non-renouvelables en tant que matières premières
Utilisation d'agrégats d'enrobé en tant que matière secondaire	Agrégats (matières premières)	1	Kg/kg d'enrobé	-	Utilisation de matière secondaire
Matériaux destinés au recyclage à partir de la production de granulats massifs	Granulats meubles (matières premières)	1,34E-04	Kg/kg de granulats	UNPG: Module d'informations environnementales - Granulats issus de roches massives, 2011	Matériaux destinés au recyclage
Matériaux destinés au recyclage à partir de la production de granulats meubles	Granulats meubles (matières premières)	2,84E-04	Kg/kg de granulats	UNPG: Module d'informations environnementales - Granulats issus de roches meubles, 2011	Matériaux destinés au recyclage
Utilisation d'acier en tant que matière secondaire	Ferraille et pneus (consommables) chargeuse et centrale (infrastructures), engins de chantier (mise en œuvre et vie en œuvre)	3,70E-01	Kg/kg d'acier	Part d'acier issue de four électrique, Althaus H.-J. et al. (2007) Life Cycle Inventories of Metals. Final report ecoinvent data v2.0, No 10. EMPA Düberdorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories	Utilisation de matière secondaire
Recyclage de l'acier en fin de vie	Ferraille et pneus (consommables) chargeuse et centrale (infrastructures), engins de chantier (mise en œuvre et vie en œuvre)	1	Kg/kg d'acier	S'applique en A3 à la ferraille et aux infrastructures, en A5 et B2 aux engins de chantier	Matériaux pour recyclage
Recyclage des pneus en fin de vie	Pneus (Consommables)	1	Kg/kg de pneu	-	Matériaux pour recyclage
Fraisats d'enrobé générés lors du rabotage	Fraisats d'enrobé (Vie en œuvre)	1	Kg/kg de fraisat	-	Matériaux pour recyclage
Couche de fondation restant en place lors de la fin de vie	Fin de vie chaussée (C3)	1	Kg/kg de chaussée	-	Matériaux pour réutilisation

8.7 Annexe 7 : Modélisation du kWh électrique français

Le mix électrique français a été modélisé à partir des données Ecoinvent v3.1, lequel reprend les chiffres de l'Agence Internationale de l'Énergie pour l'année 2008.

On notera que cet inventaire comprend la production nationale et une part d'import depuis les pays limitrophes. Le mix de production considéré est repris de l'ICV « Electricity, high voltage {FR}| market for | Alloc Rec, U ».

Tableau 94 - Mix électrique français issu d'Ecoinvent v3.1

Source	Part dans le mix (%)	ICV correspondant
Charbon	4,06%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, hard coal Alloc Rec
Hydroélectricité (réservoir d'eau pompée)	0,868%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, hydro, pumped storage Alloc Rec
Hydroélectricité (réservoir, région de montagne)	1,61%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, hydro, reservoir, alpine region Alloc Rec
Hydroélectricité (au fil de l'eau)	8,47%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, hydro, run-of-river Alloc Rec
Gaz naturel	3,81%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, natural gas, at conventional power plant Alloc Rec
Nucléaire	75,9%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, nuclear, pressure water reactor Alloc Rec
Fioul	1,01%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, oil Alloc Rec
Éolien (<1 MW)	0,0881%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, wind, <1MW turbine, onshore Alloc Rec
Éolien (1-3 MW)	0,991%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, wind, 1-3MW turbine, onshore Alloc Rec
Éolien (> 3 MW)	0,0220%	Electricity, high voltage {FR} electricity production, wind, >3MW turbine, onshore Alloc Rec
Biogaz	0,119%	Electricity, high voltage {FR} heat and power co-generation, biogas, gas engine Alloc Rec
Biomasse	0,251%	Electricity, high voltage {FR} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Alloc Rec
Gaz de haut-fourneau	0,511%	Electricity, high voltage {FR} treatment of blast furnace gas, in power plant Alloc Rec
Gaz de houille	0,163%	Electricity, high voltage {FR} treatment of coal gas, in power plant Alloc Rec
Import de Belgique	0,397%	Electricity, high voltage {FR} import from BE Alloc Rec
Import de Suisse	0,734%	Electricity, high voltage {FR} import from CH Alloc Rec
Import d'Allemagne	0,232%	Electricity, high voltage {FR} import from DE Alloc Rec
Import d'Espagne	0,323%	Electricity, high voltage {FR} import from ES Alloc Rec
Import de Grande-Bretagne	0,181%	Electricity, high voltage {FR} import from GB Alloc Rec
Import d'Italie	0,222%	Electricity, high voltage {FR} import from IT Alloc Rec

Pour information, le mix électrique français de production d'électricité (sans imports/exports) est fourni par RTE pour l'année 2012¹³. Il est décrit dans le tableau qui suit.

Tableau 95 - Mix de production électrique française pour l'année 2012

Source	Production (TWh)	Part dans le mix (%)
Nucléaire	404,9	74,8%

¹³ RTE (2013), La production d'électricité en France et l'effacement. Accessible via http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/15_-_La_production_d_electricite_en_France_et_l_effacement.pdf

Source	Production (TWh)	Part dans le mix (%)
Charbon	18,1	3,3%
Fioul	6,6	1,2%
Gaz	23,2	4,3%
Hydraulique	63,8	11,8%
Éolien	14,9	2,8%
Photovoltaïque	4	0,7%
Autres énergies renouvelables	5,9	1,1%

On ne constate que peu de différences entre les deux mix électriques, marqués par la prédominance du nucléaire et de l'hydraulique à plus de 86% de la production d'électricité nationale. C'est pourquoi il est jugé acceptable dans cette étude de conserver le mix électrique tel que proposé par la base de données Ecoinvent.

Les pertes sur le réseau, les infrastructures et les émissions liées à la distribution d'électricité aux différentes tensions ont été prises en compte selon la méthodologie proposée par Ecoinvent¹⁴ et sur une publication du Paul Scherrer Institute¹⁵. L'ICV utilisé dans la modélisation de la présente étude est un ICV d'électricité de moyen voltage : "Electricity, medium voltage {FR}| market for | Alloc Rec ».

¹⁴ Frischknecht R., Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report n°6, Swiss center for LCI, PSI

¹⁵ Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Itten R. Frischknecht R., Sucki M. on behalf of the Paul Scherrer Institute (PSI), Ulster, July 2012.

8.8 Annexe 8 : Résultats pour la mise à disposition de 1 m² de chaussée sans prise en compte des couches d'assise

Tableau 96 - Impacts environnementaux pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud, sans prise en compte des couches d'assise

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Impacts environnementaux	Étape de fabrication	Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre							Étape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système		
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets			C4 Décharge	Total fin de vie
Réchauffement climatique kg CO2 eq/UF	6,53E+00	7,14E-01	3,13E-01	1,03E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,29E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,04E+01	-3,74E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone kg CFC 11 eq/UF	9,40E-07	1,31E-07	6,19E-08	1,93E-07	0,00E+00	0,00E+00	6,65E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,65E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,79E-06	-1,60E-07
Acidification des sols et de l'eau kg SO2 eq/UF	3,21E-02	2,90E-03	2,29E-03	5,19E-03	0,00E+00	0,00E+00	2,19E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,19E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,56E-01	-3,47E-02
Eutrophisation kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF	4,27E-03	4,93E-04	4,75E-04	9,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,79E-02	-4,43E-03
Formation d'ozone photochimique kg Ethene eq/UF	2,14E-03	1,24E-04	3,87E-03	3,99E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,11E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,11E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,72E-02	-2,35E-03
Épuisement des ressources abiotiques (éléments) kg Sb eq/UF	7,80E-06	2,32E-06	1,27E-07	2,45E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,98E-05	-4,42E-06
Épuisement des ressources abiotiques (fossiles) MJ/UF	3,96E+02	1,09E+01	4,96E+00	1,58E+01	0,00E+00	0,00E+00	2,13E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,13E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,54E+03	-6,85E+02
Pollution de l'eau m3/UF	2,63E+00	2,52E-01	1,21E-01	3,73E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,69E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,69E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,99E+01	-2,77E+00
Pollution de l'air m3/UF	7,73E+02	1,04E+02	2,19E+03	2,30E+03	0,00E+00	0,00E+00	1,47E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,47E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,78E+04	-7,98E+02

Tableau 97 - Utilisation des ressources pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud, sans prise en compte des couches d'assise

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Utilisation des ressources	Etape de fabrication	Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre								Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système		
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie	
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières MJ/UF	1,56E+00	1,36E-01	3,63E-02	1,72E-01	0,00E+00	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	1,05E-01	0,00E+00	5,57E-01	6,61E-01	1,19E+01	0,00E+00	
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables en tant que matières premières MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/UF	1,56E+00	1,36E-01	3,63E-02	1,72E-01	0,00E+00	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,51E+00	0,00E+00	1,05E-01	0,00E+00	5,57E-01	6,61E-01	1,19E+01	0,00E+00	
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières MJ/UF	1,28E+02	1,11E+01	5,04E+00	1,61E+01	0,00E+00	0,00E+00	8,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,00E+02	0,00E+00	8,52E+00	0,00E+00	2,18E+01	3,04E+01	9,75E+02	0,00E+00	
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables en tant que matières premières MJ/UF	2,84E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,41E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,41E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,70E+03	0,00E+00	
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/UF	4,12E+02	1,11E+01	5,04E+00	1,61E+01	0,00E+00	0,00E+00	2,21E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,21E+03	0,00E+00	8,52E+00	0,00E+00	2,18E+01	3,04E+01	2,67E+03	0,00E+00	
Utilisation de matière secondaire kg/UF	1,34E+01	0,00E+00	6,22E-03	6,22E-03	0,00E+00	0,00E+00	6,49E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,49E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,83E+01	0,00E+00	
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Utilisation nette d'eau douce m ³ /UF	3,06E-02	2,28E-03	1,18E-03	3,46E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,96E-01	0,00E+00	1,75E-03	0,00E+00	2,37E-02	2,54E-02	2,55E-01	0,00E+00	

Tableau 98 - Production de déchets pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud, sans prise en compte des couches d'assise

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Catégorie de déchets	Etape de fabrication	Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre							Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système		
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets			C4 Décharge	Total fin de vie
Déchets dangereux éliminés kg/UF	9,30E-02	6,84E-03	4,42E-03	1,13E-02	0,00E+00	0,00E+00	5,84E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,84E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,88E-01	0,00E+00
Déchets non dangereux éliminés kg/UF	1,33E+00	5,68E-01	5,24E-01	1,09E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,57E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,57E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,81E+01	0,00E+00
Déchets radioactifs éliminés kg/UF	5,57E-04	7,43E-05	3,51E-05	1,09E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,89E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,55E-03	0,00E+00

Tableau 99 - Flux sortants pour 1 m² de chaussée en enrobé bitumineux à chaud, sans prise en compte des couches d'assise

UF : Mettre à disposition une surface de 1m² de chaussée en enrobé bitumineux représentative du marché français, sur la base d'une durée de vie de référence de 100 ans

Flux sortants	Etape de fabrication	Etape de mise en œuvre			Etape de vie en œuvre							Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système		
	Total A1-A3 Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets			C4 Décharge	Total fin de vie
Composants destinés à la réutilisation kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Matériaux destinés au recyclage kg/UF	2,85E-02	0,00E+00	1,68E-02	1,68E-02	0,00E+00	0,00E+00	4,35E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,35E+02	0,00E+00	0,00E+00	-5,17E-05	0,00E+00	-5,17E-05	4,35E+02	0,00E+00
Matériaux destinés à la récupération d'énergie kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energie fournie à l'extérieur (par vecteur énergétique) M.J/UF	Electricité	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	vapeur	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	Gaz de process	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

8.9 Annexe 9 : Part d'impacts évités grâce aux bénéfices et charges au-delà des frontières du système pour tous les indicateurs.

En complément de la section 6.5.6, le tableau ci-dessous présente la part d'impacts évités par la valorisation des fraisats d'enrobé et des matériaux restant en place à la fin de vie, et ce pour tous les indicateurs requis par la norme NF EN 15804+A1 et son complément.

Tableau 100 – Proportions d'impacts évités grâce à la valorisation de déchets de la chaussée sur tous les indicateurs considérés

Indicateur		Bénéfices liés à la valorisation des fraisats d'enrobé	Bénéfices liés à la valorisation des matériaux restant en place lors de la fin de vie de la chaussée
Impacts environnementaux	Réchauffement climatique (kg CO2 éq.)	-5%	-30%
	Appauvrissement de la couche d'ozone (kg CFC-11 éq.)	-1%	-30%
	Acidification des sols et de l'eau (kg SO2 éq.)	-10%	-29%
	Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻ éq.)	-8%	-28%
	Formation d'ozone photochimique (kg C2H4 éq.)	-4%	-33%
	Épuisement ressources (éléments) (kg Sb. Éq.)	-4%	-30%
	Épuisement ressources (fossiles) (MJ)	-19%	-29%
	Pollution de l'eau (m3)	-10%	-30%
	Pollution de l'air (m3)	-3%	-34%
Utilisation des ressources	Energie procédé renouvelable (MJ)	-4%	-31%
	Energie matière renouvelable (MJ)	0%	0%
	Energie primaire totale renouvelable (MJ)	-4%	-31%
	Energie procédé non renouvelable (MJ)	-7%	-30%
	Energie matière non renouvelable (MJ)	-25%	-29%
	Energie primaire totale non-renouvelable (MJ)	-18%	-30%
	Utilisation de matière secondaire (MJ)	270%	-34%
	Energie secondaire renouvelable (MJ)	0%	0%
	Energie secondaire non renouvelable (MJ)	0%	0%
	Utilisation nette d'eau douce (m3)	-12%	-30%
	Production de déchets	Déchets dangereux éliminés (kg)	-11%
Déchets non dangereux éliminés (kg)		-1%	-11%
Déchets radioactifs éliminés (kg)		-2%	-30%
Flux sortants	Composants pour réutilisation (kg)	0%	0%
	Matériaux pour recyclage(kg)	0%	0%
	Matériaux pour récupération d'énergie (kg)	0%	0%
	Energie fournie ext - Electricité (MJ)	0%	0%
	Energie fournie ext - Vapeur (MJ)	0%	0%
	Energie fournie ext - Gaz (MJ)	0%	0%



Revue critique de l'étude « Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud représentatif français et d'une chaussée en enrobé bitumineux » et des DEP sortie d'usine et FDES associées

Note finale de revue critique

Préparée pour : USIRF



Préparée par :

	 <i>le futur en construction</i>
François Witte Chef de projets ACV	Sébastien Lasvaux, Vérificateur FDES habilité AFNOR

7 janvier 2016

Quantis est un cabinet de conseil en analyse du cycle de vie (ACV) spécialisé dans l'accompagnement d'entreprises afin de mesurer, comprendre et gérer les impacts environnementaux de leurs produits, services et activités. Quantis est une entreprise internationale qui compte des bureaux aux États-Unis, en Allemagne, en Suisse et en France et qui emploie près de 70 personnes, parmi lesquelles on retrouve des experts mondialement reconnus en analyse du cycle de vie.

Quantis offre des services de pointe dans les secteurs suivants : empreintes environnementales (indicateurs multiples incluant le carbone et l'eau), éco-conception, chaîne d'approvisionnement durable et communications environnementales. Quantis fournit également un logiciel novateur en ACV, Quantis SUITE 2.0, qui permet aux organisations d'évaluer, analyser et gérer leur empreinte environnementale avec facilité. Forte de ses relations étroites avec la communauté scientifique et ses collaborations stratégiques de recherche, Quantis a fait ses preuves quant à l'application de ses connaissances et son expertise pour accompagner ses clients à traduire des résultats issus de l'ACV en décisions et plans d'action. Pour plus de renseignements, visitez www.quantis-intl.com.

Ce rapport a été préparé par le bureau français de Quantis. Toute question relative à ce rapport doit être adressée à Quantis France.

Quantis France

42, boulevard de Sébastopol

75003 Paris

France

Tel: +33 9 63 23 04 67

info@quantis-intl.com

www.quantis-intl.com

Table des matières

1. Avis de revue critique	3
1.1. Constitution du comité de revue critique.....	3
1.2. Portée de l'avis de revue critique.....	3
1.3. Déroulement de la revue critique	3
1.4. Contexte de réalisation de l'ACV, de la DEP sortie d'usine et de la FDES.....	3
1.5. Points d'attention pour le lecteur	4
1.6. Conclusion	5
2. Commentaires détaillés	7

1.1. Constitution du comité de revue critique

Le comité de revue critique est constitué de :

- François Witte, Quantis : expert ACV
- Sébastien Lasvaux, CSTB : expert ACV, vérificateur FDES habilité par le programme de vérification AFNOR FDES-INIES

1.2. Portée de l'avis de revue critique

L'avis de revue critique porte sur les éléments suivants :

- le rapport de projet final post revue critique « *Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud représentatif français et d'une chaussée en enrobé bitumineux* »
- la déclaration environnementale produit (DEP) sortie d'usine :
 - « *Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français* », établi selon la norme NF EN 15804+A1 et son complément national XP P01-064/CN, communiquée dans sa version finale en date du 7 janvier 2016.
- Et la FDES:
 - « *Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français* », établi selon la norme NF EN 15804+A1 et son complément national XP P01-064/CN, communiquée dans sa version finale en date du 7 janvier 2016.

1.3. Déroulement de la revue critique

Les travaux de la revue critique ont été réalisés selon les étapes suivantes :

- Analyse des documents provisoires : du 12/11/2015 au 11/12/2015 donnant lieu aux commentaires présentés dans la section 2.
- Réunion d'échange sur les commentaires les documents provisoires : 11/12/2015
- Analyse des documents finaux et rédaction de la note finale de revue critique : 7/01/2016

1.4. Contexte de réalisation de l'ACV, de la DEP sortie d'usine et de la FDES

L'ACV et la FDES associées constitue une mise à jour de la précédente ACV¹ et FDES publiée en Avril 2014, afin de la rendre conforme à la norme NF EN 15804+A1 et à son complément national XP P 01-064/CN ainsi que pour tenir compte des dernières mises à jour de la base de données d'Inventaire de Cycle de Vie utilisée. En complément, une fiche DEP sortie d'usine conforme à la norme NF EN 15804+A1 et à son complément national XP P 01-064/CN a également été réalisée.

Les modifications apportées à l'ACV et à la FDES par rapport à cette précédente version sont donc les suivantes :

¹ Analyse de Cycle de Vie de l'enrobé bitumineux à chaud moyen français et d'une chaussée en enrobé bitumineux, Avril 2014

- Intégration des nouvelles exigences de la norme NF EN 15804+A1 et du complément national XP P 01-064/CN, à savoir principalement :
 - La décomposition du cycle de vie selon les nouvelles étapes définies par la norme ;
 - L'évaluation des bénéfices environnementaux au-delà des frontières du système (module D)
 - L'évaluation des nouveaux indicateurs d'impact et de flux
- Mise à jour des données d'arrière-plan, issues de la base de données ecoinvent :
 - Passage de la version 2.2 à la version 3.1 d'ecoinvent
- Mise à jour de la modélisation du transport par camion, qui tient désormais compte de l'ensemble du cycle de vie des véhicules, et non plus uniquement des émissions directes en phase d'usage.

La précédente ACV a fait l'objet d'une revue critique et d'une vérification (pour le volet FDES) attestant de sa conformité à la norme NF P 01-010 et à l'ISO 14040 et 14044.

L'objectif principal de cette mise à jour étant la mise en conformité avec la norme NF EN 15804+A1 et à son complément national XP P01-064/CN, aucune mise à jour des données d'activité n'a été réalisée.

Si la présente revue critique couvre bien l'ensemble du rapport, la DEP sortie d'usine et la FDES, les travaux ont prioritairement porté sur les modifications par rapport à l'étude précédente et sur la nouvelle DEP sortie d'usine.

1.5. Points d'attention pour le lecteur

En préambule de la conclusion des travaux de revue critique, nous soulignons ici quelques points discutés au cours de la revue critique.

Remarques générales

Le comité de revue critique tient à souligner les points suivants :

- Le rapport de projet présente un très bon niveau de complétude et de transparence
- Un effort important a été déployé pour la constitution de l'inventaire de cycle de vie, notamment sur la comptabilisation des émissions directes.

Périmètre

Les travaux de terrassement ainsi que la constitution de la couche de forme qui sert de plateforme à la chaussée ne sont pas inclus dans le périmètre de l'étude. Ce point a fait déjà l'objet de discussions lors de la précédente version de l'ACV. La définition technique des chaussées ne considérant pas les couches de forme et de terrassement comme parties intégrantes de la chaussée, l'exclusion du périmètre a été considérée acceptable. Le comité de revue recommande de réaliser lors de futures études, une analyse de sensibilité sur l'inclusion de ces activités, afin d'identifier l'ordre de grandeur de leurs contributions aux impacts de la chaussée.

Évolution des résultats par rapport à l'ACV précédente

Du fait de l'utilisation d'une version plus à jour de la base de données ecoinvent, l'inventaire de cycle de vie et les résultats par indicateur ont évolué par rapport à la version précédente.

Sur l'indicateur de Changement Climatique par exemple, une augmentation d'environ 15% est observée ; celle-ci étant uniquement due à la mise à jour d'ecoinvent.

Validité temporelle

La représentativité temporelle des données est proche de l'âge maximal exigé par la norme NF EN 15804+A1 (5 ans). Lors de la prochaine mise à jour de l'ACV, une fois la période de validité expirée pour la DEP sortie d'usine et pour la FDES, il sera nécessaire de mettre à jour les données collectées ou de justifier le fait que les données sont toujours représentatives.

1.6. Conclusion

À l'issu des travaux de revue critique, à la lumière des différents échanges ayant eu lieu et compte tenu des modifications prises en compte dans le rapport final, le Comité de Revue Critique considère que :

Concernant l'étude « *Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud représentatif français et d'une chaussée en enrobé bitumineux* », la DEP sortie d'usine « *Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français* » et la FDES « *Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français* »,

- Les méthodes :
 - sont cohérentes avec les normes ISO 14040, ISO 14044, ainsi que la norme NF EN 15804+A1 et le complément national XP P 01-064/CN,
 - sont valables d'un point de vue scientifique et technique.
- Les données utilisées sont appropriées et raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude.
- Les interprétations reflètent globalement les principales limites identifiées et les objectifs de l'étude.
- Le rapport d'étude est transparent et cohérent.

Le Comité de Revue Critique considère que l'étude telle que présentée dans le rapport final « *Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud représentatif français et d'une chaussée en enrobé bitumineux* » la DEP sortie d'usine « *Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français* », et la FDES « *Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français* » en date du 7 janvier 2016 est conforme aux exigences des normes ISO 14040 et 14044, ainsi que de la norme NF EN 15804+A1 et de son complément national XP P 01-064/CN.

François Witte



Sébastien Lasvaux



Le présent rapport de revue critique est délivré à l'USIRF. Le comité de revue critique ne peut être tenu pour responsable de l'usage de son travail par aucun autre tiers. Les conclusions du comité de revue critique couvrent le rapport d'ACV final (annexes 1 à 10 comprises) « Analyse de cycle de vie de l'enrobé bitumineux à chaud représentatif français et d'une chaussée en enrobé bitumineux », ainsi que la DEP sortie d'usine « Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français », et la FDES (« Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français » réalisés par BIO by Deloitte. Ces conclusions ne couvrent aucun autre rapport, extrait ou publication qui pourraient

éventuellement être produits. Les conclusions du comité de revue critique ont été données en fonction de l'état de l'art et des informations reçues au cours du projet. Les conclusions de ce comité de revue critique auraient pu être différentes dans un autre contexte.

2. Commentaires détaillés

Pour chaque document (rapport ACV et FDES), chacun des commentaires est décrit par :

- Le numéro du commentaire : nécessaire aux échanges ultérieurs entre le comité de revue critique et le commanditaire/réalisateur de l'étude
- Le numéro de la page
- Le paragraphe ou numéro de tableau ou numéro de figure ;
- Le type de commentaire :
 - Ge : Commentaire général**
 - Te : Commentaire Technique**
 - Ed : Commentaire éditorial**
- Le niveau de commentaire : le nombre de croix est croissant avec l'importance du commentaire
 - + Peu important**
 - ++ Assez important**
 - +++ Très important**
- Le libellé détaillé du commentaire
- La réponse
- L'avis final

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
<i>Itération n°1 - Transmise à l'USIRF le 4/12/2015</i>									
Rapport de projet	1	Tout le document / 1.4		Ge		FW	<u>Commentaire n'appelant pas de modification</u> : La structure du document n'est pas directement en ligne avec la structure présentée en 8.2 15804-A1; (cet écart est mentionné en 1.4).	Aucune réponse à apporter.	OK
Rapport de projet	2	1.1 et 1.3	1	Ed	+	FW	Il est fait mention de l'étude 2006-2012, de l'ACV 2012-2014, de la FDES 2012-2014. Citer plus explicitement les noms de ces documents. Bien préciser l'articulation entre les différents documents, ainsi que les scope des évolutions entre chaque itération : les évolutions liées aux données d'activité (nouvelle collecte), celles liées à l'évolution des BDD et normes.	Un tableau résumant l'historique des trois études ACV menées par l'USIRF depuis 2006 a été ajouté en section 1.3	OK
Rapport de projet	3	1.3	2	Ed	+	FW	Préciser la citation du catalogue (ou faire un renvoi vers le paragraphe correspondant), pour bien montrer qu'il s'agit d'un référentiel métier reconnu.	La phrase suivante a été ajoutée en section 1.3 : "Ce scénario est basé sur une structure type catalogue des structures SETRA d'octobre 1998 TC4PF3 30 ans." La précision est également apportée dans la FDES.	OK
Rapport de projet	4	1.4	2	Ed	+	FW	La référence à la 14025 ne semble pas nécessaire, car son scope est plutôt sur la mise en place de programmes de déclaration de type III.	Le programme AFNOR demande à ce que la conformité à cette norme soit indiquée sur la FDES. La section a donc été adaptée : "Enfin on notera que les FDES publiées sur la base de cette étude sont conformes avec la norme NF EN ISO 14025 (Octobre 2006) : Marquages et déclarations environnementaux – Déclarations environnementales de Type III – Principes et modes opératoires."	OK
Rapport de projet	5	1.5	3	Te	++	FW	Citer les produits concernés pour chaque entreprise, afin de rendre les règles d'utilisation plus explicites.	Selon la connaissance métier de l'USIRF, ceci n'est pas faisable. Les enrobés génériques modélisés dans cette étude représentent 90% de la production nationale. Les valeurs environnementales des produits fabriqués par les uns et les autres sont proches car les taux d'incorporation de bitume sont similaires. Les variations d'un type d'enrobé à l'autre se font surtout sur les types de granulats utilisés. Quant aux types de chaussées existant dans la réalité, il y a là aussi une spécificité propre à chaque chantier. Là aussi, la chaussée modélisée est une chaussée moyenne. Étant donné qu'il s'agit de produits commercialisés en "B-to-B", le cadre de validité n'a pas vocation à devenir obligatoire	OK

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
								pour ces produits. Ces différents éléments sont précisés en section 1.5 du rapport.	
Rapport de projet	6	1.8	4	Ed	+	FW	BIO n'est pas cité en tant que praticien ACV externe pour la réalisation de l'étude	La mention de la participation de BIO est faite en section 1.1.	OK
Rapport de projet	7	2.1.1	6	Te	++	FW	Mentionner des données quantifiées (parts de marché, tendances) permettant de justifier le choix de ne pas tenir compte des enrobés tièdes. (Remonter ici la valeur citée en 2.6)	La justification présentée au chapitre 2.6 a également été ajoutée en section 2.1.1.	OK
Rapport de projet	8	2.1.2.2, 2.3.1 et 2.3.2	7, 11, 12	Te	+++	FW	Décrire plus précisément la constitution de la couche de forme et la manière dont elle est construite. De manière globale, il faudrait justifier davantage l'exclusion de ces activités : - Est-ce que le cas de routes complètement nouvelles (i.e. sans couche de forme préexistante) est fréquent ? Cela permettrait de justifier davantage son exclusion. - D'après 5.9.3 (tableau 63), il n'y a aucune opération nécessaire pour la réutilisation directe des matériaux restant en tant que couche d'assise Une proposition est d'inclure la couche de forme de le scope, en tant que matériau recyclé : Du fait de la méthode des stocks, la couche de forme précédente serait un entrant du système (module A1) et un sortant en fin de vie (module C3).	La définition technique des chaussées ne considère pas les couches de forme et de terrassement comme parties intégrantes de la chaussée. De la même façon, on pourrait prendre comme autre exemple le fait qu'un mur dans lequel s'insère une fenêtre ne fait a priori partie du système ACV de la fenêtre en question. Ces couches de forme et de terrassement sont donc exclues du périmètre de l'étude. De plus, nous ne disposons d'aucune donnée technique sur les masses de couches de forme nécessaires pour porter une chaussée (ceci étant très dépendant du type de sol). La phrase suivante a été modifiée en section 2.1.2.2 : "La couche de forme qui sert de plateforme à la chaussée n'est pas inclus dans le périmètre de cette étude. En effet, elle n'est pas inclus dans la définition technique d'une chaussée et ne fait pas partie intégrante de la chaussée."	OK
Rapport de projet	9	2.1.2.4	8	Te	+	FW	Préciser que la durée de vie de 30 est à comprendre 'sans entretien', si c'est bien le cas. Ce qui semble être le cas vu que les premières activités d'entretien ont lieu après 13 ans.	La mention "sans entretien" a été ajoutée à la phrase concernée en section 2.3.1	OK
Rapport de projet	10	2.3.1	11	Te	++	FW	L'entretien est à placer dans B2, maintenance, dans la mesure où il s'agit d'activités planifiées. Cf. 6.3.4.4.2 de la norme et A4 du CN	La modification est faite tout au long du rapport afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK
Rapport de projet	11	2.3.2	12	Ed	++	FW	Dans le paragraphe, bien séparer les justifications liées aux activités de maintenance de celles liées à la déconstruction.	La séparation a été faite dans la section correspondante. La justification relative aux fraisats est mise après celle sur les matériaux restant en place lors de la fin de vie.	OK

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
Rapport de projet	12	2.3.2	12	Ed	+	FW	Pour les autres déchets valorisés, préciser : "conformément à la règle de coupure"	Ces quantités de déchets valorisés sont bien comptabilisées dans l'indicateur "Matériaux pour recyclage" (bien qu'ils représentent une part infime des quantités recyclées sur tout le cycle de vie, en comparaison des fraisats d'enrobé - cf. tableau en section 5.9.1). En revanche, sont négligés les bénéfices environnementaux associés à la valorisation de ces déchets au-delà des frontières du système. Nous n'avons donc pas modifié cette phrase.	OK
Rapport de projet	13	2.4	13	Te	++	FW	"les émissions à long terme (au-delà de 100 ans, et qui concernent majoritairement les émissions liées aux processus d'enfouissement des déchets." Dans la mesure où l'essentiel de la chaussée reste en place pour des durées a priori beaucoup plus longue, justifier davantage l'exclusion en précisant, si tel est bien le cas, qu'il n'y a pas d'émissions directes liées à la présence de la chaussée.	La norme impose la non-prise en compte des émissions long-terme. Ceci est vrai quel que soit le matériau enfoui et la durée considérée pour l'enfouissement. Par ailleurs le bitume et les enrobés sont considérés comme des déchets inertes, (cf. Directive 1999/31/CE du 26/04/99) : « les déchets inertes sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importantes. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. ... » Ceci est ajouté en section 2.4.	OK. Pour info, la norme précise qu'"une période plus longue doit être utilisée si pertinent"
Rapport de projet	14	3.2.1	18	Te	+	FW	<u>Commentaire n'appelant pas de modification</u> : La représentativité temporelle est proche de la limite. (Point d'attention)	Non. Comme indiqué à plusieurs reprises dans le rapport (sections 3.2.1. et 3.2.2, section 4), les process de fabrication évoluent très peu. Par ailleurs, hormis les enrobés tièdes pour lesquels le bilan environnemental est a priori meilleur que celui des enrobés à chaud (cf. commentaire 7), ainsi que des émissions globale en baisse (cf. Bilan environnemental de l'USIRF), l'étude reste conservatrice.	OK Ces éléments pourront permettre de justifier le fait de ne pas faire une mise à jour complète des données collectées lors de la future mise à jour de l'étude. Le commentaire visait à souligner le fait lors de la prochaine mise à jour, il sera nécessaire d'apporter de tels éléments, pour justifier l'écart par rapport aux exigences de la norme (5 ans max pour les données spécifiques). Cf

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
									commentaire 39
Rapport de projet	15	5.7	45	Te	++	FW	Incohérence avec Figure 4. qui présente B3 pour la vie en œuvre. Nous recommandons de passer en B2.	Cette coquille a été corrigée. La modification est faite tout au long du rapport afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK
Rapport de projet	16	5.7.1	47	Te	+	FW / SL	Absence d'émissions dans l'eau : Des ordres de grandeur permettrait d'étayer cette hypothèse. Si l'on prenait en compte les émissions long terme, un impact significatif est-il envisageable ? La norme précise qu'une durée au-delà de 100 ans doit être retenue si cela est pertinent.	Non, ce n'est pas le cas car les enrobés bitumineux sont inertes (cf. réponse au commentaire 13).	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	17	Tableaux 57 et 58	48	Te	++	FW	Comment la quantité de matériau restant sur la chaussée est-elle calculée ? S'agit-il de la masse totale de chaussée par UF (1250kg/UF) à laquelle sont soustraits les matériaux destinés au recyclage (436 kg/UF). Ce calcul donne 814 kg/UF (contre 811 kg/UF pour ces tableaux). L'écart est-il du aux arrondis uniquement? Préciser le mode de calcul de la quantité de matériau restant sur la chaussée.	Le calcul de la quantité de matériaux restant en fin de vie est expliqué en section 5.8.	OK
Rapport de projet	18	5.9.3	51	Te	++	FW	Tableau 63 : Pour les matériaux substitués, la production du grave bitume de la couche d'assise ainsi que la production de la couche de fondation sont indiqués : il n'est nécessaire d'indiquer que celui de la couche d'assise (qui couvre la couche de fondation la et couche de base). Préciser les couches d'accrochages concernées : celle entre la couche de forme et la couche de fondation, et celle entre la couche de fondation et la couche de base. Pour l'acheminement des matériaux substitués : "de la couche d'assise" + Préciser qu'il s'agit des 2 couches d'accrochages précédemment décrites.	Le tableau a été remanié afin de corriger la coquille sur les couches d'assise et de spécifier quelles couches d'accrochage sont substituées.	OK
Rapport de projet	19	5.9.2	50	Te	+	FW	Le tableau 59 indique B4 pour l'étape de vie en œuvre : remplacer par B2	La modification est faite tout au long du rapport afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
Rapport de projet	20	5.9.2	50	Te	++	FW	Le tableau 59 indique un flux entrant de matières secondaires de 5,21E+1 pour la production (A1-A3), alors que le tableau 72 indique 5,37E+1. À quoi correspond l'écart ? Idem pour l'étape de vie en œuvre (6,29E+1 dans le tableau 59, 6,49E+1 dans le tableau 72). Revoir également le tableau 60 en fonction (calcul des flux nets)	L'écart correspond aux autres flux de matière secondaires précisés en annexe 6 (acier recyclé). Une précision est ajoutée à cet égard en section 6.5.5.	OK
Rapport de projet	21	6.7	70	Ed	+	FW / SL	Variance par rapport aux moyennes des résultats : 8.2 de la norme : "3) il convient de décrire la variance par rapport aux moyennes des résultats de l'EICV, si les données génériques déclarées proviennent de plusieurs sources ou concernent une gamme de produits similaires ;" Nous proposons d'indiquer ici la variabilité de la consommation des brûleurs sécheurs. Conclure le deuxième paragraphe : Les paramètres d'entrée ont donc une faible variabilité, ce qui permet de conclure raisonnablement que la variance sur les résultats est limitée.	Nous avons ajouté dans le rapport en section 6.7 un calcul sur la variance des brûleurs sécheurs pour le CO2 émis lors de la combustion. Les résultats montrent que l'intervalle de variabilité des résultats est compris entre -7% et 9%. Ramené aux systèmes production d'enrobé ou cycle de vie d'une chaussée, cette variance est donc d'autant plus faible.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	22	Figure 7	23	Ed	+	FW	Dans le bloc B1-B7, indiquer "B2-Maintenance"	La modification est faite tout au long du rapport afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK
Rapport de projet	23		3	Ed	+	SL	Remplacer le nom de Pierre Ravel par Sébastien Lasvaux (le reste de la phrase étant identique)	La modification a été effectuée.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	24		1	Ed	+	SL	page 1 "c'est pourquoi l'USIRF..." -> rajouter que les données n'ont pas changé	La phrase suivante a été ajoutée en section 1.1 : "On note cependant que les procédés de fabrication ont peu évolué au cours des dernières années, on considère donc que les données d'activité n'ont pas changé." Ce point est d'ailleurs précisé en section 1.3. page suivante.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	25		9	Te	+	SL	Entretien à 26 ans, justification de l'utilisation de l'EME2 à la place du BB absente. Ce n'est pas très évident à comprendre (raison technique? Préconisation SETRA?)	Comme discuté avec l'USIRF, la phrase suivante a été ajoutée dans le paragraphe concerné en section 2.1.2.4 : "Cette utilisation relève d'une optimisation économique, l'EME2 étant un enrobé plus structurant. "	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	26		11	Te	+	SL	2ème § page 11, dans l'étape de vie en œuvre, préciser que les étapes de fin de vie de l'enrobé (1er cycle de vie) et des enrobés suivants jusqu'au n-1 sont prises en	La phrase suivante a été ajoutée dans le paragraphe concerné : "Par ailleurs, les étapes de fin de vie de l'enrobé (1er cycle de vie) et des enrobés suivants jusqu'au cycle n-	OK, réponse satisfaisante

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
							compte	1 sont prises en compte."	
Rapport de projet	27		11	Ed	+	SL	Remplacer vie en œuvre ou compléter avec "module B2 - Maintenance" pour bien rappeler la terminologie de la NF EN 15804+A1	La modification est faite tout au long du rapport afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	28		12	Ed	+	SL	§2.3.2. 1er tiret remplacer "remplacement" par "module B2 - Maintenance" pour être cohérent avec vos choix de modules renseignés	La modification est faite tout au long du rapport afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	29		12	Te	+	SL	Préciser que le résultat de l'étape C3 n'est pas nul comme il y a des déchets valorisés	Il n'y a certes pas d'impact, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de matériaux valorisés.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	30		12	Te	++	SL	Réserve sur le scénario prospectif dans les FDES. Si depuis la réalisation de l'étude des nouvelles justifications permettent d'étayer vos choix sont dispo il faut les rajouter mais le scénario doit correspondre à la pratique en 2015 sinon il serait bon de refaire les calculs avec un scénario contemporain.	Le paragraphe correspondant a été modifié en section 2.3.2 : « Cependant, on se place dans un scénario prospectif où le cas des fraisats d'enrobé est traité du point de vue législatif. Ce scénario correspond en effet aux pratiques actuelles mais il est qualifié de « prospectif » car il est prudent par rapport à la réglementation en cours d'élaboration. »	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	31		13	Te	+	SL	Les flux omis sont passés de 0,2% à 0,1% entre le rapport 2012 et 2014. Il semble donc que des flux ont été rajoutés à l'ACV?	Ceci est lié à la mise à jour de l'indice (calculs) mais le périmètre des flux est équivalent.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	32	2.6	14	Te	++	SL	Préciser les choix de simplifications de règles d'allocations entre coproduits. Même si il n'y a que 5% d'enrobés tièdes actuellement, ce chiffre peut augmenter. De même pour justifier l'affectation des impacts à 100% aux enrobés à chaud préciser que vu les conditions de chauffe moindre pour les enrobés tièdes, on suppose des impacts moindres... donc ça justifie votre hypothèse simplificatrice	Les phrases suivantes ont été ajoutées en section 2.6 : "Par ailleurs, comme les conditions de chauffage des enrobés tièdes sont moindres que celles des enrobés à chaud, on peut supposer que les impacts des enrobés tièdes sont moindres. Cette assimilation est donc conservatrice vis-à-vis du système étudié."	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	33	2.6	14	Te	+	SL	Préciser que l'étude Eurobitume a bénéficié d'une revue critique selon le référentiel choisi (a minima ISO 14040-44).	Cette mention a été ajoutée	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	34	3.1.1	15	Ed	+	SL	Par soucis de cohérence préciser le nombre de centrales dont la production représente 77% de la production	Ce chiffre n'est pas disponible. Il a été ajouté qu'il s'agit d'un ensemble de centrales appartenant soit à Colas, soit à	OK, réponse satisfaisante

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
							française.	Eiffage, soit à Eurovia.	
Rapport de projet	35	3.1.1	15	Ed		SL	Corriger la coquille "données des 8 sites collectées lors de la précédente étude ACV en 2014" (il me semble que c'est plutôt 2012)	La coquille a été corrigée. L'étude a été réalisée entre 2012 et 2014. Le tableau ajouté en section 1.3 clarifie également ce point.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	36	3.1.1	15	Ed	+	SL	Plus généralement, sur la représentativité, il y a un gros effort de collecte sur les consommations d'énergie (77% des sites) ce qui est bien... peut-on connaître/préciser la variabilité des conso d'énergie (min / max / moyenne / médiane) représentant les 27 Mt d'enrobés?	Il s'agit de données confidentielles que les industriels concernés (Colas, Eiffage et Eurovia) ne sont pas disposés à communiquer.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	36	3.1.1	15	Ed	+	SL	Sinon à la lecture, pour les émissions dans l'air et les autres données alors qu'on s'appuie sur 3% ou 15% de la production française on dit que c'est suffisamment représentatif... c'est un peu paradoxal quand à côté on collecte 77% de la prod nationale pour les conso d'énergie. Je suggère de préciser que le niveau de qualité des données de l'ICV est variable (très élevé pour les conso d'énergie et plus faible pour les autres flux). à discuter	En effet, la fiabilité n'est pas la même selon le type de données. Cependant, les efforts de l'USIRF pour améliorer la qualité des données relatives aux émissions dans l'air sont à valoriser par rapport aux données génériques Ecoinvent. Un paragraphe est rajouté en ce sens en section 3.1.1 avant le tableau.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	37	3.1.1	15	Ed	+	SL	Préciser le nombre (et la liste) des flux d'émissions dans l'air mesurés par l'USIRF? Ajouter la référence "aux rapports règlementaires" (source: limite d'émissions ICPE ou équivalent?) ? Cela permet de mieux comprendre quelles valeurs de flux ont été prises directement dans ecoinvent	La distinction est faite dans les tableaux en section 5.4.4. pour les émissions dans l'air associées aux brûleurs sécheurs. Pour les émissions de fumées de bitume lors du transport et de la mise en œuvre des matériaux, les données sont calculées via la base de données CIMAROUT, comme indiqué en chapitre 3.1.1. L'en-tête du tableau 45 en section 5.5.2. a également été modifié afin de préciser que la colonne de gauche correspond à la substance émise et la colonne de droite au flux environnemental modélisé.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	38	3.2.3	19	Ed	+	SL	supprimer la répétition "représentatif" en fin de paragraphe	La coquille a été corrigée.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	39	4	20	Ed / Te	+	SL	Représentativité: dire simplement que conformément à la norme NF EN 15804, les données seraient à actualiser dès 2016 (comme la collecte date a minima de 2010)	La phrase suivante a été ajoutée en section 4 : "On note toutefois que conformément à la norme NF EN 15804+A1, les données d'activité seraient à actualiser dès 2016.". Néanmoins, notons que cela ne remet pas en cause la durée de validité de 5 ans des FDES, au moment de la publication.	OK, réponse satisfaisante

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
Rapport de projet	40	5.5.2	42	Te	+	SL	"Les flux n'existant pas dans les bases de données" de quels flux voulez-vous parler?	Il s'agit de flux n'étant pas répertoriés dans Ecoinvent, comme le flux de cyclopentane qui a été modélisé par un flux "hydrocarbons, unspecified". La précision est apportée dans le paragraphe correspondant en section 5.5.2	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	41	Partie 6		Te	+	SL	Il serait intéressant pour les indicateurs interprétables (énergie primaire, CO2) de présenter une comparaison entre cette version 2014 et celle de 2012. En effet, la base Ecoinvent v3.1 peut influencer les variations de résultats. Préciser l'écart lié aux données amont me semble utile ici.	Voir réponse au commentaire suivant.	OK, réponse satisfaisante
Rapport de projet	42			Te	+	FW / SL	<u>Point pour discussion</u> : Possibilité d'intégrer les évolutions en termes de résultats entre la précédente FDES et l'actuelle. Nous observons sur le Changement Climatique une augmentation d'environ 15%, uniquement due à la mise à jour d'Ecoinvent. Il pourrait être intéressant de souligner ce point dans le rapport d'accompagnement	Compte tenu des multiples raisons possibles : évolution des normes et des aspects méthodologiques associés, des bases de données et des indicateurs, il a été décidé avec l'USIRF de ne pas faire cette analyse fastidieuse. Seule une analyse basée sur un cadre d'évaluation cohérent aurait été pertinent pour quantifier les évolutions liées à l'évolution des pratiques du secteur. Une section est ajoutée en ce sens dans le rapport en fin de chapitre 6.	OK, réponse satisfaisante
FDES "Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français" et FDES "Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français"	43	1	1	Ed	+	FW / SL	L'adresse des fabricants n'est pas renseignée	Le tableau inclus dans la FDES ne mentionnant que les entreprises appartenant à plusieurs SPRIR. Il manquait dans ce tableau les centaines de PME appartenant également à un SPRIR. Afin de ne pas "léser" ces entreprises, et de simplifier la FDES, le tableau a été supprimé. Seule la phrase.	OK, réponse satisfaisante
FDES "Chaussée en enrobé"	44	3.3	5	Te	+	FW	La vie en œuvre est à associer à B2 plutôt que B3	La modification est faite tout au long de la FDES afin de considérer cet entretien dans le module B2.	OK, réponse satisfaisante

Document	N°	Chapitre	Page	Type	Niveau	Auteur	Commentaire	Réponse	Avis final
bitumineux à chaud représentative du marché français"									
FDES "Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français"	45	3	4	Te	++	FW	Décrire la couche de forme et préciser qu'elle ne fait pas partie du système étudié	La phrase suivante a été rajoutée dans la description du produit : "Les travaux de terrassement et la constitution de la couche de forme qui sert de plateforme à la chaussée ne sont pas considérés dans l'étude car ils ne font pas partie intégrante de la chaussée."	OK, réponse satisfaisante
FDES "Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français"	46	5	11	Ed	+	FW	Rappeler l'unité fonctionnelle avant les tableaux de résultats	L'unité fonctionnelle a été rappelée avant les tableaux de résultats.	OK, réponse satisfaisante
FDES "Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français" et FDES "Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français"	47	Tout le document		Ge	+++	FW / SL	Reporter les modifications du rapport d'accompagnement suite à la revue critique dans la FDES	Les modifications ont été répercutées dans les deux livrables.	OK, réponse satisfaisante

Itération n°2 - Transmise à l'USIRF le 24/12/2015

<i>Document</i>	<i>N°</i>	<i>Chapitre</i>	<i>Page</i>	<i>Type</i>	<i>Niveau</i>	<i>Auteur</i>	<i>Commentaire</i>	<i>Réponse</i>	<i>Avis final</i>
FDES "Production d'enrobé bitumineux à chaud représentatif du marché français" et FDES "Chaussée en enrobé bitumineux à chaud représentative du marché français"	48	6.2		Ed / Te	++	SL	<p>Dans la section "6.2. Caractéristiques du produit participant à la qualité sanitaire de l'eau Sans objet.</p> <p>Des essais de lixiviation ont été effectués sur de l'enrobé bitumineux et les résultats obtenus sont en dessous des seuils réglementaires d'émission ou en dessous des limites de détection (cf. Bitume.info N°26 publié le Septembre 2011 « EAU ET BITUME : PAS DE PROBLÈME ! »).", merci de faire référence à un rapport d'essai officiel plutôt qu'à une brève d'une revue professionnelle</p>	La référence à l'étude effectuée par l'École Supérieure d'Ingénieurs des Travaux de la Construction (ESITC) de Cachan pour l'USIRF en 2011 a été ajoutée.	OK, réponse satisfaisante

"Deloitte" is the brand under which tens of thousands of dedicated professionals in independent firms throughout the world collaborate to provide audit, consulting, financial advisory, risk management, tax and related services to select clients. These firms are members of Deloitte Touche Tohmatsu Limited, a UK private company limited by guarantee ("DTTL"). Each DTTL member firm provides services in particular geographic areas and is subject to the laws and professional regulations of the particular country or countries in which it operates. Each DTTL member firm is structured in accordance with national laws, regulations, customary practice, and other factors, and may secure the provision of professional services in its territory through subsidiaries, affiliates, and other related entities. Not every DTTL member firm provides all services, and certain services may not be available to attest clients under the rules and regulations of public accounting. DTTL and each DTTL member firm are legally separate and independent entities, which cannot obligate each other. DTTL and each DTTL member firm are liable only for their own acts and omissions, and not those of each other. DTTL (also referred to as "Deloitte Global") does not provide services to clients.