

Auteurs :

Agnès JULLIEN, François de LARRARD
LCPC, route de Bouaye, BP4129,
44341 BOUGUENAIS cedex, FRANCE
e-mail : agnes.jullien@lcpc.fr, larrard@lcpc.fr

Comité : C 14

Titre : Vers une évaluation environnementale globale des matériaux et des techniques routières en France

Résumé : Ce travail s'inscrit dans le cadre de la création d'une nouvelle équipe de recherche du LCPC, réalisant des travaux dans le domaine du développement durable appliqué aux routes. Les premiers projets de recherche en cours, un chantier de recyclage d'enrobés à chaud et une base de données sur le recyclage de matériaux dans les routes, ont permis de collecter un grand nombre de données environnementales. Ces projets ont également conduit à d'une part appliquer la méthodologie ACV aux routes et d'autre part montré que les aspects liés au territoire étaient importants. Les travaux ont ainsi été axés sur le développement d'une approche spécifique modulaire routière qui pourrait être par la suite étendue aux sphères économique et sociale.

1. INTRODUCTION

Dans le passé, le LCPC s'intéressait surtout à la construction de nouvelles infrastructures dans le domaine des matériaux et des structures. Depuis quelques années, la gestion rationnelle du patrimoine existant fait l'objet de plus d'attention. Il s'agit à présent de maintenir et d'adapter les ouvrages à l'évolution des exigences en matière d'environnement et de sécurité. Ainsi, il devient crucial d'optimiser les politiques de maintenance, de contrôler les risques naturels et les impacts environnementaux des infrastructures tout au long de leur cycle de vie. Par ailleurs, le processus de recyclage doit se développer, et ce particulièrement dans le domaine routier, compte tenu du souci croissant pour les questions d'environnement, et de la loi française de 2002 relative aux mises en décharge. Ainsi, seuls les déchets ultimes pourront être stockés.

Par ailleurs, à l'échelle internationale, le développement durable a récemment rassemblé les pays à Johannesburg (2002), sur des sujets tels que la préservation des ressources et la réduction de la pollution. On assiste ainsi à une demande croissante pour des outils d'aide à la décision, prenant en compte non seulement les facteurs environnementaux, mais également économiques et sociaux.

Dans ce contexte une nouvelle équipe de recherche, appelée « cellule développement durable » a été créée avec l'idée de développer des approches plus globales des infrastructures routières en considérant à côté des aspects techniques tant des critères environnementaux, économiques que sociaux. Les travaux de cette équipe ont d'abord porté sur la problématique de l'environnement, avec comme objectif final de développer et proposer des outils d'aide à la décision dans le contexte routier, qui se caractérise par un manque de données environnementales. Cet article en présente en premier lieu les deux principaux projets, plus particulièrement centrés sur le recyclage. Le premier d'entre eux a pour objet l'outil méthodologique Analyse du Cycle de Vie (ACV) et sa mise en application dans le cas d'infrastructures routières et d'enrobés recyclés. En effet, depuis les années 1980, l'ACV a été largement utilisée dans de nombreuses industries, afin d'améliorer les

connaissances des filières étudiées. L'intérêt qui lui est porté est grandissant dans le secteur du bâtiment, tandis qu'il reste peu utilisé dans le domaine des routes, en particulier en France. Une approche basée sur l'ACV qui est un outil normalisé, peut être considérée comme la première étape de l'élaboration d'un outil d'aide à la décision dans le domaine de l'environnement. Quant au deuxième projet de la cellule, son objectif consiste à collecter des données se rapportant à différentes matières premières secondaires et leur utilisation en génie civil dans le domaine routier, d'un département français à l'autre. Après une présentation de ces projets, une discussion concernant les modalités d'étude utiles à la réalisation d'approches globale de l'environnement routier est proposée.

2. PRESENTATION DES RECHERCHES EN COURS

2.1 Un chantier expérimental de recyclage.

La fabrication des enrobés à base d'agrégats et leur mise en œuvre sont aujourd'hui parfaitement maîtrisées sur le plan technique, jusqu'à des taux de recyclage élevés. Le recyclage, s'il doit être étendu dans les années futures, doit cependant faire l'objet d'études prévisionnelles, notamment environnementales, permettant d'optimiser les choix techniques dans chaque contexte local de chantier. Une telle approche nécessite de développer et valider un outil global d'évaluation environnementale le plus complet possible.

Sur proposition du LCPC, la Direction des Routes a demandé au SETRA de monter une expérimentation permettant d'appliquer la méthodologie de l'analyse du cycle de vie (ACV) à la construction d'une chaussée avec des granulats neufs et recyclés à différents taux, afin d'en évaluer les impacts sur l'environnement (air, eau, énergie et personnels). Fruit d'une étroite collaboration entre la DDE du Loir et Cher, le LCPC et le SETRA, le chantier de réhabilitation de la chaussée de la RN 76 à hauteur de Romorantin a été réalisé en Septembre 2001 par le Parc de Blois, permettant la mise en place d'un programme de suivi spécifique, des différents impacts sur l'environnement de la construction d'une chaussée. La réalisation de l'ensemble a nécessité la collaboration du LCPC (trois Divisions au total), du PARC routier de Blois (DDE 41), de la subdivision de Romorantin (DDE 41) et des LRPC de Blois, Saint-Brieuc, d'Angers et d'Autun et du CETE de Lyon.

Une phase d'étude des modalités d'application des méthodologies existantes, en particulier celle de l'analyse du cycle de vie a d'abord été mise en œuvre. L'analyse de cycle de vie comporte quatre étapes principales : la définition des objectifs et du champ d'étude (ISO 14 040), l'inventaire (ISO 14 041), l'analyse des impacts (ISO 14 042) et l'interprétation (ISO 14 043). Il est à noter que l'analyse des incertitudes est traitée pour le cas RN76 dans l'étape d'interprétation.

Ensuite, l'étude environnementale du chantier RN76 a été conduite en deux temps : une première partie a été consacrée en 2002 à l'analyse de l'inventaire du cycle de vie de la chaussée (**collecte de données** et la **quantification des flux de polluants**), une deuxième partie prévue pour 2003 concerne l'analyse des impacts sur l'environnement en phase de construction de la chaussée. Seuls les éléments concernant la première partie (ICV de la chaussée en construction) sont finalisés.

De très nombreuses données environnementales ont été collectées au cours du chantier pour l'unité fonctionnelle choisie: air, eaux, odeurs, bruits consommation de ressources. Le paramètre principal d'étude était pour ce chantier le taux de recyclage en centrale d'enrobage à chaud. En effet, les enrobés constituent le matériau prépondérant entrant dans la construction et l'entretien des chaussées en France.

La figure 1 présente pour la chaussée RN76, le positionnement des planches d'étude réalisées et les dimensions correspondantes. Les taux de recyclage de l'ancienne couche de liaison ont été les suivants : 0% (cas de référence), 10%, 20% et 30% d'agrégats obtenus par fraisage. Les anciennes couches de roulement (3cm) et de liaison (4cm) ont été déconstruites puis reconstruites en une fois en une nouvelle couche de liaison (7cm). Pour travailler avec un jeu de données le plus homogène possible, des planches routières accolées ont été réalisées et les travaux ont été effectués le même jour. L'unité fonctionnelle est définie par: 100 tonnes d'enrobés, équivalentes à 1 heure de fabrication en centrale d'enrobage, équivalente à une planche de couche de liaison de dimensions (en mètres) 150 x 3,80 x 0,07.

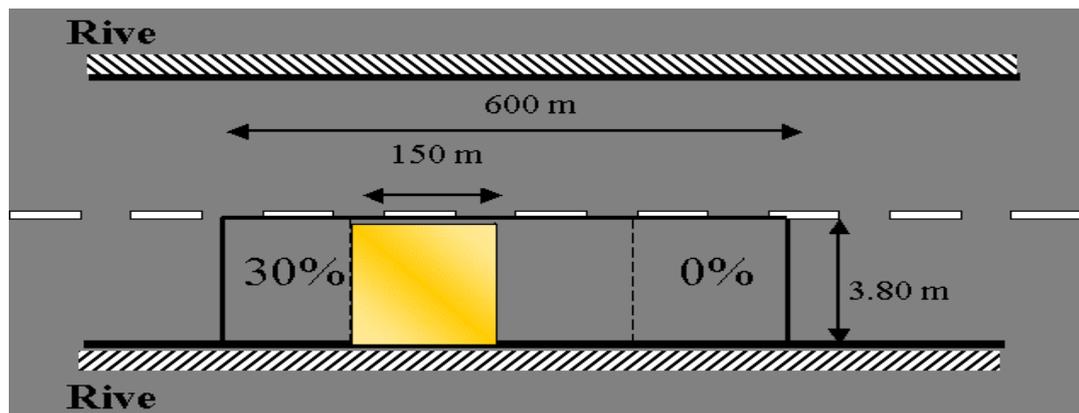
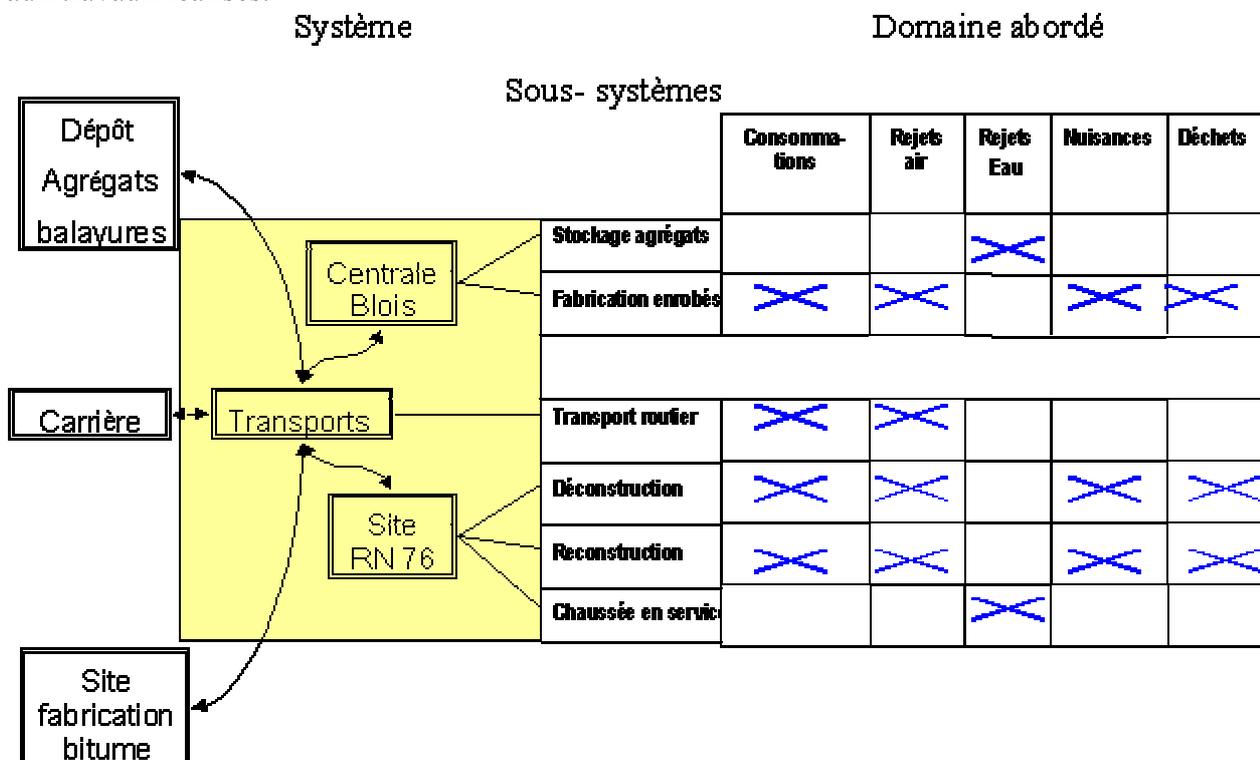


Figure 1 : planches réalisées pour le chantier expérimental RN 76.

La figure 2 récapitule l'ensemble des éléments pris en compte dans l'étude RN76, selon les différents sites géographiques (production des matériaux constitutifs, fabrication des mélanges, réalisation de la nouvelle chaussée ..) et sous-systèmes liés au cycle de vie de la couche de liaison et aux travaux réalisés.



Les sous-systèmes élémentaires considérés pour cette phase d'inventaire des consommations et des rejets engendrés, pour l'ensemble des quatre taux de recyclages, étaient donc les suivants :

- stockage des agrégats,
- fabrication des enrobés,
- transport routier,
- déconstruction sélective ou non de la chaussée ancienne,
- reconstruction de la chaussée neuve (couche de liaison),
- chaussée neuve en service.
-

Pour chaque sous-système, il s'agissait, pour effectuer un inventaire partiel, de déterminer : i) les consommations (électricité, gaz, eau, gasoil, ..), ii) les rejets dans l'air (COV, NOx, HAP, CO₂, particules..), iii) les rejets dans l'eau (HAP, HT, métaux lourds, MES..), iv) les nuisances (bruits et odeurs) et v) les déchets (matériaux déconstruits, blancs de fabrication ...).

Les figures 3 et 4 ci-dessous illustrent différents résultats obtenus à ce jour, respectivement en termes de consommations (hors gaz et électricité, comptabilisés à part car reliés à l'énergie) et émissions. Les consommations en eau et en acier (Figure 3) augmentent avec le taux de recyclage, mais de façon non linéaire puisque les taux de recyclage 10 et 20% sont quasiment équivalents. La consommation d'eau est due aux tâches opérationnelles de fraisage (majoritairement), balayage, et compactage. La consommation en acier due à l'usure des dents de la fraiseuse, l'est également. Ces résultats sont donc directement liés au matériel de fraisage utilisé ainsi qu'aux scénarios de chantier choisis. Quant aux émissions de CO₂ (figure 4), elles varient en ordre inverse des consommations de granulats observées en figure 3.

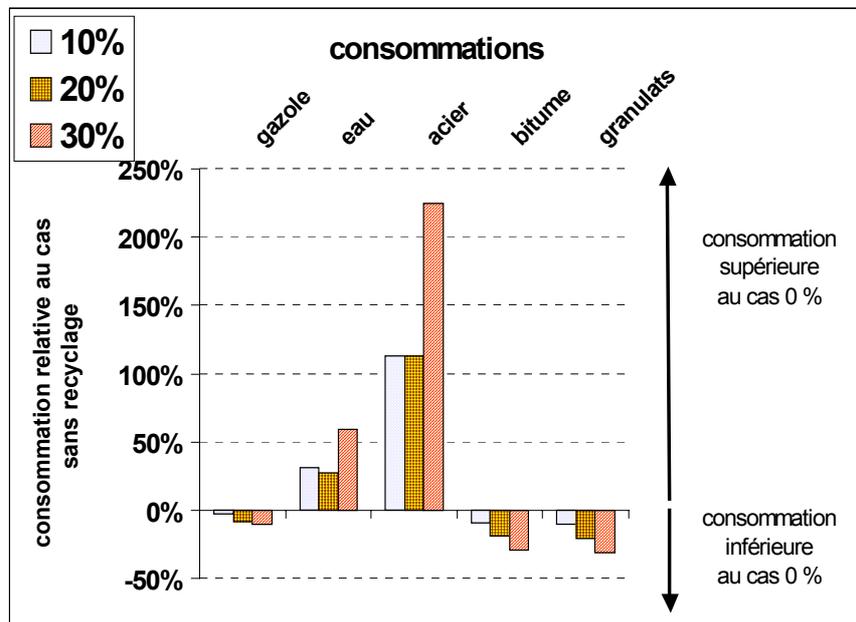


Figure 3 : Consommations relatives des différentes ressources en fonction du taux de recyclage pour l'ensemble du chantier avec référence à la solution sans recyclage (taux=0%).

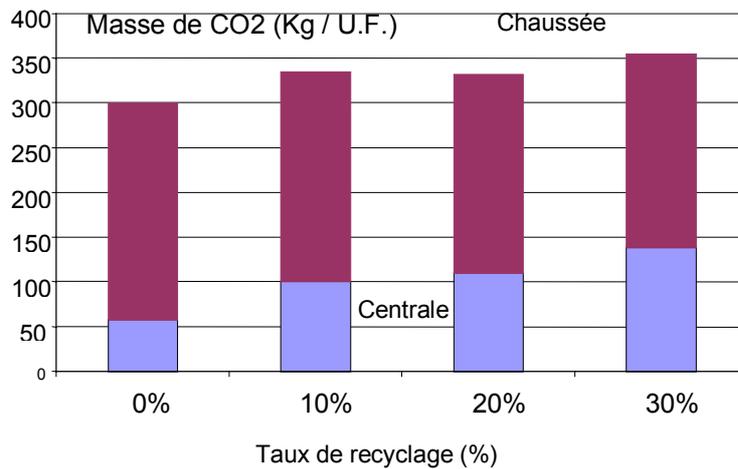


Figure 4 : Inventaire des émissions de CO₂ pour chaque planche expérimentale et pour l'ensemble du chantier.

Aucune solution préférentielle évidente ne se dégage directement de cette phase d'inventaire, il faut attendre l'étude des impacts avant que des conclusions ne puissent être tirées pour ce chantier particulier.

2.2 Réalisation d'un observatoire français du recyclage dans les infrastructures routières

Un deuxième projet a été démarré en 2002, visant à constituer une base de connaissances et de données concernant les produits susceptibles d'être utilisés en technique routière. En effet, pour une meilleure maîtrise du recyclage, il importe d'apporter une information fiable à tout ceux, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises, fournisseurs de matériaux, qui participent à l'acte de construire. Les questions environnementales, généralement jugées les plus critiques, sont celles pour lesquelles la transparence est la plus nécessaire.

Pour ce qui concerne le recyclage dans la route, personne aujourd'hui ne possède la totalité des compétences géotechniques, routières, environnementales, économiques, juridiques etc. nécessaires pour une gestion optimale de la ressource en matériaux. Ce n'est que dans l'association des divers spécialistes, et dans un effort de dialogue entre spécialistes et praticiens, que pourront s'élaborer collectivement des pratiques saines et des politiques soutenables sur le long terme.

La route a toujours fait l'objet d'expérimentations en vraie grandeur, sous la forme de planches d'essais, de mises en œuvre expérimentales visant à tester des matériaux ou des techniques innovantes. Malheureusement, le suivi de ces planches n'est pas toujours possible au-delà de quelques années, en particulier lorsque les acteurs locaux changent. Lorsqu'il s'agit de matériaux soulevant des questions environnementales (dont l'impact ne peut se produire qu'à moyen ou long terme), cette rupture est d'autant plus regrettable.

C'est sur la base de ces considérations que le projet **OFRIR** (Observatoire Français du Recyclage dans les Infrastructures Routières) a été lancé, après une phase de préparation d'une année environ. Il vise à mettre à disposition (<http://ofrir.lcpc.fr>) des acteurs nationaux de la route une information classée, synthétisée et ayant reçu un certain niveau de validation, de façon à favoriser les démarches de recyclage, tout en signalant les différents obstacles, notamment d'ordre géotechnique et environnemental.

Outre le LCPC et le réseau technique de l'Équipement, le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) et l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) prennent une part active au projet, soutenu par les institutions suivantes : METLTM/DRAST et DR (Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer/Direction des Affaires Scientifiques et Techniques et Direction des routes), du MEDD/DPPR (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable/Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques), de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) et du SETRA (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes).

Ce projet a vocation à rassembler toutes les bonnes volontés, au travers du club d'échange de données. La figure 5 en présente le principe de fonctionnement. Il sera un outil précieux pour l'aspect bibliographique et pour la diffusion des résultats des recherches menées sur le recyclage. Sa mise en œuvre, par la transversalité et la « bonne gouvernance » qu'elle sous-entend (association de tous les acteurs à la recherche d'un consensus commun), s'inscrit bien dans une démarche de développement durable.

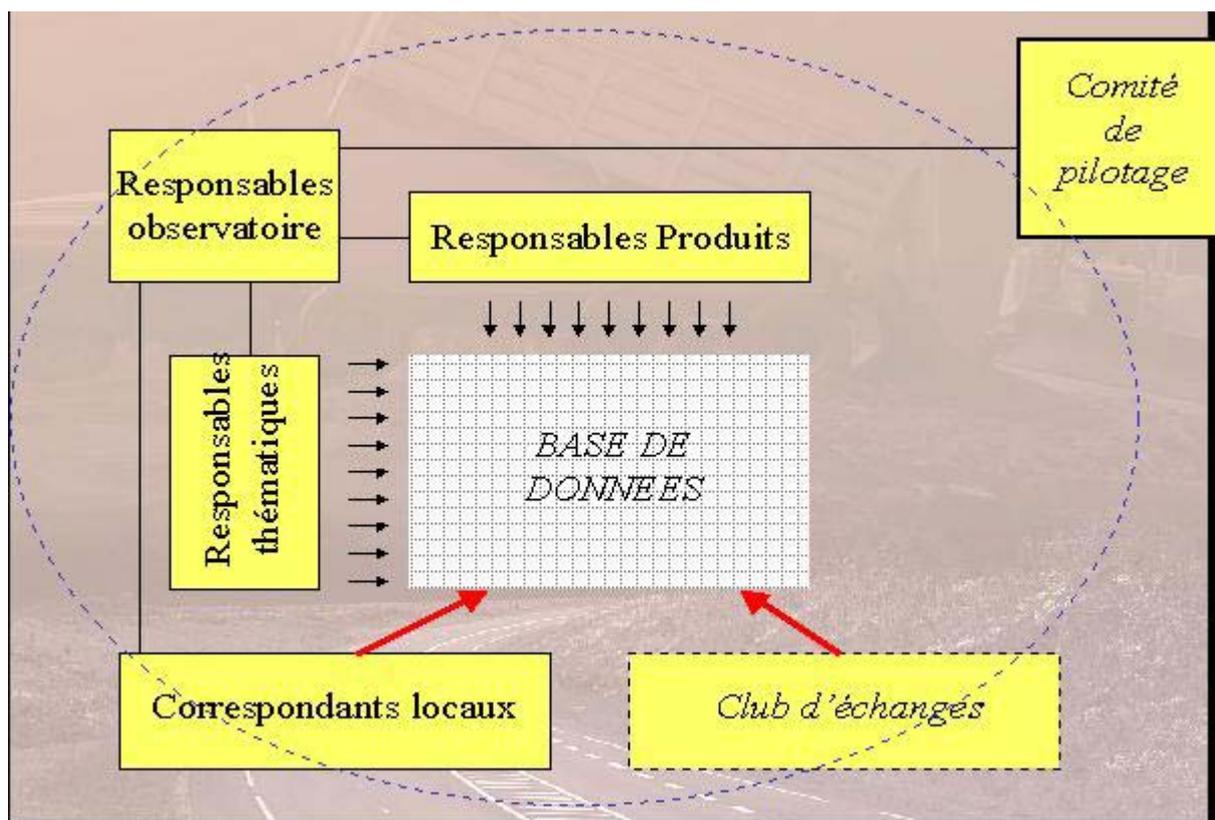


Figure 5 : principe de fonctionnement de l'observatoire OFRIR.

3. APPROCHE GLOBALE DE L'ENVIRONNEMENT ROUTIER

3.1 ACV appliquée aux routes

Le chantier expérimental RN76, présenté au paragraphe précédent, avait pour objectifs de permettre une première analyse et exploitation de données environnementales dans le cadre général de l'analyse du cycle de vie (ACV). Plus généralement, différents éléments de bibliographie constituent un apport initial intéressant dans le domaine étudié.

A l'échelle du projet routier: les études d'impact (réglementation française) qui constituent une source d'information importante, ne sont pas destinées à évaluer les flux de matières premières, d'énergie ou de rejets. Elles n'abordent pas non plus les aspects liés à la construction et la maintenance des routes mais s'intéressent en revanche au territoire traversé et à la prise en compte de différents critères décisionnels. Il est à noter concernant les aspects réglementaires que des travaux mentionnent certains textes comme peu adaptés aux routes (Debièvre A 1997, Merle J.P, 2000).

Au stade du produit fini : Il existe une littérature fournie en matière d'ACV, notamment les normes méthodologiques de la série ISO 14040, appliquées à différentes filières industrielles. A ce jour, quelques travaux sur le sujet ont été menés dans le domaine routier : Lundström K. (1998), Mroueh U.-M et al (2001), Schuurmans-Stehmann (1994), Stripple H. (2001). Parmi les données publiées, on dispose aussi d'éléments concernant l'inventaire de la production de certains liants bitume, Blomberg et al (1999) et ciment, (Vanderborgh et Brodmann ,2001) ou celui d'engins de TP utilisés pour les phases de travaux, Landfield A.H. et Karra V. (2000). En parallèle, le MEDD et l'ADEME ont proposé des éléments de réflexion méthodologique concernant les ACV (Ademe et Bio, 2002). L'INRETS développe également des outils d'évaluation environnementale au travers d'indicateurs déclinés dans les domaines liés aux transports. Ces méthodologies peuvent s'adapter aux matériaux constitutifs. Néanmoins une approche routière globale intégrant la complexité existante ne peut être envisagée avec des seules méthodes ACV (Blanc A. (1999)) , notamment en raison du concept d'unité fonctionnelle qui n'est pas modulaire et de l'aspect lié au territoire qui ne peut y être inclus.

3.2 Vers une approche spécifique routière

Les travaux déjà réalisés ont montré qu'un des points clés, consisterait à présent en l'élaboration d'une *méthodologie spécifique* à une infrastructure routière basée sur la définition d'un référentiel adapté et intégrant de manière spécifique le cycle de vie de chaque couche de chaussée et fondations. Cet outil devrait prendre en compte l'intégration de la route dans son environnement, notamment l'effet de la traversée du territoire, avant d'être étendu aux sphères économique et sociale..

La figure 6 présente un nouveau cadre méthodologique qui considère séparément les couches constitutives des routes (chacune avec son propre cycle de vie) et les routes elles-mêmes dans le cadre d'un concept modulaire. Un module routier élémentaire est composé de différentes couches pour lesquelles les travaux de construction et la maintenance sont évalués, en s'appuyant sur la méthodologie ACV. Un tel type de module a des caractéristiques de matériaux, d'épaisseurs, et de conditions de service associées variables, qui intègrent l'existence de scénarios. Il peut ensuite, via un processus d'assemblage être intégré à un module global qui est lié à un territoire.

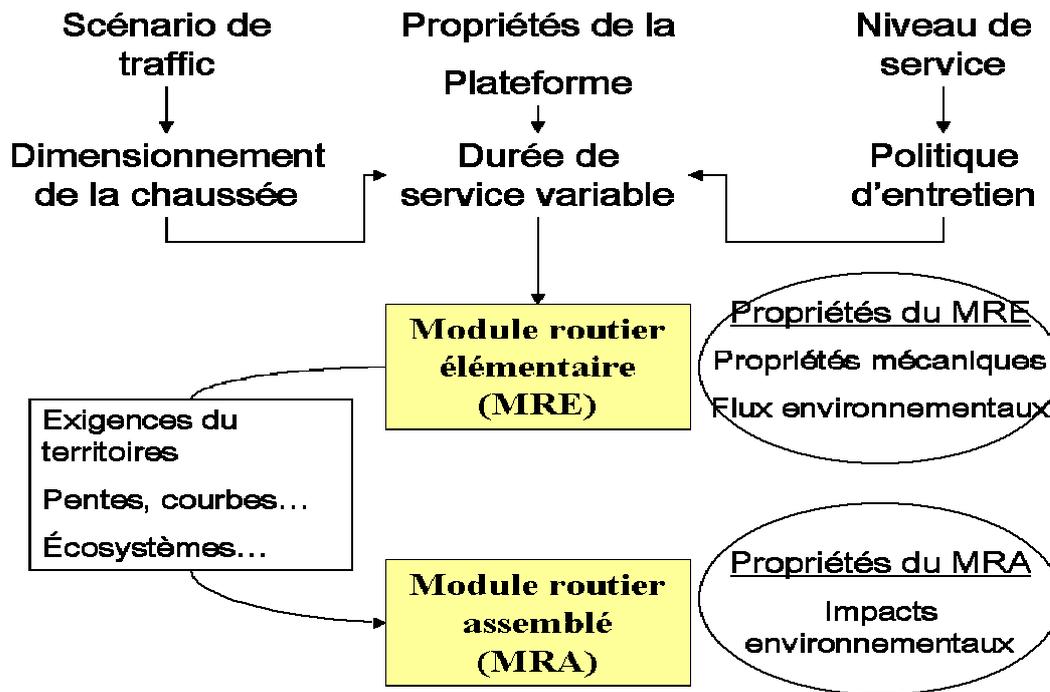


Figure 6 : principes d'un outil intégrant les aspects pluridisciplinaires de la vie d'une route.

4. CONCLUSIONS

Des mesures à caractère environnemental obtenues depuis 2001, suite à la création d'une nouvelle thématique de recherche au LCPC, serviront de base de données pour construire un outil d'évaluation environnementale des routes. On s'appuiera notamment sur une approche globale modulaire ainsi que sur la méthodologie de l'Analyse du Cycle de Vie appliquée aux couches de chaussées. Toutes les phases du cycle de vie sont prises en compte, depuis l'extraction et la fabrication des matières premières, jusqu'au recyclage et la mise en décharge finale de déchets en intégrant la transformation, le transport, la distribution, l'utilisation, la réutilisation et la maintenance.

La base de données OFRIR permettra alors d'appliquer cette démarche aux différentes stratégies de recyclage applicables au domaine routier. En effet, les projets en cours ont montré qu'il était utile de baser cet outil méthodologique sur des développements spécifiques « routiers » pour les approches environnementales. Mais, le développement d'une thématique de recherche centrée sur le développement durable dans le domaine routier nécessite d'aborder également les problématiques économiques et sociales. D'où le fait que dès le début, l'outil visé doit être construit de manière à permettre d'intégrer également ces aspects, dont l'étude a d'ailleurs débuté fin 2002 dans le cadre d'une thèse de doctorat. L'objectif de cette thèse est de conduire une double approche environnementale et économique de la construction et de l'entretien de chaussées, utilisant différents matériaux avec granulats naturels et liants hydrauliques et hydrocarbonés.

REFERENCES

- ADEME, BIO., Bilan environnemental sur les filières de recyclage, état des connaissances ACV, *Rapport, Mai 2002, pp40..*
- Blanc A., Analyse de Cycle de Vie des Filières de Traitement des Sites Industriels Pollués, *Thèse de doctorat de l'INSA (Lyon), 1999.*
- Blomberg T., Boussad N., Coronado J., De Jonghe T., Ekström L.G., Herment R., Holtken G., Lecouls H., Muller A., Thomas M., Watkins S., Partial life cycle inventory or "eco-profile" for paving grade bitumen,
- Debièvre A., Décevantes études d'impacts , *L'environnement ,politiques, N°1558, Juin 1997, pp. 24-25.*
- Eurobitume *report*, may 1999, Ed Eurobitume task force Life cycle assessment, 16p.
- Landfield A.H., Karra V., Life cycle assessment of a rock crusher, *Resources, conservation and recycling Vol. 28, 2000, pp. 207-217.*
- Lundström K., Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements, *Proceedings of the 8th International Symposium on Concrete Roads, 1998, pp. 195-202.*
- Merle J.P., Infrastructures routières et police des eaux, *Cahiers du conseil Général du GREF, N°57, se »ptembre 2000, pp.103-108.*
- Mroueh U.-M., Eskola P., Laine-Ylijoki J., Life-cycle Impacts of the Use of Industrial By-products in Road and Earth Construction, *Waste Management, Vol. 21, 2001, pp. 271-277.*
- Schuermans-Stehmann M.Sc.A.M., Environmental Life Cycle Analysis of Construction By-Products with and without Recycling, Environmental Aspects of Construction with Waste Materials, *J.J.J.M. Gourmans, H.A. van der Sloot, Th.G. Aalbers (Editors), 1994, Elsevier Science B.V., pp. 709-718.*
- Stripple H., Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis - 2nd Revised Edition, *Report from the IVL (Swedish Environmental Research Institute), 2001.*
- Vanderborght B., Brodmann, U., CO2 monitoring and reporting protocol for the cement industry -, *Report of the WBCSD working group cement, 2001.*