HAL
open science

Analyse de Cycle de Vie appliquée à un chantier d'entretien routier sur la RN 76. Evaluation technique et environnementale d'une couche de liaison d'enrobé bitumineux pour différents taux de recyclage. Chapitre 2: Déroulement de l'étude

Agnès Jullien, Pierre Moneron, Anne Ventura, Michel Legret, Dominique Demare, Chantal de La Roche, Michel Schemid, Céline Lachet, David Gaillard, Jack Oudin, et al.

To cite this version:

Agnès Jullien, Pierre Moneron, Anne Ventura, Michel Legret, Dominique Demare, et al.. Analyse de Cycle de Vie appliquée à un chantier d'entretien routier sur la RN 76. Evaluation technique et environnementale d'une couche de liaison d'enrobé bitumineux pour différents taux de recyclage. Chapitre 2: Déroulement de l'étude. Agnès Jullien. Analyse de Cycle de Vie appliquée à un chantier d'entretien routier sur la RN 76. Evaluation technique et environnementale d'une couche de liaison d'enrobé bitumineux pour différents taux de recyclage, IFSTTAR - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, pp.15-26, 2006, Etudes et Recherche des Laboratoires des Ponts et Chaussées - série chaussées, 2-7208-2467-4. hal-00932806

HAL Id: hal-00932806

https://hal.science/hal-00932806

Submitted on 22 Jan 2014

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

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

Analyse de Cycle de Vie appliquée à un chantier d'entretien routier sur la RN 76

Evaluation technique et environnementale d'une couche de liaison d'enrobé bitumineux pour différents taux de recyclage

Décembre 2005

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

L'esprit de recherche au cœur des réseaux

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, bd Lefebvre. F 75732 Paris Cedex 15

Auteurs par organisme et par unités :

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bouguenais (44)

Unité Technologie du Génie Civil et Environnement – Section Développement Durable
Agnès Jullien
Pierre Monéron
Anne Ventura

Unité Eau et Environnement – Section Caractérisation et Transfert des Polluants
Michel Legret
Dominique Demare

Unité Matériaux et Structures de Chaussées – Section Liants et Matériaux routiers
Chantal de la Roche

Direction Départementale de l'Equipement, Blois (41)

Michel Schemid
Céline Lachet

Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes, Bagneux (92)

David Gaillard

Station d'Etude des Matériels Routiers, Blois (41)

Jack Oudin
Jean-Pierre Jacques

Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées

CETE Normandie Centre - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc (29)
Lionel Odie

CETE Normandie Centre - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois (41)
Bernard Meriel
Régis Boittin
Hervé Cabannes
Philippe Jumontier
Sophie Seytre

CETE de l'Ouest - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Angers (49)
Karine Lacoste

CETE de Lyon - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Autun (71)
Louisette Wendling
Michel Bernard

Avec la contribution par organisme et par unités de :

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bouguenais (44)

Unité Technologie du Génie Civil et Environnement – Section Elaboration des Matériaux
Bernard Guieysse
Yvan Baudru

Unité Eau et Environnement – Section Caractérisation et Transfert des Polluants
Laurence Lumière

Unité Matériaux et Structures de Chaussées – Section Liants et Matériaux routiers
Olivier Burban

Direction Départementale de l'Equipement, Blois (41)

Michel Pavie
Claude Sionneau
Patrice Boucher

Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes, Bagneux (92)

Yves Guidoux

Station d'Etude des Matériels Routiers, Blois (41)

Philippe Semelle
Robert Tasky
Gérard Monnière

Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées

CETE Normandie Centre - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois (41)
Philippe Breton
François Bigot
Alain Charles
Michel Delaleu
Laëtitia Heurdier

Ce projet s'est déroulé dans le cadre de l'opération de recherche du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées intitulée « Recyclage et matériaux non conventionnels » au cours de la période 2002-2005, opération pilotée par :

Jean-Claude Auriol
Unité Reconnaissance et Mécanique des Sols - Section Conception des Ouvrages en Terre

Enfin, ce type de réalisation collective n'est possible que grâce à la participation de tous les acteurs concernés : les auteurs souhaitent également remercier tout particulièrement les équipes de fabrication et de mise en oeuvre du Parc Routier de Blois ainsi que la subdivision de Romorentin, respectivement pour la réalisation et le suivi du chantier

CHAPITRE 2 : DEROULEMENT DE L'ETUDE

2.1. INTRODUCTION

La réalisation de l'étude RN 76 a fait appel à de nombreux participants (Tableau 2 - 1), intervenant dans des domaines de compétences très divers. La réalisation de ce projet a nécessité un travail de coordination en amont, afin de définir les étapes d'intervention de chacun des participants. Ce chapitre a pour objectif de décrire l'organisation de ce chantier de façon à situer chaque phase d'intervention dans son contexte, et de les situer les unes par rapports aux autres.

Site	Flux	Réalisation des mesures
Centrale d'enrobage	Emissions dans l'air	SODAE
	Bruit	LR Blois
	Consommations	LCPC / Parc routier Blois / SEMR
	Conformité des matériaux	SEMR / LCPC-TGCE-SEM
Déconstruction Mise en oeuvre	Consommations	LCPC-TGCE-SDD
	Emissions dans l'air	SODAE / LCPC-TGCE-SDD
	Odeurs	SODAE / LCPC-TGCE-SDD
	Bruits	LR Blois
	Conformité des matériaux	SEMR / LCPC-TGCE-SEM

Tableau 2 - 1. partenaires impliqués dans les mesures effectuées

L'étude RN 76 comporte trois grandes phases : la phase de préparation et de réalisation du chantier, la phase de collecte des mesures environnementales, et enfin la phase d'exploitation des diverses données pour la réalisation de l'Analyse de Cycle de Vie. L'expérimentation dont la préparation a débuté début 2001 a été réalisée au deuxième semestre 2001. Par la suite, les travaux de recherche visant à effectuer l'analyse du cycle de vie après la collecte de données ont débuté dès la fin des expérimentations et se sont déroulés sur la période 2002-2003. L'exploitation des résultats quant à elle a nécessité une année supplémentaire. Les trois phases sont décrites dans les chapitres 3 à 5.

La phase chantier est la phase contraignante dans le sens où c'est celle qui a imposé ses impératifs techniques et sa chronologie aux deux autres phases. Elle est présentée dans le chapitre 3 et se décompose en trois étapes :

- une <u>étude préliminaire</u> qui a été entreprise afin de définir et de valider les principes techniques retenus pour le recyclage de l'ancienne chaussée ainsi que les principes d'instrumentation et de mesures environnementales spécifiques à cette étude ;
- la <u>réalisation du chantier</u> lui-même, qui consistait à effectuer la réfection d'un linéaire de chaussée de 600 m, en quatre planches de BBSG 0/10 (béton bitumineux semi-grenu) de 7 cm d'épaisseur, mises en œuvre chacune sur une longueur de 150 m et une largeur de 3,8 m (soit une demi-chaussée) entre le PR 17+835 et le PR 18+435 (dans l'ordre suivant : BBSG 0/10 avec des matériaux

neufs, puis BBSG 0/10 avec respectivement 10%, 20% et 30% d'agrégats d'enrobés issus de la déconstruction de l'ancienne chaussée) ;
- un suivi d'exploitation ultérieur de la nouvelle chaussée.

Pour la phase de collecte des données environnementales, présentée dans le chapitre 4, les mesures se déroulent différemment et font appel à des compétences et des techniques différentes, selon les différents compartiments d'émission dans l'environnement (air, eau, sols). Ainsi, selon les mesures à effectuer, la collecte a pu se dérouler sur site ou hors site, de façon simultanée ou différée.

Enfin, la phase d'exploitation des données collectées pour la réalisation d'un Inventaire de Cycle de Vie, décrite dans le chapitre 5, s'est déroulée postérieurement aux deux autres phases. Cette phase consiste en une harmonisation des données collectées à l'unité fonctionnelle propre à l'inventaire. La connexion directe d'une Analyse de Cycle de Vie à une étude expérimentale, constitue une originalité qui a ses revers du fait du manque de manque de références antérieures. Ainsi, certaines données collectées se sont révélées *a posteriori* non utilisables dans un inventaire.

2.2. CHRONOLOGIE DES PHASES DE L'ETUDE

2.2.1. Chronologie des opérations de la phase de chantier

Les différentes étapes du chantier (préliminaire, réalisation et exploitation) ont fait l'objet chacune de plusieurs opérations, présentées dans le Tableau 2 - 2 (les détails et justifications sont dans l'annexe 2.A.)

Etapes du chantier	***Détail des opérations***
Préliminaire	Caractérisation initiale des planches d'enrobé
	Planche de fraisage de référence
	Caractérisation des matériaux granulaires
	Etudes de formulation
Réalisation	Déconstruction de la chaussée
	Fabrication des enrobés
	Mise en œuvre des enrobés
Exploitation	Suivi du chantier

Tableau 2 - 2. Chronologie des étapes du chantier

Lors de l'étape préliminaire, la caractérisation initiale des planches d'enrobés consistait à effectuer des études du liant ancien, afin de déterminer la nature du liant d'apport (éventuellement régénérant), et à effectuer des carottages pour déterminer la structure de la chaussée. La caractérisation des différents matériaux granulaires a permis le contrôle des caractéristiques initiales des granulats et agrégats. La planche de fraisage de référence a consisté à déterminer les paramètres du vitesse et de profondeur de fraisage, permettant d'obtenir des fraisats calibrés pour un recyclage direct en centrale d'enrobage. Les études de formulation préliminaires, ont été réalisés à partir de cette planche de référence, pour permettre la formulation des taux de recyclage 20 et 30%.

Au cours de l'étape de réalisation du chantier, la conformité de la production ainsi que l'enregistrement (pour surveillance) de la stabilité des paramètres de fonctionnement du procédé de fabrication des enrobés, ont été réalisés.

Enfin, au cours de l'étape d'exploitation, un suivi de la chaussée en service ainsi que des carottages ont été effectués.

2.2.2. Chronologie de la phase de collecte de données environnementales

La collecte de données environnementales, s'est déroulée selon les différentes étapes du chantier rappelées dans le Tableau 2 - 3 ci-dessous. Une première réflexion a préalablement porté sur les modalités de mesures afin que la méthode de collecte des données soit à la fois adaptée aux différentes phases de chantier et aux différentes étapes de l'ACV à réaliser. Pour des motifs purement opérationnels, la collecte de données selon le cycle de vie de la chaussée RN76 a été décomposée selon les processus suivants :

- déconstruction de l'ancienne chaussée,
- production de la ressource en matériaux,
- reconstruction de la chaussée neuve (fabrication, mise en œuvre),
- vie en service.

PHASE CHANTIER		***PHASE DE COLLECTE DE DONNEES ENVIRONNEMENTALES Détail des opérations par domaine***		
Etapes	***Détail des opérations***	***air***	***eau***	***autres***
Préliminaire	Caractérisation initiale des planches d'enrobé			
	Planche de fraisage de référence			
	Caractérisation des matériaux granulaires			- Prélèvements des matériaux granulaires
	Etudes de formulation			- Consommations des matériaux
Réalisation	Déconstruction de la chaussée			- Durées de fonctionnement - Distances de transport - Consommations d'énergie et d'eau - Bruit
	Fabrication des enrobés	- Rejets canalisés (analyses en continu et prélèvements)		
	Mise en œuvre des enrobés	- Rejets diffus (analyses en continu et prélèvements)		
Exploitation	Suivi du chantier		- Rejets de l'ouvrage	- Prélèvements des carottes
	Essais différés en laboratoire	- Analyses chimiques des prélèvements (rejets canalisés et diffus)	Analyses chimiques des : - rejets des matériaux granulaires - rejets des carottes	- Analyse des odeurs (rejets diffus)

Tableau 2 - 3. Phasage de la collecte des données environnementales par rapport aux étapes du chantier

Concernant les émissions à l'air, les rejets canalisés sont ceux de la cheminée de la centrale d'enrobage. Les rejets diffus sont ceux de la mise en œuvre de l'enrobé chaud. Ils ont été mesurés lors de la réalisation du chantier mais pas sur le site de mise en œuvre, en raison des difficultés techniques qu'une telle mesure comporte. Ces rejets ont donc été mesurés à partir de modèles réduits, sur le site de la centrale d'enrobage. Les techniques existantes ont permis d'analyser certains rejets en continu, mais pour d'autre, des prélèvements ont été nécessaires et ils ont été analysés ultérieurement.

Concernant les émissions à l'eau, l'approche différée, réalisée en laboratoire, a permis la caractérisation des matériaux et comportait notamment : l'analyse des fraisats et agrégats dans le cadre de scénarios de percolation ainsi que l'analyse chimique des eaux des essais de perméabilité effectués sur des carottes prélevées sur la nouvelle chaussée après reconstruction.

Enfin, les autres mesures englobaient la mesure des temps de fonctionnement des engins, des consommations, et des nuisances.

2.2.3. Chronologie de la phase d'Analyse de Cycle de Vie

Rappels sur la méthode d'Analyse de Cycle de Vie

Les principales étapes de l'Analyse de Cycle de Vie sont rappelées dans la Figure 2 - 1 ci-dessous.

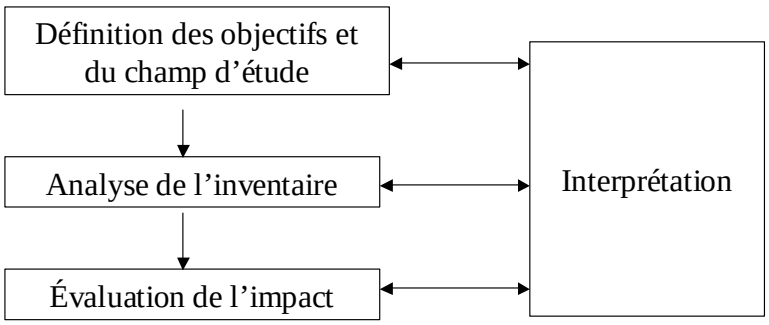

Figure 2 - 1. étapes de l'ACV selon la norme ISO 14040

Les différentes étapes de l'ACV sont expliquées ci-dessous :

- **1-** <u>Définition des objectifs et du champ d'étude :</u> cette étape permet d'expliciter précisément les procédés étudiés, en fixant notamment les frontières du système étudié, en fonction de l'objectif de l'étude. Elle permet aussi de définir l'unité fonctionnelle (UF) qui sert de base d'évaluation, en l'occurrence, pour le chantier RN76, d'unité de comparaison entre les quatre taux de recyclage choisis (0,10,20 et 30%).
- **2-** <u>Inventaire de Cycle de Vie (ICV)</u> : il consiste à répertorier et à quantifier les flux de consommations et de rejets, qui circulent d'une part entre les différents procédés identifiés du système, et d'autre part entre l'intérieur et l'extérieur du système. La norme précise que la gamme des flux à prendre en compte n'est pas forcément exhaustive, mais que les choix doivent être le fruit d'un compromis entre

une bonne représentativité environnementale et un coût économique raisonnable. Les flux pris en compte doivent être clairement décrits et justifiés, ainsi que les flux éventuellement écartés. La norme ne précise pas les méthodes à mettre en œuvre pour quantifier les flux.

- **3-** évaluation des impacts sur l'environnement : cette étape consiste à traduire les flux élémentaires recensés en impacts sur l'environnement [ROUSSEAUX, 1998] à l'aide d'indicateurs, quantitatifs dans la mesure du possible. Un impact sur l'environnement peut être positif ou négatif. Cette étape sert à synthétiser les multiples valeurs de flux recensées en un nombre plus réduit de données, censées représenter les effets sur l'environnement. L'évaluation des impacts n'est pourtant pas souvent menée à terme, car elle reste le sujet de nombreux courants et controverses au niveau scientifique international. En effet, la méthodologie à suivre n'est pas imposée par la norme qui donne simplement un cadre. Les différentes méthodes existantes sont fondées, et donc tributaires, des connaissances scientifiques du moment [SETAC, 1998]. Le choix de la méthode d'évaluation des impacts, est donc éminemment dépendant des objectifs de l'étude [SETAC, 1998]. L'évaluation des impacts se découpe en deux étapes :
  - la *classification des impacts* pour laquelle il s'agit de définir une liste pertinente de catégories d'impacts à prendre en compte et d'y affecter les flux recensés lors de l'inventaire ;
  - la *caractérisation des impacts* qui vise à définir l'indicateur d'impact qui permettra de quantifier la contribution spécifique de chaque flux affecté à la catégorie d'impact considérée. Ces contributions sont ensuite agrégées pour chaque catégorie d'impact.
- **4 -** interprétation : cette étape est réalisée au fur et à mesure des trois autres étapes, afin de comprendre, d'interpréter et de critiquer les résultats obtenus. Elle comprend entre autres, l'analyse des variabilités et des incertitudes [SETAC, 1994], mais celle-ci n'est qu'abordée dans ce document car elle nécessite des investigations plus poussées. Cette étape apparaît aujourd'hui indispensable pour prendre le recul nécessaire avant de conférer un caractère général à des résultats d'ACV.

Chronologie des étapes de l'Analyse de Cycle de Vie

Les étapes de l'ACV ont été réalisées comme détaillé dans le Tableau 2 - 4. L'étape de définition des objectifs et du champ d'étude a été définie *a priori*, avant le lancement de l'étude, et n'a pas été modifiée par la suite. Les étapes d'inventaire et d'évaluation des impacts environnementaux n'ont pu être effectuées qu'à la suite du chantier, lorsque les résultats des essais différés en laboratoire ont été disponibles.

<table>
<tr><th colspan="2">PHASE CHANTIER</th><th colspan="2">PHASE ACV</th></tr>
<tr><th>Etapes</th><th>Détail des opérations</th><th>Etapes</th><th>Détail des opérations</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Préliminaire</td><td>Caractérisation initiale des planches d'enrobé</td><td rowspan="4">Définition des objectifs et du champ d'étude</td><td rowspan="4">- Objectifs
- Limites du système
- Unité fonctionnelle</td></tr>
<tr><td>Planche de fraisage de référence</td></tr>
<tr><td>Caractérisation des matériaux granulaire</td></tr>
<tr><td>Etudes de formulation</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Réalisation</td><td>Déconstruction de la chaussée</td><td colspan="2" rowspan="5">(Phase de collecte expérimentale des données environnementales, voir Tableau 2 - 3)</td></tr>
<tr><td>Fabrication des enrobés</td></tr>
<tr><td>Mise en œuvre des enrobés</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Exploitation</td><td>Suivi du chantier</td></tr>
<tr><td>Essais différés en laboratoire</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Exploitation différée des résultats</td><td>Inventaire</td><td>- Collecte de données bibliographiques
- Harmonisation des données collectés à l'unité fonctionnelle</td></tr>
<tr><td>Evaluation des impacts</td><td>- Classification des impacts
- Caractérisation des impacts</td></tr>
</table>

Tableau 2 - 4. Phasage de l'analyse de cycle de vie par rapport aux étapes du chantier

2.3. COHERENCE ENTRE LES DIFFERENTES PHASES DE L'ETUDE

La coordination des trois phases de l'étude est résumée dans le Tableau 2 - 5 ci-dessous.

Chronologie	Phase chantier	Phase collecte	Phase ACV
Avant-Projet			
Réalisation			
Exploitation			

Tableau 2 - 5. Chronologie des trois phases d'étude

Dans cette partie, la cohérence de l'ensemble est analysée de façon chronologique selon les trois étapes d'avant-projet, de réalisation et d'exploitation, qui ont donc été calquées sur les étapes classiques de la phase chantier.

2.3.1. Cohérence de l'étape d'avant-projet

L'objectif de l'étude RN 76 a été fixé dès le départ du projet et est résumé dans la Figure 2 - 2 ci-dessous.

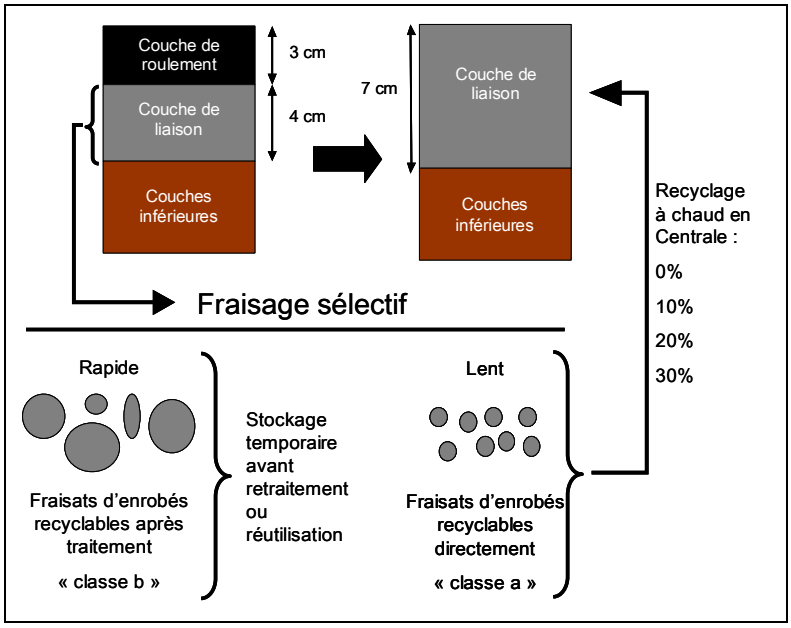

Figure 2 - 2. Représentation schématique de l'objectif de l'étude RN 76

Il s'agit de comparer le produit « couche de liaison », selon des variantes de taux de recyclage du matériau « fraisats d'enrobé » produit par le procédé spécifique de fraisage sélectif.

Le champ temporel de l'étude comprend l'élaboration des matériaux utilisés dans la production et la mise en œuvre des enrobés de la couche concernée, la vie en place de la couche lors de l'exploitation de la route, et sa fin de vie. Le champ spatial comprend l'ensemble des procédés utilisés depuis les ressources naturelles (pétrole, granulats naturels) et recyclées (fraisats d'enrobés), jusqu'à la construction de la couche concernée (mise en œuvre). Il comprend également tous les procédés de production de l'énergie utilisée lors des différentes étapes de production, ainsi que les procédés de production et d'entretien des matériels utilisés.

Le choix du système consiste à borner le champ d'étude. Il a été défini à partir de l'objectif comme montré dans le Tableau 2 - 2.

Système			Cycle de vie		
extraction des matières premières	Agrégats naturels (carrière)	x	Construction	Mise en œuvre	x
	Pétrole brut (puit)	x	Entretien structurel	Suivi des dégradations	x
				Mise en œuvre	
production des matériaux	Bitume (raffinerie)	x		Congestion	
	Enrobé (centrale d'enrobage)	x	Exploitation	Trafic	
	Additifs (ind. pétrochimique)			Entretien courant	
	Fraisats à recycler (fraisage)	x		Viabilité hivernale	
production d'énergie				Balayage	
traitement déchets ou effluents		(x)		Signalisation	
production et entretien du matériel		(x)		Eaux de percolation	x
transport (matériaux et matériel)		x	Fin de vie		

Tableau 2 - 6. procédés et cycle de vie pris en compte pour l'étude
x ***pour pris en compte totalement et (x) pour pris en compte partiellement***

Concernant le cycle de vie, la construction de la couche de liaison, et le suivi des dégradations et des eaux de percolation de la chaussée pendant plusieurs mois, sont les seules étapes considérées, car les autres sont considérées indépendantes du taux de recyclage.

Parmi les procédés, la production des additifs du bitume par l'industrie pétrochimique n'a pas été incluse car les études préliminaires, détaillées dans le chapitre 3, ont montré que l'ajout de fluxant n'était pas nécessaire. Le fraisage est considéré comme un procédé de production du matériau à recycler. Les procédés de production d'énergie n'ont pas été pris en compte, car ils sont considérés identiques pour les quatre variantes étudiées. Les procédés de traitement des déchets ne sont pas inclus. Les informations concernant la quantité de déchets générés, et leur mise en stock, ont été considérées suffisantes pour comparer les variantes. Les procédés de production du matériel (engins, installations) sont des ACV à part entière, écartées car hors du champ de compétence de cette étude. Le seul paramètre étudié concerne l'usure des dents du rotor de la fraiseuse. La Figure 2 - 3 récapitule l'ensemble des procédés pris en compte dans l'étude RN 76.

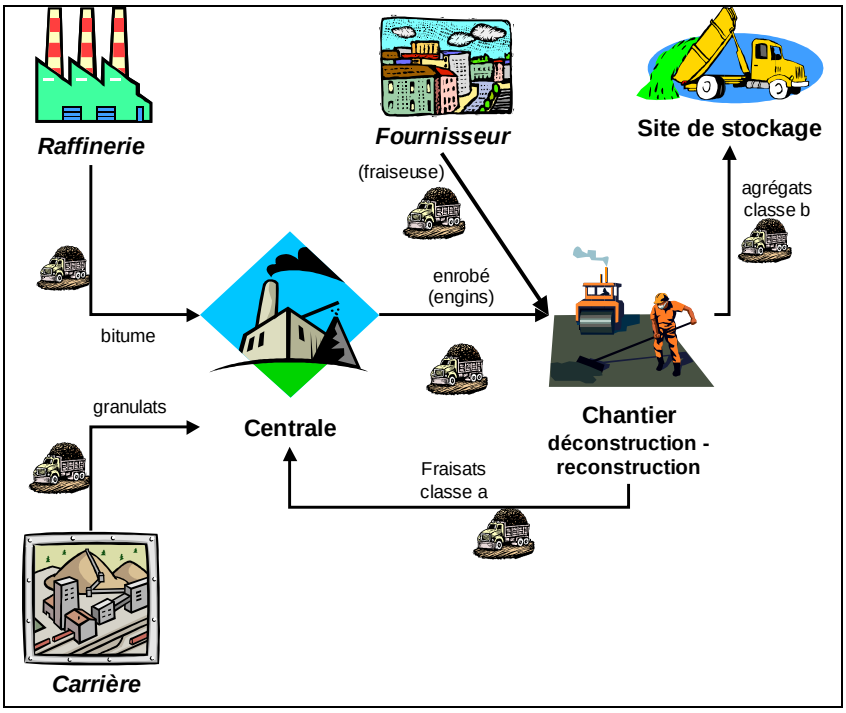

Figure 2 - 3. Système étudié

A partir des objectifs, une unité fonctionnelle a été choisie, afin de faire le lien entre les différents procédés du système. Pour des raisons de faisabilité, notamment de réalisation des expérimentations en un temps limité et d'organisation du Parc, l'unité fonctionnelle a été choisie comme étant une heure de production de centrale d'enrobage à une cadence de 100 tonnes/heure. Cette unité fonctionnelle a ensuite été déclinée par procédé en terme de masses de matériaux (Tableau 2 - 7).

Produit	enrobés (t)	granulats (t)	bitume (t)	fraisats classe a (t)
Procédé	**centrale**	**carrière**	**raffinerie***	**fraisage sélectif****
0 %	100	94,8	5,39	0
10 %	100	85,3	5,00	11,5
20 %	100	75,8	4,40	21,6
30 %	100	65,3	3,90	33,1

Tableau 2 - 7. masses de matériaux par procédé correspondant à l'unité fonctionnelle
****les masses de bitume comprennent les masses utilisées pour la production d'enrobé, et le bitume utilisé pour la couche d'étanchéité (0,18 tonnes)***
***** les masses de fraisats ont été déterminées ultérieurement à l'aide d'un scénario décrit dans le chapitre 5***

Enfin, les masses d'enrobé ont été déclinées en terme de paramètres géométriques pour les procédés concernés par la couche de liaison : fraisage, mise en œuvre et suivi en service, comme résumé sur la Figure 2 - 4.

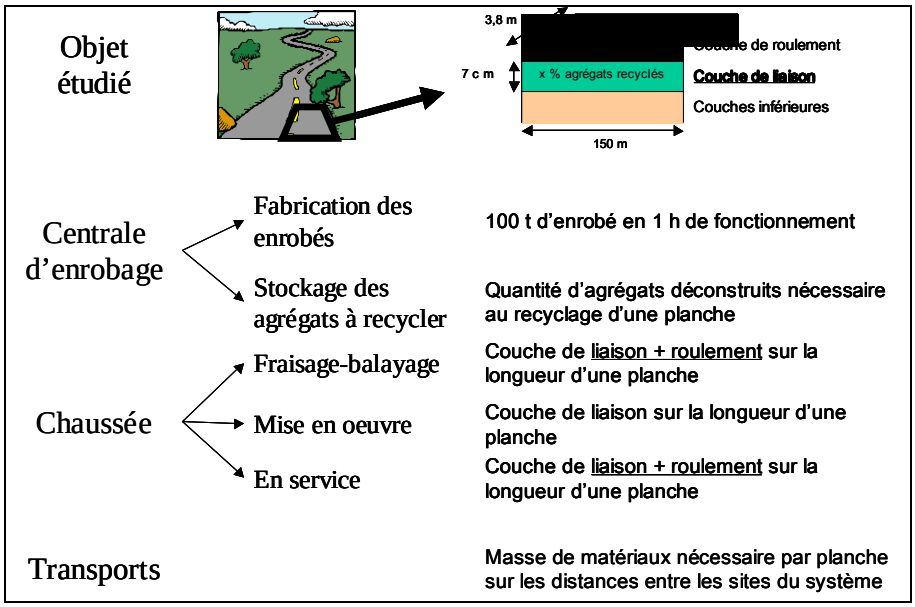

Figure 2 - 4. Déclinaison de l'unité fonctionnelle par procédé ou étape du cycle de vie

L'unité fonctionnelle correspond à la mise en place d'une couche de liaison de demi-chaussée de longueur 150 m, de largeur 3,8 m et d'épaisseur 7 cm. Etant donné que la couche de liaison de la RN76 est l'objet d'étude, la couche de roulement se trouve normalement en dehors du système. Cependant, pour certaines opérations des trois phases de l'étude, elle est prise en compte. Ainsi, le fraisage de la couche de liaison impose celui de la couche de roulement au préalable, dont les modalités de fraisage sont susceptibles de varier en fonction du taux de recyclage. Egalement, le suivi en service concerne l'ouvrage et la couche liaison ne peut être dissociée de la couche de roulement.

Les travaux du chantier RN76 ont été définis conformément au plan d'expérience défini par l'ACV. Sur le site RN76, en accord avec le PARC, chaque planche a bien été achevée après 150 mètres de longueur (mesuré), sur une demi-chaussée de

largeur 3,8 m et pour une épaisseur d'enrobé neuf de 7 cm. La centrale d'enrobage a fonctionné pendant une heure à 100 tonnes/heure.

2.3.2. Cohérence de l'étape de réalisation

Les procédés d'entretien directement liées aux travaux routiers (fraisage sélectif et mise en œuvre), ainsi que le procédé de production du matériau enrobé bitumineux, ont été réalisés selon les paramètres définis dans l'étape d'avant-projet, et ont fait l'objet de mesures environnementales. La Figure 2 - 5 résume les données collectées en fonction des procédés du système.

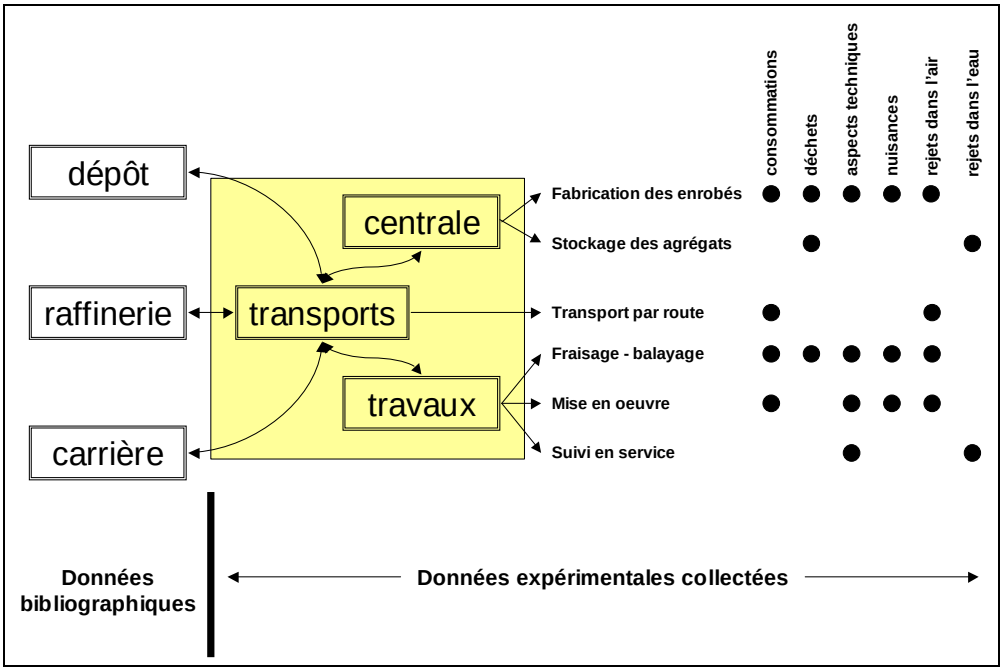

Figure 2 - 5. Données collectées par procédé

La collecte expérimentale des données a été articulée, selon les besoins de l'étude RN 76, autour des axes suivants :

- estimation sur site des données ne pouvant faire l'objet d'une mesure en continu et nécessitant une approche analytique pour l'estimation de l'incertitude (ex : consommation moyenne des engins par différence de relevés compteurs),
- mesures sur les sites permettant d'établir une loi de répartition conduisant au calcul d'une valeur moyenne et d'un intervalle de confiance.

Cette collecte est détaillée dans le chapitre 4 en détaillant les parties suivantes :

- les consommations concernent la consommation énergétique (électricité, gaz, gasoil), et les consommations en eau et en matériaux ;
- les déchets concernent les masses de matériaux produites recyclées ou non (fraisats déconstruits, balayures de fraisats, « blancs« de fabrication d'enrobés) ;
- les rejets dans l'air concernent les Carbones Organiques Totaux (COT), les oxydes d'azote (NOx), les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), le dioxyde de carbone (CO_2) et les particules. Ce choix s'est basé sur les textes réglementaires en vigueur à la date du chantier, auxquelles ont été ajoutées des données complémentaires à partir des connaissances environnementales. C'est le cas du

dioxyde de carbone (CO_2) au titre de sa contribution à l'effet de serre, et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) au titre de leurs effets toxiques ;
- les rejets dans l'eau suivis ont été choisis en fonction de la réglementation et des études bibliographiques disponibles. Ils concernent le pH et la conductivité, les indicateurs d'état (Demande Chimique en Oxygène, indice NTK, Carbone Organique Total COT), des éléments minéraux (Cl, SO4, NO3, Ca, Mg, Na, K, Mn), les métaux (Al, Pb, Cd, Hg, Cr , Ni, Cu, Fe, Zn, Mo), des éléments organiques (HAP, les hydrocarbures totaux HT, et Polychlorobiphényls PCB) ainsi que les matières en suspension MES ;
- les nuisances concernent les bruits et les odeurs. Le choix des paramètres de bruit suivis et analysés (puissance acoustique Lw, indice énergétique Leq et analyse fréquentielle) s'est basé sur la réglementation et la bibliographie. Les mesures concernant les odeurs sont basées sur la détermination d'un seuil de perception.

2.3.3. Cohérence de l'étape d'exploitation

Cette étape a d'abord consisté à effectuer un suivi des sections d'étude de la RN 76 : un suivi de dégradations, décrit dans le chapitre 3, ainsi qu'un suivi des eaux de percolation, décrit dans le chapitre 4. Ce suivi a été réalisé sur un peu moins de deux années.

La collecte des données expérimentales, a été complétée par une recherche bibliographique dans les problématiques éloignées du domaine de compétence du LCPC et indispensables à la formalisation complète du problème posé, par exemple, les consommations des véhicules de transport. Un inventaire a ensuite été réalisé. Le regroupement des différentes données obtenues a nécessité une harmonisation des données mesurées pour les différents procédés afin de les faire correspondre à l'unité fonctionnelle massique du Tableau 2 - 7 ou géométrique de la Figure 2 - 4. En effet, les données expérimentales collectées ne sont pas forcément immédiatement cohérentes à l'unité fonctionnelle. Certaines données sont collectées à une échelle différente de l'objet étudié. Par exemple les émissions à l'air de l'enrobé chaud ont été mesurées sur une planche de taille réduite par rapport à la section de route étudiée. D'autres données expérimentales, de par la technique d'analyse utilisée, fournissent des valeurs de concentrations et non de flux, et une conversion a été nécessaire. C'est le cas des émissions à l'air de la centrale d'enrobage. D'autres données encore se sont avérées insuffisantes pour une harmonisation et il a fallu élaborer des scénarios afin d'obtenir les valeurs d'inventaire. C'est le cas de l'étape de fraisage. Enfin, d'autres données, malgré leur pertinence, n'ont pas pu être attribuées à l'unité fonctionnelle pour des raisons méthodologiques, et n'ont pas été incluses dans l'inventaire. Tous ces cas sont décrits dans le chapitre 5.

L'évaluation des impacts a également été réalisée. Sa réalisation a été effectuée en suivant le cadre de la norme ISO 14043 dont le principe est schématisé sur la Figure 2 - 6. Les flux de l'inventaire ont été répartis entre les différentes catégories d'impacts selon la nature de leur contribution (simultanée, exclusive ou successive). Lorsqu'ils existent, des indicateurs de chaque catégorie ont été calculés, par procédé et pour l'ensemble du système.

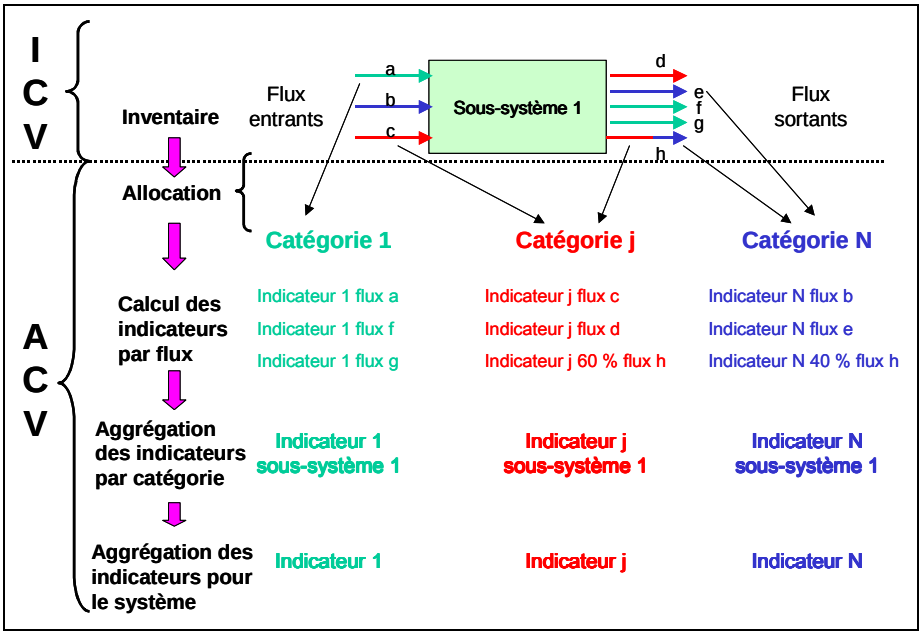

Figure 2 - 6. De l'inventaire à l'évaluation des impacts

Cette partie n'est pas détaillée dans cet ouvrage, car elle a fait l'objet d'une publication antérieure [Ventura et al, 2003].