

Économie circulaire des matériaux et ouvrages du BTP

L'analyse de cycle de vie appliquée aux infrastructures
de transport



Guide méthodologique

Économie circulaire des matériaux et ouvrages du BTP

L'analyse de cycle de vie appliquée aux infrastructures
de transport

L'ouvrage est une œuvre collective réalisée sous la direction du Cerema.

Rédacteurs

- Tiffany DESBOIS (Cerema Ouest)
- Thibaut LAMBERT (Cerema Est)
- Joël M'BALLA (Cerema ITM)
- Laurent MORICEAU (Cerema Sud-Ouest)
- Alexandre PAVOINE (Cerema ITM)
- Virginie PERIER (Cerema Sud-Ouest)
- Yannick TARDIVEL † (Cerema ITM)

Relecteurs externes

- Laetitia D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER (CETU)
- Adélaïde FERAILLE (ENPC)
- Sarah GOYER (DIR OUEST)

Comment citer cet ouvrage :

Cerema. *Économie circulaire des matériaux et ouvrages du BTP - L'analyse de cycle de vie appliquée aux infrastructures de transport*
Bron : Cerema, 2019. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-385-5

SOMMAIRE

1 - Introduction.....	5
1.1 - Contexte et objectif.....	5
1.2 - Présentation générale de l'Analyse de Cycle de Vie.....	6
1.2.1 - L'objectif.....	6
1.2.2 - Les principes.....	6
1.2.3 - Les quatre étapes d'une Analyse de Cycle de Vie.....	6
1.2.4 - L'interprétation d'une Analyse de Cycle de Vie.....	7
1.2.5 - La revue critique d'une Analyse de Cycle de Vie.....	8
1.3 - Le contexte normatif et réglementaire.....	8
1.4 - Les outils pour la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie.....	10
2 - Description générale de la méthodologie.....	11
2.1 - Étape 1. La définition des objectifs et du champ de l'étude.....	11
2.1.1 - Quelques éléments de compréhension préalables.....	11
2.1.2 - Définir les trois périmètres de l'unité fonctionnelle.....	12
2.2 - Étape 2. L'inventaire des données et le choix de l'outil.....	14
2.2.1 - L'inventaire des données.....	14
2.2.2 - Le choix de l'outil.....	16
2.3 - Étape 3. L'évaluation des impacts environnementaux.....	16
3 - Les outils.....	17
3.1 - Introduction.....	17
3.2 - Bases de données (Ecoinvent, DIOGEN, etc.).....	17
3.3 - Les outils métiers.....	18
3.3.1 - Les outils métiers pour les chaussées.....	18
3.3.2 - Les outils métiers pour les Ouvrages d'Art.....	19
3.4 - Les outils génériques applicables à tous.....	19
4 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en étude amont.....	22
4.1 - Objectif et champ de l'étude amont.....	22
4.2 - Inventaire des données et choix de l'outil.....	22
4.3 - L'évaluation des impacts environnementaux.....	22
4.4 - Importance du trafic.....	23
4.5 - Exemple. Étude environnementale réalisée en phase d'étude de travaux routiers.....	24
4.5.1 - Définition des paramètres fixes de l'étude.....	24
4.5.2 - Définition des solutions de base de l'étude.....	25
4.5.3 - Définition des solutions variantes de l'étude.....	26
4.5.4 - Définition d'autres paramètres de l'étude.....	26
4.5.5 - Résultats.....	27
4.5.6 - Conclusions.....	29

5 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en phase d'avant-projet et de projet.....	30
5.1 - Préambule.....	30
5.2 - Inventaire des données.....	30
5.3 - L'évaluation des impacts environnementaux.....	31
5.4 - Exemple d'application.....	32
5.4.1 - Périmètre de l'étude.....	32
5.4.2 - Résultats de l'étude.....	33
5.4.3 - Conclusion.....	35
6 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en phase de consultation des entreprises et d'analyse des offres.....	36
6.1 - Consultation des entreprises.....	36
6.1.1 - Choix de la solution de base.....	36
6.1.2 - L'ouverture aux variantes.....	36
6.1.3 - L'inventaire des données.....	37
6.1.4 - La notation.....	37
6.1.5 - Exemple de DCE.....	38
6.2 - L'analyse des offres.....	39
6.2.1 - La validation des données fournies par les entreprises.....	39
6.2.2 - L'évaluation.....	40
6.3 - Exemple d'application.....	40
7 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en phase chantier.....	44
7.1 - Objectif du suivi de chantier.....	44
7.2 - Inventaire des données.....	44
7.3 - L'évaluation des impacts environnementaux.....	44
7.4 - Exemple d'application.....	45
7.4.1 - Périmètre et choix des indicateurs.....	45
7.4.2 - Phase d'analyse des offres.....	45
7.4.3 - Contrôle des engagements et calcul de la prime / pénalité.....	46
8 - Conclusions et perspectives.....	47
9 - Références normatives et quelques liens pour approfondir les sujets traités.....	48
9.1 - Références normatives.....	48
9.2 - Pour aller plus loin sur les outils métiers / les bases de données.....	48
Annexes.....	50
Choix de l'unité fonctionnelle pour une route.....	51
Choix de l'unité fonctionnelle pour un ouvrage d'art.....	52
Travaux de chaussées - Exemple de tableaux de données à annexer au DCE.....	54
Travaux dans le domaine des ouvrages d'art - Exemple de tableaux de données à annexer au DCE.....	56

1 - Introduction

1.1 - Contexte et objectif

Au travers de la loi de programmation du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, la France se fixe des objectifs ambitieux dans le domaine de l'environnement. C'est autour de l'enjeu principal du réchauffement climatique que la Loi s'engage dans de nombreux champs tels que les énergies renouvelables, les transports alternatifs, les bâtiments basse consommation, etc. Dans le domaine routier, sous l'impulsion du Ministère en charge de l'écologie, les acteurs locaux ont procédé à la déclinaison de Conventions d'Engagement Volontaire (CEV) fixant des objectifs de développement durable et de transition écologique pour leur territoire. C'est dans cette dynamique que ce sont développés : la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) adaptée aux infrastructures, la définition des différents indicateurs environnementaux, ainsi que l'apparition de logiciels et autres outils métiers. En particulier, dans le domaine routier, les outils métiers créés permettent d'apporter des informations sur la pression environnementale de l'objet évalué. Toutefois, les démarches développées dans les différents domaines de la construction (bâtiment, ouvrages d'art, chaussées) ne sont pas harmonisées.

La Loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte (2015) vise à donner à la France les moyens de lutter contre le dérèglement climatique et à préserver l'environnement. Elle fixe entre autres des objectifs pour la réduction des émissions des gaz à effets de serre et la baisse de la consommation d'énergie. Dans un contexte de développement d'une économie circulaire, la loi fixe un objectif de valorisation de 70 % des déchets du bâtiment et des travaux publics à l'horizon 2020, ainsi qu'une réduction de 50 % des quantités de déchets mis en décharge à horizon 2025. Par ailleurs, en 2018, l'État a traduit ses ambitions dans une feuille de route nationale pour l'économie circulaire (FREC). Les contributions dans le domaine des travaux publics concernent en particulier le tri et le recyclage des déchets. La FREC en renouvelant les priorités de prévention et de réduction incite les collectivités à prendre en compte ces enjeux dans le cadre de leurs plans territoriaux.

Ce document s'inscrit dans un contexte où l'application de la norme NF EN 15804+A1 pour la réalisation d'ACV dans les domaines des chaussées et des ouvrages d'art ne fait pas l'objet de nombreux retours d'expériences et où les outils existants ne permettent pas dans l'ensemble de l'appliquer *stricto-sensu*.

Ce document apporte des éléments d'informations généraux sur les principes de l'analyse de cycle de vie et précise les modalités de mise en œuvre de ces démarches dans le cadre de projets routiers ou de politiques d'entretien que ce soit :

- en phase de rédaction de Document de Consultation des Entreprises (DCE) afin d'identifier les points prioritaires, de définir des politiques d'entretien adaptées au réseau, de choisir une solution de base et / ou des indicateurs et des critères de notation ;
- en phase d'analyse des offres, pour permettre la comparaison avec des variantes ;
- en phase chantier afin d'évaluer les impacts réels du chantier et éventuellement pouvoir les comparer aux valeurs annoncées en phase d'analyse des offres.

1.2 - Présentation générale de l'Analyse de Cycle de Vie

Cette méthode a été initialement développée et formalisée pour des produits pouvant inclure des biens (produits manufacturés, matières issues de procédés, logiciels, etc.) ou des services. Son application dans les domaines des terrassements, des chaussées et des ouvrages d'art est relativement récente.

1.2.1 - L'objectif

L'ACV permet d'estimer les flux de matières et d'énergies, ainsi que les impacts environnementaux potentiels d'un produit ou d'un service au cours de son cycle de vie et donc d'établir les interactions entre les procédés technologiques et leurs effets sur l'environnement. Cette méthode permet d'appréhender le risque d'un transfert de pollution dans le temps et dans l'espace.

1.2.2 - Les principes

Le cycle de vie est une représentation schématique de la vie d'un produit défini par étapes successives. Ces étapes peuvent être détaillées plus ou moins finement. Les étapes décrites dans la norme ISO 14040 concernant : la production, la construction, l'utilisation et la fin de vie. L'analyse réalisée à chaque étape permet de réaliser l'inventaire complet des ressources prélevées, des polluants émis et des déchets générés afin de mettre en évidence les points clés et les points d'amélioration du procédé global étudié. L'étude conduit alors à un processus itératif prenant en compte les changements apportés aux différentes étapes lors des phases d'interprétation.

Dans le cadre d'une démarche vers l'éco-conception, l'ACV peut être complétée par une étape dite « d'applications directes ». Cette étape à caractère non obligatoire concerne la vocation de l'ACV : propositions d'amélioration, reconception, éco-conception, mercatique, stratégique, etc.

Les résultats d'une ACV sont exprimés en termes d'impacts potentiels sur l'environnement générés tout au long du cycle de vie, et rapportés à une unité fonctionnelle intégrant une durée de vie. Notons que les incertitudes sur les méthodes de calcul et sur les données ne permettent pas à ce jour de communiquer sur un impact en valeur absolue. Il est en effet important de souligner que l'analyse de cycle de vie est une méthode dont l'objectif est de comparer des variantes. On parle alors de scénario de référence et de scénarios alternatifs.

Ainsi la notion d'unité fonctionnelle à des fins comparatives est primordiale. L'unité fonctionnelle est donc l'unité de compte à laquelle va se référer l'ACV. Elle doit être définie avec précision et en cohérence avec les objectifs et le champ de l'étude. Toutes les données d'entrée et de sortie du système ainsi que les flux, sont affectés à l'unité fonctionnelle. Pour définir une unité fonctionnelle, il convient de délimiter les périmètres structurel, fonctionnel et temporel (*cf.* chapitre 2.1.2) et d'affecter un flux de référence (quantité de produits nécessaire pour remplir la fonction précisée par l'intermédiaire de l'unité fonctionnelle).

1.2.3 - Les quatre étapes d'une Analyse de Cycle de Vie

- **Étape 1. Définir les objectifs et le champ de l'étude**

Cette étape permet de poser le problème et implique de répondre à un certain nombre de questions telles que la définition de la fonction et des limites du système, ainsi que celle de l'unité fonctionnelle. Le scénario de référence et les scénarios alternatifs sont également définis dans cette étape.

- **Étape 2. Réaliser l'inventaire des données**

Il s'agit de quantifier les émissions dans l'eau, l'air, le sol ainsi que les consommations de matières premières renouvelables et non renouvelables et les déchets générés. Ce travail repose sur l'utilisation de données génériques (communes à différents secteurs d'activités) et spécifiques (propres au domaine étudié). Précisons que leur recueil via des bases de données peut être délicat et chronophage. En particulier, il est important de veiller à leur cohérence afin, entre autres, d'éviter des doubles comptages.

- **Étape 3. Évaluer les impacts environnementaux**

L'évaluation des impacts s'appuie sur l'inventaire réalisé précédemment. Elle précise quelles émissions contribuent à quels impacts environnementaux (réchauffement climatique, consommation d'énergie primaire, épuisement des ressources non renouvelables, etc.). Le principe consiste à convertir les flux des substances susceptibles de contribuer à un impact donné en un flux d'une substance de référence propre à la catégorie d'impact (méthode dite « des équivalences ») afin de calculer un indicateur d'impact. A titre d'exemple l'impact « réchauffement climatique » est quantifié en équivalent CO₂ (kg.eq CO₂).

Différentes méthodes de calcul ont été développées par plusieurs équipes de chercheurs et de praticiens (par exemple : CML¹, CED², ReCiPe, Ecoindicator, EDIP³, etc.).

- **Étape 4. Interpréter les résultats**

Cette étape concerne le traitement conjugué des résultats de l'inventaire (étape 2) et des impacts environnementaux (étape 3) dans l'objectif d'apporter des éléments conclusifs et des recommandations au commanditaire. Il se peut que l'exploitation de ces résultats se traduise par des itérations faisant évoluer le domaine d'application et nécessitant le recueil de données supplémentaires.

1.2.4 - L'interprétation d'une Analyse de Cycle de Vie

L'étude d'ACV apporte les éléments permettant :

- de comparer des valeurs d'impacts et de flux de différentes solutions techniques ;
- d'analyser des écarts calculés entre les différentes solutions techniques ainsi que des écarts calculés dans l'étude de sensibilité. Cette analyse des écarts permet d'établir une plage de variabilité des résultats, couvrant les dispersions possibles inhérentes à ce stade du projet, ainsi que les incertitudes intrinsèques aux données et à l'analyse proprement dite ;
- de distinguer des enjeux significatifs au travers des postes les plus impactant ;
- d'identifier des paramètres déterminant, pouvant servir de leviers efficaces dans un Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) de marché de travaux (ouverture ou fermeture à variante, définition de critères de notation).

La phase d'interprétation doit donner lieu à la rédaction d'un document synthétisant les hypothèses principales de la modélisation, les conclusions de l'étude au regard de l'unité fonctionnelle, les limitations et les recommandations associées.

Il convient de rester vigilant vis-à-vis de la complétude de l'étude (identification des données manquantes en particulier) et de sa cohérence (identification des lacunes en termes de périmètre, de représentativité, de fiabilité, de précision, etc.) afin de pouvoir porter un regard objectif sur la justesse et la précision des résultats obtenus.

1 Centre of Environmental Science Université de Leiden CML (Pays-Bas) : Life cycle assessment and operational guide to the ISO standard — final report may 2001 — GEROEN B. GUINEE, final editor — part 2B : operational annex (<http://www.leidenuniv.nl/cml/lca2>)

2 Cumulative Energy Demand (CED)' [Frischknecht, 2003 a], [Frischknecht, 2003 b].

3 Environmental Design of Industrial Products (EDIP)' [Hauschild, 2003].

1.2.5 - La revue critique d'une Analyse de Cycle de Vie

La revue critique d'une ACV n'est pas obligatoire. Toutefois, la réalisation en interne ou en externe d'une telle revue est souhaitable dans la mesure où elle apporte au bénéficiaire des éléments d'informations sur la pertinence de l'ACV réalisée. Elle trouve notamment toute sa légitimité dans le cadre de projets complexes, aux hypothèses multiples. La revue critique permet de s'assurer de points essentiels tels que :

- la cohérence entre les données utilisées et les objectifs de l'étude ;
- le respect du cadre normatif en vigueur ainsi que les aspects scientifiques et techniques couverts par l'étude ;
- la pertinence de l'interprétation au regard des objectifs de l'étude et des limites associées ;
- l'objectivité de l'ACV réalisée.

1.3 - Le contexte normatif et réglementaire

L'ACV est une méthode normalisée dont le cadre général et les lignes directrices sont donnés par les normes internationales ISO 14040 et ISO 14044.

La communication d'informations environnementales relatives aux produits de construction se développe en Europe sous l'impulsion des industriels et de la Commission européenne. Afin de rendre crédibles les éléments communiqués, l'organisation internationale de normalisation (ISO) a produit de nouvelles normes qui détaillent la méthodologie de communication. Au niveau européen, le CEN (Comité Européen de Normalisation), à travers le TC 350, développe une série de normes proposant un système d'évaluation de la contribution des éléments construits (bâtiments, génie-civil) au développement durable, qui repose sur une approche de type cycle de vie. Cette démarche, initialement orientée vers les produits du bâtiment, s'applique aux ouvrages de construction⁴ en général et donc au génie civil. Elle vise tout d'abord à évaluer les impacts des produits de construction pour ensuite permettre d'évaluer les performances environnementales des ouvrages de construction à l'aide d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs. D'autres normes élaborées par le TC 350 permettent également l'évaluation de la contribution d'un ouvrage de construction au développement durable via ses performances environnementales, sociales et économiques (notamment la norme NF EN 15643-5).

La norme NF EN 15804+A1 définit les méthodes de calcul des indicateurs d'impact pour les produits de construction à partir du format des fiches d'Environmental Product Declaration (EPD).

Les EPD sont le reflet de la préoccupation de la Commission européenne au regard de la prise en compte du développement durable dans le secteur de la construction. En effet, le règlement produit de construction (RPC) va encore plus loin dans ce domaine que la directive produit de construction (DPC), puisqu'à l'exigence essentielle n° 3 (Hygiène, santé et environnement), déjà présente dans la DPC, s'ajoute l'exigence essentielle n° 7 (Utilisation durable des ressources naturelles).

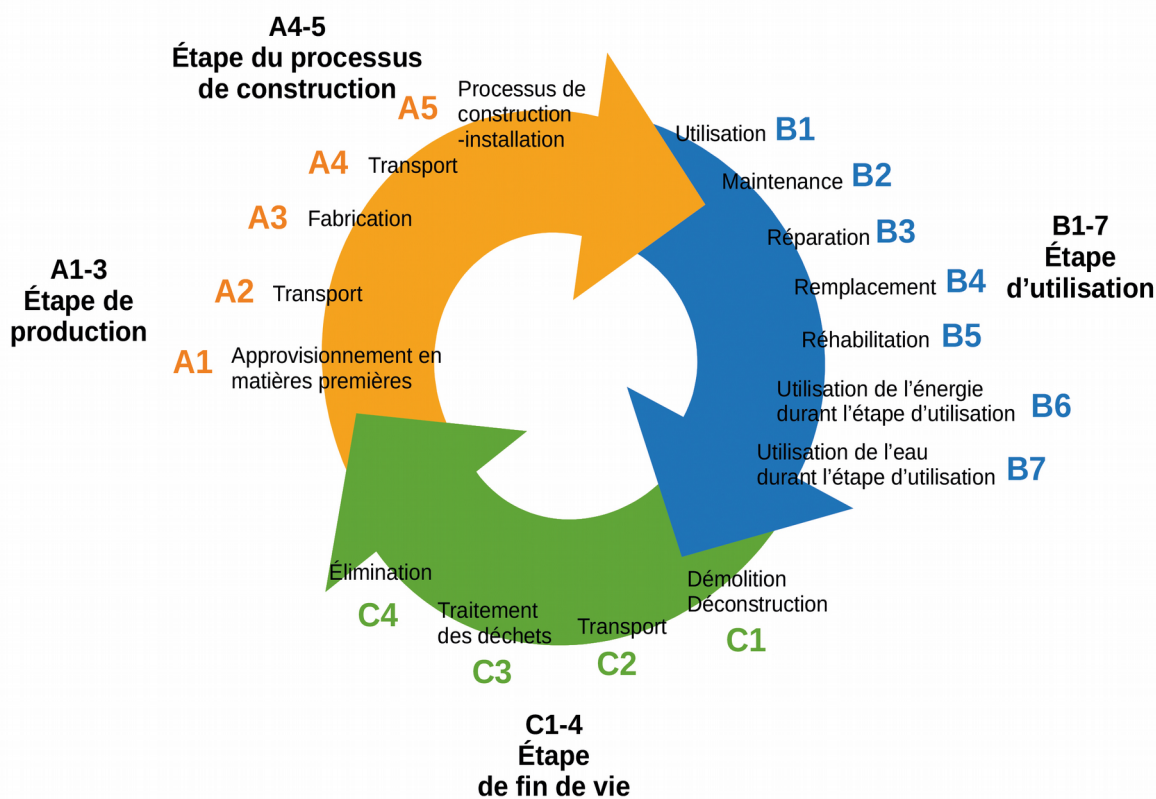
Les EPD des produits de construction fournissent les valeurs d'indicateurs d'impact environnementaux qui sont désormais calculés conformément à la norme NF EN 15804+A1. L'harmonisation des normes aux échelles nationale et européenne permet désormais de s'orienter vers un consensus sur le choix des méthodes de calcul des indicateurs d'impact :

- l'épuisement des ressources abiotiques, qui est scindé en deux indicateurs non fossiles et fossiles exprimés respectivement en kilogramme équivalent antimoine (Sb) et MJ, pouvoir calorifique inférieur ;
- l'acidification des sols et de l'eau (kg équivalent de SO₂) ;
- l'appauvrissement de la couche d'ozone (kg équivalent de CFC-11) ;
- le réchauffement climatique (kg équivalent de CO₂) ;
- l'eutrophisation (kg équivalent de PO₄³⁻) ;
- la formation d'ozone photochimique (kg équivalent d'éthylène).

4 Terme regroupant deux catégories d'ouvrages : les bâtiments et les ouvrages de génie-civil.

Viennent s'ajouter des paramètres décrivant l'utilisation des ressources (énergie, matière secondaire, eau, etc.) et d'autres décrivant différentes catégories de déchets et de flux sortants. Le calcul de la pollution de l'eau et de la pollution de l'air est décrit dans la norme NF EN 15804/CN. Cette dernière norme complémentaire donne également des exigences supplémentaires sur le calcul de l'épuisement des ressources abiotiques non fossiles et des indications sur le calcul des flux relatifs aux déchets. Ainsi la version française de l'EDP est la DEP (Déclaration Environnementale des Produits) qui respecte la norme NF EN 15804/CN avec donc des différences sur les indicateurs d'impact par rapport à la norme NF EN 15804+A1.

La norme NF EN 15804+A1 définit quatre étapes principales pour le cycle de vie d'un produit de construction. Chaque étape se décompose en sous-étapes, comme suit :



(Source : Cerema)

La norme NF EN 15643-5, qui donne un cadre méthodologique à l'évaluation de la contribution d'un ouvrage de génie civil au développement durable, stipule deux étapes supplémentaires :

- la phase de préconstruction correspondant aux études préliminaires et consultation (A0) ;
- l'étape « B8 – Utilisation par les utilisateurs » de la phase d'utilisation.

Une DEP devra couvrir au minimum l'étape de production (*cradle to gate* : du berceau à la porte de l'usine), mais peut couvrir l'ensemble des étapes (*cradle to grave* : du berceau à la tombe) ou seulement une partie de celles-ci en fonction des options choisies. De plus, un module « D » optionnel fournit des informations complémentaires au-delà du cycle de vie du bâtiment (potentiel de recyclage, par exemple).

Les DEP remplacent, au niveau français, les fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) des produits de construction. Celles-ci étaient calculées selon la norme NF P01-010 qui a été supprimée le 30 juin 2014. Néanmoins, les FDES élaborées en 2013 avaient une durée de validité de 5 ans. Les FDES des principaux produits de construction ou familles de produits sont regroupées dans une base de données gérée par l'Inies⁵. Les DEP doivent être complétées par des informations sanitaires pour être équivalentes aux FDES et être réalisées du « berceau à la tombe ».

En complément, le décret n° 2013-1264 du 23 décembre 2013 relatif à « la déclaration environnementale de certains produits de construction destinés à un usage dans les ouvrages de construction », complété par l'arrêté du 9 juillet 2014 modifiant l'arrêté du 23 décembre 2013 relatif à « la déclaration environnementale des produits de construction destinés à un usage dans les ouvrages du bâtiment » et l'arrêté du 31 août 2015 relatif à « la vérification par tierce partie indépendante des déclarations environnementales des produits de construction, des produits de décoration et des équipements électriques, électroniques et de génie climatique destinés à un usage dans les ouvrages du bâtiment », stipule qu'à partir du 1er juillet 2017 toute communication vers l'utilisateur sur un produit de construction utilisé dans un ouvrage devra s'accompagner d'une déclaration environnementale ayant fait l'objet d'une revue critique.

1.4 - Les outils pour la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie

Les outils permettant de mener une ACV ou d'établir une DEP peuvent être classés en deux catégories : les outils métiers et les outils génériques.

Les outils métiers sont spécialisés sur un domaine d'activité. Ils permettent de tenir compte des spécificités du domaine considéré et s'accompagnent de données en lien avec les exigences métier. D'un outil à l'autre, les indicateurs environnementaux calculés seront différents, le périmètre également. Ainsi en France, dans le domaine des chaussées des outils tels que ECORCE, SEVE et Variways⁶ existent et pour les ouvrages d'art CIOGEN est en cours de développement et sera prochainement disponible sur le site de DIOGEN⁷. En ce qui concerne ECORCE et CIOGEN, les données « métier » reposent sur des suivis de chantiers.

Les outils génériques vont permettre de faire tous types d'études, de la construction aux services, etc. Ils reposent le plus souvent sur des bases de données développées à travers le monde dont la plus connue et utilisée est Ecoinvent⁸. Ces outils permettent une fois le système étudié modélisé, d'en calculer les impacts environnementaux. La plupart de ces outils proposent l'accès à un grand nombre d'indicateurs. Ils peuvent être libres, comme openLCA ou CMLCA, ou commerciaux, comme SimaPro, Gabi et Team. En complément, il existe un outil mono-critère développé par l'ADEME (Bilan carbone) qui prend en compte les émissions de GES directes et induites par une activité, un produit fini ou un site sur différents postes, mais qui ne considère pas les émissions d'un matériau, ni les autres polluants émis.

Dans le chapitre 3, des informations plus détaillées sont fournies sur ces outils.

5 <http://www.base-inies.fr>

6 Avis technique n°159 - Eco-comparateurs - VARIWAYS® : L'éco-comparateur de variantes routières V 1.1, septembre 2013.

7 <http://www.diogen.fr>

8 <https://www.ecoinvent.org/>

2 - Description générale de la méthodologie

2.1 - Étape 1. La définition des objectifs et du champ de l'étude

2.1.1 - Quelques éléments de compréhension préalables

Au stade de développement actuel des méthodes d'évaluation environnementale, il n'existe pas de lien direct entre l'étude d'impacts d'un projet et la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie.

Établir une liste d'impacts

La réalisation d'une ACV conformément à la norme NF EN 15804 revient à déterminer avec égalité d'importance l'ensemble des impacts environnementaux qu'elle mentionne. Il reviendra à l'utilisateur de cette analyse de prendre en compte des besoins spécifiques du commanditaire. Ainsi, la stratégie retenue à l'issue de l'analyse pourra consister à hiérarchiser les impacts environnementaux en prenant notamment en compte des enjeux locaux, par le choix de critères d'évaluation reposant sur la déclinaison de politiques nationales ou de spécificités régionales (voir partie 1).

Par ailleurs, l'ACV ne couvre pas nécessairement la totalité du cycle de vie. Il est possible, pour différentes raisons, que les bilans environnementaux ne couvrent seulement qu'une partie du cycle de vie. On parlera alors d'ACV tronquée. Dans ce cas, il conviendra de préciser quelles sont les étapes non prises en compte et les raisons de ce choix. Ainsi, la production des matériaux peut donner lieu à une ACV dite « cradle-to-gate », c'est-à-dire se limitant aux opérations comprises entre l'élaboration de la matière première et sa mise en œuvre.

La première étape consistera à définir les objectifs de minimisation de l'étude. Il peut par exemple s'agir de :

- réaliser une chaussée en minimisant les émissions de GES ainsi que les impacts d'éco-toxicités dans le cadre de la réalisation des travaux ;
- construire un ouvrage d'art dont la conception permettra de limiter la consommation de ressources naturelles non renouvelables tout au long de son cycle de vie ;
- etc.

A partir des choix établis, il devient alors possible d'établir une liste d'impacts et de flux pour l'étude ACV, ainsi que les indicateurs associés. Lutter contre le réchauffement climatique impliquera une quantification de l'indicateur « émissions de GES ». Les impacts sur l'eau pourront quant à eux se traduire par plusieurs indicateurs tels que définis par exemple dans la norme NF EN 15804.

Il est également fréquent que l'analyse des résultats suggère des évolutions antagonistes des choix de conception ou de réalisation de travaux. Il convient donc pour le maître d'ouvrage de définir clairement les premiers choix, qui peuvent bien sûr évoluer au fil des études dans le cadre de l'interaction permanente avec l'étape d'interprétation.

Compte tenu de l'importance de cette étape, le Maître d'Ouvrage peut se faire assister d'un professionnel de l'ACV pour circonscrire les périmètres pertinents qui permettront de répondre aux objectifs de l'étude. Le choix des frontières doit en effet être cohérent avec ceux-ci. En particulier, il convient d'être particulièrement attentif aux processus influents qui pourraient selon les cas, créer des lacunes ou parasiter les résultats de l'évaluation.

2.1.2 - Définir les trois périmètres de l'unité fonctionnelle

A cette étape, il convient de définir l'unité fonctionnelle au travers de différents périmètres :

- le périmètre structurel : la définition précise de l'infrastructure, de l'ouvrage d'art ou du réseau étudié (géométrie, éléments constitutifs, etc.) ;
- le périmètre fonctionnel : le niveau de service projeté (hypothèse de trafic, de sollicitations, etc.) ;
- le périmètre temporel : l'unité de temps considérée (durée de vie ou de référence dans le cas d'une ACV complète, les différentes étapes considérées dans le cas d'une ACV tronquée).

Périmètre structurel de l'unité fonctionnelle

En premier lieu, le périmètre structurel de l'unité fonctionnelle permet de sélectionner les éléments constitutifs du projet qui feront l'objet de l'évaluation.

Par exemple, pour un projet d'infrastructure routière neuve, on pourra retenir l'ensemble des terrassements, les couches constitutives, les équipements, dans le périmètre structurel. Dans la mesure où l'étude ACV vise à fournir des résultats pouvant comparer différentes variantes, d'autres éléments peuvent être inclus s'ils ont une influence sensible sur les résultats : aires de service, bâtiments et matériels des services d'exploitation, etc.

De même en ce qui concerne les ouvrages d'art. Outre l'ensemble des éléments de structures et de superstructures, dans le cas d'une construction neuve ou d'une reconstruction, on veillera à prendre également en compte les éléments annexes tels que des travaux liés à la mise en œuvre ou à la protection de l'ouvrage, si ceux-ci sont de nature à créer une différence dans l'évaluation de différentes variantes de conception (nécessité de créer une voie d'accès pour les travaux, protection de berges, dispositifs de mise en œuvre spécifiques sous circulation, etc).

Il est parfois difficile d'apprécier le poids relatif d'éléments constitutifs dans les résultats de l'étude et donc de les inclure ou pas dans les frontières à fixer. Selon les indicateurs retenus, une première estimation peut-être établie à partir des masses ou des volumes de matériaux et de leur nature. L'étude ACV étant destinée à établir des comparaisons entre solutions, il convient avant tout de s'assurer que le périmètre structurel retenu permet bien de remplir cette mission de manière équitable.

Périmètre fonctionnel de l'unité fonctionnelle

Le périmètre fonctionnel enveloppe l'ensemble des processus permettant à l'objet de l'évaluation de remplir son office sur sa durée de vie ou de référence. Il s'agit de dresser un inventaire des opérations de construction, de surveillance, d'entretien et de renouvellement ou de démolition, et de définir les processus qui y sont liés.

En toute rigueur, les mesures d'exploitation liées à la construction, la surveillance, l'entretien mais aussi la viabilité hivernale, doivent être prises en compte si elles sont de nature à discriminer des conceptions différentes. Il en est de même du poste lié aux perturbations de trafic induites par ces mesures d'exploitation. Il convient toutefois d'aborder ces processus avec prudence, car ils sont difficiles à évaluer. En effet, ils sont soumis à de fortes incertitudes et appelés à évoluer de manière significative avec le temps. Il paraît donc souhaitable, s'ils sont pris en considération dans l'étude, de pouvoir disposer de résultats non agglomérés afin de pouvoir apprécier à hauteur de leur justesse, le poids environnemental de processus dont la variabilité ou le niveau d'incertitude sont parfois très différents.

La production des matériaux constitutifs de l'objet de l'étude, les processus de transport depuis les sites de production vers le site du chantier ainsi que les processus de mise en œuvre (incluant l'ensemble des consommations d'engins et des matériels, leur amortissement si cela se traduit par un impact significatif sur les résultats), ainsi que les matériaux non constitutifs (tels que les coffrages) sont inclus.

Au-delà de la réception des travaux, dans le cadre d'une étude ACV, il est demandé de considérer l'ensemble des processus de surveillance et d'entretien permettant de maintenir le niveau d'exploitation pour lequel l'infrastructure a été conçue. La prise en compte de ces opérations de vie en œuvre peut être complexe :

- pour une chaussée, il peut s'agir de la prise en compte des opérations de renouvellement de couche de roulement, d'installation et d'entretien des équipements de sécurité, de salage, etc. ;
- pour les ouvrages d'art, il s'agit par exemple des opérations d'entretien spécialisé telles que les changements de joints de chaussées, d'étanchéité, de dispositifs de retenue ou encore de remise en peinture pour les ouvrages métalliques ou mixtes.

Enfin, la dernière étape concerne soit la démolition ou la réhabilitation lourde pour les ouvrages d'art, soit le renouvellement des couches structurelles de chaussées. Cette étape est significativement différente selon l'objet étudié, linéaire (chaussée) ou ponctuel (ouvrage d'art). Elle doit cependant faire partie de l'évaluation ACV globale, car elle permet de confronter les projets à une phase rarement prise en compte dans les variantes de conception. En ceci, elle doit devenir un paramètre important de l'éco-conception, en premier lieu par le flux de déchets qu'elle génère.

Périmètre temporel de l'unité fonctionnelle

Le périmètre temporel définit la durée prise en compte pour l'ACV.

Les normes de référence destinées aux produits industriels proposent la notion de durée de vie typique. Pour les ouvrages d'art, la durée de vie typique est en général identique à la durée d'utilisation de projet définie par les normes de conception (NF EN 1990), égale à 100 ans.

En ce qui concerne les chaussées, ce concept n'est pas adapté dans la mesure où la durée de vie du tracé, et donc des terrassements associés, dépasse de loin l'échelle humaine. Il est donc proposé de retenir la notion de durée de vie de référence. En général, celle-ci correspond à la durée de vie de l'élément renouvelable, dans le cadre de l'entretien prévisible, la plus importante du projet. Il est important de vérifier que l'ensemble des processus identifiés dans le périmètre fonctionnel sont bien inclus dans le périmètre temporel.

En ce qui concerne les travaux liés aux infrastructures, la pratique en cours pour l'adjudication des offres selon des critères économiques consiste en une évaluation jusqu'à la réception de l'ouvrage. Afin de conserver une cohérence dans l'analyse des offres, les études ACV se limitent aussi en général à ce périmètre temporel, couvrant la production des matériaux, leur transport et leur mise en œuvre. Une évolution de ces pratiques vers une ACV complète « cradle-to-grave » (c'est-à-dire comportant l'ensemble des opérations de l'élaboration de la matière première à sa fin de vie : du berceau à la tombe) est donc souhaitable, tant du point de vue environnemental (Life Cycle Analysis) qu'économique (Life Cycle Cost). De plus, dans une démarche de développement durable, il faut comme le préconise la norme NF EN 15643-5 aller vers une évaluation des performances environnementales, sociales et économiques.

Il faut souligner la difficulté inhérente à l'évaluation des opérations de vie en œuvre tels que les entretiens spécialisés. Celles-ci sont définies par des critères techniques (apparition de désordres, durée de vie limitée des équipements), des critères de politiques d'entretien (préventif, curatif), des moyens financiers, des choix stratégiques (entretien par itinéraire, par enjeux liés aux ouvrages), et de manière générale, par des paramètres de faisabilité difficiles à évaluer plusieurs années auparavant.

Il est donc souhaitable pour la robustesse de l'étude ACV d'envisager différents scénarios plausibles afin d'identifier les paramètres déterminants et de distinguer l'effet de leur variabilité qu'il s'agisse d'impacts directs (générés par les travaux associés) ou indirects (congestions de trafic et les conséquences induites). Les hypothèses sur lesquelles reposent les différents scénarios doivent être clairement exprimées et associées à l'analyse des résultats.

Exemples de définitions d'unité fonctionnelle

Pour un ouvrage d'art, on peut ainsi proposer un exemple de définition d'unité fonctionnelle :

« un pont en béton de type Passage Supérieur en Dalle Précontrainte (périmètre structurel) qui assure le franchissement d'une autoroute par des véhicules (périmètre fonctionnel) pendant une durée d'utilisation de 100 ans (périmètre temporel) »⁹.

Pour lever toute ambiguïté ou apporter des éléments pouvant influencer sur les résultats de l'évaluation, il est possible d'apporter des précisions telles que : « L'analyse ne prend pas en compte les impacts du trafic circulant sur l'ouvrage pendant sa phase de service », ou encore « L'implantation de l'ouvrage est située en zone littorale ».

Pour une opération routière, on peut proposer un exemple de définition d'unité fonctionnelle :

« section routière bi-directionnelle à 2 voies (réseau non structurant) supportant un trafic de l'ordre de 600 PL/j, dont les caractéristiques géométriques retenues sont une section de 5000 m et un profil en travers de 8 m revêtu, empruntée par des véhicules dont les caractéristiques sont conformes au code de la route (périmètre fonctionnel) pendant une durée d'utilisation de 100 ans (périmètre temporel) ». Des précisions peuvent également être apportées telles que : « L'analyse ne prend pas en compte les impacts du trafic circulant sur la section pendant sa phase de service », ou encore « L'analyse ne prend pas en compte les équipements de la route (signalisation, glissières, peintures, etc.) »

2.2 - Étape 2. L'inventaire des données et le choix de l'outil

2.2.1 - L'inventaire des données

La réalisation d'une ACV peut intervenir à différents stades temporels du projet routier. Pour une évaluation ex-ante plusieurs stades peuvent être envisagés :

- les études amont des projets (études préliminaires) et les études préalables à la déclaration d'utilité publique (étape du calcul socio-économique) ;
- les études de projet (choix des solutions et variantes) ;
- la dévolution des marchés travaux (choix d'une entreprise et d'une solution mieux-disante).

Viennent ensuite les évaluations *ex-post*, avec :

- le suivi et la réception des travaux.

Il est également possible de se situer dans un cadre de gestion de patrimoine routier ou d'ouvrages d'art, et de procéder de même en évaluant soit des opérations d'entretien particulières, soit des opérations d'entretien global, selon une étude ex-ante puis *ex-post*.

Ces analyses peuvent être associées à des évaluations économiques prenant en compte le contexte local, les données extraites de précédentes offres dans le cadre de marché travaux similaires, ainsi que des données issues de mercuriales de prix.

Règles de coupure

Comme le rappelle la norme NF EN 15804, l'exclusion d'intrants ou d'extrants doit permettre une procédure de calcul efficace et ne doit pas servir à masquer des données. Dans ce sens, le rapport de projet doit décrire ce qui a été fait.

La norme NF EN 15804/CN apporte des précisions sur la nature des flux qui peuvent être omis (par exemples le département administratif et le transport des employés).

9 Unité fonctionnelle issue de SB-OA 2011-2 Analyse du Cycle de Vie comparative de ponts.

Les normes NF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN précisent quels sont les critères de coupure à respecter lorsque les données d'entrée sont insuffisantes ou manquantes pour des intrants ou extrants connus. En distinguant les coupures par processus élémentaire et l'ensemble des coupures, il convient de les limiter ainsi :

- pour un processus élémentaire : 1 % de la consommation d'énergie (renouvelable et non renouvelable) et 1 % de la masse totale entrante ;
- pour le total des flux entrants 5 % maximum de la consommation d'énergie et de la masse.

Par ailleurs, la norme NF EN 15804/CN stipule que « les consommables des produits ou les équipements nécessaires au fonctionnement du processus sont couverts par les règles de coupure si leur fréquence de renouvellement total ou partiel est inférieur à un an ».

A titre d'exemple, dans la construction d'un ouvrage d'art, du PVC de diamètre 100 mm ainsi que du géotextile ont été nécessaires. Concernant ces produits, aucune donnée environnementale n'a été trouvée dans la base de donnée Ecoinvent utilisée pour l'étude. Toutefois la masse unitaire de ces produits, au regard de la masse totale des matériaux mis en œuvre était inférieure à 1 %. De plus, la masse totale des flux entrants négligés pour le module A1-A3 était inférieure à 5 %. Conformément aux normes NF EN 15804+A1 et NF EN 15804/CN, ces produits ont donc pu être négligés.

Le problème des données manquantes ou non adaptées

Certaines données peuvent être difficiles à collecter, notamment les données relatives aux engins de mise en œuvre (types d'engins, temps de travail et consommations), ainsi que celles relatives à la production de matériaux et de produits de construction. En effet, bien que plusieurs critères régissent l'utilisation des matériaux dans les chaussées et les ouvrages d'art en raison de leurs performances et en respect de règles d'emploi (normes, certifications, etc), il peut parfois être difficile de trouver des données représentatives à la fois du matériau étudié, de sa provenance géographique et des processus technologiques de son élaboration.

En cas de difficultés pour trouver des données adaptées, il convient de prendre la donnée la plus pertinente et de l'indiquer dans le rapport de projet avec une analyse des conséquences (par exemple par une étude de sensibilité). Ainsi, il conviendra d'essayer de substituer la donnée souhaitée par (en respectant autant que possible cet ordre de choix) :

- une donnée établie sur un périmètre géographique différent, généralement plus large (échelle nationale ou mondiale) ou incluant des pays avec des modes de production et/ou des mix énergétiques différents ;
- à l'inverse, une donnée très spécifique, ne couvrant qu'une partie des sites de production (n'offrant donc qu'une vision partielle de processus et technologies parfois différentes). Il faut alors indiquer dans le rapport les précautions d'emploi ;
- une donnée ancienne, ne reflétant pas les évolutions technologiques significatives susceptibles de modifier les impacts de production ;
- une donnée relative à un matériau de propriétés physico-chimiques proches, ne présentant que des différences modérées en termes de processus de fabrication (exemple : acier plat S355 pour un acier plat S460) ;
- une donnée construite à partir de processus de production différents de ceux des matériaux qui seront utilisés pour les travaux.

L'emploi de données moins représentatives peut donc constituer une solution pour combler une lacune. Ceci est particulièrement vrai pour des matériaux n'ayant qu'un faible poids environnemental relatif dans l'étude globale. Dans le cas contraire, il y a lieu de prendre des précautions d'emploi : pénaliser la donnée, l'accompagner d'une étude de sensibilité permettant de couvrir les incertitudes estimées, rappeler son manque de représentativité dans le cadre de l'interprétation des résultats, etc.

Il est important, comme dans toute analyse de données, de s'assurer de la fiabilité des données retenues, notamment au travers de l'existence d'une revue critique dans le module d'élaboration concerné. En cas d'absence d'éléments de fiabilité (revue critique, présence dans une base de données reconnue, publication, etc.), il convient d'entreprendre une vérification si le poste est impactant, par exemple au regard de données peut-être moins représentatives mais bénéficiant d'une fiabilité établie.

Lorsque l'étude intègre une donnée pénalisante dont l'effet enveloppe couvre les différents cas de figure pouvant se présenter, il convient de manier ces valeurs avec clairvoyance. En effet, le risque encouru est de pénaliser les innovations pour lesquelles des données spécifiques sont parfois manquantes et qui peuvent, en définitive, s'avérer favorables sur le plan environnemental. Il est donc préférable, lorsque cela est possible, de travailler en fourchette en utilisant des valeurs minimales et maximales raisonnables.

Tel que précisé précédemment, il conviendra de couvrir le champ des possibles par l'usage de données dont la précision sera adaptée au stade de l'étude (études projets, appel d'offres, suivi de travaux). De manière générale, dès le stade de marché de travaux, il conviendra de privilégier les modules de données spécifiques (FDES individuelles ou collectives par exemple). Lors des études amont ou en l'absence de données, il est possible d'utiliser des modules génériques par défaut (présentant une pénalisation des valeurs proposées).

2.2.2 - Le choix de l'outil

Parmi les outils actuellement existants, il n'existe pas de logiciel d'évaluation des infrastructures de transports (LEEIT) apte à proposer une évaluation intégrée (ouvrages d'art et chaussées) à chacun des stades du projet. Il convient donc de composer avec le panel actuel de logiciels et de bases de données disponibles, ce qui suppose une analyse préalable.

Par ailleurs, il convient de souligner que de nombreux outils d'analyses ne permettent pas de réaliser l'étude exhaustive des paramètres environnementaux conformément à la norme et mettent l'accent sur un nombre limité d'indicateurs. Leur usage ne peut donc pas relever de la norme NF EN 15804/CN et dans ce cas l'étude présente le risque de la non détection d'un transfert de pollution.

Enfin, le choix de l'outil ne repose pas uniquement sur les impacts et les flux évalués, mais également sur les données d'entrée qu'il sera possible ou pas de renseigner dans celui-ci.

2.3 - Étape 3. L'évaluation des impacts environnementaux

L'évaluation des impacts environnementaux repose sur le traitement des données recueillies par l'outil sélectionné et intègre l'analyse des résultats. Cette évaluation pourra être réalisée aux différents stades du projet et répondra alors à différents enjeux.

Pendant les phases ex-ante, cette évaluation apporte les éléments permettant de faire des choix relatifs aux enjeux environnementaux pour les étapes ultérieures du projet. En phase ex-post cette évaluation permet de faire le bilan final du chantier et alimente les bases de données de l'utilisateur pour les opérations futures. Elle permet aussi en phase ex-post de comparer ce qui a été réalisé avec les engagements.

3 - Les outils

3.1 - Introduction

Les résultats d'une ACV reposent sur l'utilisation de données environnementales traitées par un outil spécifique. Ce chapitre présente les moyens mis à disposition pour la réalisation d'une ACV dans le domaine des chaussées et des ouvrages d'art.

3.2 - Bases de données (Ecoinvent, DIOGEN, etc.)

Il existe trois types de bases de données :

- **Les bases de données généralistes** : elles regroupent des informations générales sur les flux entrants et sortants liés au cycle de vie de nombreux produits et peuvent donc être utilisées pour n'importe quel type d'activités (ex. : Ecoinvent, Gabi). Actuellement la base Ecoinvent est la plus reconnue, notamment du fait de sa transparence en ce qui concerne la provenance des données utilisées ainsi que leur mode d'obtention, d'évaluation et d'intégration dans les calculs. Les données proposées sont évaluées par des experts indépendants et se basent exclusivement sur des informations industrielles. Elles sont établies sur le niveau "procédé unitaire" qui représente l'unité la plus petite et elles couvrent les domaines de l'énergie, des matériaux, du traitement des déchets, de produits et processus agricoles, de l'électronique, etc.
- **Les bases de données spécifiques** : elles ne traitent que des données d'un secteur particulier. En ce qui concerne les infrastructures, il va s'agir des données DIOGEN (Données d'Impact pour les Ouvrages de GENie civil), dont la base a été créée en 2010 par l'AFGC et dans laquelle sont présentes des données environnementales adaptées à l'évaluation des ouvrages de génie civil en France. Les études ACV réalisées pour construire ces données l'ont été selon les normes NF EN ISO 14040 et 14044. Les données sont téléchargeables gratuitement (www.diogen.fr).

Cette base de données regroupe des données adaptées au domaine, en matière d'impacts environnementaux, de type "cradle-to-gate", modélisées à partir de données existantes par ailleurs, combinées autant que nécessaire de façon à aboutir aux objets usuels du génie civil. La base de données s'appuie sur la norme NF EN 15804/CN et ses indicateurs. Elle est en constante évolution afin d'intégrer de nouveaux matériaux.

Dans le but de réaliser des ACV pertinentes dans le domaine du génie civil, il a semblé important d'être à même d'avoir des notions sur la fiabilité des données de la base. Pour ce faire, un indice de confiance couvrant différents critères de jugement est utilisé. Il s'appuie sur la méthode de qualification des données utilisée par Ecoinvent.

- **Les bases de données plus sectorielles** : au niveau européen, le JRC (Joint Research Centre) sous l'impulsion de la Commission Européenne a développé une base de données de référence nommée ELCD (European reference Life Cycle Database). Elle a été supprimée le 29 juin 2018 mais reste téléchargeable sur le site du JRC. Elle contient les inventaires de cycle de vie pour des matériaux clés, l'énergie, les transports, la gestion des déchets. Les données sont fournies et approuvées par les associations industrielles des différents secteurs.

Il conviendra toutefois qu'une ACV soit réalisée à partir de données comparables (donc souvent issues de la même base de données) afin d'éviter tout double comptage pouvant provenir de méthodologies de modélisation des données différentes (ex. Les frontières considérées).

Ces bases de données peuvent être payantes ou à accès restreints. Elles peuvent être intégrées à des outils pour faciliter la réalisation d'une ACV.

Par ailleurs, des associations professionnelles mettent à disposition des données spécifiques établies à partir d'inventaires réalisés par leurs adhérents. C'est le cas du SNBPE, de l'ATILH, d'Eurofer et de Worldsteel.

3.3 - Les outils métiers

Il n'existe pas à ce jour d'outil répondant à l'ensemble du périmètre des infrastructures routières. En effet, les outils disponibles ont été développés pour traiter séparément des unités fonctionnelles correspondant soit au domaine des chaussées soit au domaine des ouvrages d'art. Ces différents outils, leur périmètre d'usage, les données utilisées et les résultats qu'ils fournissent sont présentés ci-après.

3.3.1 - Les outils métiers pour les chaussées

■ L'outil logiciel ECORCE

Ce logiciel, Eco Comparateur Route Construction et Entretien, a été élaboré par l'IFSTTAR et le réseau scientifique et technique du ministère de l'écologie. Il est mis à disposition gratuitement après acceptation d'une licence d'exploitation. ECORCE peut être utilisé en phase amont comme en phase aval d'un projet et est adapté à l'évaluation environnementale d'un projet routier.

Le périmètre de l'analyse environnementale est une ACV tronquée, car le logiciel ne calcule pas les impacts environnementaux liés à l'utilisation et à la fin de vie de l'ouvrage. Les étapes prises en compte depuis le terrassement jusqu'aux accotements sont :

- l'extraction ;
- la fabrication ;
- le transport ;
- la mise en œuvre, la livraison de l'ouvrage

Les résultats sont synthétisés et exprimés par une dizaine d'indicateurs environnementaux (émission de GES, consommation d'énergie, consommation de matériaux neufs et alternatifs, eau, acidification, toxicité, écotoxicité, eutrophisation, ozone photochimique).

Ce logiciel permet de comparer diverses solutions techniques, une solution de base et une ou plusieurs variantes d'un projet routier linéaire offrant des niveaux de service équivalents.

Il est destiné à être utilisé par tous les acteurs de la construction routière : entreprises, maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvres, universités, bureaux d'études, etc

■ L'outil logiciel SEVE

Ce logiciel est un Système d'Évaluation de Variantes Environnementales élaboré par la profession routière. Il est téléchargeable sur le site de www.seve-tp.com essite l'achat d'une licence reconductible annuellement.

Le périmètre de l'analyse environnementale est également une ACV tronquée. Le périmètre de l'évaluation concerne l'extraction des matières premières jusqu'à la livraison de l'ouvrage (couches de chaussées, couche de forme et partie supérieure de terrassement).

Les indicateurs disponibles sont au nombre de cinq : émission de GES, consommation d'énergie, consommation de granulats, valorisation d'agregats d'enrobés, tonne kilométrique.

L'utilisation de ce logiciel s'applique également aux ouvrages routiers linéaires, et il est adapté à la comparaison de critères environnementaux d'une solution de base et d'une ou plusieurs variantes; pour des solutions techniques offrant le même niveau de service.

Les utilisateurs cibles sont les mêmes que pour le logiciel ECORCE, et il peut aussi être utilisé en phase amont et/ou en phase aval d'un projet.

3.3.2 - Les outils métiers pour les Ouvrages d'Art

À ce jour, seul l'outil CIOGEN « Calcul d'Impacts environnementaux des Ouvrages de GENie civil » existe pour la réalisation d'une ACV d'ouvrage d'Art.

Cet outil évolutif est développé dans le cadre de l'AFGC. Il a été réalisé pour permettre aux Maîtres d'Ouvrages de disposer d'un outil fiable d'ACV en vue de mener une politique de développement durable dans les programmes de travaux, ainsi que pour permettre aux bureaux d'études et aux entreprises de répondre aux exigences des donneurs d'ordre en justifiant leurs choix selon des critères environnementaux encadrés par un référentiel de normalisation.

Dans sa version 1 sous excel, cet outil est applicable pour un pont courant routier en béton. Il permet d'établir des valeurs d'impacts environnementaux selon la norme NF P01-010 sur les étapes du cycle de vie couvrant la production des matériaux, leurs transports et leur mise en œuvre. CIOGEN V1 peut être utilisé à partir d'un simple détail estimatif de marché travaux. Il ne requiert comme données utilisateur que les désignations et les quantités de matériaux envisagées pour la réalisation de l'ouvrage. Sur la base de retours d'expériences, l'outil calcule des distances de transports moyennes ainsi que des consommations d'énergie et d'entrants (matériaux de dispositifs provisoires, amortissement d'engins de chantiers, flux et déchets) pour les processus de construction, proportionnelles aux données fournies par l'utilisateur (indicateurs de référence : volume de béton et masse d'aciers). Il permet également d'intégrer aux résultats des valeurs d'amortissement des engins utilisés en relation avec leur temps de présence sur le chantier considéré (ex : pour 6 mois de mobilisation, les impacts liés à la fabrication de l'engin seront attribués au chantier à hauteur de 5 % si la durée de vie estimée de celui-ci est de 10 ans).

CIOGEN V1 s'appuie sur deux bases de données :

- la base de donnée DIOGEN de l'AFGC ;
- la base de données Ecoinvent, pour l'utilisation de données généralistes telles que les émissions de véhicules (VL et PL), d'engins de chantier et de groupes électrogènes.

Une évolution de l'outil est en cours pour l'adapter à la norme NF EN 15804/CN et compléter/affiner la base de données "chantier" sur laquelle il repose.

3.4 - Les outils génériques applicables à tous

Il est possible de classer les outils disponibles en deux catégories :

- les outils d'analyses monocritère, type Bilan Carbone® qui ne concerne qu'un seul indicateur de sortie, par exemple la téqC ou téqCO₂ ;
- les outils d'analyses multicritères qui présentent plusieurs catégories d'impact, plusieurs indicateurs de sortie. Ces logiciels génériques libres (ex : OpenLCA) ou commerciaux (ex : SimaPro) permettent de réaliser des analyses de cycles de vie complètes. Ils proposent généralement une interface graphique qui permet de visualiser le modèle et les résultats obtenus sous la forme de tableaux, de graphiques, etc. Ceux-ci nécessitent que l'utilisateur puisse, dans une base de données souvent large, choisir les données les plus adéquates au projet. C'est pourquoi un certain niveau d'expertise est nécessaire à leur utilisation.

■ La méthode Bilan Carbone®

La méthode Bilan Carbone est un outil monocritère développé par l'ADEME et gérée actuellement par l'ABC, Association Bilan Carbone®. Ce système de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre d'un produit ou d'un service relève d'une démarche d'évaluation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique d'une entreprise publique, privée, d'une collectivité ou bien encore de toutes les activités d'un territoire. La version V6.1 de l'outil est disponible depuis fin 2014.

La méthode permet de comptabiliser les émissions des GES identifiées par le protocole de Kyoto sur la base de facteurs d'émissions. Ces facteurs d'émissions permettent de convertir les données observables de l'entité en émissions de GES (exprimées en équivalent carbone ou équivalent CO₂), en prenant en compte les 6 gaz retenus par le protocole de Kyoto : CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆.

Cette méthode de calcul est composée d'un tableur relié à une base de données, la base carbone, gérée par l'ABC. Compte tenu de l'utilisation de facteurs d'émission moyens et des hypothèses à poser lors de la collecte des données, elle ne fournit que des ordres de grandeur qui permettront néanmoins de tirer des conclusions pratiques quant aux postes les plus émetteurs et aux actions à mener pour réduire les émissions. Les émissions prises en compte sont les émissions directes qui prennent place au sein de l'entité, ainsi que les émissions indirectes induites par des clients et des fournisseurs.

Enfin, cet outil permet d'identifier les postes les plus émissifs et peut donc être intégrée à un système de management environnemental.

■ OpenLCA

OpenLCA est un logiciel modulaire opensource pour l'analyse de cycle de vie édité en 2006 par GreenDeltaTC¹⁰, Berlin. Ce logiciel permet d'intégrer une base de données, type Ecoinvent¹¹. Plusieurs bases de données peuvent être installées en même temps ; toutefois elles seront alors indépendantes les unes des autres, avec une seule base active à la fois.

Ce logiciel permet de créer des systèmes de produits de toutes tailles, qu'ils soient auto-connectés (de type SimaPro) ou par connexion manuelle (de type GaBi). Il permet la réalisation d'analyse de sensibilité, l'écriture de scripts (Javascript, Python), les évaluations d'incertitudes, des simulations Monte Carlo, des expansions du système, l'utilisation d'allocation, etc., convenant ainsi à tout type de projet.

Selon l'exploitation souhaitée, il est possible de créer plusieurs sous-niveaux de procédés. Plus la modélisation sera fine (avec des sous-niveaux de procédés), plus il sera possible d'évaluer un système et de juger les leviers d'action pour diminuer son impact environnemental.

Afin d'utiliser cet outil, l'utilisateur devra connaître les flux entrants et sortants de son système avec les quantités associées. Il faudra qu'il ait accès à une base de données lui permettant d'associer des flux à ces entrants et sortants. Une fois les flux affectés, l'étape suivante consiste à appliquer au système une méthode d'évaluation des impacts qui permettra l'obtention des différents impacts environnementaux souhaités.

10 The OpenLCA program site : <http://www.openlca.org/The-openLCA-project.4.0.html>

11 Ecoinvent Center : <http://www.ecoinvent.ch>

■ SimaPro

SimaPro¹² est un logiciel commercial d'ACV édité par PRé Consultants aux Pays-Bas depuis plus de 25 ans^{13 14}. Il est édité sous différentes versions et propose des extensions en fonction des attentes des utilisateurs et de leur niveau d'expertise. Ce logiciel intègre plusieurs bases de données dont Ecoinvent, qui peuvent être utilisées simultanément, ainsi que de nombreuses méthodes d'évaluation d'impacts environnementaux.

Ce logiciel permet de modéliser, de comparer et d'analyser des produits et des systèmes de produits de toute nature et de toute taille. Selon la version retenue, certaines fonctionnalités avancées sont incluses : analyse d'incertitude (méthode Monte Carlo), paramétrage (facilite les analyses de sensibilité), etc.

SimaPro a la particularité de proposer une version multi-utilisateur grâce à laquelle différentes personnes peuvent travailler simultanément sur un même projet.

La modélisation comporte plusieurs étapes : elle est basée sur le principe d'une nomenclature de produit (en termes de matériaux et de procédés employés pour le réaliser), à laquelle sont ensuite ajoutées les données relatives aux autres étapes du cycle de vie telles que le transport, la vie en œuvre, la fin de vie, etc. L'utilisateur devra connaître les flux entrants et sortants de son système avec les quantités associées. Lorsque la modélisation est réalisée, l'utilisateur applique une méthode d'évaluation et le logiciel calcule les indicateurs d'impacts environnementaux définis dans la méthode choisie. Les résultats peuvent être affichés sous différentes formes (tableaux, graphiques) et des exportations vers un tableur sont possibles (à partir de la version Analyst). Les contributions de chaque processus aux différents indicateurs peuvent être examinées et des analyses de sensibilité peuvent être effectuées. Si le modèle est défini avec un niveau de finesse élevé, les résultats pourront être analysés avec un niveau de détails important.

12 <https://simapro.com/>

13 <https://www.pre-sustainability.com/customer-cases>

14 <http://www.evea-conseil.com/fr/>

4 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en étude amont

4.1 - Objectif et champ de l'étude amont

La référence à la norme NF P15-804 impose une liste d'indicateurs à quantifier. Toutefois dans la pratique, en raison notamment des possibilités offertes par les outils, l'étude peut être adaptée et ne reposer que sur un nombre limité d'indicateurs. Il convient donc de porter une attention particulière aux choix pris dans le cadre d'une étude amont puisque la cohérence du projet impose de poursuivre la même démarche lors des phases ultérieures (conception, consultation, suivi, etc.). Dans le cas contraire, la remise en cause des choix initiaux peut considérablement bouleverser les choix techniques et réduire la pertinence de l'étude.

Les évolutions normatives et de conception des outils en cours laissent présager que les études futures intégreront systématiquement l'ensemble des indicateurs tel que l'exige la norme.

4.2 - Inventaire des données et choix de l'outil

Au niveau des **études amont** des projets, à ce jour, les éléments relevant du trafic sont fréquemment prépondérants. En effet, au regard des émissions du parc automobile et en particulier des poids lourds, ce sont les impacts sur les trafics déterminés par des choix de conception d'ensemble (profil en long, longueur de trajet, réalisation de tunnels ou d'ouvrages de grandes portées) qui orientent les décisions. Ainsi, au préalable à des analyses précises de l'ensemble des étapes du projet, il convient d'apprécier la contribution relative de chacune d'entre elles au regard notamment de la contribution du trafic.

De fait, il convient en priorité de disposer d'un outil performant en termes d'évaluation de flux d'émissions et de pollutions générés par le trafic de véhicules. Les valeurs d'entrée dans l'outil doivent être issues de bases de données de référence, si possible partagées. Il est préférable de travailler avec des données moyennées à l'échelle du territoire national ou européen pour les émissions des véhicules. Une étude de sensibilité sera sans doute la bienvenue compte tenu du poids environnemental de ce poste.

4.3 - L'évaluation des impacts environnementaux

Il convient d'évaluer l'impact des différents scénarios envisagés en prenant en compte les caractéristiques du parc de véhicules. Une projection temporelle est également envisageable en prenant en compte une évolution prévisible de ce parc. Il convient toutefois de rappeler que les normes ACV internationales recommandent de considérer les technologies actuelles dans les évaluations afin d'éviter les scénarios trop optimistes/pessimistes.

Pour l'évaluation de la réalisation de l'infrastructure proprement dite (terrassements, chaussées, ouvrages d'art), on pourra ainsi se contenter de ratios, valeurs moyennées couvrant les importantes incertitudes encore existantes à ce stade des études, tant en termes de choix de matériaux, de structures, de quantités mises en œuvre, ou encore de scénarios d'entretien.

Il est important de vérifier la cohérence de l'étude ACV avec le niveau de précision des calculs engagés. Inutile donc de déterminer au mètre cube près un volume ou une désignation particulière de béton au regard des impacts induits par la variabilité de trafic d'un axe autoroutier ou d'une voie rapide urbaine.

4.4 - Importance du trafic

Dans le domaine routier, la méthode de calcul pour les phases « construction et maintenance » est bien établie. Des logiciels validés par la communauté scientifique sont utilisés. Cependant, la prise en compte de la phase « usage » est plutôt récente et donne lieu à des questionnements. Ces réflexions portent principalement sur l'intégration du trafic circulant sur l'infrastructure et sur le profil en long de la chaussée.

Citons comme exemples de questionnements : la prise en compte des impacts du relief sur la consommation des véhicules ; ou bien la prise en compte des véhicules circulant sur l'infrastructure évaluée ; ou encore l'intégration de l'amélioration technologique de l'efficacité énergétique des véhicules et l'évolution sur le long terme de la motorisation (véhicules électriques).

La prise en compte du trafic dans ces calculs n'est pas encore systématique mais la communauté scientifique est active sur ce sujet. Les nouvelles stratégies nationales pour le pilotage des nouveaux projets de transport ([décret 2017-725 relatif aux principes et modalités du calcul des émissions de gaz à effet de serre des projets publics](#)) tendent vers une intégration trafic/chaussée dans les études d'ACV. Même si cela ne concerne pour l'instant que l'indicateur GES, ces travaux soulignent la nécessité d'intégrer les spécificités du trafic dans les études d'ACV routières.

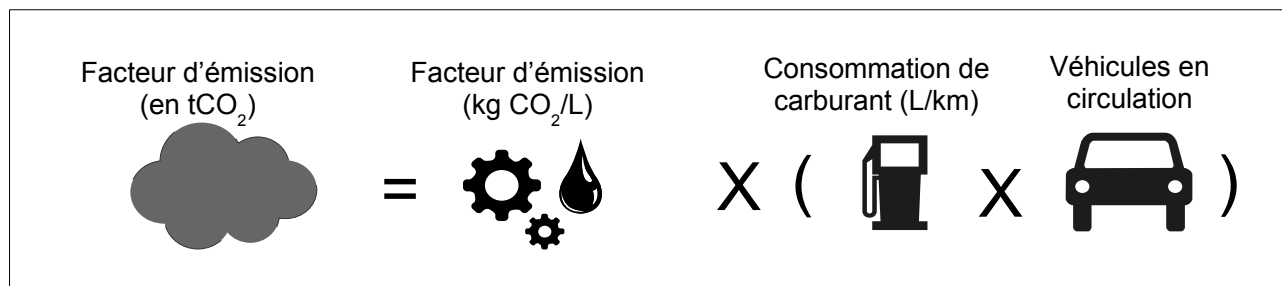
A titre d'exemple, citons le bilan des émissions de gaz à effet de serre réalisé dans le cadre du projet A31bis en considérant une projection à 30 ans. Cette étude montre que le trafic est responsable de 99,6 % des émissions de CO₂ totales de l'infrastructure routière. Par ailleurs, une analyse sur l'indicateur GES réalisée pour le contournement de la RN 147 à Lussac les châteaux en considérant une projection à 70 ans montre que le trafic représente entre 77 % et 80 % des émissions. Les variations dépendent essentiellement des techniques routières mises en place.

La méthode de prise en compte des émissions de trafic est détaillée dans le [référentiel d'évaluation des projets de transport](#). Les informations à recueillir au préalable sont :

- les projections annuelles des trafics, qui permettent d'estimer l'évolution du trafic sur la durée de vie de l'infrastructure ;
- la projection de parc roulant¹⁵ (nombre de véhicules par type de motorisation pondéré par les km effectués) ;
- les Trafics Moyens Journaliers Annuels (TMJA) : Ils permettent en multipliant les TMJA par la longueur de l'axe et le nombre de jours par an (365) de connaître le nombre de véhicules par kilomètre circulant sur l'infrastructure ;
- les consommations unitaires d'énergie des véhicules. Selon le type de véhicule (PL ou VL) les consommations unitaires seront différentes ;
- les vitesses maximales autorisées en km/h. Elles ont un impact sur la consommation des véhicules (l/km) et indirectement sur les quantités de CO₂ émises ;
- les facteurs d'émissions des sources d'énergie utilisés par les modes de transport.

¹⁵ Deux notions importantes doivent être distinguées : le parc statique et le parc roulant. Le parc statique correspond au nombre de véhicules en service abstraction faite de l'usage qui en est fait. Le parc roulant au contraire constitue une évaluation de la circulation effective des véhicules.

La quantification des émissions liées à l'utilisation de l'infrastructure ou du service de transports, repose, schématiquement, sur la décomposition suivante :



Dessin 1 : Schéma de la méthode de calcul des émissions des véhicules (Source : Cerema)

Le référentiel d'évaluation des projets de transport, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/evaluation-des-projets-transport#e4> fournit des méthodes et facteurs d'émissions de GES pour la phase de circulation des véhicules dans différentes fiches :

- la fiche « Effets sur les émissions de GES » précise le cadre méthodologique général ;
- la fiche « Valeurs recommandées pour le calcul des indicateurs socio-économique » propose des facteurs d'émissions par unité de carburant et par veh.km, ainsi que des courbes de consommation de carburant des VL et des PL et leur évolution ;
- la fiche « Scénario de référence » propose des hypothèses d'évolution du parc roulant.

4.5 - Exemple. Étude environnementale réalisée en phase d'étude de travaux routiers

L'étude concerne un projet routier comprenant la réalisation d'une route sur section neuve (couche de forme et de chaussée) pour un linéaire de 650 mètres à 3 voies avec déblais de 20 mètres et remblais de 10 mètres. Elle vise à identifier l'impact sur des indicateurs environnementaux de différents scénarios (solutions de base et variantes). La méthodologie a consisté à définir des hypothèses pour les dimensionnements (épaisseurs des couches et nature des matériaux) et à fixer les données d'entrées liées aux dimensions du projet, aux consommations de carburant et aux distances d'approvisionnement. L'étude a été complétée par une quantification de l'impact de la variation de trois paramètres spécifiques : le transport, le traitement de sol et la source d'énergie de la centrale de fabrication des enrobés bitumineux.

4.5.1 - Définition des paramètres fixes de l'étude

Au préalable à l'étude paramétrique, il convient de préciser les paramètres fixes du projet. Il s'agit du dimensionnement, de la consommation des véhicules de chantier et des distances d'approvisionnement en matériaux. Les paramètres fixes de dimensionnement concernent :

- les terrassements (longueurs et volumes des déblais et remblais) ;
- la partie supérieure des terrassements (PST) et la couche de forme de la chaussée (longueur et largeur) ;
- la chaussée (longueur et largeur des différentes couches).

La consommation des véhicules par poste est fixée :

- pour les terrassements : à 0,2 l/m³ de déblai extrait et à 0,1 l/m³ de remblai mis en œuvre ;
- pour la PST et la couche de forme : à 0,1 l/m³ par m³ mis en œuvre sans traitement et à 0,2 l/m³ avec traitement.

Les distances d'approvisionnement par poste sont fixées :

- pour les terrassements : distance d'approvisionnement en matériaux de 5 km et distance de transport des matériaux par tombereau de 300 mètres ;
- pour la PST et la couche de forme : distance d'approvisionnement en matériaux de remblai ou de couche de forme traitée de 5 km ; distance d'approvisionnement en matériaux granulaires de 20 km et distance d'approvisionnement en liants hydrauliques routiers de 50 km ;
- pour la chaussée : distance entre les centrales et le chantier de 20 km ; distance entre les carrières et les centrales de 20 km ; distances entre la raffinerie et les centrales de 200 km, et distance entre la production de fillers et les centrales de 150 km.

4.5.2 - Définition des solutions de base de l'étude

Les hypothèses particulières des quatre solutions de bases étudiées sont données ci-après :

Solutions de bases				
	Base 1	Base 2	Base 3	Base 4
Caractéristiques	<i>PST non traitée très gélive/couche de forme granulaire/PF3</i>	<i>PST traitée peu gélive/couche de forme granulaire/PF3</i>	<i>PST traitée très gélive/couche de forme traitée/PF4</i>	<i>PST traitée peu gélive/couche de forme traitée/PF4</i>
Couche de roulement	6 cm de BBSG 0/10 de classe 2	6 cm de BBSG 0/10 de classe 2	6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;	6 cm de BBSG 0/10 de classe 2
Couche d'assise	12 cm de GB 0/14 de classe 3	12 cm de GB 0/14 de classe 3	10 cm de GB 0/14 de classe 3	10 cm de GB 0/14 de classe 3
Couche de forme déblai	30 cm de R21	30 cm de R21	30 cm de GNT	30 cm de GNT
Couche de forme en remblai	96 cm de R21	75 cm de R21	93 cm de matériau traité à 6 % de liant hydraulique contenant 70 % de clinker et protection par enduit gravillonné	74 cm de matériau traité à 6 % de liant hydraulique contenant 70 % de clinker et protection par enduit gravillonné
PST en remblai		35 cm de matériaux traités à 4 % de liant hydraulique contenant 50 % de clinker et 25 % de chaux	35 cm de matériaux traités à 2 % de liant hydraulique contenant 50 % de clinker et 25 % de chaux	35 cm de matériaux traités à 4 % de liant hydraulique contenant 50 % de clinker et 25 % de chaux

4.5.3 - Définition des solutions variantes de l'étude

Les paramètres des quatre variantes étudiées sont donnés ci-après :

Variantes					
	Base 1 (Rappel)	Variante AE	Variante tiède	Variante BmP	Variante GB4
Caractéristiques	<i>PST non traitée très gélive/couche de forme granulaire/PF3</i>				<i>Utilisation d'une GB4 0/14 contenant 20 % d'agrégats d'enrobés à la place d'une GB3.</i>
Couche de roulement	6 cm de BBSG 0/10 de classe 2	Utilisation d'une GB3 0/14 contenant 30 % d'agrégats d'enrobés, fabriquée à chaud à partir d'un poste fixe fonctionnant au gaz naturel.	Utilisation d'enrobés tièdes (abaissement de température d'environ 30°C par rapport à une technique classique) en lieu et place des enrobés étudiés dans les autres solutions.	Utilisation d'un bitume modifié aux polymères (élastomères) en couche de roulement	6 cm de BBSG 0/10 de classe 2 ;
Couche d'assise	12 cm de GB 0/14 de classe 3				10 cm de GB 0/14 de classe 4 ;
Couche de forme déblai	30 cm de R21				30 cm de R21 ;
Couche de forme en remblai	96 cm de R21				96 cm de R21.

4.5.4 - Définition d'autres paramètres de l'étude

L'étude est complétée par la quantification de l'impact de certains paramètres spécifiques. Il s'agit de prendre en considération les conditions de transport, l'impact d'un traitement à la chaux et l'impact de la nature du carburant utilisé dans les centrales d'enrobés bitumineux. Les variantes étudiées sont les suivantes :

- **Distances d'approvisionnement**
 - distance d'approvisionnement en matériaux de remblai ou de couche de forme traitée : 10 km (au lieu de 5 km) ;
 - distance d'approvisionnement en matériaux granulaires : 40 km (au lieu de 20 km) ;
 - distance d'approvisionnement en liants hydrauliques routiers : 50 km (inchangé) ;
 - distances centrales – chantier : 40 km (au lieu de 20 km) ;
 - distances carrières – centrales : 20 km (inchangé) ;
- **Chaux : traitement des matériaux de remblai à la chaux**
 - traitement des matériaux de remblai à 1 % de chaux vive pure à 90 %.
- **Fioul : utilisation d'une centrale d'enrobage fonctionnant au fioul**
 - fabrication des enrobés à partir d'un poste fixe fonctionnant au fioul au lieu du gaz naturel.

4.5.5 - Résultats

L'analyse environnementale repose sur la quantification de huit indicateurs à l'aide du logiciel Ecorce.

Analyse détaillée de la solution de base n°1

Les résultats d'analyse sont donnés dans les deux tableaux suivants pour d'une part les différentes parties de la structure et d'autre part les différents postes du chantier.

	Granulats (t)	Energie (MJ)	GES (kg eq. CO ₂)	Acidification (kg. eq. SO ₂)	Eutrophisation (kg eq SO ₄)	Ozone photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1,4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1,4 DCB)
Terrassement	0	4 069 470	325 083	405	112	407	7 120 946	40 285
PST/Couche de forme	19 294	1 434 208	82 163	266	74	147	1 813 478	9 130
Chaussée	7 158	4 405 843	259 711	374	73	300	8 852 033	16 316

	Granulats (t)	Energie (MJ)	GES (kg eq. CO ₂)	Acidification (kg. eq. SO ₂)	Eutrophisation (kg eq SO ₄)	Ozone photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1,4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1,4 DCB)
Production	26 452	2 334 983	124 144	431	100	188		
Fabrication		2 365 330	126 704	54	5	130		
Transport		3 404 553	273 461	467	127	388		
Mise en œuvre		1 804 654	142 649	94	28	148		

L'analyse des indicateurs par partie de structure reste délicate. Chacune d'entre elles contribue aux indicateurs avec un effet notable mais variable. Les terrassements représentent la contribution la plus forte suivis par les couches de chaussées.

L'effet par poste de chantier apparaît plus homogène. La répartition moyenne obtenue (hors consommation de granulats) est la suivante :

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

Il en ressort que les leviers d'actions concernent essentiellement les terrassements et les couches de chaussées d'une part, et les postes de transport des matériaux et de production des matières premières d'autre part.

Analyse des différentes solutions de base

Les résultats sont présentés ci-après pour les quatre solutions de base.

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

La solution de base 1 présente globalement le meilleur bilan environnemental si l'analyse porte sur l'ensemble des indicateurs. Toutefois, cette solution se démarque par une consommation élevée en ressources minérales ce qui dans le cadre du contexte régional de cette étude est particulièrement discriminant.

Cette étude permet d'illustrer l'effet d'un transfert de pollution entre les différentes solutions. En effet, les solutions de base n° 3 et 4 permettent de réduire fortement la consommation en ressources minérales non renouvelables, mais elles se caractérisent aussi par une forte augmentation des émissions de gaz à effet de serre, de l'écotoxicité et de la toxicité chronique.

Ainsi, il ne ressort pas de cette étude une solution de base idéale permettant de répondre à l'ensemble des enjeux environnementaux.

Analyse des variantes par rapport à la solution de base n°1

Les résultats de l'étude d'impact des variantes sont présentés dans le tableau ci-après :

	Granulats (t)	Energie (MJ)	GES (kg eq. CO ₂)	Acidification (kg. eq. SO ₂)	Eutrophisation (kg eq SO ₄)	Ozone photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1,4 DCB)	Toxicité chronique (kg eq 1,4 DCB)
Base 1	26 452	9 909 520	666 958	1 046	260	854	17 786 457	65 731
Variante AE	25 811	9 791 267	659 133	1 033	259	846	17 255 213	66 056
Variante tiède	27 885	9 471 526	637 162	1 059	261	812	18 912 241	64 861
Variante Bmp	26 452	10 121 144	678 414	1 082	265	887	10 433 696	67 100
Variante GB4	26 263	9 450 235	640 333	1 018	254	824	17 204 699	64 187

Ces résultats permettent de mettre en évidence les éléments suivants :

- l'utilisation d'agrégats d'enrobés a un impact faible puisque la consommation en ressources minérale n'est réduite que de 2,4 % par rapport à la solution de base ;
- une solution en technique tiède apporte une amélioration sur la consommation en énergie (-4,4 %), sur les indicateurs d'émission de gaz à effet de serre (-4,5 %) et d'ozone photochimique (-4,9 %). Toutefois, ces gains sont associés à une augmentation de la consommation en ressources naturelles de 5,4 %.
- une solution en Grave Bitume de classe 4 (GB4) permet un gain de 1 à 5 % sur l'ensemble des indicateurs par rapport à la solution de base (GB3). Cette solution est la moins consommatrice en ressources naturelles non renouvelables.

Analyse de l'impact d'autres paramètres par rapport à la solution de base n°1

	Granulats (t)	Energie (MJ)	GES (kg eq. CO ₂)	Acidification (kg. eq. SO ₂)	Eutrophisation (kg eq SO ₄)	Ozone photochimique (kg eq éthylène)	Ecotoxicité (kg eq 1,4 DCB)	Toxicité chronique(kg eq 1,4 DCB)
Base 1	26 452	9 909 520	666 958	1 046	260	854	17 786 457	65 731
Transport	26 452	11 054 066	758 627	1 229	309	993	19 789 236	77 226
Chaux	26 452	13 157 349	1 424 934	1 204	291	906	46 338 172	278 163
Fioul	26 452	10 105 000	741 299	1 458	278	1 030	47 605 676	107 172

Cette étude complémentaire apporte les éléments d'informations suivants :

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

4.5.6 - Conclusions

Les écarts entre les différentes solutions de base et les variantes se traduisent par des variations plus ou moins importantes des indicateurs environnementaux étudiés.

Globalement la comparaison de différentes solutions de base n'illustre pas de gain environnemental significatif et systématique. Lorsqu'un gain est constaté pour un indicateur un transfert de pollution est observé. La réflexion finale implique donc de faire des choix et de hiérarchiser les enjeux en considérant les spécificités locales.

L'étude des variantes s'illustre par des impacts plus marqués sur les indicateurs environnementaux. En particulier, la solution à base d'un GB4 apporte un gain compris entre 1 et 5 % sur l'ensemble des indicateurs.

Par ailleurs, l'étude montre qu'une augmentation de la portance de la couche de forme par un traitement à la chaux a un effet conséquent sur les indicateurs environnementaux (hors granulats).

5 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en phase d'avant-projet et de projet

5.1 - Préambule

L'étape d'avant-projet et de projet intervient à l'issue des études préliminaires au cours desquelles les hypothèses majeures du projet ont été fixées. A ce stade, les études comportent des incertitudes puisque les modélisations environnementales ex-ante sont rarement exhaustives. En effet, plusieurs paramètres (transports et mise en œuvre) sont établis ultérieurement dans le cadre du choix des offres puis du déroulement des travaux.

Au niveau des études d'avant-projet, il convient de se focaliser sur l'évaluation de l'infrastructure proprement dite, hors trafic (même si celui-ci fixe en général les conditions du dimensionnement). Il convient de ce fait, de choisir un outil dédié aux études ACV d'infrastructures routières (Ecorce, Seve), ou encore de bâtir son propre modèle d'évaluation à partir d'outils génériques (Simapro, OpenLCA).

5.2 - Inventaire des données

À ce stade, les données d'entrée se précisent : les études engagées permettent de définir des volumes (avec encore des variations significatives d'une variante à l'autre) et des natures de matériaux.

Toutefois, la désignation précise de ces matériaux n'est pas forcément fixée, des alternatives restent possibles : paramètres physico-chimiques, provenance, mode de construction et d'entretien qui interagissent donc avec l'ensemble des étapes d'une ACV (production de matériaux, transport, mise en œuvre, vie en œuvre et fin de vie). Des données moyennées à l'échelle nationale ou à l'échelle d'une certification le cas échéant sont donc adaptées. Il convient de souligner que dans les outils « prêts à l'emploi », l'utilisateur n'a pas toujours la possibilité d'agir sur la précision des données d'entrée. En l'occurrence, les données proposées peuvent être trop précises pour le niveau d'évaluation envisagé. Il convient alors dans ce cas de réaliser un calcul en fourchette, borné par les valeurs extrêmes des données d'entrée susceptibles de correspondre au projet.

Les **études de projet** déterminent précisément les caractéristiques des variantes envisagées. Les désignations de matériaux se précisent ainsi que les volumes associés. Les outils utilisés dans un contexte d'avant-projet restent pertinents, mais on peut désormais y associer des données plus précises : valeurs d'impacts de production de matériaux, hypothèses de transports et mise en œuvre, scénarios d'entretien, valorisation en fin de vie, etc. Les études de sensibilité associées au calcul peuvent prendre en compte un contexte local, des choix techniques précis, des scénarios d'entretien bâtis à partir de pratiques consolidées.

Un point d'attention doit concerner les **mesures d'exploitation** associées aux travaux sur des infrastructures existantes. En effet, les émissions générées par certains phasages sur des routes à forts trafics peuvent constituer un poste significatif voire déterminant sur certains impacts (émissions de GES notamment). Au préalable, le Maître d'ouvrage et le Maître d'œuvre auront donc pu évaluer les impacts associés aux différentes possibilités envisagées, dès la définition du projet. De ce fait, ils pourront déterminer le poids environnemental global des travaux.

Les techniques utilisées dans le cadre des travaux seront modélisées en considérant le contexte local, et refléteront en général les techniques habituellement adoptées. Cependant, ce type de modélisation ne pourra pas prendre en compte des procédés innovants d'entreprise, qui pourraient être proposés en phase d'analyse des offres, ou les spécificités des entreprises qui seront attributaires (notamment celles relatives à leur localisation par rapport au chantier, ou leurs méthodes en lien avec le matériel dont elles disposent).

Dans le domaine des chaussées, cette approche peut être utilisée pour la définition des politiques d'entretien les plus adaptées au réseau du gestionnaire. Dans le cas des ouvrages d'art, les études projets peuvent intégrer la conception d'une solution de base et de variantes. C'est le cas des variantes classiques proposées parce qu'elles peuvent être compétitives, en fonction des atouts et des savoir-faire des entreprises soumissionnaires. C'est aussi souvent le cas dans le cadre de conceptions innovantes : celles-ci sont généralement modélisées à cette étape.

L'ensemble des éléments n'étant pas connu de façon exhaustive au stade de la définition des travaux à conduire, un certain nombre d'hypothèses sont à fixer afin de réaliser les modélisations. Elles peuvent se baser sur des moyennes raisonnablement attendues, ou sur un calcul en fourchette permettant d'apprécier la sensibilité de l'analyse au facteur concerné.

Les hypothèses prises seront renforcées par :

- **la prise en compte de spécificités locales.** Il est pour cela nécessaire d'intégrer des éléments de contexte tels que les techniques employées, les distances d'acheminements des matériaux, etc. Dans cette optique, l'existence de bases de données représentatives des pratiques locales facilite l'étude. Elles permettent à la fois de réaliser des évaluations amont précises (et donc d'orienter les choix de conception dès les phases projet), et de juger de la pertinence et du réalisme des solutions proposées au moment de l'analyse des offres. Une étude préliminaire pourra peut-être s'avérer nécessaire pour justifier ces hypothèses ;
- **l'identification des postes ayant un impact environnemental déterminant.** Il s'agit ici d'apporter une vigilance particulière aux hypothèses prises sur les données les plus impactantes. Une modélisation détaillée apportera ces éléments de réponse. Elle devra reposer sur les données les plus représentatives du cas de figure envisagé et couvrir en particulier les différentes possibilités de réponses des entreprises.

Les hypothèses prises concernent aussi les éventuelles données manquantes telles que nous les décrivons au chapitre 2.2.1.

5.3 - L'évaluation des impacts environnementaux

Le point particulier des procédés innovants constitue une limite pour une modélisation ex-ante. Pour dépasser cette limite, il convient donc de bien identifier les paramètres principaux (processus, matériaux) qui déterminent, pour les solutions techniques connues, les impacts des études ACV amont d'un projet.

Les spécificités des réponses apportées ultérieurement par les entreprises (distances de transport, installations, etc.) peuvent induire des variations importantes des impacts environnementaux. Il est donc nécessaire de réaliser **une analyse de sensibilité** sur ces paramètres dont les caractéristiques ne sont pas maîtrisables à ce stade du projet. Par exemple sur les distances de transport, il est possible de faire varier la distance entre la centrale à béton et le chantier, en considérant la centrale la plus proche et celle la plus éloignée susceptible d'être choisie par l'entreprise. Cette étude de sensibilité peut être conduite en plusieurs phases alimentées par des réflexions intermédiaires visant à cerner au mieux les paramètres déterminants, leurs éventuelles interdépendances, etc. L'analyse de sensibilité peut être complétée par **une analyse d'incertitude**.

Ce type de démarche a été appliquée dans le cadre d'une étude ACV réalisée pour le projet d'échangeur de Sévenans (Territoire de Belfort). L'étude de sensibilité a été menée sur trois paramètres imputables aux choix de l'entreprise et jugés influents : les distances d'approvisionnement, le traitement à la chaux des matériaux de remblai et le combustible utilisé par la centrale d'enrobage.

Cette étude montre une variation importante des GES induite par les choix des entreprises. Ces variations étant plus importantes que celles observées en modifiant les solutions techniques. L'indicateur GES a donc été retenu dans l'appel d'offre. À l'inverse, pour certains indicateurs les différences observées entre les scénarios de l'étude de sensibilité sont inférieures à celles obtenues en modifiant les solutions techniques (par ex : consommation en granulats). Les variantes n'ont donc pas été admises sur ces critères.

5.4 - Exemple d'application

Analyse des impacts environnementaux de scénarios d'entretien structurel ou de reprise de déformations d'une chaussée

5.4.1 - Périmètre de l'étude¹⁶

Le périmètre de l'étude concerne des travaux d'entretien réalisés sur des routes à faible trafic présentant deux niveaux de dégradation sans pour autant nécessiter un entretien structurel. Les scénarios incluant un reprofilage et une couche de roulement si nécessaire ont été retenus sur la base de guides régionaux et de retours d'expériences.

Pour une chaussée faiblement déformée, l'étude porte sur trois techniques :

- une technique à froid comportant un reprofilage avec une grave émulsion de bitume dosée à 50 kg/m² revêtue par une couche de roulement en enduit bicouche ;
- une technique à froid comportant un reprofilage avec une grave émulsion de bitume dosée à 50 kg/m² revêtue par un béton bitumineux à froid de 3 cm ;
- une technique à chaud comportant une couche de béton bitumineux semi-grenu de 6 cm.

Pour une chaussée fortement déformée, l'étude porte sur les trois techniques précédentes avec une formulation adaptée au reprofilage de fortes déformations, ainsi que deux techniques de retraitement en place. Sont étudiés :

- une technique à froid comportant un reprofilage avec une grave émulsion de bitume dosée à 90 kg/m² revêtue par une couche de roulement en enduit bicouche ;
- une technique à froid comportant un reprofilage avec une grave émulsion de bitume dosée à 90 kg/m² revêtue par un béton bitumineux à froid de 3 cm ;
- une technique à chaud comportant un reprofilage de béton bitumineux semi-grenu de 90 kg/m² et une couche de béton bitumineux semi-grenu de 6 cm ;
- un retraitement en place par une émulsion de bitume et un revêtement par un enduit bicouche ;
- un retraitement en place par une émulsion de bitume et un revêtement par un béton bitumineux à froid de 3 cm.

¹⁶ Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'opération de recherche OPTIMIRR (OPTimisation des Matériaux routiers économes Incorporant des Recyclés de la Route) du Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'écologie. Elle vise à apporter des éléments comparatifs sur les impacts environnementaux de différentes techniques d'entretien de chaussées comportant un rechargement.

Les scénarios sont définis en prenant en compte les limites technologiques de ces matériaux. Les choix d'étude sont les suivants :

- la grave-émulsion est mis en œuvre à la niveleuse, les épaisseurs moyennes peuvent être faibles (avec un passage à 0 en axe) ;
- l'enrobé à chaud est mis en œuvre au finisseur et nécessite une épaisseur minimale plus importante (4 cm minimum) de BBSG en tout point ;
- le retraitement en place permet le ré-emploi de matériaux existants (granulats et liants anciens). L'exemple porte ici sur une épaisseur moyenne de traitement de 6 cm. Deux couches de roulement sont comparées, un enduit bicouche ou un béton bitumineux à froid (3 cm).

Les calculs environnementaux sont réalisés à partir du logiciel Ecorce (V2) et d'une base de données en date du 25 août 2011. Le projet considéré pour ces calculs correspond à une section théorique de 1 000 m² ¹⁷: ce chantier est représentatif¹⁸ du contexte local dans la région Bretagne et du maillage des centrales, et des carrières. Les distances de transport utilisées dans les calculs environnementaux sont résumées dans le tableau ci-après :

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

Tableau 1 : Distances de transport

5.4.2 - Résultats de l'étude

Neuf indicateurs environnementaux ont été quantifiés pour chacun des scénarios. L'étude comporte également une analyse paramétrique des contributions à l'indicateur « Gaz à effet de serre ».

Résultats – Pour l'entretien de chaussées faiblement déformées

Les résultats présentés dans le tableau ci-après confirment l'impact fort du procédé de mise en œuvre sur la consommation d'énergie. Par ailleurs, l'emploi d'un béton bitumineux à chaud en couche de roulement ou pour l'ensemble de la couche de chaussée entretenue a un impact sur l'indicateur « Gaz à effet de serre ». Ces résultats montrent enfin l'impact important de l'emploi d'un enduit pour la couche de roulement sur l'indicateur « Ecotoxicologie » (Ecotox) et d'une émulsion sur la consommation d'eau.

¹⁷ Les scénarios de retraitement en place impliquent de disposer d'un atelier spécifique de production d'émulsion. Toutefois, il convient de préciser que les calculs environnementaux présentés dans le cadre de cette étude sont réalisés pour des projets de 1 000 m², même s'il est généralement considéré que la mise à disposition d'un atelier de retraitement n'est pertinente que pour des chantiers d'une surface supérieure à 15 000 m².

¹⁸ Précisons que le dimensionnement de matériaux traités à l'émulsion de bitume est basé principalement sur des expériences locales sans utiliser d'indicateur formalisé de la fin de vie de ces techniques. Ainsi, une analyse de cycle de vie à durée de service équivalente ne peut pas être effectuée pour comparer les techniques à chaud et à froid.

	GES kg CO2 éq.	Energie MJ	Eau m ³	Acidification kg de SO2 éq.	Eutrophisation kg PO4 3- éq.	O ₃ kg de C2H2 éq.	Ecotoxicité DCB éq.	Toxicité kg de 1,4 DCB éq.
GER (50 kg/m ²) + Enduit bicouche	2205	38004	8	8	1	3	10491	21168
GER (50 kg/m ²) + BBF (3 cm)	3099	53003	12	11	1	4	525	28610
BBSG (90 kg/m ²) + 6 cm	4801	95841	2	14	1	6	719	38912

Tableau 2 : Indicateurs environnementaux. Scénarios d'entretien de chaussées peu déformées

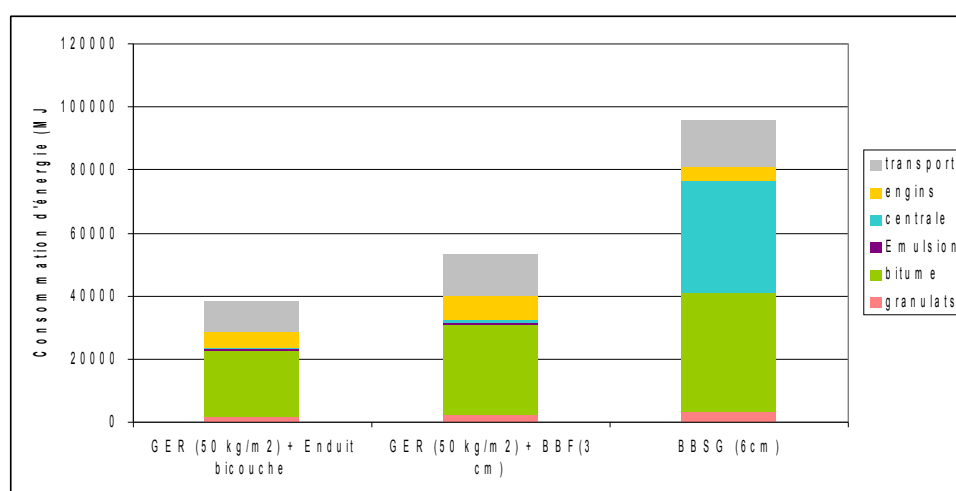


Figure 1 : Contribution des différents postes à la consommation d'énergie pour les scénarios d'entretien de chaussée peu déformée (Source : Cerema)

L'examen des contributions aux indicateurs GES et ENERGIE illustre l'impact du procédé de mélange et met en exergue l'impact du procédé à chaud (BBSG) par rapport aux deux autres procédés étudiés.

Résultats – Pour l'entretien de chaussées fortement déformées :

Le tableau ci-après réunit les résultats obtenus pour les scénarios d'entretien reposant sur des apports de matériaux sur site, soit par grave émulsion de bitume soit par un béton bitumineux semi-grenu. Des observations similaires à celles décrites pour l'entretien d'une chaussée faiblement dégradée peuvent être émises. Les valeurs des indicateurs sont toutefois plus élevées en raison des quantités plus importantes de matériaux employées. Les techniques de retraitement en place présentent des résultats comparables aux techniques à froid à base de grave émulsion. Soulignons que ces techniques ont dans ce cas permis de réduire significativement le bilan énergie de 14 à 18 %.

	GES kg CO2 éq.	Energie MJ	Eau m3	Acidification kg de SO2 éq.	Eutrophisation kg PO4 3- éq	O ₃ kg de C2H2 éq	Ecotoxicité DCB éq.)	Toxicité kg de 1,4 DCB éq
GER (90 kg/m ²)+ Enduit bicouche	2895	50296	12	11	1	4	10642	28587
GER (90 kg/m ²)+BBF (3 cm)	3789	65295	16	14	1	6	676	36032
BBSG (90 kg/m ²) + 6 cm	7934	157185	3	23	2	10	1156	62135
Retraitement + Enduit bicouche	2474	40829	11	9	1	3	10408	19814
Retraitement + BBF (3 cm)	3368	55828	15	12	1	4	442	27259

Tableau 3 : Indicateurs environnementaux. Scénarios d'entretien de chaussées très déformées

L'analyse détaillée de l'indicateur « Énergie » pour chacune de ces techniques souligne l'impact majeur de la contribution de la centrale d'enrobage dans le bilan énergétique. Par ailleurs, la contribution de la part transport est à nuancer dans le cas des procédés de retraitement en place puisque les conditions de chantier retenues pour l'étude (1000 m²) ont nécessité de prendre en compte le transport de l'atelier de fabrication.

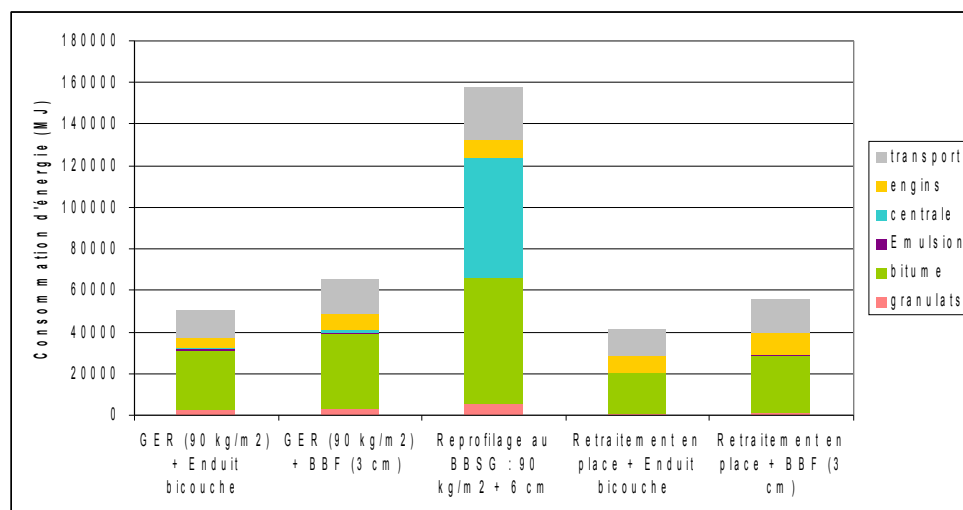


Figure 2 : Contribution des différents poste à la consommation d'énergie pour les scénarios d'entretien de chaussée fortement déformée (Source : Cerema)

5.4.3 - Conclusion

Les analyses environnementales réalisées permettent d'illustrer l'intérêt environnemental :

- des techniques à froid qui permettent de baisser significativement la consommation d'énergie ;
- des procédés de retraitement en place dont le bilan environnemental est comparable aux techniques à base d'émulsion de bitume.

Par ailleurs, la comparaison entre les scénarios d'entretien en fonction de l'état d'endommagement de la chaussée illustre l'impact de la teneur en bitume sur le bilan environnemental du chantier.

6 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en phase de consultation des entreprises et d'analyse des offres

6.1 - Consultation des entreprises

Le maître d'ouvrage doit tout d'abord préciser le périmètre retenu pour l'analyse environnementale de la phase de réalisation, à savoir les travaux retenus pour l'analyse (tout ou partie des travaux de terrassements, chaussées, assainissement, équipements, etc.) et les postes examinés (fabrication, transport, mise en œuvre, etc.).

En se reposant sur les résultats de l'étude de conception, il indiquera dans le dossier de consultation des entreprises (DCE) quels sont les indicateurs retenus pour l'analyse des offres. Dans le cas où un suivi de chantier est prévu, le DCE comprendra également des éléments sur ce suivi, tels que ceux présentés en annexe pour les ouvrages d'art.

6.1.1 - Choix de la solution de base

La définition de la solution de base reposera sur les réflexions menées par le maître d'ouvrage en amont permettant de sélectionner les techniques offrant le meilleur compromis technique, économique et environnemental. Ces choix reposent notamment sur l'étude de la sensibilité des résultats aux différentes données d'entrée.

6.1.2 - L'ouverture aux variantes

L'ouverture aux variantes autorise des propositions de mise en œuvre de dispositions techniques alternatives ou d'optimisation environnementale de la solution de base (taux d'incorporation d'agrégats d'enrobés, réutilisation des matériaux de déblais, réduction des opérations d'entretien, utilisation de matériaux alternatifs moins énergivores, réduction de la consommation de ressources naturelles non renouvelables, etc.). L'entreprise peut ainsi proposer une ou des variantes, à condition qu'elles couvrent la même unité fonctionnelle que la solution de base et que les solutions techniques répondent au cahier des charges. Notons que l'ouverture à variante sera d'autant plus restreinte que le maître d'ouvrage aura approfondi la mise au point d'une solution de base performante d'un point de vue environnemental et déjà examiné certaines variantes.

Ainsi, le maître d'ouvrage pourra permettre aux entreprises d'atteindre une meilleure performance environnementale :

- en laissant la possibilité de proposer des techniques spécifiques répondant à des objectifs de performance techniques (utilisation d'agrégats d'enrobés, mise en œuvre d'enrobés tièdes) ;
- en ouvrant à l'innovation sur des critères de performance environnementale (organisation de chantier).

Il s'agit de trouver le bon compromis entre une ouverture aux variantes laissant la possibilité de faire émerger des solutions innovantes et une limitation du nombre de variables afin de pouvoir comparer équitablement les offres (solutions de base et variantes), limiter l'occurrence d'aléas et faciliter l'ACV en phase chantier.

Dans le cas d'une ouverture aux variantes, il apparaît important de demander une note d'hypothèses accompagnant les évaluations afin de permettre une analyse clairvoyante et équitable des offres.

6.1.3 - L'inventaire des données

Un cadre des données environnementales devra être établi afin que les entreprises fournissent l'ensemble des éléments nécessaires à l'analyse de leur offre, sous un format unique. Ce cadre est indispensable pour que la comparaison des offres et des variantes puisse se faire selon des hypothèses prédéfinies. Seront notamment précisées les données à renseigner par l'entreprise et les données prédéterminées par le maître d'ouvrage. Les modalités de calcul et notamment les hypothèses et la référence à un outil spécifique devront être précisées.

6.1.4 - La notation

La prise en compte d'un critère environnemental intervient au niveau de la définition de la note globale. Ce critère s'ajoute aux critères habituels (prix, technique, délai) dans des conditions de pondération qui auront été précisées par le maître d'ouvrage.

Le critère environnemental fait également l'objet d'une définition spécifique en précisant qu'il n'existe pas de règle établie. La prise en compte d'un nombre important de critères, en se référant à l'étude réalisée en phase amont, permet de limiter le risque de non prise en compte de transferts de pollution. A titre d'exemple, les modalités de calcul peuvent faire intervenir des pondérations pour chacun des indicateurs environnementaux, eux-mêmes pondérés en fonction de la valeur obtenue pour une solution de référence établie par le maître d'œuvre.

Une attention particulière est à porter sur la méthodologie retenue pour le calcul de la note globale. En particulier, il convient d'éviter de créer un biais lorsque les valeurs des offres sont peu dispersées sur un indicateur donné.

Soulignons que le principe d'égalité de traitement doit toujours être respecté. A titre d'exemple, la proximité géographique, qui peut induire une réduction des émissions de gaz à effets de serre, ne peut pas être en tant que telle, intégrée comme critère de sélection des offres. Il est permis au pouvoir adjudicateur d'exiger comme condition d'exécution du marché la limitation des gaz à effets de serre ce qui implique une démarche environnementale dans l'exécution du marché en termes d'implantations du chantier ou de moyens de transport utilisés.

Une évaluation en fin de chantier peut être envisagée afin de vérifier a posteriori la bonne atteinte des objectifs environnementaux visés. Les modalités de recueil des données pour cette évaluation doivent être précisées dans le dossier de consultation. Les résultats de l'analyse post-chantier peuvent être intégrés dans un recalcul de la note réelle de l'entreprise et le cas échéant conduire à une action de bonus/malus dont les conditions auront été précisées au préalable dans le DCE.

L'emploi de bonus/malus doit être effectué avec vigilance en limitant les impacts aux écarts attribuables à l'attributaire du marché. Par ailleurs, des plafonds peuvent être envisagés.

6.1.5 - Exemple de DCE

Le dossier de consultation précise la procédure d'évaluation environnementale ainsi que les critères de calcul permettant au soumissionnaire d'optimiser son offre. Une annexe environnementale (ci-après) est jointe à la consultation. Elle recense de manière exhaustive l'ensemble des données nécessaires à fournir par l'entreprise.

Dans le cadre de cette consultation, il a été précisé que les quantités de matériaux étaient réputées invariantes afin d'éviter que des variations entre le dossier de consultation et le chantier non imputables à l'entreprise ne faussent le calcul. Seules les variations d'épaisseur peuvent modifier les quantités si elles résultent d'une proposition technique d'optimisation de l'entreprise.

Annexe à l'acte d'engagement

Pour la proposition technique : Entreprise Tranche

Solution de base Variante.....

Les matériaux utilisés sont ci après détaillés

Matériau Dénomination	Emploi (couche)	Provenance et distance de transport	Densité kg.m-3	Quantité utilisée (tonnes)	Site d'utilisation ou mise en Oeuvre
<i>Ex : GNT 0/31.5</i>	<i>Correcteur granulo C.D.F.</i>	<i>Thiviers 120km</i>	<i>2203kg.m-3</i>	<i>2108 tonnes</i>	<i>Chantier</i>

Indiquer les localisations des mises en dépôt ainsi que les distances de transports pour les fraisats et les matériaux de déconstruction ainsi que les quantités correspondantes.

L'origine des liants bitumineux est considérée à la raffinerie d'approvisionnement.

L'origine des liants hydrauliques est considérée à l'usine de fabrication.

Les transports ferroviaires et maritimes sont négligés.

Le point de livraison final du chantier est pris au PR 0 de l'A63.

La distance de transport est considérée en Km routier sur des axes autorisés à la circulation des poids lourds.

Si plusieurs provenances de matériaux sont envisagées, indiquer les différents choix en qualifiant la dénomination du matériau (choix 1, choix2, ...)

Pour les liants hydrauliques, indiquer la proportion de clinker.

Illustration 1 : Exemple d'annexe jointe au DCE (Source : Cerema)

6.2 - L'analyse des offres

Lors de la phase de dévolution des marchés travaux, le niveau de précision augmente encore, en particulier pour les étapes de transports et de procédés de mise en œuvre (phasage des travaux, emploi de techniques et matériels détaillés dans l'offre des entreprises). Lors de cette étape, l'utilisateur pourra donc modéliser précisément les étapes de production des matériaux, de transports et de mise en œuvre pour chacune des offres considérées.

Il convient d'attirer l'attention sur le fait que les outils prêts à l'emploi n'offrent pas toujours la possibilité de modifier certaines données, en particulier celles de mise en œuvre. Celles-ci échappent souvent à l'utilisateur, car elles couvrent des procédés d'entreprises spécifiques et se présentent sous forme de ratios établis à partir de retours d'expériences. Le cas échéant, il convient donc de vérifier si le contexte local du projet est bien couvert par les ratios proposés et quelle est sa représentativité dans la valeur forfaitaire proposée par l'outil.

Un paramètre déterminant, tel que la **durée de vie typique** (DVT) du produit peut constituer un enjeu fort d'une étude ACV. Il peut en effet être tentant de rapporter les valeurs d'impacts calculées à une année de vie du projet. Ceci passe en général par le périmètre temporel de l'unité fonctionnelle. Ce choix introduit toutefois un biais dans l'analyse des solutions techniques puisque la DVT projetée a été fixée lors de la commande, au regard des besoins actuels et des projections quant à leur évolution. Doubler la durée de vie d'un projet en termes de durabilité de ces éléments constitutifs ne garantit en rien de son aptitude à répondre aux besoins du moment sur cette période. Le poids environnemental des différentes solutions doit donc être analysé au regard de la DVT fixée par le projet, sous peine de favoriser des solutions surdimensionnées et donc non pertinentes en termes d'éco-conception.

Dans le cas particulier d'un projet innovant visant à favoriser des solutions techniques proposant des DVT plus élevées que celles couramment proposées, la démarche est évidemment autre. Les procédés ou matériaux concernés devront alors être analysés au regard d'éléments justificatifs probants (essais validés et reproductibles par exemple, dans les conditions représentatives du contexte du projet). Dans tous les cas, il convient donc de se rapporter aux objectifs de l'étude ACV et des objectifs du projet lui-même. Le point particulier de la DVT d'une chaussée ou d'un ouvrage d'art rappelle donc l'importance des études amont dans l'éco-conception de projets.

Par ailleurs, pour ce qui concerne les projets innovants, l'expertise technique doit ainsi venir appuyer l'évaluation ACV afin de différencier une innovation réelle et adaptée au contexte, d'une solution dont la nouveauté ne constitue pas à elle seule un gage de performance au regard des objectifs poursuivis par le maître d'ouvrage ou le gestionnaire. Pour ce qui concerne l'ACV, il convient d'évaluer l'influence sur les indicateurs des paramètres d'entrée innovants. La mise en évidence d'effets disproportionnés devra alors être justifiée de manière compréhensible et vérifiable.

6.2.1 - La validation des données fournies par les entreprises

Il convient en premier lieu de s'assurer que les outils utilisés fournissent bien les valeurs d'impacts et de flux déterminées par le Maître d'Ouvrage et le Maître d'Oeuvre et que l'analyse concerne la même unité fonctionnelle dans la limite de ses frontières, structurelle, fonctionnelle et temporelle.

Dans le cas d'une réponse faisant référence à un outil non connu ou une modélisation spécifique, il semble prudent de réévaluer le projet au regard des hypothèses de l'offre. Cette pratique peut aussi s'appliquer lorsque des résultats sont proches alors que les hypothèses présentent des différences significatives.

6.2.2 - L'évaluation

L'évaluation des offres de base et des variantes est menée conformément à la procédure d'évaluation environnementale définie dans le DCE. Elle repose sur les données prévisionnelles fournies par les entreprises.

S'il n'y a pas de réponse unique à la question de la vérification des offres, il convient avant tout que le Maître d'Ouvrage et le Maître d'Œuvre donnent de la robustesse à leur analyse. Ils peuvent pour cela procéder à des études de sensibilité sur des paramètres qu'ils savent déterminants et se rattacher à une méthodologie d'analyse économique qu'ils connaissent bien, notamment par le biais de précisions justificatrices (sous-détail d'hypothèses, au sens de sous-détail de prix pour les postes importants ou aberrants par exemple).

Le Maître d'ouvrage peut demander à l'entreprise de communiquer les données utilisées pour dresser son bilan environnemental afin de faciliter l'analyse des offres et demander notamment de fournir les caractéristiques de produits, lieux d'approvisionnement, mode de transport des matériels de mise en œuvre utilisés.

Il convient de préciser qu'un critère environnemental peut modifier la manière pour l'entreprise d'élaborer une offre. Par exemple, si le critère « transport » est retenu dans le cadre de l'évaluation environnementale, les offres doivent contenir les lieux d'approvisionnement des matériaux pour calculer les dégagements de CO₂ induits. Ces lieux deviennent contractuels puisqu'ils participent à la décision du choix de l'entreprise. Or, au stade de la réponse à l'appel d'offre, les données des entreprises sont des hypothèses prévisionnelles puisqu'elles ne sont usuellement pas engagées avec un fournisseur.

6.3 - Exemple d'application

Prise en compte de critères environnementaux dans l'évaluation des offres. Exemple d'une méthodologie mise en œuvre

L'étude synthétisée ci-après concerne la composante « chaussée » des travaux réalisés sur un chantier routier. Pour celle-ci, le maître d'ouvrage a communiqué une solution de base suivante :

- couche de roulement : 6 cm Béton Bitumineux Semi-Grenu de classe 2 (BBSG2) ;
- couche de base : 8 cm Grave Bitume de classe 3 (GB3) ;
- couche de fondation : 8 cm GB3.

Les données d'entrée pour cette solution de référence sont les suivantes :

Matériaux	Quantités (T)	Agrégats
Béton bitumineux	3520	10 %
Grave Bitume	7100	40 %

Tableau 4 : Solution de référence

Dans le cadre de cette consultation, le maître d'ouvrage a communiqué les spécificités de la solution de base envisagée et son souhait de prendre en compte des enjeux environnementaux. Il précise que la note environnementale :

- représente X % de la note globale ;
- est déterminée par comparaison à l'aide d'un éco-comparateur sur la base de données instruites dans une grille spécifique et qu'elle est notée de 1 à 4.

Méthode pour la notation

La composante environnementale de la notation des offres repose sur la détermination d'une note globale résultant de la somme pondérée de différents indicateurs environnementaux. Dans le cadre de ce projet, huit indicateurs environnementaux ont été retenus avec la pondération suivante¹⁹ :

Effet mesuré	Indicateurs	Pondération
la consommation d'énergie	Énergie (MJ) tot.	20
le réchauffement climatique	GWP tot. (kg.eq CO ₂)	20
la génération de pluies acides	Acidification (kg eq. H ⁺)	5
la qualité de l'eau	Eutrophisation (kg eq. PO ₄)	5
la qualité de l'air	Ozone troposphérique (kg eq. Ethylène)	5
les quantités de matériaux naturels consommés	Ressources minérales (t)	30
	Ressources en bitume (t)	10
	Ressources en eau (m ³)	5

Tableau 5 : Pondération des indicateurs

La note environnementale a été définie comme étant la somme des indices pour chacun des indicateurs déterminés comme suit :

$$Note\ environnementale = \sum_{i=1}^8 indice(i)$$

Avec « i », le « ième » indicateur de 1 à 8. L'indice « i » est défini de la manière suivante :

$$Indice(i) = \frac{X \times Indicateur_{Min}}{Indicateur_i}$$

Avec : « X », la pondération de l'indicateur ; « Indicateur_{Min} » la valeur la plus faible de l'indicateur parmi les réponses des entreprises ; « Indicateur_i » la valeur de l'indicateur pour l'entreprise.

La note environnementale ainsi déterminée est comprise entre zéro (0) et cent (100). Une règle de transcription (non communiquée ici) a ensuite été établie pour attribuer une note de 1, 2, 3 ou 4.

Le CCTP précise quel est l'outil utilisé pour l'analyse des offres ainsi que sa version. Il s'agit ici de l'éco-comparateur ECORCE 1.0. Il précise également que l'analyse environnementale sera réalisée sur un périmètre d'étude depuis la fabrication des constituants jusqu'à la mise en œuvre des matériaux sur site.

La détermination de la note environnementale des solutions proposées par les entreprises repose sur le traitement de données extraites d'une grille à renseigner lors de la soumission des offres. L'absence de grille dans le dossier de réponse des entreprises ne permettant pas la détermination de la note environnementale est considérée comme irrégulière. De plus, une réponse non exhaustive se traduit pas une note de zéro (0) pour chaque indice donc le calcul ne peut pas être réalisé.

¹⁹ Attention. Il convient de bien appréhender que toute pondération revient à hiérarchiser les impacts environnementaux et peut se traduire par des transferts de pollution.

Grille de recensement des données d'entrée au calcul d'indice environnemental :

- Caractéristiques

Appellation du matériau	Quantité (t)	Nom et localisation de la centrale de fabrication	Distance centrale-chantier (en km)	Température de fabrication

- Formulation

Constituants entrant dans la formulation	Pourcentage massique (% intérieur) ²⁰	Nom et lieu de production des constituants	Distance avec la centrale de fabrication (en km)
Granulats 1			
Granulats 2			
Granulats 3			
Bitume neuf ²¹			
Ciment / liant hydraulique			
% clinker dans le liant			
% CaO dans le liant			
Agrégats d'enrobés			
Autres matériaux alternatifs (préciser)			
Fines d'apport ²²			
Eau			
Chaux			
Additifs (préciser)			

Note environnementale des 3 offres :

Trois offres parmi celles déposées sont présentées ci-après. Il s'agit de deux offres de base et d'une variante (offre 3).

Offre 1	Formulation d'un enrobé tiède avec 40 % d'agrégats Fabrication de l'enrobé dans une centrale distante de 63 km du chantier
Offre 2	Formulation d'un enrobé chaud avec 20 % d'agrégats Fabrication de l'enrobé dans une centrale distante de 38 km du chantier
Offre 3	13 cm de GB4 ; formulation d'un enrobé chaud avec 20 % d'agrégats Fabrication de l'enrobé dans une centrale distante de 38 km

Tableau 6 : Présentation des 3 offres

²⁰ Si la somme des pourcentages des constituants est différente de 100 %, justifier.

²¹ Sur ce type de constituant, la littérature précise qu'en absence de donnée, le logiciel ECORCE assimile ce type de liant à un liant pur 50/70.

²² Sur ce type de constituant, la littérature précise qu'en absence de donnée, le logiciel ECORCE se limite à calculer la quantité consommée.

La synthèse des résultats est présentée ci-après :

Indices	OFFRE 1 « Base »	OFFRE 2 « Base »	OFFRE 3 « Variante »
Énergie	16,4	17,7	20,0
Réchauffement climatique	17,2	18,3	20,0
Acidification	4,3	4,6	5,0
Eutrophisation	4,3	4,6	5,0
Ozone troposphérique	4,4	4,6	5,0
Ressources minérales	16,8	25,4	30,0
Bitume	8,1	7,8	9,7
Eau	5,0	4,8	5,0
Note Environnementale / 100	76,6	87,8	99,7

Tableau 7 : Résultats de la note environnementale

Cette méthodologie permet de distinguer la pertinence environnementale de chacune des offres selon les critères définis. Il en ressort que l'offre n° 3 « variante » présente un intérêt environnemental supérieur sur quasiment tous les indices environnementaux hormis la consommation en bitume.

Conclusion

Le maître d'ouvrage a mis en œuvre une méthodologie pour prendre en compte des enjeux environnementaux dans le cadre de travaux routiers. Il a pour ce faire précisé dans les documents de consultation :

- qu'il attribuait une part de X % de la note finale à la composante environnementale des offres ;
- qu'il réaliserait la notation à partir de données instruites dans une fiche type et dans quelle mesure il prenait en compte les réponses partielles ou l'absence de réponse ;
- avec quel outil serait réalisé les analyses environnementales.

Par ailleurs, le maître d'ouvrage a défini une méthodologie pour le traitement des données en :

- précisant quelle pondération il fixait à chacun des indicateurs environnementaux quantifiés ;
- précisant quelle règle de calcul lui permettait de quantifier une note environnementale à partir de l'ensemble des indicateurs environnementaux ;
- se fixant une règle de transcription pour établir une note comprise entre 1 et 4 à partir d'une note environnementale comprise entre 0 et 100.

Sur cette base, la méthodologie retenue a permis de discriminer la composante environnementale des offres et de la prendre en compte dans la note finale de la consultation.

7 - Mise en œuvre de la méthodologie d'analyse de cycle de vie en phase chantier

7.1 - Objectif du suivi de chantier

Le suivi du chantier apporte des éléments quantifiés permettant de situer la réalité des opérations réalisées par rapport aux engagements. Ce suivi est nécessaire lorsque des clauses de bonus/malus sont fixées dans les documents de consultation des entreprises.

Par ailleurs, le suivi des chantiers permet d'accroître la robustesse de données disponibles, de préciser une plage de variabilité ou encore d'illustrer un contexte local particulier.

7.2 - Inventaire des données

Les données réelles issues du chantier se substituent aux données estimatives utilisées en phase d'appel d'offre. Elles peuvent concerner la consommation d'énergie, la consommation de matériaux, les kilomètres parcourus, le temps d'utilisation des machines, etc. Afin de calculer le bilan environnemental final du chantier, il est indispensable de recueillir les pièces justificatives permettant de déterminer les données réelles du chantier (quantité de matériaux mis en œuvre, distance de transport, etc.). Un exemple de fichier de recueil pour les ouvrages d'art est donnée en annexe.

Pour ce faire, en lien avec la maîtrise d'œuvre, une procédure peut être mise en place afin de réaliser ce recueil pendant le déroulement du chantier. Par ailleurs, la cohérence entre l'analyse initiale et le bilan réalisé à partir du suivi de chantier reposera aussi sur l'utilisation des mêmes bases de données.

Les outils choisis doivent donc permettre à l'utilisateur d'entrer ses propres données, notamment en termes de quantités de matériaux, de distances de transport et de consommations (énergie, eau) et de rejets (émissions eau, sol, air, déchets, etc.). Il est conseillé d'utiliser le même outil en phases ex-ante et ex-post afin d'éviter les distorsions de résultats pouvant provenir de valeurs internes spécifiques à chaque outil et souvent non accessibles à l'utilisateur.

7.3 - L'évaluation des impacts environnementaux

Il est nécessaire de prêter une attention particulière au traitement de ces données dans le cadre d'une démarche de bonus/malus. Notamment, il conviendra de préciser le lien entre les données recueillies et la responsabilité de l'entreprise afin de proscrire le risque d'une pénalité financière injustifiée. C'est le cas par exemple pour des travaux d'infrastructures linéaires si une réfection de couches est requise suite à une non-conformité technique.

7.4 - Exemple d'application

Chantier de l'échangeur 15 de la rocade de Bordeaux

7.4.1 - Périmètre et choix des indicateurs

La démarche adoptée dans le cadre de ce chantier vise à minimiser l'impact environnemental des travaux réalisés. Elle s'articule autour de trois axes d'intervention :

- préserver les ressources naturelles ;
- limiter la production de déchets ultimes ;
- limiter les émissions de polluants.

Périmètre

Seuls les travaux de terrassement et de chaussées ont été intégrés dans l'analyse.

Choix d'un éco-comparateur

Le calcul de la prime ou pénalité est effectué par le même moyen que celui ayant servi à la notation des offres sur le critère environnemental.

Choix des paramètres influents et hypothèses de travail

Une première modélisation du projet avait été réalisée sur la base du contenu des travaux envisagés et avait permis au maître d'ouvrage d'affiner l'analyse. La part de l'impact environnemental des engins de chantier a été négligée :

- elle représente une infime partie de l'impact global des travaux ;
- elle varie peu suivant les techniques employées (étude de sensibilité) ;
- elle est difficile à quantifier et à contrôler (consommations horaires, temps de travail et rendements horaires, ceci pour chaque tâche et pour chaque engin).

Choix des indicateurs

Quatre indicateurs ont été retenus :

- les émissions de gaz à effet de serre
- l'énergie
- la consommation d'eau
- la consommation des ressources non renouvelables

7.4.2 - Phase d'analyse des offres

Critères de notation

Sur une échelle de 20, le poids de la note environnementale est de 3, avec les pondérations suivantes pour les indicateurs :

- « émissions de gaz à effet de serre » : coefficient de 0,9 ;
- « consommation d'énergie » : coefficient de 0,9 ;
- « consommation d'eau » : coefficient de 0,3 ;
- « consommation des ressources non renouvelables » : coefficient de 0,9 ;

Le prix a un poids de 14 sur 20 et la qualité technique de l'offre un poids de 3 sur 20.

Évaluation des offres

Les indicateurs « émissions de gaz à effet de serre », « consommation d'énergie », « consommation d'eau » sont notés en utilisant un éco-comparateur. L'indicateur « consommation de ressources non renouvelables » est noté par calcul direct. Pour l'évaluer de manière globale, la maîtrise d'ouvrage a décidé de pondérer les différentes ressources suivant leur valeur et leur disponibilité. Ceci a été détaillé dans le CCAP :

- Bitume : 490 U/t (Unités par tonne) ;
- Granulats : 23 U/t (Unités par tonne)
- Correcteur granulaire : 20 U/t (Unités par tonne) ;
- LHR : 140 U/t (Unités par tonne) ;
- Ciment : 120 U/t (Unités par tonne) ;
- Agrégats : 0 U/t (Unités par tonne).

Bilan de l'évaluation des offres

L'analyse des offres a révélé des écarts marqués dans les bilans environnementaux présentés par les entreprises, tant en solutions de base qu'en variantes ; en particulier, le transport est un facteur discriminant, non pas parce qu'il est le plus impactant mais parce qu'il présente une forte variabilité.

Notation des offres

Pour chaque indicateur, l'offre présentant le meilleur bilan se voit attribuer la note maximale soit :

- la note de 0,9 pour les indicateurs « émissions de gaz à effet de serre », « consommation d'énergie » et « consommation de ressources non renouvelables » ;
- la note de 0,3 pour l'indicateur « consommation d'eau ».

Pour chaque indicateur, la note des autres offres est calculée par rapport à cette référence. Ceci conduit à une note globale, pour chaque offre, inférieure ou égale à 3 pour le critère environnemental.

7.4.3 - Contrôle des engagements et calcul de la prime / pénalité

Les données transmises par l'entreprise ont été vérifiées par la maîtrise d'œuvre.

Principe de calcul de la prime ou pénalité environnementale

Le mode de calcul est précisé dans le CCAP. Son principe est le suivant :

L'entreprise a reçu une note prix N_p et une note environnementale N_e lors de l'analyse des offres.

Si les modifications apportées par l'entreprise conduisent à un impact environnemental qui se traduit par une valeur N_e' (calculée sur les quantités nominales) supérieure à N_e , la prime accordée à l'entreprise est égale à $\alpha.(M' - M)$, avec :

- M est le montant initial du marché (*offre de l'entreprise*) en prix de base ;
- α est le quotient du montant m des travaux réalisés en fin de chantier, en prix de base, sur le montant initial [$\alpha = m / M$];
- M' est le montant fictif d'offre qui aurait permis à l'entreprise d'obtenir une note prix N_p' telle que $N_p + N_e = N_p' + N_e'$.

Si les modifications apportées par l'entreprise conduisent à un impact environnemental qui se traduit par une valeur N_e' (calculée sur les quantités nominales) inférieure à N_e , la pénalité appliquée à l'entreprise est égale à $\alpha.(M - M')$.

8 - Conclusions et perspectives

L'usage des méthodes d'analyse de cycle de vie dans le domaine de la construction est complexe en raison notamment d'un développement différencié de celles-ci dans les domaines des ouvrages d'art et des chaussées mais surtout que cette méthode a été développée pour évaluer des produits. Toutefois, la maturation des outils, l'enrichissement des bases de données et les retours d'expériences permettent d'envisager une accélération de l'appropriation de ces stratégies environnementales par les acteurs de la construction.

Ce document rédigé à l'attention des donneurs d'ordres s'inscrit dans cette dynamique et présente la méthodologie à appliquer en traitant le domaine des chaussées et des ouvrages d'art. Il insiste sur l'anticipation et la cohérence des démarches qui constituent un facteur de réussite. Ces démarches débiteront par une définition précise du périmètre de l'unité fonctionnelle et des objectifs environnementaux visés. Avec l'appui d'un spécialiste, le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre pourront identifier les facteurs principaux ayant un impact environnemental, préciser les causes possibles d'erreur, évaluer l'impact de solutions de base et éventuellement étudier l'intérêt d'une ouverture aux variantes. Les documents de consultation traduiront ensuite la stratégie retenue en indiquant les modalités de réponse, les conditions de notation des offres, voire les conditions de suivi et d'évaluation à posteriori du chantier.

Dans une volonté d'aider concrètement les donneurs d'ordres qui souhaitent s'investir sur ces sujets, ce document comporte des fiches explicatives pour la définition d'une unité fonctionnelle (annexe) et réunit des retours d'expériences facilement duplicables. Ceux-ci permettent par ailleurs d'illustrer l'importance de réaliser une étude globale des enjeux environnementaux.

La mise en œuvre de stratégies environnementales relève encore d'initiatives peu fréquentes et s'inscrit essentiellement dans des démarches innovantes. Les étapes à venir devront concerner une plus large appropriation de ces méthodes par les gestionnaires d'infrastructures routières. Pour accélérer le recours à ces stratégies environnementales, les perspectives dans ce domaine concernent l'unification des démarches au travers d'outils et de données partagés.

9 - Références normatives et quelques liens pour approfondir les sujets traités

9.1 - Références normatives

- ISO 14040 (2006) : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre
- ISO 14044 (2006) Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices
- ISO 14044/A1 (2018) Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices - Amendement 1
- NF EN 15804/CN (2016) Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction - Complément national à la NF EN 15804+A1
- NF EN 15643-5 (2017) Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Évaluation de la contribution des bâtiments et des ouvrages de génie civil au développement durable – Partie 5 : Cadre méthodologique définissant les principes et les exigences spécifiques

9.2 - Pour aller plus loin sur les outils métiers / les bases de données

Le logiciel ECORCE

- Ventura A., Dauvergne M., Tamagny P., Jullien A., Feeser A., Coin V., Goyer S., Beaudelot L., Odeon H., Odie L. « L'outil logiciel ECORCE : cadre méthodologique et contexte scientifique, Eco-Comparateur Routes Construction Entretien » collection Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, CR 55, 2011
- IDRRIM - avis technique n°158 - Eco-comparateurs - ECORCE : ECOcomparateur Routes Construction Entretien V2.0, avril 2013

Le logiciel SEVE

- Buisson J., SEVE – la réussite environnementale de la profession routière, retour sur 3 ans de progrès environnemental, RGRA N°919, 2014
- Cavagnol I., Eco-comparateur SEVE, RGRA N°937, 2016
- IDRRIM - avis technique n°157 - Eco-comparateurs - SEVE : Système d'Evaluation de Variantes Environnementales V 1.3, avril 2013
- L'éco-comparateur SEVE, retour sur 3 ans de progrès environnemental, RGRA N°909, 2013

Le logiciel VARIWAYS®

- IDRRIM - avis technique n°159 - Eco-comparateurs - VARIWAYS® : L'éco-comparateur de variantes routières V 1.1, septembre 2013

Exemples d'applications – comparaison des outils

- Cerema. Étude des éco-comparateurs - Phase 1 - Synthèse d'études de cas : <http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/etude-des-eco-comparateursphase-1-synthese-d-a6039.html>
- Cerema. Étude des éco-comparateurs - phase 2 : Comparaison des facteurs d'émissions de SEVE et ECORCE <http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1645w-rapport-eco-comparateurs-phase2.pdf>
- Cornu T., SEVE et les ouvrages en béton, RGRA n°898, 2011
- Goyer S., Dauvergne M., Wendling L., Fabre J-C., De La Roche C., Gaudefroy V., "Environmental evaluation of gravel emulsion", International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction, Nantes, 2012
- Goyer S., Dauvergne M., Ropert C., Wendling L., Gaudefroy V., Environmental data of cold mix using emulsified bitumen for a better selection of road materials, 2nd ISAP Symposium on Asphalt Pavements and Environment, Fortaleza (Brésil), 2012
- Mauduit C., Carle Ph. , Goyer S., Dauvergne M., Jullien A., «Eco-comparaison de chantiers de retraitement en place à l'émulsion de bitume, dans deux régions de France, avec le logiciel ECORCE - Ordres de grandeurs et écarts sur les indicateurs énergie, gaz à effet de serre et consommations de matériaux», RGRA, n° 903, juillet 2012, pp 60-65
- Pellevoisin P., Entretien des voies aéronautiques - Paris-Orly : premières utilisations d'enrobés tièdes et du logiciel SEVE, RGRA N°888, 2010

Journées techniques / tables rondes

COTITA (journées techniques) www.cotita.fr

- Journée COTITA Est, "Performances et marchés de chaussées" 26 mai 2011, Nancy
- Journée COTITA Ouest - Route et développement durable : la rédaction des marchés de chaussées, 19 octobre 2010, Rennes
- Journée COTITA Ouest - Entretien des couches de surface et techniques à froid, 18 octobre 2012, Rennes

Journées Techniques Routes (IFSTTAR)

JTR, session « Les éco-comparateurs au service de l'évaluation environnementale des projets routiers », février 2011, Nantes <http://actions-incitatives.ifsttar.fr/seminaires/jtr/jtr-2011>

JTR, session «Retour d'expériences sur l'utilisation des éco-comparateurs et des bases de données de performances environnementales », février 2016, Nantes

Annexes

- **Choix de l'unité fonctionnelle pour une route**
- **Choix de l'unité fonctionnelle pour un ouvrage d'art**
- **Travaux de chaussées - Exemple de tableaux de données à annexer au DCE**
- **Travaux dans le domaine des ouvrages d'art - Exemple de tableaux de données à annexer au DCE**

Choix de l'unité fonctionnelle pour une route

Le choix de l'unité fonctionnelle doit comprendre :

- le périmètre structurel : la définition précise de l'infrastructure de l'ouvrage ou du réseau étudié (définition géométrique et définition des éléments constitutifs) ;
- le périmètre fonctionnel : le niveau de qualité de service (hypothèses de trafic, de sollicitations, etc.) ;
- les étapes du cycle de vie (production des matériaux, transport des matériaux, mise en œuvre, vie en œuvre, fin de vie) ;
- le périmètre temporel : la durée de vie (durée d'utilisation de projet) ou durée de référence (lorsque l'étape de fin de vie n'est pas considérée).

Les éléments permettant de définir l'unité fonctionnelle d'un chantier routier sont :

• Périmètre structurel

La définition de l'ouvrage doit préciser :

- la géométrie du tronçon (profil en long, vue en plan). Pour des soucis de simplification de l'étude, il peut être pertinent de ne s'intéresser qu'à la section courante et de ne pas modéliser les bretelles d'accès par exemple. Il convient de préciser les conditions de rechargement des couches de chaussées ;
- les équipements pris en compte pour l'analyse (dispositifs d'assainissement, bassins, dispositifs de sécurité, marquage, signalisation verticale, etc) ;
- le cas échéant une limitation du périmètre de l'étude (couches de chaussée, terrassements).

• Périmètre fonctionnel

Il est indispensable de définir toutes les hypothèses sur la qualité de service nécessaire au dimensionnement d'une chaussée, à savoir :

- le trafic et les hypothèses de croissance ;
- le niveau de protection au gel ;
- etc.

• Périmètre temporel

Les étapes de production, d'élaboration et de transport des matériaux sont généralement prises en compte dans une analyse de cycle de vie.

La phase de mise en œuvre peut dans certains cas être exclue de l'analyse s'il a été démontré au préalable que son impact n'était pas prépondérant, que l'écart entre les différentes solutions sur cette étape est négligeable et que les données sont difficiles à collecter. Ceci peut par exemple être le cas pour une analyse qui se restreint aux couches de chaussée. Si la réalisation des terrassements est prise en compte, la phase de mise en œuvre doit l'être également, car sa contribution n'est pas négligeable.

La phase de vie en œuvre est très importante et délicate à prendre en compte. Cette phase concerne les opérations d'entretien (renouvellement de couche de roulement, réhabilitation des couches d'assise) sur la durée de référence choisie. Pour prendre en compte ces opérations d'entretien il est nécessaire de définir des scénarios d'entretien pour chaque solution technique étudiée. La prise en compte de ces phases d'entretien est importante, car elle permet notamment de bien prendre en compte si les matériaux mis en œuvre sont recyclables ou non.

La phase de fin de vie n'est généralement pas prise en compte pour les terrassements, car il est rare de démonter intégralement une infrastructure, par contre il est important de prendre en compte la fin de vie des matériaux de chaussée lors des opérations d'entretien.

- **Choix de la durée de vie ou de la durée de référence**

Le choix entre la prise en compte d'une durée de vie ou d'une durée de référence dépend de la prise en compte ou non de l'étape de fin de vie pour l'ensemble de l'ouvrage considéré.

Dans le cas d'une durée de vie de référence, il est nécessaire que cette durée soit suffisante pour qu'elle contienne suffisamment de phases d'entretien par rapport aux solutions techniques comparées.

Choix de l'unité fonctionnelle pour un ouvrage d'art

Le choix de l'unité fonctionnelle doit comprendre :

- le périmètre structurel : la définition précise de l'infrastructure de l'ouvrage ou du réseau étudié (définition géométrique et définition des éléments constitutifs) ;
- le périmètre fonctionnel : le niveau de qualité de service (hypothèses de trafic, de sollicitations, etc.) ;
- les étapes du cycle de vie (production des matériaux, transport des matériaux, mise en œuvre, vie en œuvre, fin de vie) ;
- le périmètre temporel : la durée de vie (durée d'utilisation de projet) ou durée de référence (lorsque l'étape de fin de vie n'est pas considérée).

- **Le périmètre structurel**

La définition du périmètre structurel doit comporter :

- la géométrie du franchissement étudié (profil en long, vue en plan, profil en travers voie portée et voie franchie le cas échéant). En fonction de la phase d'étude, la définition peut être plus ou moins précise : type de structure, nombre de travées, type de piles et culées, type de fondations, longueur totale, largeur, etc. Pour des soucis de simplification de l'étude, il peut être pertinent de ne s'intéresser qu'à la structure proprement dite et de ne pas considérer les remblais techniques, à condition que ces derniers soient pris en compte dans la partie « route » (cas d'une section neuve). Il convient de définir quels sont les équipements retenus pour l'analyse (l'étanchéité, l'enrobé, les dispositifs de recueil et d'évacuation des eaux, les dispositifs de retenue, les réseaux, le marquage, la signalisation verticale).

- **Le périmètre fonctionnel**

Il est indispensable de définir toutes les hypothèses sur la qualité de service nécessaire au dimensionnement de l'ouvrage, à savoir (liste non exhaustive) :

- la classe de trafic des charges routières normales : classe 1 ou 2 suivant la norme NF EN 1991-2 ;
- les caractéristiques des charges routières exceptionnelles : catégorie des convois exceptionnels et fréquence de passage ;
- les caractéristiques des autres charges routières : convoi militaire, engins de terrassement, etc. ;
- les caractéristiques des charges de fatigue (pour les éléments métalliques) : modèle de charge de fatigue (au sens de la norme NF EN 1991-2), catégorie de trafic (1 à 4, suivant le nombre de PL par an et par voie lente), nature du trafic (trafic local, moyenne distance, longue distance), position des voies lentes ;
- les classes d'exposition ;
- etc.

- **Choix des étapes de cycle de vie**

Les étapes de production, d'élaboration et de transport des matériaux sont généralement prises en compte dans une analyse de cycle de vie. La phase de mise en œuvre ne doit pas être négligée, car elle peut constituer une part très importante de l'impact global.

La phase de vie en œuvre est très importante et délicate à prendre en compte. Dans cette phase on entend la prise en compte des opérations de surveillance, d'entretien courant, d'entretien spécialisé et petites réparations. Il n'est pas prévu de réparation majeure : en effet la durée d'utilisation de projet est définie comme « la durée pendant laquelle la structure ou une de ses parties est censée pouvoir être utilisée comme prévu en faisant l'objet de la maintenance escomptée, mais sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des réparations majeures ».

La phase de fin de vie n'est pas forcément considérée, car l'ouvrage d'art ne sera pas systématiquement déconstruit à l'issue de sa durée d'utilisation de projet de 100 ans. Si c'est le cas, cette phase intègre la fin de vie des matériaux, qu'ils soient stockés ou bien valorisés.

- **Choix de la durée de vie ou de la durée de référence**

Le choix entre la prise en compte d'une durée de vie ou d'une durée de référence dépend de la prise en compte ou non de l'étape de fin de vie pour l'ensemble de l'ouvrage considéré. Dans le cas d'une durée de vie de référence, elle est considérée à 100 ans conformément aux normes de conception.

- **Exemple**

Exemple de l'ouvrage ayant servi à l'analyse du cycle de vie de l'ouvrage T87 de Cimbéton.

L'unité fonctionnelle est définie par :

- le périmètre structurel : il s'agit d'un pont en béton de type PSDP (passage supérieur en dalle précontrainte) à deux travées, de longueur totale 51,53 m ;
- le périmètre fonctionnel : l'ouvrage permet le franchissement d'une autoroute à 2x2 voies et porte une route départementale constituée d'une chaussée de 6,60 m de largeur et de deux trottoirs de 1,0 m. Il est dimensionné pour supporter les charges A et B du fascicule 61 titre II, en 2^e classe, les charges militaires M120 et des charges exceptionnelles de 3^e catégorie, ainsi qu'un engin de terrassement en phase chantier (69 tonnes) ;
- Les étapes de cycle de vie : toutes les étapes sont considérées ; fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier, transport des matériaux, matériels et engins de chantier, réalisation de l'ouvrage, vie de l'ouvrage, fin de vie de l'ouvrage ;
- la durée de vie : 100 ans.

Travaux de chaussées - Exemple de tableaux de données à annexer au DCE

Dans le cas d'un appel d'offre, ces données sont à fournir par l'entreprise :

Distances de transport (km)		
Carrière n°.. / Centrale		km
Carrière n°.. / Centrale		km
Carrière n°.. / Centrale		km
Carrière n°.. / chantier		km
Centrale / chantier		km

Tableau 8 : Distances de transport (tableau à remplir par le candidat)

Formulation des enrobés bitumineux					
	% intérieur	% extérieur			
Fraction granulaire 1			MVRg		T/m ³
Fraction granulaire 2			MVRg		T/m ³
Fraction granulaire 3			MVRg		T/m ³
Fraction granulaire 4			MVRg		T/m ³
Fraction granulaire 5			MVRg		T/m ³
Fraisats			MVRg (si nécessaire)		T/m ³
Autre (à définir)			MVRg (si nécessaire)		T/m ³
Autre (à définir)			MVRg (si nécessaire)		T/m ³
Bitume d'apport	%	ppc			
TOTAL	100 %		MVRe		T/m ³

Tableau 9 : Formulation des enrobés (tableau à remplir par le candidat, un tableau par produit)

Fabrication des enrobés bitumineux		
Type de centrale	Poste mobile	Poste Fixe
Combustible de la centrale	Gaz Naturel	Fioul
Autre (à compléter)		

Tableau 10 : Fabrication des enrobés (tableau à remplir par le candidat)

Ateliers de mise en œuvre				
	Temps de travail (h)	Conso carburant (L/h)	Conso eau (L/h)	Distance d'acheminement (km)
Engin 1 :				
Engin 2 :				
Engin 3 :				
Engin 4 :				
Engin 5 :				
Engin 6 :				
Engin 7 :				
Engin 8 :				
Engin 9 :				
Engin 10 :				

Tableau 11 : Engins de mise en œuvre (consommations et temps de travail)

Travaux dans le domaine des ouvrages d'art - Exemple de tableaux de données à annexer au DCE

Onglet 1 : Généralités

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU CHANTIER

Nom du chantier	
Localisation du chantier	
Nom de l'entreprise titulaire	
Sous-traitants principaux:	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
Date de début des travaux	
Date de fin des travaux	
Commentaires	Précisions éventuelles sur les spécificités du chantier (implantation, difficultés d'accès), ou toute autre particularité influant sur les moyens mobilisés ou leur condition d'utilisation (intempéries importantes, contraintes d'exploitation fortes,...)

Onglet 2 : Consommations du chantier

CONSOUMATIONS RELATIVES AU CHANTIER

CONSOMMATION GLOBALE D'ELECTRICITE UTILISEE POUR L'ENSEMBLE DU CHANTIER (kWh) (facture)	
Si différentiable, dont consommation électrique des installations de chantier	

CONSOMMATION D'EAU (m³)	
-------------------------	--

DECHETS				
Type de déchet	Volume (m3)	Masse (T)	Distance totale (km) au centre de traitement imputable au chantier	Commentaire

Onglet 3 : Matériaux

DESIGNATION, QUANTITE ET APPROVISIONNEMENT DES MATERIAUX CONSTITUTIFS DE L'OUVRAGE OU EMPLOYES AU TITRE DE LA MISE EN ŒUVRE

[illegible]

Attention: quantités pertinentes (exploitables en terme de transport) pas forcément mêmes que quantités payées...

Onglet 4 : Engines

DEFINITION ET UTILISATION DES ENGIN

Numéro engin	Type	Désignation précise	Transport des engins imputable au chantier			Caractéristiques		Commentaires
			Distance aller (km)	Mode de transport	Distance retour (km)	Masse (T)	Puissance (kW)	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

[illegible]

Nota: prendre en compte les éventuels déplacements quotidiens des engins (inter-chantiers, retour dépôt...)

Onglet 5 : Matériel

DESCRIPTION ET AMORTISSEMENT DU MATERIEL

Type	Désignation précise (si nécessaire)	Matériau constitutif	Masse (T)	Durée de présence imputable au chantier (semaines)	Durée de vie estimée (ans)	Amortissement (%)	Transport imputable au chantier			Commentaires
							Distance aller (km)	Mode de transport	Distance retour (km)	
						≈100*Durée de présence imputable au chantier/(Durée de vie*52)				

Onglet 6 : Transport de personnels

TRANSPORT DES PERSONNELS DES DIFFERENTES ENTREPRISES ET ORGANISMES

Date	Entreprise		Trajet	Transport des engins imputable au chantier			Commentaires
	NOM	Personne		Distance aller (km)	Mode de transport	Distance retour (km)	

Onglet 7 : Installations de chantier

DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE CHANTIER

Type d'unité	Surface (m²)	Consommation électrique (kWh)	Durée d'utilisation (semaines)	Durée de vie estimée (ans)	Amortissement (%)	Masse (T)	Transport imputable au chantier			Commentaires
							Distance aller (km)	Mode de transport	Distance retour (km)	
Bureaux					≈100*Durée d'utilisation/(Durée de vie estimée*52)					
Bureaux										
Vestiaires										
Réfectoire										
Sanitaire										
Container matériels										

© 2019 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires.

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination et suivi d'édition > Cerema Infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia.

Mise en page > Cerema ITM

Illustration couverture > © Cerema

ISBN : 978-2-37180-385-5

ISSN : 2276-0164

Gratuit

Éditions du Cerema

Cité des mobilités

25 avenue François Mitterrand

CS 92803

69674 Bron Cedex

Pour commander nos ouvrages > www.cerema.fr

Pour toute correspondance > Cerema - Bureau de vente - 2 rue Antoine Charial - CS 33927 - 69426 Lyon Cedex 03

ou par mail > bventes@cerema.fr

www.cerema.fr > Nos publications

La collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Économie circulaire des matériaux et ouvrages du BTP

L'analyse de cycle de vie appliquée aux infrastructures de transport

L'économie circulaire constitue un axe majeur de développement de notre société et de nombreuses actions sont engagées par les acteurs des travaux publics dans cette dynamique. La réglementation et la feuille de route nationale pour l'économie circulaire portent une ambition forte et incitent les acteurs à réduire l'empreinte environnementale de la construction. Dans ce contexte, le recours à des études d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est essentiel pour arbitrer des choix techniques et en évaluer les effets globaux sur l'environnement.

L'objectif de ce guide est de contribuer à l'appropriation de cette méthode par un plus grand nombre d'acteurs des travaux publics. Il présente les principes généraux de l'ACV, apporte des informations sur les outils disponibles, et précise les modalités de mise en œuvre de ces démarches dans le cadre de projets routiers ou de politiques d'entretien en les illustrant avec des cas concrets que ce soit :

- en phase de rédaction de Document de Consultation des Entreprises (DCE) afin d'identifier les points prioritaires, de définir des politiques d'entretien adaptées au réseau, de choisir une solution de base et/ou des indicateurs et des critères de notation ;
- en phase d'analyse des offres, pour permettre la comparaison avec des variantes ;
- en phase chantier afin d'évaluer les impacts réels du chantier et éventuellement pouvoir les comparer aux valeurs annoncées en phase d'analyse des offres.

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Gratuit

ISSN : 2276-0164

ISBN : 978-2-37180-385-5



9 782371 803855

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

Infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris - 77171 Sourdun - Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

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