

ANALYSE DU CYCLE DE VIE D'UN PONT EN BÉTON

Exemple d'application
pour un pont courant



ANALYSE DU CYCLE DE VIE D'UN PONT EN BÉTON

Exemple d'application pour un pont courant

Avant-propos

Ce guide technique synthétise l'application de l'Analyse du Cycle de Vie pour un pont routier en béton, qui se concrétise par l'évaluation des Impacts Environnementaux traduisant la Qualité Environnementale de l'ouvrage.

La démarche, d'utilisation nouvelle en matière de génie civil, est volontairement pédagogique et s'appuie sur un cas concret d'un pont courant en béton (Passage Supérieur en Dalle Précontrainte) représentatif du patrimoine des ouvrages d'art routiers et autoroutiers français.

L'ensemble des données relatives à l'ouvrage a été inventorié et collecté avec le plus de précision possible afin d'établir un bilan matières et énergie complet et couvrir la totalité des facteurs d'impacts liés à l'ensemble du Cycle de Vie de l'ouvrage pendant toute sa durée d'utilisation. L'agrégation des flux d'inventaire et leur traduction en Impacts Environnementaux ont été menées en conformité avec le référentiel normatif actuel.

Les données d'Inventaire de Cycle de Vie des divers matériaux ne sont pas encore toutes disponibles, validées ou pertinentes, ce qui a imposé dans l'évaluation des impacts environnementaux des choix et des compromis afin de coller au plus près à la réalité du système étudié et garantir la fiabilité et la cohérence des résultats.

La méthodologie qui nécessite la gestion d'une multitude de données et de paramètres est perfectible, elle devra être affinée et optimisée en l'appliquant à d'autres ouvrages représentatifs de la diversité du patrimoine des ouvrages d'art, des matériaux et des techniques constructives.

Ce guide technique est donc un nouvel outil au service des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, ingénieurs et architectes qui souhaitent évaluer la qualité environnementale de leur patrimoine d'ouvrages ou optimiser la conception de leur futur projet selon une approche globale de dimensionnement intégrant les aspects techniques, économiques et environnementaux.

Le bilan environnemental par Analyse du Cycle de Vie, outil d'aide à la décision, participe à l'évolution de la culture environnementale.

Il permet de mieux :

- apprécier les contributions relatives des différentes phases du cycle de vie de l'ouvrage en matière d'impact environnemental,
- comparer diverses solutions techniques,
- cibler les actions de progrès destinées à améliorer la qualité environnementale de l'ouvrage,
- choisir au final les solutions constructives les plus respectueuses du principe du Développement Durable.

Sommaire

● 1 - Présentation générale de l'analyse	11
1.1 - Objectif du guide	12
1.2 - Analyse du Cycle de Vie	13
1.3 - Champ de l'étude	17
1.4 - Unité fonctionnelle et frontières du système	17
1.5 - Règles de coupure	19
1.6 - Démarche suivie pour la mise au point du guide	19
1.7 - Sources de données	22
1.8 - Traitement des données	23
<hr/>	
● 2 - Présentation générale de l'ouvrage étudié	25
2.1 - Identification de l'ouvrage	26
2.2 - Caractéristiques générales de l'ouvrage	26
2.3 - Conception et exécution de l'ouvrage	29
2.3.1 - Intervenants	29
2.3.2 - Déroulement des travaux et méthodes de construction	30
2.3.3 - Règlements de charge et de calculs	31
2.3.4 - Bétons mis en œuvre	31
2.3.5 - Principales quantités mises en œuvre	32
2.3.6 - Qualité d'exécution de l'ouvrage	33
<hr/>	
● 3 - Recueil des données du cycle de vie	35
3.1 - Etapes du cycle de vie	36
3.1.1 - Etape 1 : fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier	37
3.1.2 - Etape 2 : transport des matériaux, matériels et engins de chantier	37
3.1.3 - Etape 3 : réalisation de l'ouvrage	37
3.1.4 - Etape 4 : vie de l'ouvrage	38
3.1.5 - Etape 5 : fin de vie de l'ouvrage	38
3.2 - Fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier	41
3.2.1 - Matériaux structurants	41
3.2.1.1 - Bétons	41
3.2.1.2 - Armatures de précontrainte	44
3.2.1.3 - Armatures passives	44
3.2.2 - Equipements de l'ouvrage	45
3.2.2.1 - Etanchéité	45
3.2.2.2 - Couche de roulement	45
3.2.2.3 - Joints de chaussées	45
3.2.2.4 - Asphalte sur trottoir	45
3.2.2.5 - Appareils d'appuis	45
3.2.2.6 - Dispositifs de retenue	45
3.2.2.7 - Corniches	46
3.2.2.8 - Dispositif d'assainissement et d'évacuation des eaux	46

3.2.2.9 - Bordures de trottoirs	46
3.2.2.10 - Perré	46
3.2.2.11 - Dalle de transition	46
3.2.2.12 - Canalisations de service public	46
3.2.2.13 - Synthèse des équipements	47
3.2.3 - Matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage	48
3.2.3.1 - Matériaux divers	48
3.2.3.2 - Coffrages et étaielements	48
3.2.4 - Matériels de chantier	48
3.2.5 - Engins de chantier	49
3.3 - Transport des matériaux, matériels et engins de chantier	50
3.3.1 - Matériaux structurants	50
3.3.2 - Equipements de l'ouvrage	50
3.3.3 - Matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage	51
3.3.4 - Matériels de chantier	52
3.3.5 - Engins de chantier	52
3.4 - Réalisation de l'ouvrage	53
3.4.1 - Amortissement des matériels et engins de chantier	53
3.4.2 - Préparation du chantier	53
3.4.3 - Installations du chantier	53
3.4.4 - Moyens humains	54
3.4.5 - Matériels de chantier	55
3.4.6 - Engins de chantier	55
3.5 - Vie de l'ouvrage	56
3.5.1 - Piégeage du CO ₂ dans l'ouvrage par carbonatation du béton	56
3.5.2 - Entretien et maintenance de l'ouvrage	57
3.6 - Fin de vie de l'ouvrage	59
3.6.1 - Scénario de fin de vie	59
3.6.2 - Déconstruction de l'ouvrage	59
3.6.3 - Transport et stockage des matériaux	60
3.6.4 - Concassage des bétons	60

● 4 - Impacts environnementaux	61
4.1 - Description des impacts environnementaux	62
4.1.1 - Consommation de ressources énergétiques	63
4.1.2 - Epuisement des ressources	64
4.1.3 - Consommation d'eau totale	65
4.1.4 - Déchets solides	65
4.1.5 - Changement climatique	65
4.1.6 - Acidification atmosphérique	66
4.1.7 - Pollution de l'air	66
4.1.8 - Pollution de l'eau	66
4.1.9 - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	67
4.1.10 - Formation d'ozone photochimique	67

4.2 - Valeurs des impacts environnementaux	68
4.2.1 - Calcul des impacts environnementaux	68
4.2.2 - Fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier	68
4.2.3 - Transport des matériaux, matériels et engins de chantier	69
4.2.4 - Réalisation de l'ouvrage	69
4.2.5 - Vie de l'ouvrage	70
4.2.6 - Fin de vie	70
<hr/>	
● 5 - Synthèse de l'Analyse du Cycle de Vie	71
5.1 - Chiffres clés	72
5.1.1 - Principaux matériaux utilisés	72
5.1.2 - Transport et énergie	72
5.2 - Synthèse des impacts environnementaux par étape du cycle de vie	73
5.3 - Contribution de la fabrication des ciments, des bétons et des armatures	77
5.4 - Synthèse par impact environnemental	78
5.4.1 - Consommation de ressources énergétiques	78
5.4.2 - Epuisement des ressources	80
5.4.3 - Consommation d'eau	82
5.4.4 - Déchets solides	84
5.4.5 - Changement climatique	86
5.4.6 - Acidification atmosphérique	88
5.4.7 - Pollution de l'air	90
5.4.8 - Pollution de l'eau	92
5.4.9 - Formation d'ozone photochimique	94
5.5 - Ratios clés	96
<hr/>	
● 6 - Annexes	99
Annexe 1 - Description générale de l'Analyse du Cycle de Vie	101
1.1 - Définition générale	101
1.2 - Méthodologie de l'ACV	102
1.3 - Inventaire du Cycle de Vie	103
1.4 - Limites de l'ACV en Génie Civil	104
Annexe 2 - Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire	105
2.1 - Norme NF P 01-010	105
2.2 - Présentation générale d'une FDES	107

2.3 - Données fournies dans les FDES	108
2.3.1 - Consommation de ressources	108
2.3.2 - Emissions dans l'environnement : eau, air, sol	109
2.3.3 - Production de déchets	110
2.4 - Calcul des impacts environnementaux	111
2.4.1 - Méthode des équivalences	111
2.4.2 - Méthode du volume critique	113
Annexe 3 - Glossaire	114
Annexe 4 - Recueil des données pour le transport des matériaux structurants, des équipements de l'ouvrage et des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage	120
4.1 - Transport des matériaux structurants	120
4.2 - Transport des équipements de l'ouvrage	121
4.3 - Transport des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage	123
Annexe 5 - Recueil des données relatives aux matériels de chantier ...	124
Annexe 6 - Recueil des données relatives aux engins de chantier ...	126
Annexe 7 - Recueil des données pour le transport sur le chantier des matériels de chantier	128
Annexe 8 - Recueil des données pour le transport sur le chantier des engins de chantier	130
Annexe 9 - Recueil des données de consommation d'énergie des matériels de chantier	132
Annexe 10 - Recueil des données de consommation d'énergie des engins de chantier	134
Annexe 11 - Recueil des données relatives aux déplacements du personnel intervenant sur le chantier	136
Annexe 12 - Synthèse des consommations et émissions des véhicules, des camions et des engins de chantier ...	140
Annexe 13 - Recueil des données relatives à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage	141
Annexe 14 - Principales informations sur la composition des bétons ..	149
Annexe 15 - Recueil des données relatives aux coffrages et aux étalements	151
Annexe 16 - Bibliographie	152

Contributions à l'ouvrage

Ce guide technique a été rédigé par un groupe de travail composé d'experts du réseau scientifique et technique du MEEDDM, de l'ingénierie et de la filière ciment et béton avec la collaboration de l'entreprise SNCTP.

Pour le Réseau Scientifique et Technique du MEEDDM*

<i>Christophe AUBAGNAC</i>	<i>CETE de Lyon</i> <i>LRPC d'Autun</i>
<i>Sylvain CHATAIGNER</i>	<i>CETE de Lyon</i> <i>LRPC d'Autun</i>
<i>Patrick DANTEC</i>	<i>CETE de Lyon</i> <i>LRPC de Clermont-Ferrand</i>
<i>Bruno GODART</i>	<i>LCPC</i>
<i>Guillaume HABERT</i>	<i>LCPC</i>
<i>Renaud LECONTE</i>	<i>CETE de Lyon - Division Ouvrages d'Art</i>
<i>Yannick TARDIVEL</i>	<i>SETRA</i>
<i>Mickaël THIERY</i>	<i>LCPC</i>

Pour l'ingénierie

<i>Serge MONTENS</i>	<i>SYSTRA</i>
<i>Jacques MOSSOT</i>	<i>Consultant</i>
<i>Amélie SEMAT-PONCHEL</i>	<i>EGIS Structures et Environnement</i>
<i>Christian TRIDON</i>	<i>STRRES</i>

Pour la filière ciment et béton

<i>Xavier GUILLOT</i>	<i>ATILH</i>
<i>Patrick GUIRAUD</i>	<i>CIMBETON - Animateur du groupe de travail</i>
<i>Jean-Marc POTIER</i>	<i>SNBPE</i>

Pour l'entreprise SNCTP

Eric DOUCE et Florent MONNIN

* Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer.

Présentation générale de l'analyse

- 1.1 - Objectif du guide**
- 1.2 - Analyse du Cycle de Vie**
- 1.3 - Champ de l'étude**
- 1.4 - Unité fonctionnelle et
frontières du système**
- 1.5 - Règles de coupure**
- 1.6 - Démarche suivie pour
la mise au point du guide**
- 1.7 - Sources de données**
- 1.8 - Traitement des données**

1 - Présentation générale de l'analyse

1.1 - Objectif du guide

Le guide décrit de manière détaillée l'ensemble de la démarche permettant de réaliser une Analyse du Cycle de Vie (ACV) d'un pont routier en béton.

Nota : la rédaction est volontairement didactique compte tenu du caractère innovant de l'utilisation de ce type d'analyse pour les structures de Génie Civil.

Le système étudié dans le cadre de cette ACV est un pont en béton précontraint de type PSDP (Passage Supérieur en Dalle Précontrainte).

Le tablier coulé sur cintre est constitué d'une dalle en béton de hauteur constante, précontrainte longitudinalement.

Cet ouvrage de type ponts courants est particulièrement représentatif du patrimoine des ouvrages routiers et autoroutiers français.

La démarche ACV déclinée dans ce guide permet, en déterminant des Impacts Environnementaux, de réaliser une évaluation globale de la qualité environnementale de l'ouvrage.

Elle inclut une réflexion complète sur l'ensemble des matières premières, des énergies, des matériaux, des matériels et engins de chantier, des transports, des techniques constructives et sur les ressources et les moyens nécessaires pour réaliser l'ouvrage et assurer sa maintenance au cours de sa durée d'utilisation.

L'analyse couvre l'ouvrage en entier (tablier, appuis et fondations) ainsi que l'ensemble de ses équipements.

La méthodologie appliquée a consisté à recueillir de manière précise et exhaustive la totalité des données représentatives de l'ouvrage, d'inventorier et de quantifier un bilan matières et énergies représenté par les flux entrants et sortants au cours du cycle de vie, puis à déterminer les impacts environnementaux traduisant l'impact environnemental global de l'ouvrage.

Les données d'Inventaires de Cycle de Vie (ICV) utilisées pour l'évaluation des impacts environnementaux sont le reflet de l'état des connaissances et des informations disponibles actuellement.

La démarche présentée dans ce guide est perfectible, elle devra être affinée, améliorée et validée en analysant d'autres ouvrages représentatifs de la diversité du patrimoine des ouvrages d'art, des matériaux et des techniques constructives.

Son optimisation nécessitera en particulier une analyse de sensibilité des paramètres pris en compte et de la variabilité des données.

Nota : *les résultats de l'Analyse du Cycle de Vie sont assujettis aux effets cumulatifs des incertitudes des données d'entrée et de leur variabilité (voir au sein de l'Annexe 1, le paragraphe relatif aux limites de l'ACV).*

1.2 - Analyse du Cycle de Vie

La démarche ACV est la méthode la plus complète pour réaliser l'inventaire des flux, quantifier et synthétiser les impacts environnementaux d'une structure, d'un ouvrage, d'un produit, d'un service ou d'un procédé durant l'ensemble de son cycle de vie.

Cette analyse est :

- multiétapes : elle inclut toutes les étapes du cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la valorisation des produits (et des composants de l'ouvrage) en fin de vie,
- multicritères.

L'ACV permet ainsi de quantifier la qualité environnementale d'un ouvrage sur la totalité de son cycle de vie.

Elle fait l'objet d'une méthode normalisée développée depuis quelques années qui s'appuie en particulier sur la série des normes ISO 14010 et 14044.

L'Analyse du Cycle de Vie d'un ouvrage consiste à collecter, compiler, évaluer et quantifier :

- **les entrants** : matières ou énergies consommées à chacune des étapes du cycle de vie ;
- **les sortants** : émissions dans l'eau, dans l'air et dans le sol et les déchets produits à chaque étape ;

puis à déterminer les **impacts environnementaux** générés par cet ouvrage au cours de son **cycle de vie** en intégrant l'ensemble des processus associés à l'extraction des matières premières, à la fabrication et aux transports des produits et matériaux, à la réalisation de l'ouvrage, à son utilisation et sa fin de vie.

L'ensemble des données sont référencées sous forme de flux élémentaires "entrants et sortants" au cours d'un Inventaire de Cycle de Vie (ICV).

Les flux sont répartis dans les diverses catégories suivantes :

- Consommation de ressources :
 - Naturelles et énergétiques
 - Naturelles non énergétiques
 - Consommation d'eau
 - Consommation d'énergie et de matières récupérées
- Emissions :
 - dans l'air
 - dans l'eau
 - dans le sol
- Production :
 - de déchets valorisés
 - de déchets éliminés

Nota : *le bilan complet des consommations de matières et d'énergies doit intégrer les matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage, les taux de chute ou les rebus générés lors de leur fabrication ou leur mise en œuvre et les consommables utilisés.*

Le format utilisé pour l'ICV, les flux qui contribuent aux indicateurs ainsi que les coefficients de conversion qui leur sont associés et le calcul des Impacts Environnementaux respectent dans cette étude les recommandations de la norme NF P 01-010.

Les résultats de l'ACV sont présentés sous forme d'une série d'Indicateurs d'impacts environnementaux associés à une durée d'utilisation donnée de l'ouvrage.

L'ACV ne porte que sur les aspects quantifiables de la qualité environnementale de l'ouvrage. Les appréciations plus délicates relatives à l'esthétique de l'ouvrage, à son intégration dans son environnement ou à la qualité de vie des usagers ou des riverains de l'ouvrage ne sont pas considérées par ce type d'analyse.

Nota : *les annexes 1 et 2 donnent des précisions respectivement sur l'Analyse du Cycle de Vie et sur les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire.*

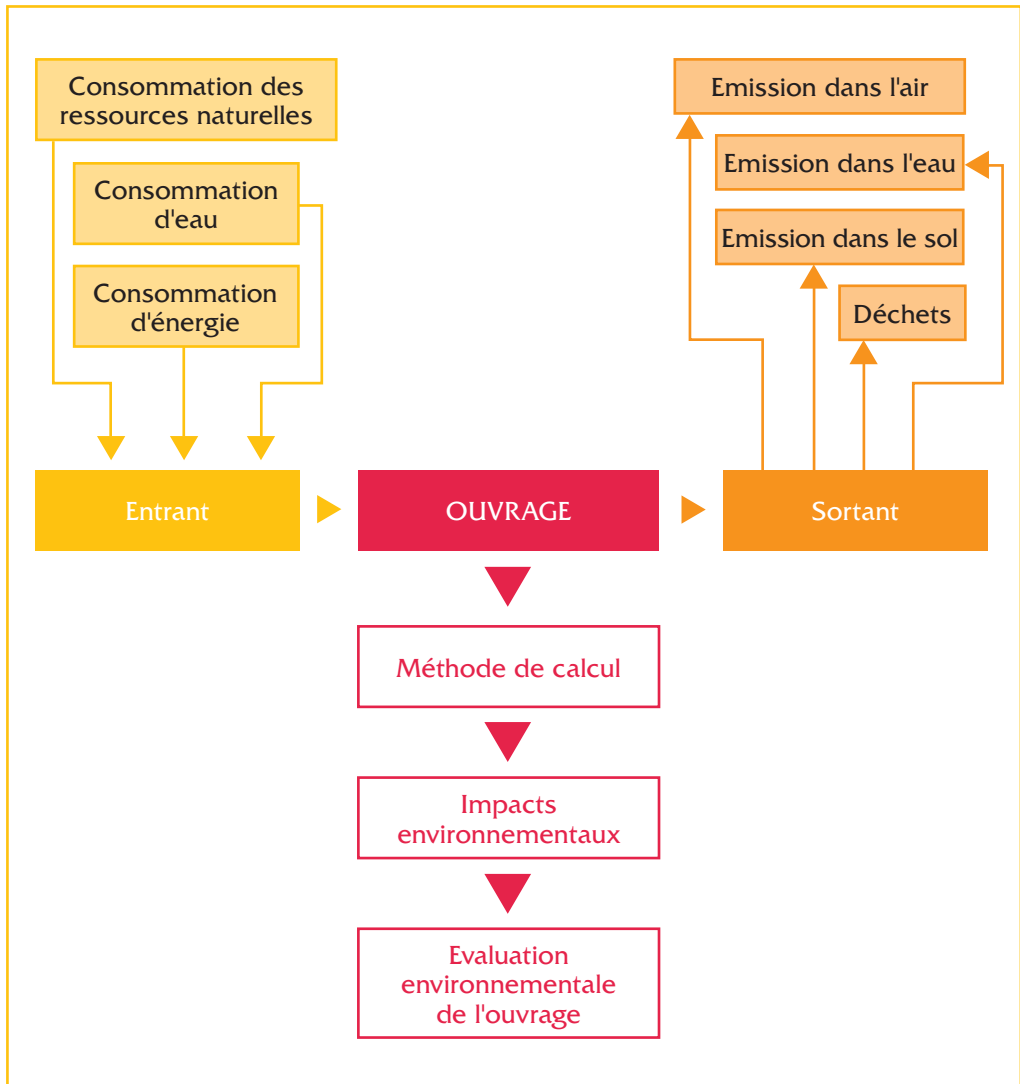


Schéma n°1 :
synoptique de l'évaluation environnementale d'un ouvrage

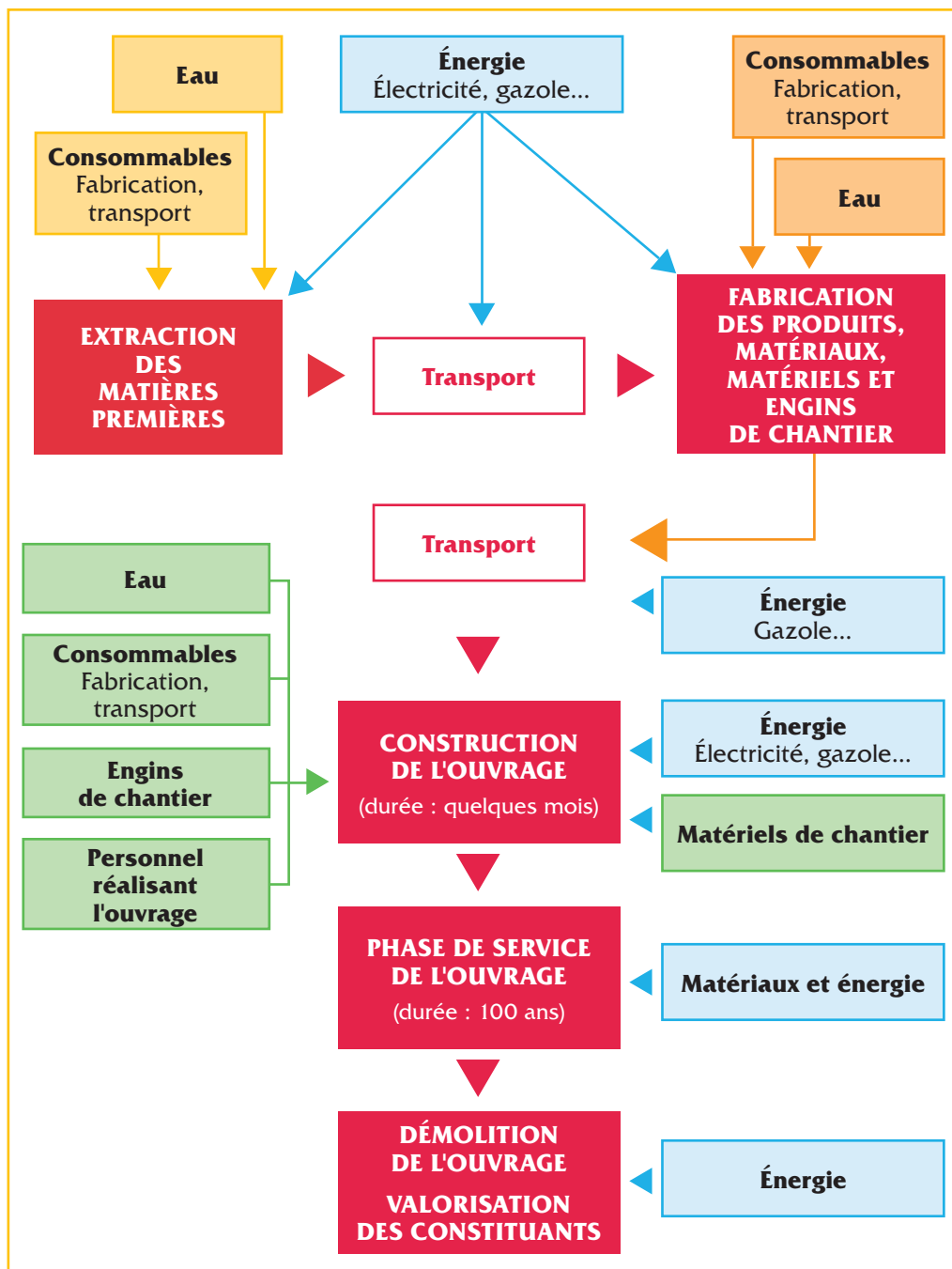


Schéma n°2 :
synoptique des consommations imputables à l'ouvrage
pendant son cycle de vie

1.3 - Champ de l'étude

La démarche ACV appliquée à un ouvrage nécessite la définition précise de son champ d'étude qui se traduit en particulier par :

- la fonction de l'ouvrage,
- l'unité fonctionnelle qui sert de référence pour les flux entrants et les flux sortants,
- la Durée de Vie Typique de l'ouvrage (en général identique à la durée d'utilisation du projet, prise égale à 100 ans pour les ponts),
- le système associé à l'ouvrage : la modélisation du système doit intégrer l'ensemble des phases du cycle de vie de l'ouvrage,
- la décomposition de l'ouvrage en sous-systèmes : l'analyse nécessite, pour aboutir à une évaluation environnementale pertinente, une décomposition fine de l'ouvrage en parties d'ouvrage et en sous-ensembles,
- les limites du système étudié.

1.4 - Unité fonctionnelle et frontières du système

L'unité fonctionnelle est l'unité de compte à laquelle va se référer l'ACV. Elle doit être définie avec précision et en cohérence avec le champ de l'étude car toutes les données d'entrée et de sortie du système et les flux lui sont affectées.

L'unité fonctionnelle, associée à une durée (Durée de Vie Typique), se décompose en :

- une unité de produit,
- une unité de fonction,
- une unité de temps.

L'unité fonctionnelle choisie pour notre analyse est un pont en béton de type PSDP (unité de produit) qui assure le franchissement d'une autoroute par des véhicules (unité de fonction), pendant une durée d'utilisation de 100 ans (unité de temps).

L'analyse ne prend pas en compte les impacts du trafic circulant sur l'ouvrage pendant sa phase de service.

Les interactions entre l'ouvrage et son environnement, ainsi que les impacts potentiels de l'ouvrage sur son environnement (faune, flore, paysage et patrimoine d'ouvrages situés à proximité) pendant les deux étapes importantes de la vie de l'ouvrage (sa construction et son utilisation), ne sont pas considérés dans cette analyse.

L'analyse n'intègre pas non plus la pertinence de l'ouvrage ou de son intérêt stratégique par rapport à d'autres solutions constructives ou d'autres types d'infrastructures de transport.

Le synoptique ci-dessous synthétise l'ensemble des sites de production qui sont intégrés dans le système étudié.

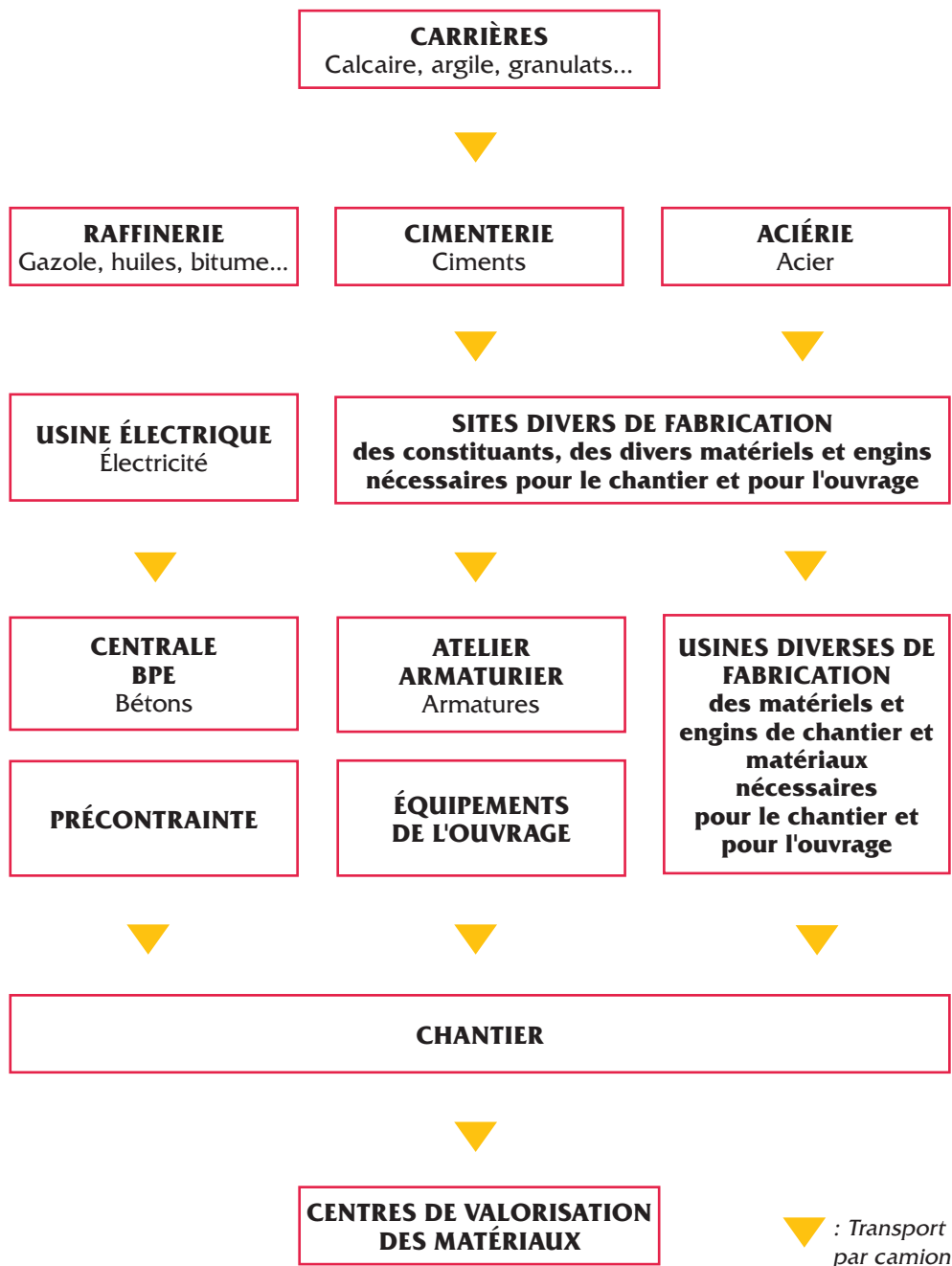


Schéma n°3 :
synoptique synthétisant l'ensemble des sites de production
intégrés dans le système étudié

1.5 - Règles de coupure

Le cycle de vie d'un ouvrage est constitué de très nombreux processus élémentaires ayant tous un impact environnemental plus ou moins important. Il convient donc de prendre en compte les processus élémentaires pertinents et exclure ceux qui ne le sont pas, par le biais de critères d'exclusion adaptés aux spécificités de l'ouvrage.

Pour simplifier l'Inventaire du Cycle de Vie, il est possible d'appliquer une règle de coupure sur les flux afin de ne pas prendre en compte les flux peu significatifs.

La norme NF P 01-010 propose par exemple une règle de coupure massive dont le seuil est fixé à 98 % (les entrants dont la masse est inférieure à 2 % sont exclus).

Il est possible aussi de compléter cette règle de coupure par des critères de pertinence environnementale et d'omettre ainsi certains flux des frontières du système.

1.6 - Démarche suivie pour la mise au point du guide

La démarche suivie pour établir l'ACV du pont se décompose en une succession d'étapes :

- 1• Sélection d'un ouvrage représentatif du patrimoine des ouvrages d'art du réseau routier et autoroutier français.
- 2• Définition du système qui représente de manière la plus pertinente l'ouvrage au sein de son environnement et choix de l'unité fonctionnelle associée.
- 3• Etablissement d'une base de références documentaires et de données du projet.
- 4• Synthèse de toutes les données du projet nécessaires à l'établissement des ICV :
 - la fabrication des matériaux de base (ciment, granulats, armatures...),
 - la fabrication des matériels, des engins de chantier et des véhicules de transport,
 - la fabrication des mélanges (béton...),
 - la fabrication des matériaux structurants (armatures, câbles et procédés de précontrainte...),
 - la fabrication des équipements de l'ouvrage (étanchéité...),
 - la fabrication des produits et matériaux nécessaires pour les diverses phases de construction (coffrage, produit de cure...),
 - les modes de transport,
 - les ressources diverses nécessaires au chantier,
 - les moyens humains nécessaires à la réalisation de l'ouvrage,

- le transport des matériaux (transport des matériaux de base vers les centrales, transport des mélanges vers le chantier...),
- les techniques constructives utilisées,
- les consommations et les rendements des engins et des matériels de chantier,
- les scénarios de maintenance de l'ouvrage,
- l'entretien (y compris la fabrication, le transport et la mise en œuvre des matériaux),
- la déconstruction de l'ouvrage,
- la valorisation des matériaux composant l'ouvrage en fin de vie.

- 5• Identification et sélection des catégories d'impacts et des Indicateurs Environnementaux représentatifs et choix des modèles de caractérisations des impacts.
- 6• Détermination des divers Inventaires de Cycle de Vie : produits, matériaux, engins...
- 7• Agrégation de tous les flux d'inventaire et traduction en Impacts Environnementaux afin d'évaluer l'impact environnemental global de l'ouvrage.
- 8• Analyse des Impacts Environnementaux.

Nota : *l'étape importante de l'évaluation réside dans la définition précise des modèles représentatifs des procédés de production des matériaux, de consommation et d'émission liées aux transports, et des consommations et émissions des engins et matériels de chantier.*

Nota : *cette étude n'est donc pas une compilation de FDES des divers matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage. Elle va plus loin que la simple détermination de deux paramètres traditionnellement pris en compte de manière simplificatrice dans de nombreuses études :*

- *la consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale),*
- *le changement climatique (dégagement de Gaz à Effet de Serre).*

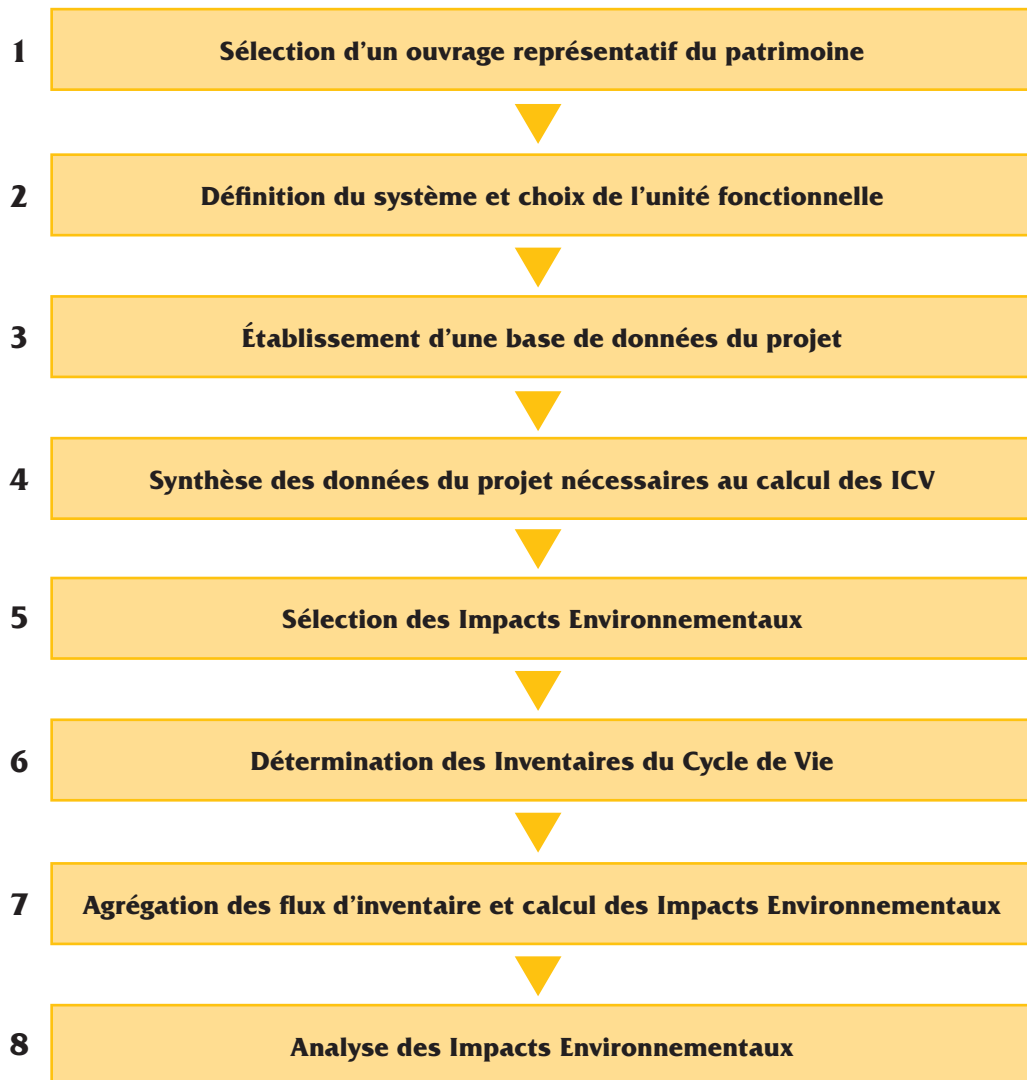


Schéma n°4 :
synthèse des différentes étapes de la démarche suivie
pour établir l'ACV

1.7 - Sources de données

Les données environnementales utilisées au cours de l'étude sont issues en particulier :

- soit de bases de données publiques (FDES répertoriées dans la base INIES),
- soit de bases de données internationales accessibles via internet.

Certaines données ont été aussi collectées auprès des organismes représentant les divers intervenants au cours des étapes du cycle de vie, l'ATILH pour le ciment, le SNBPE pour le béton...

Données	Sources	Informations complémentaires	Unité déclarée
Béton	SNBPE	Synthèse de données provenant de plusieurs centrales à béton	1 m ³ de béton
Ciment (CEM I) Ciment (CEM II)	ATILH	Calculé avec le logiciel TEAM (Ecobilan) - ATILH	1 t de ciment
Gravier	SNBPE	Synthèse de données provenant de plusieurs centrales à béton	1 kg de gravier
Sable	SNBPE	Synthèse de données provenant de plusieurs centrales à béton	1 kg de sable
Acier classique	Ecoinvent version 2.1	Base de données utilisée : steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1 kg d'acier
Armatures	Ecoinvent version 2.1	Base de données utilisée : reinforcing steel, at plant, RER, [kg]	1 kg d'acier pour armature
Bois	Ecoinvent version 2.1	Base de données utilisée : plywood, outdoor use, at plant, RER, [m ³]	1 m ³ de bois
Béton préfabriqué	INIES	FDES "Eléments architecturaux en béton"	1 m ³ de béton préfabriqué
Regard de visite	INIES	FDES "Regard de visite en béton"	1 unité
Electricité	EDF	Issue du Fascicule de Documentation FD P01-015	1 MJ
Combustion fuel	ETH Zurich/ ANDRA	Issue du Fascicule de Documentation FD P01-015	1 MJ
Transport diesel	INRETS	Issue du Fascicule de Documentation FD P01-015	1 l

Tableau n°1 : sources des principales données environnementales utilisées dans l'étude

Nota : Les normes ISO insistent sur l'importance de la qualité des données (précision, complétude, représentativité, cohérence, reproductibilité).

La phase d'interprétation de l'Analyse du Cycle de Vie doit comprendre l'évaluation de la qualité des données et les analyses de sensibilité sur les entrants et les sortants afin de déterminer l'incertitude des résultats.

1.8 - Traitement des données

L'ensemble des données issues du recueil des Informations sur l'ouvrage (cf. chapitre 3) et des Inventaires de Cycle de Vie (ICV) a été compilé dans un logiciel de calculs (tableur) afin de pouvoir déterminer les différents impacts environnementaux :

- la consommation de ressources énergétiques,
- l'épuisement des ressources,
- la consommation d'eau,
- les déchets solides,
- le changement climatique,
- l'acidification atmosphérique,
- la pollution de l'air,
- la pollution de l'eau,
- la formation d'ozone photochimique.

Ces impacts sont issus de la norme NF P01-010 "Qualité environnementale des produits de construction". Ils sont jugés pertinents vis-à-vis de la qualité environnementale des ouvrages et font l'objet d'un large consensus parmi les experts en environnement de la communauté scientifique. Ils permettent d'évaluer la contribution environnementale de l'ouvrage tout au long de son cycle de vie (cf. chapitre 4).

La première étape de traitement des données a consisté à associer les bases de données sur l'Inventaire du Cycle de Vie aux différentes données "projet" correspondantes. Ainsi, pour chaque donnée quantitative (quantité de matériaux structurants, consommation de carburant pour le transport des matériaux et des personnes, consommation de fuel pour le fonctionnement des engins...), une base de données d'Inventaire du Cycle de Vie a été attribuée.

A partir des données de l'Inventaire du Cycle de Vie, les consommations et les émissions contribuant aux Flux Environnementaux ont été affectées au cours d'une deuxième étape aux catégories d'impacts.

Les différents flux ont été pondérés par des facteurs de caractérisation (coefficient de conversion) qui expriment l'importance relative des émissions (ou des consommations) de chaque substance au sein d'une catégorie d'impact environnementale spécifique.

Les facteurs choisis correspondent à ceux de la norme NF P 01-010.

Différentes méthodes ont été utilisées, notamment la méthode des équivalences ou la méthode du volume critique.

Dans le cadre de la norme NF P 01-010, la méthode des équivalences s'applique aux indicateurs suivants :

- changement climatique ;
- épuisement des ressources naturelles ;
- acidification atmosphérique ;
- formation d'ozone photochimique.

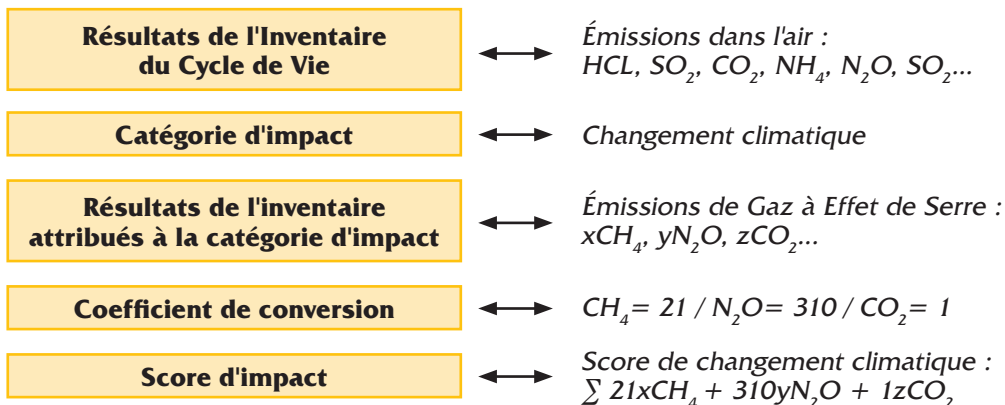
La méthode du volume critique, quant à elle, est utilisée pour les indicateurs :

- pollution de l'air,
- pollution de l'eau.

Ces méthodes sont décrites dans l'Annexe 2.

Ainsi, les flux entrants et sortants ont été multipliés par ces facteurs puis sommés dans chaque catégorie d'impact pour fournir un score d'impact.

Exemple : méthodologie de détermination de l'indicateur "changement climatique"



Ces scores d'impact, résultats de l'Analyse du Cycle de Vie pour chaque catégorie d'impact, sont présentés dans le chapitre 4. Ils sont ensuite interprétés et analysés dans le chapitre 5.



Chapitre

2

Présentation générale de l'ouvrage étudié

2.1 - Identification de l'ouvrage

2.2 - Caractéristiques générales de l'ouvrage

2.3 - Conception et exécution de l'ouvrage

2 - Présentation générale de l'ouvrage étudié

2.1 - Identification de l'ouvrage

Le guide présente la démarche détaillée d'Analyse du Cycle de Vie d'un pont courant en béton, à partir d'un exercice réel mené sur le passage supérieur de Cocloye en Saône et Loire (71), ouvrage réalisé en 2006 dans le cadre des travaux de mise à 2 x 2 voies de la RN 80 - Route Centre Europe Atlantique (RCEA), pour permettre le rétablissement de la RD 981.

Un marché de type TOARC (Terrassements, Ouvrages d'Art, Rétablissements, Chaussées) relatif à la section Givry - Cocloye, de 3 km de longueur, de la RN80, comprenait la démolition de deux passages supérieurs existants et la construction de deux passages inférieurs en cadre fermé (PICF) et de deux passages supérieurs en dalles précontraintes (PSDP), dont le PS de Cocloye.

L'ouvrage a ainsi été construit par la Direction Départementale de l'Équipement de Saône et Loire et est actuellement sous Maîtrise d'Ouvrage et gestion du Conseil Général de Saône et Loire.

2.2 - Caractéristiques générales de l'ouvrage

L'ouvrage, qui comporte un tablier unique, possède deux travées de 25 m de portée, pour une longueur totale de 51,53 m.

Le profil en long est constitué d'un arc de parabole de rayon 3 000 m, avec une pente longitudinale variable de 4 à 1,2 % sur l'ouvrage.

Le profil en travers de la RN 80 - RCEA au droit du franchissement comprend deux chaussées unidirectionnelles à deux voies bordées d'une bretelle, séparées par un terre-plein central de 3 m de largeur.

La hauteur libre minimale au-dessus de la RN 80 est de 4,98 m.

Le biais du franchissement et des appuis est de 94,20 grades.

Les culées en béton armé sont fondées par l'intermédiaire de deux files de trois pieux forés de diamètre 800 mm et de 5,75 m de profondeur (substratum marno-calcaire ou calcaire tendre), coiffées par une semelle de 4 m de largeur et de 0,90 m d'épaisseur.

Elles sont constituées d'un chevêtre - mur de front, de 1,80 m d'épaisseur, comportent un mur garde-grêve et sont équipées d'une dalle de transition de 3 m de longueur.

Les talus des culées sont revêtus de perrés en dallettes de béton.

La pile intermédiaire est constituée d'un voile unique en béton armé de forme trapézoïdale (largeurs d'environ 4,50 m en pied et 6 m en tête) et d'épaisseur 0,70 m à sa base, qui s'épaissit par deux redans successifs en partie supérieure : épaisseurs de 0,80 m puis de 0,90 m.

Elle est fondée par l'intermédiaire de trois barrettes de section 5 m x 0,80 m (épaisseur) et de 2,10 m de profondeur (substratum marno-calcaire ou calcaire tendre), surmontées d'une semelle de 4 m de longueur et de 0,80 m d'épaisseur.

Le tablier repose sur ses appuis par l'intermédiaire de lignes de deux appareils d'appui en élastomère fretté, de dimensions 650 x 600 x 4 (16+4) sur pile et 300 x 600 x 5 (10+3) sur culées.

L'ouvrage est équipé à ses extrémités de joints de chaussée à hiatus de souffle 50 mm.

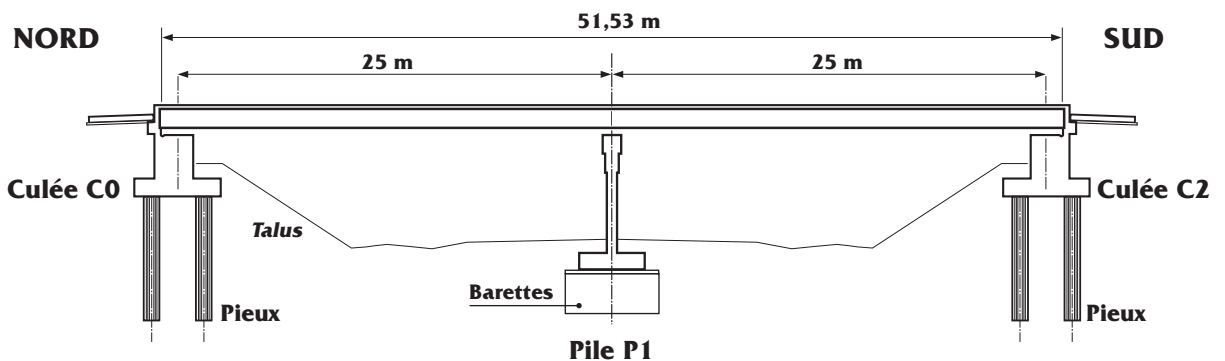


Schéma n°5 : coupe longitudinale de l'ouvrage (extrait du DCE)

Le profil en travers de la RD 981 sur l'ouvrage est constitué d'une chaussée de 6,60 m de largeur, avec un profil en toit déversé à 2,5 %, bordée de deux trottoirs de 1 m de largeur, soit une largeur utile de 8,60 m, pour une largeur totale du tablier de 9,60 m.

Le tablier est constitué d'une dalle nervurée en béton précontraint : nervure de 5,30 m de largeur et d'épaisseur maximale à l'axe de 1,01 m, et d'encorbellements de 2,15 m de largeur.

Il est précontraint au moyen de 19 câbles de type 12 T 15,7 (Super), torons TBR de classe 1860 MPa (procédé CCL-EF).

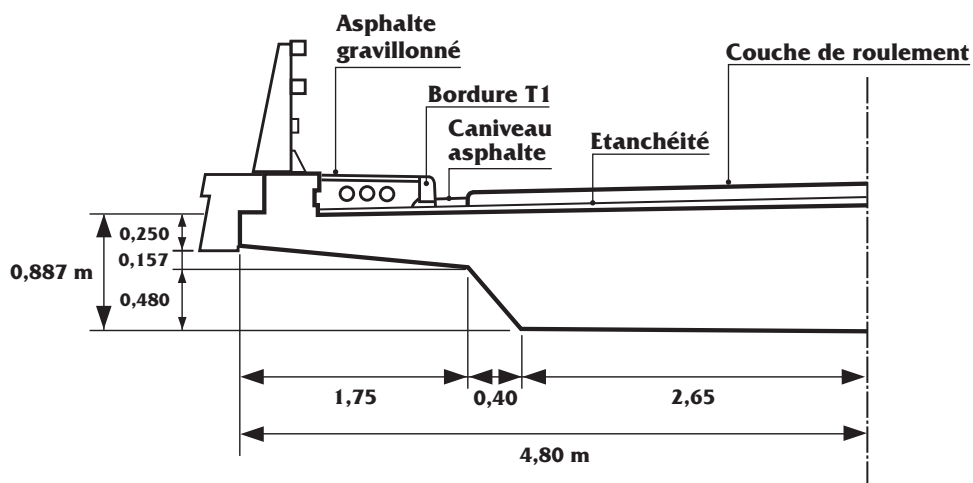


Schéma n°6 : 1/2 coupe transversale de l'ouvrage (extrait du DCE)

Les équipements de l'ouvrage "en section courante" sont les suivants :

- chape d'étanchéité constituée de Feuilles Préfabriquées protégées par une couche d'Asphalte de 3 cm d'épaisseur,
- couche de roulement en Béton Bitumineux Semi-Grenu de 80 mm d'épaisseur,
- corniches préfabriquées en béton armé teinté dans la masse,
- barrières de sécurité de type BN4 sur longrines en béton armé,
- corps de trottoirs en béton, revêtus d'asphalte sur 3 cm d'épaisseur, et contenant des fourreaux en réservation (3 Ø 100 par trottoir),
- drains aluminium,
- bordures de trottoir de type T1,
- caniveaux fil d'eau en asphalte porphyré,
- gargouilles à virole Ø 150 mm.

Il a été appliqué un traitement anti-graffiti incolore sur les corniches, les murs préfabriqués et les culées, et de couleur grise sur la pile.

2.3 - Conception et exécution de l'ouvrage

2.3.1 - Intervenants

Le Maître d'Œuvre des études et travaux de construction du PS de Cocloye a été le Service Grands Travaux de la Direction Départementale de l'Équipement de Saône et Loire, assisté du bureau d'études SERALP Infrastructures - Pôle OA de Valence, pour l'établissement du DCE et la mission visa, et du CETE de Lyon, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Autun, pour les missions de contrôle extérieur.

Le Marché TOARC 2 "RN80 - RCEA section Givry - Cocloye" a été attribué au groupement d'entreprises Roger MARTIN (mandataire, travaux de terrassements), ROUGEOT (travaux de chaussées) et LOCATELLI (travaux d'ouvrages d'art).

La démolition des deux PS existants a été réalisée par l'entreprise sous-traitante VIGOT de Beaune (21).

Les ouvrages d'art ont finalement été sous-traités à l'entreprise SNCTP, agence de Mâcon (71), qui a confié les études d'exécution au Bureau d'Études COGECI de Vaulx-en-Velin (69).

Les pieux de fondation ont été exécutés par l'entreprise SONDEFOR de Saint Julien l'Ars (86).

La pose des armatures a été réalisée par la société TFF.

Les travaux de mise en précontrainte du tablier et de réalisation des injections des conduits au coulis de ciment (coulis Super Stresscem) ont été réalisés par l'entreprise PCB de Châteauneuf sur Loire (45).

La fourniture et la pose des barrières de sécurité BN4 ont été assurées par l'entreprise ROUSSEAU de Guingamp (22).

La fourniture et la pose des joints de chaussée et appareils d'appui, les travaux de vérinage sur culées pour relaxation des appareils d'appui après la mise en précontrainte du tablier, ont été confiés à la société ETIC.

Les travaux d'étanchéité ont été réalisés par les entreprises SOPREMA (feuille préfabriquée) et Roger MARTIN (asphalte).

Les enrobés ont été fabriqués dans une centrale mobile et mis en œuvre par les entreprises ROUGEOT et APPIA/REVILLON (sous-traitant).

Les principaux fournisseurs ont été :

- Bétons Prêts à l'Emploi : société BCMC, centrales de Blanzay et du Creusot, distantes du chantier de 28 à 30 km,
- armatures hors pieux de fondation : ARMATURE SA Luxembourg,
- armatures des pieux de fondation : PRO ARMATURES RHÔNE à Corbas (69),
- armatures de précontrainte : TYCSA SANTANDER (Espagne),
- corniches, bordures et murs en béton armé des culées préfabriquées : entreprise LPB à Crotay (01).

2.3.2 - Déroulement des travaux et méthodes de construction

Les travaux de construction des quatre ouvrages d'art du TOARC ont démarré en janvier 2006 et se sont achevés en novembre 2006. Cependant, la construction du PS de Cocloye a nécessité six mois d'activité sur chantier (mise en service début octobre 2006).

Le tablier de l'ancien PS de Cocloye a été démoli à la pelle à pince, les gravats ont été évacués jusqu'à une décharge du Creusot (71).

Les pieux de fondation des culées ont été exécutés au moyen de tubes provisoires mis en place par vibration jusqu'à la base du forage ou au toit du substratum marno-calcaire avec, le cas échéant, curage partiel à l'hammer-grab, voire trépannage (trépan cruciforme).

Le coffrage des appuis de l'ouvrage a été réalisé au moyen de panneaux (peau en contreplaqué ép. 15 mm) et banches de type PASCHAL.

Le tablier du nouveau PS a été coulé sur cintre et étaitements (tours métalliques MILLS*) en une seule phase, au moyen d'une pompe à béton de 36 m.

**Etalement travée C0-P1 :*

- franchissement du talus en profilés type HEB 400 en appui sur palées de tour type MILLS MT 100 côté P1 et sur boîtes à sable côté C0,
- franchissement de la voie de chantier circulée en profilés type HEB 450 en appui sur palées de tour type MILLS MT 100 de part et d'autre.

Etalement travée P1-C2 :

- franchissement du talus en profilés type HEB 450 en appui sur palées de tour type MILLS MT 100 côté P1 et sur boîtes à sable côté C2.

Le coffrage du tablier a été réalisé :

- par plateaux coffrants (peau martyre en contreplaqué ép. 19 mm et finition ép. 15 mm) mis en place au moyen de la grue mobile affectée au chantier,
- au moyen de caissons préfabriqués, constitués de vaux sciés et d'un contreplaqué filmé de 15 mm d'épaisseur, fixés sur les plateaux pour les encorbellements,
- en traditionnel pour les "joutes" du tablier sur appuis.

2.3.3 - Règlements de charge et de calculs

La durée d'utilisation du projet était classiquement de 100 ans.

L'ouvrage a été dimensionné vis-à-vis des charges civiles A et B du Fascicule 61 titre II du C.P.C. (ouvrage de 2^e classe), des charges militaires M 120 et des charges exceptionnelles de 3^e catégorie (circulaire n°R/EG3 du 20 juillet 1983).

En phase de chantier, un engin de type DUMPER 769 C (69 tonnes) a été pris en compte.

Les règlements de calculs suivants ont été utilisés :

- Fascicule 62 titre I section I du CCTG : règles BAEL 91 révisées 99 (fissuration considérée préjudiciable pour les justifications vis-à-vis des ELS),
- Fascicule 62 titre I section II du CCTG : règles BPEL 91 révisées 99 (classe II de vérification pour les justifications des contraintes normales vis-à-vis des ELS),
- Fascicule 62 titre V pour le calcul des fondations.

L'enrobage minimal spécifié des armatures passives était de 3 cm.

2.3.4 - Bétons mis en œuvre

L'ouvrage se situe en site rural, en zone humide avec gel modéré.

Les niveaux de salage sur la RN80 - RCEA et sur la RD 981 sont respectivement "très fréquents" et "fréquents".

Le niveau B de prévention vis-à-vis des risques liés à l'alcali-réaction a été retenu.

Les principales informations relatives à la composition des différents bétons mis en œuvre pour la réalisation de l'ouvrage sont synthétisées dans l'Annexe 14.

A l'exception du béton de la pile et des longrines, les bétons ont été approvisionnés à partir de la centrale principale BCMC de Blanzay.

2.3.5 - Principales quantités mises en œuvre

Désignations	Quantités (y compris déchets et rebuts de chantier)	Unités
Béton de fondations profondes C 30/37	70	m ³
Béton de tablier C 40/50	365	m ³
Béton des semelles et culées C 30/37	188	m ³
Béton de la pile, des longrines, des murs garde-grève, des cachetages et perrés C 35/45	63	m ³
Torons T 15,7 1860 TBR	14 165	kg
Coulis Super Stresscem	5,1	t
Aciers pieux des culées	3 159	kg
Aciers hors pieux des culées	57 050	kg
Corniches préfabriquées en BA C35/45	97,4	ml
Appareils d'appui en caoutchouc fretté	109	dm ³
BN4	136	ml
Joints de chaussées	14	ml
Joints de trottoirs	6	ml
Chape d'étanchéité feuille préfabriquée	487	m ²
Chape d'étanchéité asphalte gravillonné	27	t
Couche de roulement BBSG	60	t
Caniveaux fils d'eau en asphalte porphyré	4	t
Asphalte sur trottoirs	8	t
Bordures T1	103	ml
Dallettes béton pour perrés	144	m ²
Traitement anti-graffiti	897	m ²
Remblai contigu	533	m ³

Tableau n°2 : principales quantités de matériaux mises en œuvre

2.3.6 - Qualité d'exécution de l'ouvrage

L'ouvrage a été exécuté correctement, dans le respect des exigences contractuelles.

Les contrôles extérieurs ont porté sur les pieux de fondation (dont auscultation sonique), les bétons (dont essais spécifiques G+S), la mise en tension des câbles de précontrainte (dont la mesure des coefficients de transmission), l'injection des conduits au coulis de ciment, la mise en œuvre de la chape d'étanchéité...

Leurs résultats ont permis de déclarer la conformité des lots.

Formules de béton	Période de bétonnage	Rc 28 jours moyenne (MPa)	Ecart-type (MPa)	Rc 28 jours mini (MPa)	Nombre de résultats
Pieux, barrettes C 30/37	Février 2006	46,6	3,6	40,7	17
Tablier C 40/50	Juin - juillet 2006	47,3	1,6	45,7	5
Semelles, culées C 30/37	Février - avril 2006	43,1	1,7	39,3	24
Pile, longrines C 35/45	Mars 2006	45,2	6,6	36	6

Tableau n°3 : résultats des contrôles extérieurs des bétons par formules et parties d'ouvrage

Les résultats des épreuves réglementaires de chargement et de l'inspection détaillée initiale de l'ouvrage ont permis la réception des travaux et la mise en service de l'ouvrage début octobre 2006.

L'inspection détaillée initiale a seulement relevé :

- des écoulements sur le mur garde-grève pouvant résulter de défaut d'étanchéité du joint de chaussée au droit des joints entre éléments métalliques,
- un bullage relativement conséquent sur les parements de la pile (béton G+S avec entraîneur d'air),
- quelques éclats de galvanisation en partie supérieure d'un certain nombre de supports de BN4 pouvant résulter de la manutention après galvanisation,
- quelques nids de cailloux à la base des murs garde-grève des culées.



**Vue générale de l'ouvrage lors de l'inspection détaillée initiale
(travaux de finition en cours)**



**Vue de la chaussée sur l'ouvrage lors de l'inspection détaillée initiale
(travaux de finition en cours)**

Les quelques travaux de reprise ont concerné :

- la 2^e couche de BBSG (flache au niveau d'un joint de chaussée),
- quelques ragréages (bullage, nids de cailloux),
- ponctuellement, la galvanisation sur les supports de BN4.

Coût de l'ouvrage

Le coût final de la construction de l'ouvrage a été de 858 210 € TTC dont 15 550 € TTC pour la démolition de l'ancien PS et 9,3 % moyens de révisions. Cela représente un coût de 1 937 € TTC/m² de surface utile (valeur 2006).



Chapitre

3

Recueil des données du cycle de vie

3.1 - Etapes du cycle de vie

**3.2 - Fabrication des matériaux, matériels
et engins de chantier**

**3.3 - Transport des matériaux, matériels
et engins de chantier**

3.4 - Réalisation de l'ouvrage

3.5 - Vie de l'ouvrage

3.6 - Fin de vie de l'ouvrage

3 - Recueil des données du cycle de vie

3.1 - Etapes du cycle de vie

Le cycle de vie d'un ouvrage inclut : l'extraction des matières premières, la production des constituants, la fabrication des matériaux et produits qui le composent, des matériaux, matériels et engins nécessaires à sa réalisation, leur transport jusqu'au chantier, sa construction et sa vie en œuvre (exploitation, maintenance et entretien) et en fin de vie, sa déconstruction et la valorisation des matériaux.

La démarche globale de l'Analyse du Cycle de Vie intègre la durée de vie complète de l'ouvrage en décomposant son cycle de vie en 5 grandes étapes (voir schéma n° 7), chaque étape ayant une incidence en termes d'impacts environnementaux.

Nota : la nature des différents matériaux, leurs procédés de fabrication, leur transport et leur mise en œuvre au sein de l'ouvrage sont des paramètres fondamentaux qui influent sur les impacts environnementaux de l'ouvrage.

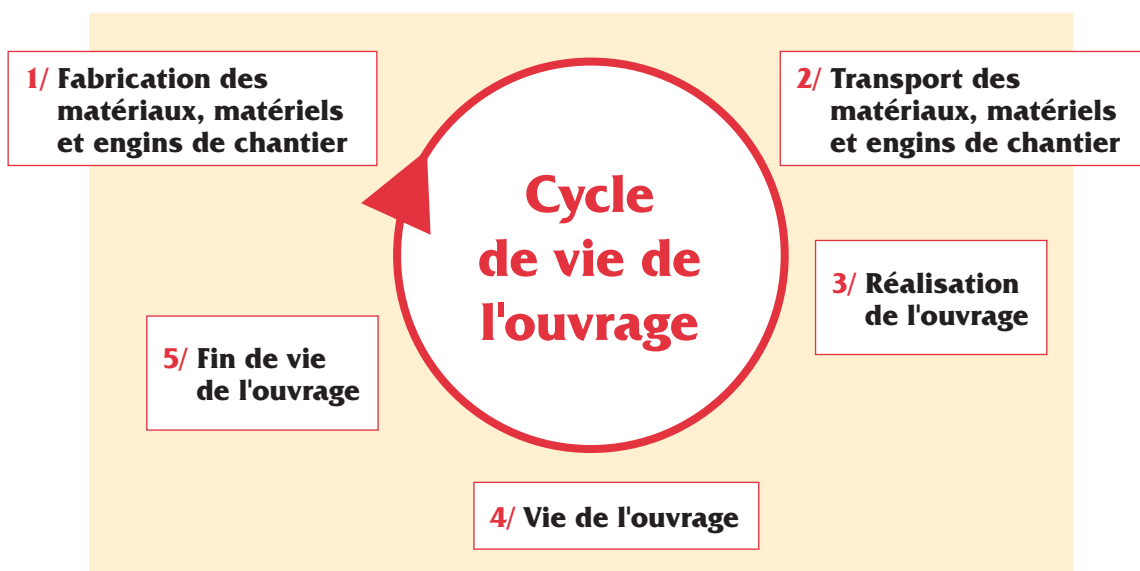


Schéma n°7 : les 5 étapes du cycle de vie d'un ouvrage

3.1.1 - Etape 1 : fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier

Cette phase inclut :

- l'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication des matériaux tels que les granulats pour la fabrication du béton et le calcaire et l'argile pour la fabrication du ciment,
- la fabrication des matériaux nécessaires à la réalisation de l'ouvrage tels que par exemple, les coffrages et les huiles de décoffrage ou les produits de cure,
- la fabrication des matériels et engins de chantier utilisés pour la réalisation de l'ouvrage (sous réserve que leur durée d'utilisation sur le chantier par rapport à leur durée de vie théorique soit significative).

Elle prend en compte tous les impacts entre l'extraction des matières premières jusqu'à la sortie de son site de production du produit, du matériel ou de l'engin.

3.1.2 - Etape 2 : transport des matériaux, matériels et engins de chantier

Cette étape inclut tous les transports (aller et retour) nécessaires pour assurer toutes les livraisons, de la sortie de chaque site de fabrication jusqu'au chantier :

- des divers matériaux structurants, des équipements et des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage,
- des matériels,
- des engins.

Cette étape prend en compte, en particulier, la production et la combustion du gazole consommé par les transports par voie routière et les distances parcourues en charge et à vide.

3.1.3 - Etape 3 : réalisation de l'ouvrage

Cette étape couvre la période comprise entre la mise en place des installations de chantier et la réception de l'ouvrage terminé.

La réalisation de l'ouvrage est décomposée en différentes phases afin de distinguer :

- les travaux réalisés par l'entreprise générale présente sur le site pendant toute la durée du chantier (structure de génie civil : tablier et appuis),

- les travaux réalisés, par les sous-traitants qui interviennent de manière ponctuelle au cours de la réalisation de l'ouvrage. Ces travaux concernent les prestations suivantes :
 - Fondations profondes
 - Précontrainte
 - Etanchéité
 - Couche de roulement
 - Appareils d'appui et joints de chaussée
 - Asphalte
 - Remblais contigus
 - Armatures passives
 - Dispositifs de retenue
 - Préparation de chantier

Cette phase intègre aussi :

- l'ensemble des moyens généraux spécifiques au chantier (installations de chantier, consommation d'eau, éclairage, chauffage des installations de chantier...),
- les impacts des véhicules lors des déplacements effectués par tous les intervenants sur le chantier, pendant toutes les étapes de la construction,
- les consommations en carburant et énergie de l'ensemble des matériels et engins utilisés sur le chantier.

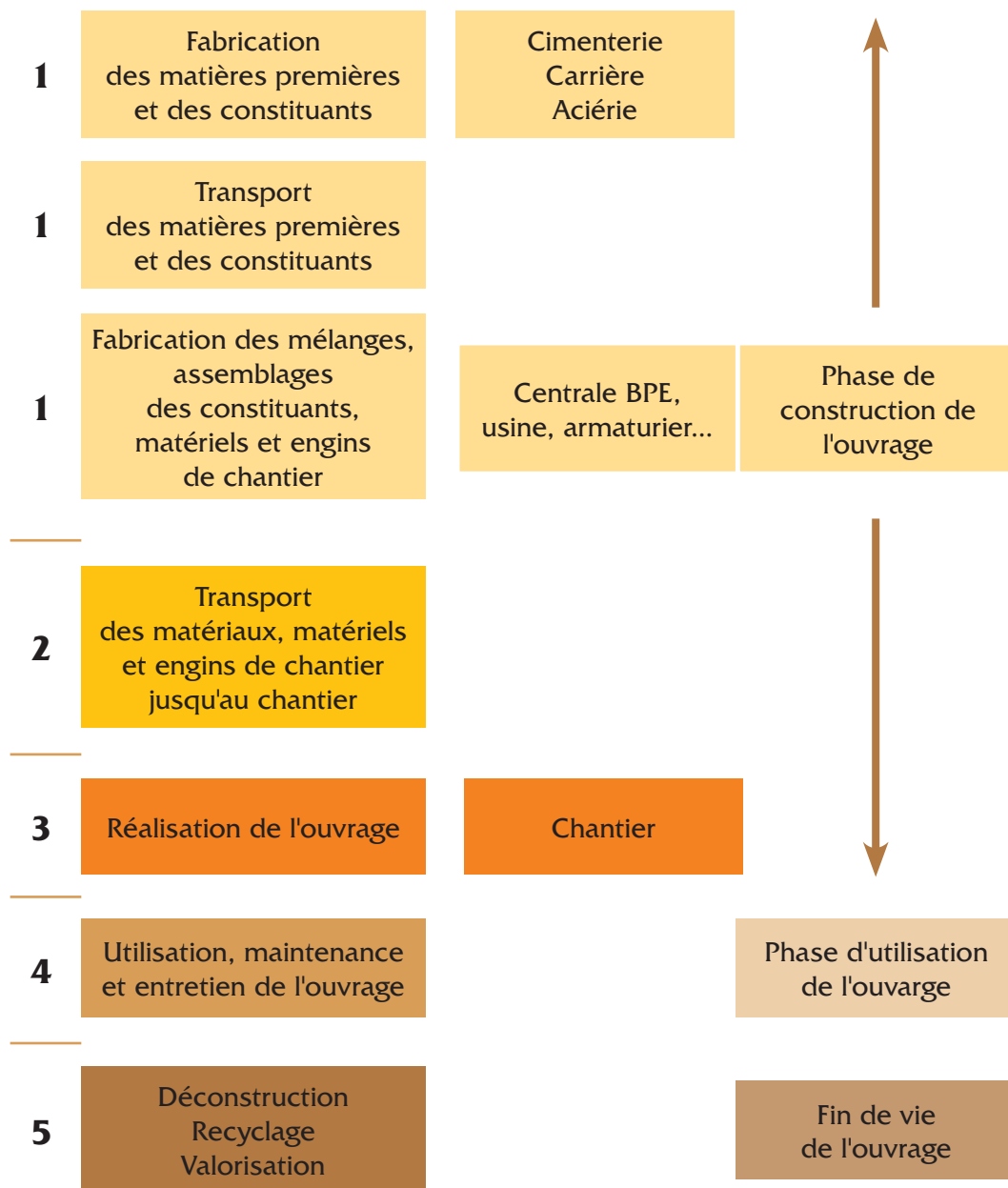
3.1.4 - Etape 4 : vie de l'ouvrage

La vie de l'ouvrage concerne sa surveillance, son entretien et sa maintenance pendant sa durée d'utilisation. Il n'a pas été programmé de grosses réparations.

3.1.5 - Etape 5 : fin de vie de l'ouvrage

Cette étape s'intéresse à la déconstruction de l'ouvrage en fin de vie, au transport des matériaux et à leur traitement et stockage dans un site de valorisation.

Les 5 étapes du cycle de vie d'un ouvrage de génie civil en béton



Décomposition des étapes du cycle de vie du pont

N° étape	Description
1/ FABRICATION	Fabrication matières premières : ciments, granulats, adjuvants, acier...
	Fabrication des matériaux structurants : bétons des fondations, des piles ou du tablier, armatures, précontrainte, produits préfabriqués en béton...
	Fabrication des équipements de l'ouvrage : étanchéité, joints de chaussées, appareils d'appuis...
	Fabrication des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage : coffrage, huile de décoffrage, produit de cure...
	Fabrication des matériels et des engins de chantier
2/ TRANSPORT	Transport des matériaux et des équipements sur le site : bétons, armatures, joints de chaussées, coffrage...
	Transport des matériels et engins de chantier sur le site.
3/ REALISATION DE L'OUVRAGE	Installation et préparation du chantier
	Réalisation des fondations
	Réalisation des piles
	Réalisation des culées
	Réalisation du tablier
4/ VIE DE L'OUVRAGE 100 ans	Surveillance et maintenance
	Entretien selon scénarios types
5/ FIN DE VIE	Déconstruction de l'ouvrage
	Transport des matériaux de déconstruction
	Stockage des matériaux
	Traitement des matériaux

3.2 - Fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier

Les étapes de fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier comprennent l'extraction des matières premières, la fabrication, la transformation, le montage ou l'assemblage. Elles incluent tous les transports nécessaires en amont pour livrer les divers constituants ou composants des matériaux, matériels et engins de leurs sites initiaux jusqu'à leurs sites de production finale.

3.2.1 - Matériaux structurants

3.2.1.1 - Bétons

Les données relatives aux divers bétons utilisés pour la réalisation de l'ouvrage sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

N°	Désignation	Qtés m ³	Dosage en ciment kg/m ³	Type de ciment*	Informations complémentaires Classe de résistance Classe d'exposition
1	Béton de propreté	37	300	2	C 20/25 XC2 Déchets de chantier 0
2	Béton de blocage et de remplissage	73	250	2	C 25/30 XC3 Déchets de chantier 0
3	Béton de fondations profondes	70	385	1	C 30/37 XA1 S4 0/20 CI 0.4 Déchets de chantier 5 %
4	Béton de dalle de transition	14	300	2	C 25/30 XC2 Déchets de chantier 1 %
5	Béton de tablier	365	385	2	C 40/50 XC4 0/20 CI 0.2 Déchets de chantier 1 %
6	Béton des semelles et culées	188	350	2	C 30/37 XC4 Déchets de chantier 1 %
7	Béton dalles appuis étaieiment	32	350	2	C 30/37 XC4 Déchets de chantier 1 %
8	Béton pile longrines mur garde grève, perrés...	63	420	1	C 35/45 XF4 S2 0/20 CI 0.4 Déchets de chantier 1 %

* Ciment de type 1 : CEM I 52,5 N CE PM ES CP2 NF
Ciment de type 2 : CEM II / A - L 52,5 N CE CP2 NF

Les principales informations sur la composition des différents bétons sont synthétisées dans l'Annexe 14.

Les impacts relatifs au transport des ciments à partir des cimenteries jusqu'à la centrale BPE et des granulats, de la carrière jusqu'à la centrale BPE, sont intégrés au niveau de cette étape de cycle de vie.

Nota : les quantités précisées dans le tableau précédent intègrent les déchets liés à la mise en œuvre et aux contrôles des bétons.

Inventaires de cycle de vie des ciments

Les ICV des ciments pris en compte dans l'étude ont été réalisés en incluant les étapes du cycle de vie du clinker puis des ciments depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la sortie de la cimenterie.

Ces étapes comprennent :

> **la production du clinker :**

- l'extraction des roches consommées (calcaire, argile, craie, marne),
- le concassage des matières extraites,
- l'étape de préhomogénéisation,
- la production des différents matériaux servant d'ajouts correctifs (bauxite, minerai de fer...),
- leur transport jusqu'à la cimenterie,
- la production des consommables de cimenteries (boulets de broyage, briques réfractaires...),
- le broyage des matières crues,
- l'homogénéisation,
- la production et le transport des combustibles (charbon, coke de pétrole...),
- la cuisson du cru à 1450°C,
- le refroidissement du clinker,
- le stockage du clinker.

> **la production des constituants principaux (calcaire, laitier de haut-fourneau, cendres volantes),**

> **la production des constituants secondaires,**

> **la production de sulfate de calcium (gypse, anhydrite...),**

> **la production des additifs (agents de mouture...),**

> **la production des consommables,**

> **le transport de chacune de ces productions jusqu'à la cimenterie,**

> **le broyage et le séchage du mélange qui devient alors du ciment,**

> **la préparation du ciment en vue de sa livraison.**

Inventaires de Cycle de Vie des bétons

Pour la production du béton en centrale BPE, l'ICV prend en compte, en particulier :

- > **la production des divers constituants** : ciment, granulats, adjuvants...
- > **le transport des différents constituants depuis leurs sites de production jusqu'à la centrale BPE,**
- > **la production des consommables et des énergies nécessaires à la fabrication du béton,**
- > **l'utilisation des composants, matériaux, consommables et énergies nécessaires pour produire le béton,**
- > **la fabrication du béton,**
- > **le chargement des camions toupies.**

Production du béton en centrale BPE

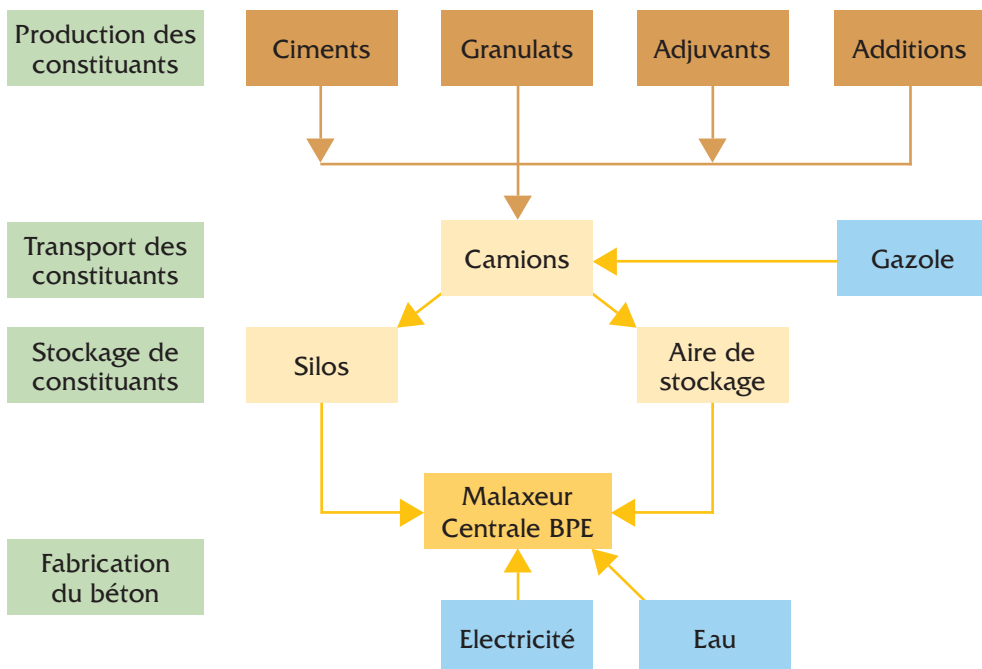


Schéma n°8 : modélisation d'une centrale BPE pour la détermination de l'ICV du béton

3.2.1.2 - Armatures de précontrainte

Les données relatives aux armatures de précontrainte et aux constituants intégrés au dispositif de précontrainte sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Désignation	Matériau	Qtés	Unité	Informations complémentaires
Câbles	Acier	14 165	kg	Câbles 12 T 15,7 1860 TBR Perte 2x1 m par câble
Conduits	Acier	1000	ml	Feuillard Ø 85/80 mm
Aciers divers pour la précontrainte	Acier	38	u	Corps d'ancrage, tête d'ancrage, trompettes, clavettes
Ciment pour coulis de précontrainte	Ciment	5,1	t	Ciment Superstressem CEM I 52,5

3.2.1.3 - Armatures passives

Les données concernant les armatures passives sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Désignation	Matériau	Qtés	Unité	Informations complémentaires
Armatures HA	Acier	2730	kg	Armatures pour les pieux
Acier doux	Acier	430	kg	Armatures pour les pieux
Armatures HA	Acier	57050	kg	Armatures pour l'ensemble de l'ouvrage sauf les pieux

Nota : les quantités précisées dans le tableau ci-dessus intègrent les déchets liés à la mise en œuvre des armatures mais pas les déchets générés lors du façonnage des armatures chez l'armaturier qui sont considérés comme négligeables.

3.2.2 - Equipements de l'ouvrage

3.2.2.1 - Etanchéité

Le système d'étanchéité est mis en place sur la totalité de la surface horizontale du tablier (chaussée, trottoirs) et est raccordé aux points singuliers (pénétrations, avaloirs, joints de chaussées...).

L'étanchéité de l'ouvrage est constituée de feuilles préfabriquées recevant une couche complémentaire en asphalte (25 mm d'asphalte gravillonné).

Les feuilles d'étanchéité manufacturées en usine, livrées en rouleaux, sont à base de bitume modifié (bitume élastomère) associé à une armature (non tissée). Elles sont soudées en pleine adhérence sur le support, sur lequel est préalablement répandu un enduit d'imprégnation à froid à base de bitume polymère (primaire d'étanchéité).

3.2.2.2 - Couche de roulement

La couche de roulement est constituée d'un béton bitumineux semi-grenu (BBSG) d'une épaisseur de 8 cm mis en œuvre directement sur l'étanchéité.

3.2.2.3 - Joints de chaussées

Les joints de chaussées sont de type à hiatus (souffle 50 mm).

3.2.2.4 - Asphalte sur trottoir

Les trottoirs d'une largeur de 1 m sont revêtus d'une couche d'asphalte gravillonnée de 30 mm d'épaisseur.

3.2.2.5 - Appareils d'appuis

Les appareils d'appuis sont de type en élastomère fretté. Ils sont constitués d'un empilage de feuillets d'élastomère (néoprène d'épaisseur de 10 à 16 mm) associés par vulcanisation à des frettes en acier doux (épaisseur 3 à 4 mm). Il est mis en œuvre 2 appareils d'appuis par ligne d'appuis.

3.2.2.6 - Dispositifs de retenue

Les dispositifs de retenue sont constitués de barrières BN4.

3.2.2.7 - Corniches

Les corniches sont des éléments préfabriqués en béton.

3.2.2.8 - Dispositif d'assainissement et d'évacuation des eaux

La collecte longitudinale est assurée par un caniveau fil d'eau dont le but est de recueillir les eaux et les conduire vers les exutoires. Le caniveau est en asphalte porphyré (épaisseur 5 cm, largeur 25 cm).

Le dispositif d'assainissement comprend aussi :

- des drains aluminium (2 dans les trottoirs et 2 le long des caniveaux),
- des gargouilles à virole,
- des regards préfabriqués en béton.

3.2.2.9 - Bordures de trottoirs

Les bordures de trottoirs sont des produits préfabriqués en béton (type T1).

3.2.2.10 - Perré

Les perrés sont constitués de dalles préfabriquées en béton (dimension 40x40x4 cm³) posées sur une couche d'assise en béton coulé en place.

3.2.2.11 - Dalle de transition

Les dalles de transition sont coulées en place en béton prêt à l'emploi.

3.2.2.12 - Canalisations de service public

L'ouvrage est équipé de canalisations de service public constituées de fourreaux PVC de diamètre 100 mm.

3.2.2.13 - Synthèse des équipements

N°	Désignation	Matériau	Qté	Unité	Informations complémentaires
1	Etanchéité	Bitume elastomère	490	m ²	Majoration de surface pour recouvrement des lés 10% Cf 3.2.3 pour le primaire d'étanchéité
2	Couche de roulement	Enrobés bitumineux	60	t	BBSG ép. 8 cm Centrale mobile sur chantier
3	Joints de chaussées Joints de trottoirs	Acier	2 2	u u	ETIC EJ 50 14 ml ETIC 6 ml
4	Asphalte sur étanchéité et trottoir	Asphalte	27 3	t t	Ep. 25 mm Ep. 30 mm, déchets 25 %
5	Appareils d'appuis	Acier Néoprène	6	u	2U 650x600x4(16+4) sur pile 4U 300x600x5(10+3) sur culée 110 dm ³
6	Dispositifs de retenue	Acier	136	ml	-
7	Corniches	Béton préfabriqué	97	ml	B35 GS XF4 410 kg CEM II / A LL 42,5 N
8A	Dispositif d'assainissement	Asphalte	4	t	Caniveaux fil d'eau en asphalte porphyré, ép. 5 cm, déchets 33 %
8B	Dispositif d'assainissement	Aluminium	215	ml	Poids 230 g/ml
8C	Dispositif d'assainissement	Plomb	4	u	Gargouille à virole Ø150 mm
8D	Regard Chambres de tirage	Béton préfabriqué	2 4	u u	-
9	Bordures de trottoirs	Béton préfabriqué	105	ml	Bordure T1
10	Perré	Béton préfabriqué	144	m ²	Dalette 40x40x4
11	Dalle de transition	Béton BPE	-	-	Cf 3.2.1.1 pour le béton d'assise
12	Canalisations de service public	PVC	310	ml	Fourreaux dans trottoirs

3.2.3 - Matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage

Les matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage comprennent tous les matériaux non structurants utilisés à titre provisoire, intégrés définitivement à l'ouvrage ou consommés lors des diverses phases de réalisation de l'ouvrage.

3.2.3.1 - Matériaux divers

Désignation	Produit	Qté fonctionnelle	Unité	Informations complémentaires	Qté de produit	Unité
Produits démoulants	-	1025	m ²	PIERI CLAROL ECO 32 30 m ² /litre	35	l
Produits de cure	-	890	m ²	PIERI CURING TP 200 g/m ²	180	kg
Noir de fondation	Bitume	390	m ²	LANKO 211 0,4 l/m ²	156	l
Anti-graffiti	-	900	m ²	Traitement incolore	-	-
Primaire d'étanchéité	Bitume	500	m ²	100 g de bitume résiduel par m ²	50	kg
Tube d'auscultation des pieux	Acier	260	ml	Tube Ø ext 55 mm ép. 1,5 mm	-	-
Remblais d'apport	Granulats	533	m ³	-	533	m ³

3.2.3.2 - Coffrages et étaitements

Les données relatives aux coffrages et étaitements nécessaires à la réalisation de l'ouvrage sont synthétisées dans l'Annexe 15.

3.2.4 - Matériels de chantier

Le recueil complet des données relatives aux matériels de chantier, qui est précisé dans l'Annexe 5, regroupe l'ensemble des équipements et petits matériels nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.

> Pour l'entreprise générale

N°	Type de matériel	Qté	Informations complémentaires
M1	Groupe électrogène	1	-

> Pour les sous-traitants

N°	Type de matériel	Qté	Informations complémentaires
M11	Groupe électrogène	1	-
M12	Compresseur	1	-
M16	Groupe électrogène	1	Triphasé 15 kVA
M17	Malaxeur	1	Malaxeur haute turbulence
M18	Pompe	1	Pompe d'injection

3.2.5 - Engins de chantier

Le recueil complet des données relatives aux engins de chantier est précisé dans l'Annexe 6.

> Pour l'entreprise générale

N°	Type d'engin	Caractéristiques de l'engin Informations complémentaires
E1	Grue mobile	PPM 35 t
E2	Elévateur	Manitou JCB
E3	Camion	Semi pour transport
E4	Pompe à béton	-
E5	Tracteur	Déboisage, décapage

> Pour les sous-traitants

N°	Type d'engin	Caractéristiques de l'engin Informations complémentaires
E6	Pelle	-
E7	Tombereau	-
E8	Tombereau	-
E11	Pelle	Pelle koenig 406 100 ch
E12	Vibreux	Vibreux hydraulique PTC 25H1
E13	Benoto	Hammergrab type CP5
E41	Pelle	-
E42	Compacteur	-

3.3 - Transport des matériaux, matériels et engins de chantier

Cette étape du cycle de vie de l'ouvrage regroupe :

- les livraisons des matériaux (structurants, équipements, nécessaires à la construction de l'ouvrage), à partir de chaque fournisseur ou industriel jusqu'au chantier,
- les livraisons des matériels et engins de chantier, à partir du dépôt ou du stock de matériel de l'entreprise jusqu'au chantier.

3.3.1 - Matériaux structurants

Les modes de transport, les types de camion et les distances parcourues pour livrer les matériaux sur le chantier sont précisés dans l'Annexe 4 (paragraphe 4.1)

Bilan transport des matériaux structurants

Type de véhicule	Consommation litres/100 km	Nbre de km aller	Nbre de km retour	Consommation totale de gazole (litres)
Camion toupie	38	4 205	4 205	3 196
Semi remorque	40	1 840	1 690	1 412
Camion plateau	38	550	-	209
TOTAL	-	6 595	5 895	4 817

3.3.2 - Equipements de l'ouvrage

Les constituants nécessaires aux équipements de l'ouvrage sont livrés de manière indépendante au fur et à mesure de l'intervention de chaque sous-traitant.

Les modes de transport, les types de camion, les types de livraison et les distances parcourues pour livrer les équipements de l'ouvrage sont précisés dans l'Annexe 4 (paragraphe 4.2).

Bilan transport des équipements de l'ouvrage

Type de véhicule	Consommation litres/100 km	Nbre de km aller	Nbre de km retour	Consommation totale de gazole (litres)
Camion toupie	-	-	-	-
Camion de livraison	38	814	-	310
Camion benne	40	145	145	116
Semi remorque	40	1520	770	916
Camion plateau	38	500	-	190
TOTAL	-	2979	915	1532

3.3.3 - Matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage

Les matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage sont livrés à partir du dépôt matériel de l'entreprise ou directement à partir du fournisseur. Les modes de transport, les types de camion, les types de livraison et les distances parcourues pour livrer ces divers matériaux sont précisés dans l'Annexe 4 (paragraphe 4.3).

Bilan transport des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage

Type de véhicule	Consommation litres/100 km	Nbre de km aller	Nbre de km retour	Consommation totale de gazole (litres)
Camion toupie	-	-	-	-
Semi remorque	40	150	150	120
Camion plateau	38	65	-	25
Camion benne	40	1 000	1 000	800
TOTAL	-	1 215	1 150	945

3.3.4 - Matériels de chantier

L'ensemble des informations relatives au transport des matériels de chantier est détaillé dans l'Annexe 7.

Bilan transport des matériels de chantier

Type de véhicule	Consommation litres/100 km	Nbre total de km parcourus	Consommation totale de gazole (litres)
Semi remorque	40	-	-
Camion plateau	40	600	240
TOTAL	-	600	240

3.3.5 - Engins de chantier

L'ensemble des informations relatives au transport des engins de chantier est détaillé dans l'Annexe 8.

Bilan transport des engins de chantier

Type de véhicule	Consommation litres/100 km	Nbre total de km parcourus	Consommation totale de gazole (litres)
Automoteur	40	175	70
Semi remorque	40	1 550	620
Camion plateau	38	2 435	925
TOTAL	-	4 160	1 615

3.4 - Réalisation de l'ouvrage

L'étape du cycle de vie "réalisation de l'ouvrage" regroupe toutes les phases nécessaires à sa construction sur le site et les moyens généraux et humains déployés pendant toute la période d'exécution.

3.4.1 - Amortissement des matériels et engins de chantier

L'amortissement représente l'impact lié à l'engin qui sera affecté au chantier. Il correspond en % au rapport entre la durée d'immobilisation de l'engin pendant toutes les phases du chantier et sa durée de vie estimée :

$$A = \text{Durée d'utilisation (semaines)} / \text{Durée de vie (années)} \times 52 \times 100$$

La règle de coupure appliquée aux matériels et aux engins est basée sur cet amortissement. Si l'amortissement est supérieur à 5 %, l'impact correspondant sera imputé à l'ouvrage. Il est négligé si l'amortissement est inférieur à 5 %.

Les impacts liés à la fabrication des matériels et des engins sont affectés à l'engin au prorata de cette valeur d'amortissement.

3.4.2 - Préparation du chantier

Les travaux de terrassement du site de l'ouvrage pour la préparation du chantier ont nécessité l'extraction de 1000 m³ de matériaux.

Les matériaux extraits ont été valorisés comme remblais de la plate-forme du projet routier dans lequel l'ouvrage est incorporé. Nous considérons dans l'ACV de l'ouvrage uniquement les impacts générés par les engins de terrassement pendant les phases de travaux.

3.4.3 - Installations de chantier

Les installations de chantier sont composées de 4 structures mobiles de type ALGECO et d'un container en acier pour stocker le petit matériel.

Utilisation	Surface m ²	Durée d'immobilisation (semaines)	Durée de vie (années)
Bureaux	15	26	5
Vestiaires	15	26	5
Réfectoire	15	26	5
Sanitaire	15	26	5
Container matériel	-	26	5

> Consommation de gazole pour le transport de ces structures jusqu'au chantier

Les consommations correspondent au gazole nécessaire pour le transport par poids lourd des structures jusqu'au chantier. Nous supposons qu'elles proviennent d'un chantier antérieur situé à 100 km et qu'elles sont destinées ensuite à un nouveau chantier (l'impact du transport des structures vers le nouveau chantier est considéré non imputable à cet ouvrage).

Consommation totale de gazole :

$$5 \times 100 \text{ km} \times 40 \text{ litres}/100 \text{ km} = 200 \text{ litres de gazole}$$

> Amortissement des installations de chantier

Les structures ayant une durée de vie estimée de 5 ans, les impacts liés à la fabrication de la moitié d'une structure seront affectés à l'ACV de l'ouvrage (5 structures utilisées pendant 26 semaines soit 2,5 années).

Amortissement affecté au chantier : un 1/2 bungalow

> Consommation en eau et en électricité

- EAU : la quantité d'eau utilisée pendant l'ensemble de la phase de chantier est estimée à **30 m³**.
- ELECTRICITE : le chantier a nécessité pour son alimentation générale (chauffage des installations de chantier, éclairage des bureaux...), une quantité d'électricité de **10 000 kW**.

BILAN TOTAL POUR LES INSTALLATIONS DE CHANTIER :

- > EAU : 30 m³
- > ELECTRICITE : 10 000 kW
- > GAZOLE : 200 litres
- > AMORTISSEMENT d'un 1/2 BUNGALOW

3.4.4 - Moyens humains

L'analyse prend en compte les impacts des véhicules et les consommations de carburants nécessaires pour tous les déplacements du personnel de chantier et de l'encadrement (entreprise générale et entreprises sous-traitantes) à partir de leur domicile personnel ou du siège de leur entreprise pendant toute la durée des travaux.

L'ensemble des données relatives aux moyens humains intervenant sur le chantier est détaillé dans l'Annexe 11.

Bilan transport du personnel

Type de véhicule	Nbre total de km parcourus pour le chantier	Consommation totale de gazole (litres)
Voiture particulière	57 800	3 468
Utilitaire	32 630	3 916
TOTAL	90 430	7 384

3.4.5 - Matériels de chantier

Les consommations en énergie des matériels de chantier sont recensées dans l'Annexe 9.

> Consommation de fioul

Consommation totale des matériels de chantier majorée de 10% (forfait global pour consommation des divers matériels non pris en compte lors du recueil des données) : **2 000 litres**.

> Amortissement

Aucun amortissement à prendre en compte.

3.4.6 - Engins de chantier

Les consommations en énergie des engins de chantier sont recensées dans l'Annexe 10

> Consommation de fioul

Consommation totale des engins de chantier majorée de 3% (forfait global pour consommation des divers engins non pris en compte lors du recueil de données) : **20 000 litres**.

> Amortissement

Selon la règle de coupure définie au paragraphe 3.4.1 :

- grue mobile PPM 35 tonnes : 5 %
- élévateur manitou JCB : 5 %

3.5 - Vie de l'ouvrage

3.5.1 - Piégeage du CO₂ dans l'ouvrage par carbonatation du béton

La carbonatation est un phénomène lent et naturel qui concerne les matériaux cimentaires en contact avec le gaz carbonique.

En effet, en présence d'eau, le gaz carbonique (CO₂) contenu dans l'air réagit avec les produits d'hydratation du béton, notamment l'hydroxyde de calcium (portlandite) Ca(OH)₂ pour former du carbonate de calcium CaCO₃. Les travaux de recherche récents montrent que les silicates de calcium hydratés (CSH) se carbonatent également partiellement (à hauteur de 50 %).

La progression du phénomène de carbonatation se fait de l'extérieur de l'ouvrage, en contact avec l'air ambiant, vers l'intérieur. C'est un phénomène diffusif et l'épaisseur de la couche carbonatée augmente proportionnellement avec la racine carrée du temps.

La cinétique du processus est fonction de paramètres liés à la formulation du béton (nature et dosage du ciment, dosage en eau), au milieu environnant (teneur en dioxyde de carbone, humidité relative dans laquelle est situé l'ouvrage) et sa structure poreuse. Plus le béton est compact (porosité faible), plus la progression du front de carbonatation est lente.

L'humidité relative de l'air joue un rôle important : la vitesse de carbonatation est maximale pour une humidité comprise entre 40 et 70 %. Elle est pratiquement nulle en atmosphère sèche car la dissolution dans l'eau du CO₂ n'a pas lieu, ainsi que pour des bétons complètement saturés en eau pour lesquels la diffusion du CO₂ à l'état gazeux est bloquée.

La carbonatation se traduit par un piégeage du CO₂ dans la masse du béton, progressivement, tout au long de la vie de l'ouvrage. Elle se poursuit lors de la phase de fin de vie de l'ouvrage lorsque les granulats concassés, issus de sa déconstruction, sont stockés à l'air libre. Cependant, ce phénomène de carbonatation en fin de vie n'est pas encore assez finement quantifié et les technologies actuelles de stockage des granulats de démolition ne permettent pas de carbonater les granulats car ils sont rapidement réutilisés en sous-couche routière et donc inaccessibles au CO₂ atmosphérique. Cette dernière étape de carbonatation du béton en fin de vie, lors de la déconstruction, n'a donc pas été prise en compte.

Dans cette étude, les méthodes d'évaluation de la quantité de CO₂ fixé par le béton ont été appliquées à l'ouvrage pendant l'étape durée de service, en intégrant toutes les données relatives aux caractéristiques chimiques des ciments, des formulations des bétons et des classes d'expositions auxquelles sont soumises les diverses parties de l'ouvrage.

La quantité totale de CO₂ piégé dans l'ouvrage pendant sa durée d'utilisation a été évaluée à quelques tonnes.

Cette faible valeur s'explique par les bonnes caractéristiques des bétons utilisés pour confectionner l'ouvrage et par un rapport surface exposée/volume de béton faible (structures massives).

3.5.2 - Entretien et maintenance de l'ouvrage

L'ouvrage va faire l'objet, au cours de l'ensemble de sa durée d'utilisation (prise égale à 100 ans), d'un ensemble d'interventions réalisées régulièrement, que l'on peut regrouper en trois catégories :

- surveillance,
- entretien courant,
- entretien spécialisé et petites réparations.

***Nota :** il n'est pas envisagé de grosses réparations nécessaires suite, par exemple, à des chocs de poids lourds sur les piles ou des incendies.*

L'Annexe 13 précise l'ensemble de ces interventions selon un scénario de type "moyen".

> **La surveillance de l'ouvrage comprend :**

- l'inspection détaillée initiale,
- les visites de type IQOA,
- les inspections détaillées périodiques,
- les inspections détaillées exceptionnelles.

> **L'entretien courant couvre :**

- le nettoyage des joints de chaussées,
- le nettoyage des dispositifs d'évacuation des eaux,
- le nettoyage des abords.

> **L'entretien spécialisé et les petites réparations concernent :**

- le remplacement de la couche de roulement,
- le changement des appareils d'appuis,
- le changement des joints de chaussées,
- le remplacement de la chape d'étanchéité,
- la réfection du revêtement des trottoirs,
- la réfection des corniches,
- la remise en peinture des garde-corps,

- le remplacement des dispositifs de sécurité,
- la reprise du béton dégradé,
- la reprise des revêtements anti-graffiti,
- les interventions sur les abords,
- des interventions diverses.

L'Annexe 13 détaille pour chaque intervention :

- la périodicité,
- le personnel nécessaire : ingénieur, technicien, ouvrier,
- les matériels nécessaires,
- les fournitures, matériaux et produits utilisés.

Les matériels nécessaires au chantier sont regroupés en trois catégories :

- petit matériel (outillage de base),
- matériel mécanisé et motorisé,
- matériel exceptionnel.

Les impacts pris en compte dans l'analyse sont relatifs :

- aux consommations en gazole utilisé par les divers intervenants du chantier pour se rendre sur le chantier,
- aux consommations en fioul des divers matériels lors des interventions,
- à la fabrication des diverses fournitures, produits et matériaux et à leur livraison sur le site.

Bilan des consommations, produits et matériaux au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage

> Consommations liées au transport du personnel

Type de véhicule	Consommation litres/100 km	Nbre total de km parcourus	Consommation totale de gazole (litres)
Véhicule Léger	6	10 240	614
Utilitaire	12	3 740	449
TOTAL	-	13 980	1 063

> Consommations liées aux divers matériels

- Petit matériel : 23 680 litres
- Matériel mécanisé et motorisé : 3 090 litres
- Matériel exceptionnel : 6 080 litres

TOTAL : 32 850 litres de gazole

> Produits et matériaux mis en œuvre

Désignation	Matériau	Quantité	Unité
Appareil d'appuis	Néoprène - Acier	120	dm ³
Joints de chaussées	Acier	60	ml
Couche de roulement	Enrobés bitumineux	490	t
Asphalte	Asphalte	76	t
Mortier de réparation	Mortier - Ciment	16	t
Bordures de trottoirs	Béton	208	ml
Peinture de protection	-	600	kg
Dispositifs de retenue	Acier	104	ml

3.6 - Fin de vie de l'ouvrage

3.6.1 - Scénario de fin de vie

A la fin de sa durée d'utilisation (prise égale à 100 ans), l'ouvrage sera déconstruit. Cette hypothèse est purement conventionnelle dans le cadre de cette étude car les ouvrages d'art ne sont pas déconstruits systématiquement à une échéance de 100 ans.

Les matériaux issus de la déconstruction, triés par nature, sont transportés dans un centre de valorisation et de traitement dans lequel ils sont stockés. Les impacts induits par la valorisation ultérieure des matériaux ne sont pas pris en compte dans l'ACV de cet ouvrage.

3.6.2 - Déconstruction de l'ouvrage

La déconstruction de l'ouvrage est réalisée sans contrainte particulière, avec les moyens et méthodes connues à ce jour.

La méthode retenue est la suivante :

- mise sur étaie de la dalle du tablier,
- démontage des équipements (joints de chaussées, dispositifs de sécurité...),
- démolition des trottoirs et rabotage de la couche de roulement,
- sciage pour découpe du tablier,
- découpe des armatures,
- dépose au sol des éléments découpés,
- démolition des éléments (au sol) avec un marteau hydraulique,
- démolition des appuis avec un marteau hydraulique,

- semelles de fondations abandonnées à -1 m sous le TN,
- déblais/remblais pour remise en forme du terrain.

Les bétons sont réduits en blocs de 500 l environ puis chargés à l'aide d'une pelleuse.

La quantité d'énergie nécessaire à la déconstruction de l'ouvrage, compte-tenu des divers matériels et engins utilisés, est estimée à 4 000 litres de fioul.

3.6.3 - Transport et stockage des matériaux

Les divers matériaux issus de la démolition sont transportés par camion type semi-benne (volume transporté par camion : 10 m³) jusqu'au centre de valorisation situé à 30 km du site de l'ouvrage.

Le transport total nécessite 90 aller et retour, soit 5 400 km parcourus, ce qui correspond à 2 200 litres de gazole.

3.6.4 - Concassage des bétons

Au sein du centre de valorisation, les blocs de béton sont repris par une pelleuse puis concassés à l'aide d'un concasseur mobile (alimenté par un groupe électrogène) sous forme de granulats. Les granulats obtenus sont ensuite mis en dépôt à l'aide d'une pelleuse.

La quantité d'énergie nécessaire à cette opération est estimée à 3 000 litres de fioul.

Nota : nous supposons que seuls les bétons sont valorisés sous forme de granulats. Les autres matériaux issus de la déconstruction de l'ouvrage sont considérés, dans le cadre de cette étude, comme étant simplement stockés par catégorie au sein du centre de valorisation. Les aciers pourraient bien sûr être également valorisés.



Chapitre

4

Impacts environnementaux

**4.1 - Description des impacts
environnementaux**

**4.2 - Valeurs des impacts
environnementaux**

4 - Impacts environnementaux

4.1 - Description des impacts environnementaux

La norme NF P 01-010 considère 10 impacts environnementaux qui permettent d'évaluer la contribution environnementale des produits de construction tout au long de leur cycle de vie.

Ils sont utilisés comme critères environnementaux d'aide au choix des produits.

Ces impacts environnementaux ont été choisis dans ce guide pour traduire la qualité environnementale du pont en béton car ils font l'objet d'un large consensus parmi les experts en environnement de la communauté scientifique (à l'exclusion de l'impact "destruction de la couche d'ozone stratosphérique" dont la détermination est délicate et la représentativité non validée).

Impact environnemental	Unité
Consommation de ressources énergétiques <ul style="list-style-type: none"> • Energie primaire totale • Energie renouvelable • Energie non renouvelable 	MJ
Epuisement de ressources	kg équivalent antimoine
Consommation d'eau totale	Litre
Déchets solides <ul style="list-style-type: none"> • Déchets valorisés au total • Déchets éliminés : <ul style="list-style-type: none"> - Déchets dangereux - Déchets non dangereux - Déchets inertes - Déchets radioactifs 	kg
Changement climatique	kg équivalent CO ₂
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂
Pollution de l'air	m ³
Pollution de l'eau	m ³
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC équivalent
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène

Tableau n°4 : unités associées aux impacts environnementaux de la norme NF P 01-010

Ces impacts sont déterminés séparément. Ils ne peuvent pas être comparés car il n'existe pas de méthode permettant de hiérarchiser les impacts environnementaux. Il n'est pas non plus possible d'attribuer à ces indicateurs une pondération dans l'estimation d'une évaluation globale environnementale d'un ouvrage.

La traduction de l'incidence de ces impacts environnementaux sur l'environnement est synthétisée dans le tableau ci-dessous :

Impact environnemental	Traduction
1• Consommation de ressources énergétiques	Épuisement des ressources
2• Épuisement des ressources	Épuisement des ressources
3• Consommation d'eau	Épuisement des ressources
4• Déchets solides	Pollution
5• Changement climatique	Effet de serre
6• Acidification atmosphérique	Pluies acides
7• Pollution de l'air	Pollution
8• Pollution de l'eau	Pollution
9• Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	Réchauffement, santé
10• Formation d'ozone photochimique	Pic de pollution

Tableau n°5 : incidences des impacts environnementaux

4.1.1 - Consommation de ressources énergétiques

Cet indicateur représente la somme de toutes les sources d'énergie qui sont directement puisées dans les ressources naturelles :

- énergie primaire totale,
- énergie renouvelable,
- énergie non renouvelable.

L'énergie primaire totale représente la somme de toutes les sources d'énergie puisées dans les réserves naturelles telles que le gaz naturel, le pétrole, le charbon, le minerai d'uranium, la biomasse et l'énergie hydraulique.

Elle se décompose en énergie renouvelable et en énergie non renouvelable ou en énergie combustible et énergie matière.

$$\begin{aligned} \text{Énergie primaire totale} &= \text{Énergie non renouvelable} + \text{Énergie renouvelable} \\ &= \text{Énergie combustible} + \text{Énergie matière} \end{aligned}$$

L'énergie non renouvelable inclut toutes les sources d'énergies primaires fossiles et minérales (pétrole, gaz naturel, charbon et énergie nucléaire). Ressources limitées ne pouvant être renouvelées à l'échelle de temps humaine.

L'énergie renouvelable comprend toutes les autres sources d'énergies primaires (énergie hydraulique et biomasse). Ressources renouvelées ou régénérées naturellement à une vitesse supérieure à la vitesse d'épuisement de cette ressource.

L'énergie combustible correspond à la part d'énergie primaire entrant dans le système qui est consommé par les procédés dans le système étudié.

L'énergie matière correspond à la part d'énergie primaire contenue dans les matériaux entrant dans le système non utilisé comme combustible (énergie contenue par exemple dans les emballages et qui ne sont pas brûlés en fin de vie).

Le calcul des flux d'énergie doit tenir compte des différents combustibles et sources d'électricité utilisés, de l'efficacité de la conversion et de la distribution des flux d'énergie ainsi que des entrants et sortants associés à la génération et à l'utilisation de ces flux d'énergie.

L'unité utilisée pour l'énergie est le MJ (Mégajoule).

4.1.2 - Épuisement des ressources

Cet indicateur intègre les consommations de ressources naturelles (sauf l'eau).

Les résultats de l'impact épuisement des ressources sont exprimés en kg équivalent antimoine.

L'indicateur est calculé en faisant la somme pondérée des quantités consommées pendant le cycle de vie.

Le coefficient de pondération (coefficient de rareté) est fonction de la rareté de la ressource.

L'antimoine a par convention un coefficient de rareté égal à 1. Une ressource qui a une valeur supérieure à 1 est une ressource plus rare que l'antimoine. Une ressource dont le coefficient est très faible est considérée comme non épuisable à l'échelle humaine.

4.1.3 - Consommation d'eau totale

Cet indicateur correspond aux prélèvements d'eau (toutes sources confondues) dans le milieu naturel, il prend en compte les consommations d'eau nécessaires, en particulier aux différentes étapes de production, transport et mise en œuvre des produits.

La consommation d'eau est quantifiée en litres.

4.1.4 - Déchets solides

La production de déchets solides est regroupée en :

- déchets valorisés,

et en 4 types de déchets éliminés :

- déchets dangereux,
- déchets non dangereux,
- déchets inertes,
- déchets radioactifs.

L'unité est le kg.

4.1.5 - Changement climatique

Le réchauffement climatique désigne la conséquence climatique des émissions humaines atmosphériques des Gaz dits à Effet de Serre (tels que le CO₂ et le méthane).

Cet indicateur permet de quantifier la contribution de l'ouvrage à l'augmentation de la teneur en Gaz à Effet de Serre dans l'atmosphère.

Nota : Les Gaz à Effet de Serre (CO₂, CH₄, N₂O, HCF...) perturbent l'équilibre des températures autour de la planète et provoquent une augmentation de la température moyenne au niveau de la terre.

L'unité retenue pour quantifier la contribution de l'effet de serre au changement climatique est le kg équivalent CO₂.

4.1.6 - Acidification atmosphérique

Des gaz tels que le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azotes (NO_x) peuvent s'oxyder et se transformer en acides (acide sulfurique, acide nitrique). Ils se transforment en pluies acides puis se retrouvent dans les eaux de ruissellement ou les eaux de surface. Ils ont un impact important sur la faune et la flore.

Pour le calcul, **l'unité de mesure est le kg équivalent de SO_2 .**

Nota : chaque gaz a une contribution différente. Une valeur 1 est affectée au SO_2 .

4.1.7 - Pollution de l'air

Cet indicateur permet de quantifier les impacts (toxiques et écotoxiques) du produit sur la qualité de l'air.

L'unité de mesure de cet indicateur est le m^3 d'air.

Les émissions sont prises en compte en calculant le volume d'air fictif nécessaire pour diluer chaque flux (hydrocarbures, oxyde d'azote, composés chlorés organiques...) pour le rendre conforme à un seuil (défini par l'arrêté 27 du 2/2/98 relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement).

L'indicateur pollution de l'air correspond à la somme des volumes d'air fictifs.

4.1.8 - Pollution de l'eau

Cet indicateur permet de quantifier les impacts (toxiques et écotoxiques) du produit sur la qualité de l'eau.

L'unité de mesure est le m^3 d'eau.

Les émissions sont prises en compte en calculant le volume d'eau fictif nécessaire pour diluer chaque flux (DCO, DBO5, composés azotés, composés organiques, métaux...) pour le rendre conforme à un seuil (défini par l'arrêté 27 du 2/2/98 relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement).

L'indicateur correspond à la somme des volumes d'eau fictifs.

4.1.9 - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique

Cet indicateur permet de quantifier la contribution du produit à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique.

L'ozone forme dans la stratosphère (10 à 15 km d'altitude) une couche de filtrage des rayons ultraviolets dangereux.

Les gaz de type CFC (chloro-fluoro-carbure) réagissent à haute altitude avec l'ozone.

L'indicateur est calculé en agrégeant les émissions dans l'air des composés susceptibles de réagir avec l'ozone.

L'unité de mesure est le kg CFC équivalent.

Cet impact, dont la détermination est délicate et la représentativité non validée, n'a pas été déterminé dans le cadre de cette analyse.

4.1.10 - Formation d'ozone photochimique

Cet indicateur permet de quantifier la contribution des émissions dans l'air de composés susceptibles de former de l'ozone et donc de polluer la qualité de l'air.

L'ozone est un gaz dangereux pour la santé humaine dans les basses couches de l'atmosphère.

Sous l'effet du rayonnement solaire et d'une température élevée, l'oxygène au contact d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures produit de l'ozone.

La molécule de référence pour ce phénomène est l'éthylène (C₂H₂).

L'unité de mesure est le kg équivalent éthylène.

4.2 - Valeurs des impacts environnementaux

4.2.1 - Calcul des impacts environnementaux

Le paragraphe 4 de l'Annexe 2 présente les méthodes de calculs des Impacts Environnementaux et explicite les méthodes de calculs utilisées :

- La méthode des équivalences est appliquée, pour la détermination des impacts relatifs :
 - au changement climatique
 - à l'acidification atmosphérique
 - à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique
 - à la formation d'ozone photochimique
- La méthode du volume critique est appliquée, pour la détermination des impacts relatifs :
 - à la pollution de l'air
 - à la pollution de l'eau

4.2.2 - Fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier

Les tableaux ci-dessous synthétisent les résultats des calculs des 9 impacts environnementaux pour les étapes du cycle de vie de l'ouvrage.

	Impact environnemental	Unité	Valeurs
1	Consommation de ressources énergétiques	MJ	2 492 292
2	Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	1 968
3	Consommation d'eau	Litre	2 646 257
4	Déchets solides	kg	49 944
5	Changement climatique	kg équivalent CO ₂	396 197
6	Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	1 343
7	Pollution de l'air	m ³	53 425 062
8	Pollution de l'eau	m ³	183 115
9	Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	90

4.2.3 - Transport des matériaux, matériels et engins de chantier

	Impact environnemental	Unité	Valeurs
1	Consommation de ressources énergétiques	MJ	350 002
2	Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	166
3	Consommation d'eau	Litre	33 116
4	Déchets solides	kg	28
5	Changement climatique	kg équivalent CO ₂	28 075
6	Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	229
7	Pollution de l'air	m ³	2 023 551
8	Pollution de l'eau	m ³	35 903
9	Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	0

4.2.4 - Réalisation de l'ouvrage

	Impact environnemental	Unité	Valeurs
1	Consommation de ressources énergétiques	MJ	1 345 484
2	Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	592
3	Consommation d'eau	Litre	164 699
4	Déchets solides	kg	307
5	Changement climatique	kg équivalent CO ₂	95 363
6	Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	326
7	Pollution de l'air	m ³	2 413 125
8	Pollution de l'eau	m ³	126 995
9	Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	0

4.2.5 - Vie de l'ouvrage

	Impact environnemental	Unité	Valeurs
1	Consommation de ressources énergétiques	MJ	1 981 631
2	Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	1 481
3	Consommation d'eau	Litre	354 569
4	Déchets solides	kg	1 163
5	Changement climatique	kg équivalent CO ₂	130 261
6	Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	308
7	Pollution de l'air	m ³	5 570 189
8	Pollution de l'eau	m ³	203 086
9	Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	114

4.2.6 - Fin de vie

	Impact environnemental	Unité	Valeurs
1	Consommation de ressources énergétiques	MJ	371 610
2	Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	176
3	Consommation d'eau	Litre	34 216
4	Déchets solides	kg	29
5	Changement climatique	kg équivalent CO ₂	28 409
6	Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	95
7	Pollution de l'air	m ³	696 059
8	Pollution de l'eau	m ³	38 164
9	Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	0



Chapitre

5

Synthèse de l'Analyse du Cycle de Vie

- 5.1 - Chiffres clés**
- 5.2 - Synthèse des impacts
environnementaux par étape
du cycle de vie**
- 5.3 - Contribution de la fabrication
des ciments, des bétons et
des armatures**
- 5.4 - Synthèse par impact
environnemental**
- 5.5 - Ratios clés**

5 - Synthèse de l'Analyse du Cycle de Vie

L'Analyse du Cycle de Vie concerne un pont routier en béton de type Passage Supérieur en Dalle Précontrainte (PSDP) qui assure le franchissement d'une autoroute pendant une durée d'utilisation de 100 ans.

5.1 - Chiffres clés

5.1.1 - Principaux matériaux utilisés

- **Béton : 840 m³**
- **Ciment : 310 t**
- **Armatures : 75 t**

5.1.2 - Transport et énergie

- **Kilométrage total parcouru pour le transport : 140 000 km**
 - **moyens humains : 105 000 km**
 - **matériaux : 30 000 km**
 - **matériels et engins : 5 000 km**
- **Consommation totale de gazole et fioul : 87 000 l**
 - **transport : 20 000 l**
 - **matériels et engins : 67 000 l**

5.2 - Synthèse des impacts environnementaux par étape du cycle de vie

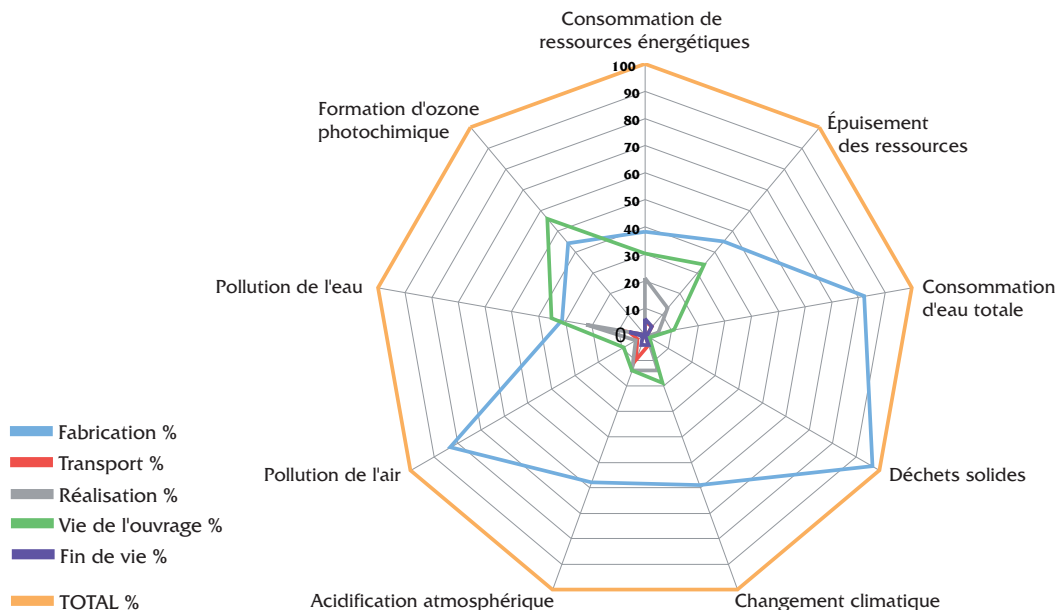
Les résultats des impacts environnementaux pour chaque étape du cycle de vie, déterminés dans le chapitre 4, sont synthétisés dans les tableaux ci-dessous.

Indicateurs	Unités	Fabrication	Transport	Réalisation	Vie de l'ouvrage	Fin de vie	TOTAL
Consommation de ressources énergétiques	10 ³ MJ	2 492	350	1 345	1 981	372	6 540
Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	1 968	166	592	1 481	176	4 383
Consommation d'eau totale	10 ³ Litre	2 646	33	165	355	34	3 233
Déchets solides	kg	49 944	28	307	1 163	29	51 471
Changement climatique	t équivalent CO ₂	396	28	95	130	28	677
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	1 343	229	326	308	95	2 301
Pollution de l'air	10 ³ m ³	53 425	2 023	2 413	5 570	696	64 127
Pollution de l'eau	10 ³ m ³	183	36	127	203	38	587
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	90	0	0	114	0	204

Tableau n°6 : valeurs des impacts environnementaux pour chaque étape du cycle de vie

Indicateurs	Unités	Fabrication %	Transport %	Réalisation %	Vie de l'ouvrage %	Fin de vie %	TOTAL %
Consommation de ressources énergétiques	MJ	38	5	21	30	6	100
Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	45	4	13	34	4	100
Consommation d'eau totale	Litre	82	1	5	11	1	100
Déchets solides	kg	97	0	1	2	0	100
Changement climatique	kg équivalent CO ₂	59	4	14	19	4	100
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	58	10	14	14	4	100
Pollution de l'air	m ³	83	3	4	9	1	100
Pollution de l'eau	m ³	31	6	22	35	6	100
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	44	0	0	56	0	100

Tableau n°7 : % des impacts environnementaux pour chaque étape du cycle de vie



Indicateurs	Unités	Fabrication	Transport	Réalisation	Vie de l'ouvrage	Fin de vie
Consommation de ressources énergétiques	MJ	1	5	3	2	4
Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	1	4	3	2	4
Consommation d'eau totale	Litre	1	4	3	2	4
Déchets solides	kg	1	4	3	2	4
Changement climatique	kg équivalent CO ₂	1	4	3	2	4
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	1	4	2	3	5
Pollution de l'air	m ³	1	4	3	2	5
Pollution de l'eau	m ³	2	4	3	1	4
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	2	3	3	1	3

Tableau n°8 : rang des impacts environnementaux pour chaque étape du cycle de vie

Le classement moyen global des étapes est le suivant par ordre décroissant :

- Etape 1 : fabrication
 - Etape 4 : vie de l'ouvrage
 - Etape 3 : réalisation de l'ouvrage
 - Etape 2 : transport
 - Etape 5 : fin de vie
-
- L'étape de **fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier** est la plus impactante pour tous les indicateurs sauf la pollution de l'eau et la formation d'ozone photochimique.

Sa contribution à l'impact est comprise entre 31 et 59 % pour 6 impacts (pollution de l'eau, consommation des ressources énergétiques, épuisement des ressources, changement climatique, acidification atmosphérique, formation d'ozone photochimique).

Elle est largement prédominante pour 3 impacts (consommation d'eau totale, déchets solides et pollution de l'air).

- L'étape **transport** des matériaux, matériels et engins de chantier a une contribution aux impacts très faibles (moins de 6 %) pour 8 impacts et de 10% pour l'acidification atmosphérique.
- L'étape **réalisation** de l'ouvrage a une contribution inférieure à 14 % pour 7 impacts et de l'ordre de 20 % pour la consommation de ressources énergétiques et la pollution de l'eau.
- L'étape **vie de l'ouvrage** contribue :
 - à hauteur du tiers pour la consommation de ressources énergétiques, l'épuisement des ressources et la pollution de l'eau,
 - à plus de la moitié pour la formation d'ozone photochimique et à moins de 19 % pour les autres impacts.
- L'étape **fin de vie** génère des impacts ayant des valeurs toujours inférieures à 6 %.

Les deux étapes **fabrication** et **vie de l'ouvrage** contribuent à elles seules entre 92 et 100 % des impacts : consommation de l'eau, déchets solides, pollution de l'air et formation d'ozone photochimique.

5.3 - Contribution de la fabrication des ciments, des bétons et des armatures

Les contributions du béton (y compris ciment), du ciment et des armatures sont récapitulées dans le tableau ci-dessous ainsi que leurs pourcentages par rapport au total de chaque impact.

Impact environnemental	Unités	Béton valeurs	Béton %	Ciment valeurs	Ciment %	Arma-tures valeurs	Arma-tures %
Consommation de ressources énergétiques	10 ³ MJ	2 010	31	1 630	25	40	6
Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	730	17	590	13	910	21
Consommation d'eau	10 ³ Litre	1 170	36	419	13	1 320	41
Déchets solides	kg	49 640	96	10 080	20	0	0
Changement climatique	t équivalent CO ₂	262	39	241	36	107	16
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	837	36	666	29	389	13
Pollution de l'air	10 ³ m ³	11 696	18	9 643	15	37 872	59
Pollution de l'eau	10 ³ m ³	35	6	13	2	107	18
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	48	24	33	16	6	3

5.4 - Synthèse par impact environnemental

Dans les paragraphes ci-dessous, chaque impact environnemental est décomposé en détail.

Les différents tableaux et schémas donnent pour chaque impact, successivement :

- la répartition de la valeur de l'impact entre les 5 étapes,
- la décomposition de chaque étape en "sous-étapes" principales,
- la décomposition de la valeur de l'impact par "nature" : matériaux, transport, énergie et moyens humains.

5.4.1 - Consommation de ressources énergétiques

Unité : 10³ MJ

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	2 492	38
2	350	5
3	1 345	21
4	1 981	30
5	372	6
TOTAL	6 540	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	2 058	31	83
Equipements de l'ouvrage	125	2	5
Matériaux nécessaires à la construction	275	4	11
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	34	1	1
TOTAL	2 492	38	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	184	2,5	53
Equipements de l'ouvrage	59	1	17
Matériaux nécessaires à la construction	36	0,5	10
Matériels et engins de chantier	71	1	20
TOTAL	350	5	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	119	2	9
Moyens humains	283	5	21
Matériels et engins de chantier	943	14	70
TOTAL	1 345	21	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	41	0,5	2
Matériels et engins de chantier	1 349	20,5	68
Matériaux	591	9	30
TOTAL	1 981	30	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	164	3	45
Transport	84	1	23
Concassage	124	2	32
TOTAL	372	6	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	2 943	45
Transport	583	9
Energie	2 691	41
Moyens humains	323	5
TOTAL	6 540	100

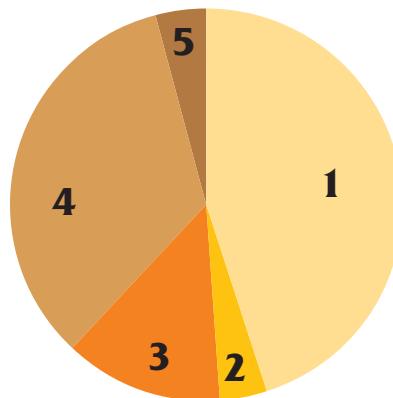
La fabrication des matériaux structurants ne contribue que pour 31 % de la valeur de l'impact.
Les étapes Réalisation et Vie de l'ouvrage représentent 50 % de la valeur de l'impact.

5.4.2 - Epuisement des ressources

Unité : kg équivalent antimoine

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	1 968	45
2	166	4
3	592	13
4	1 481	34
5	176	4
TOTAL	4 383	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	1 642	37,5	83
Equipements de l'ouvrage	228	5,5	12
Matériaux nécessaires à la construction	84	2	4
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	15	0	1
TOTAL	1 968	45	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	87	2	53
Equipements de l'ouvrage	28	1	17
Matériaux nécessaires à la construction	17	0	10
Matériels et engins de chantier	34	1	20
TOTAL	166	4	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	11	0	2
Moyens humains	134	3	23
Matériels et engins de chantier	447	10	75
TOTAL	592	13	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	19	0	1
Matériels et engins de chantier	639	15	43
Matériaux	823	19	56
TOTAL	1 481	34	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	78	2	44
Transport	40	1	23
Concassage	58	1	33
TOTAL	176	4	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	2 725	62
Transport	276	6
Energie	1 229	28
Moyens humains	153	4
TOTAL	4 383	100

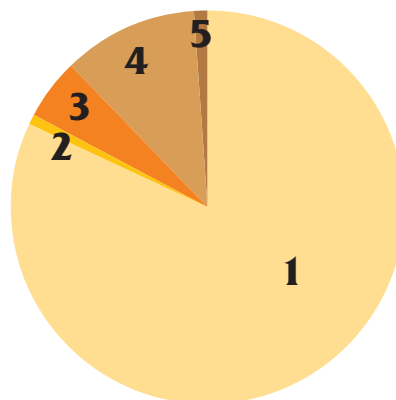
La fabrication des matériaux structurants contribue à hauteur de 37 %.
Les 2 étapes Fabrication et Vie de l'ouvrage représentent 80 % de l'impact.

5.4.3 - Consommation d'eau

Unité : 10³ litre

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	2 646	82
2	33	1
3	165	5
4	355	11
5	34	1
TOTAL	3 233	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	2 490	77	94
Equipements de l'ouvrage	91	3	3
Matériaux nécessaires à la construction	51	2	2
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	14	0	1
TOTAL	2 646	82	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	17	1	52
Equipements de l'ouvrage	6	0	18
Matériaux nécessaires à la construction	3	0	9
Matériels et engins de chantier	7	0	21
TOTAL	33	1	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	52	1,5	32
Moyens humains	27	1	16
Matériels et engins de chantier	86	2,5	52
TOTAL	165	5	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	4	0	1
Matériels et engins de chantier	123	4	35
Matériaux	228	7	64
TOTAL	355	11	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	15	0,5	44
Transport	8	0	24
Concassage	11	0,5	32
TOTAL	34	1	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	2 890	89
Transport	55	2
Energie	257	8
Moyens humains	31	1
TOTAL	3 233	100

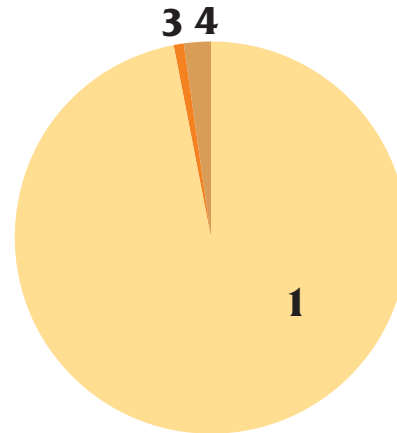
Les matériaux représentent 89 % de l'impact.

5.4.4 - Déchets solides

Unité : kg

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	49 944	97
2	28	0
3	307	1
4	1 163	2
5	29	0
TOTAL	51 471	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	46 528	90	93
Equipements de l'ouvrage	3 353	7	7
Matériaux nécessaires à la construction	63	0	0
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	0	0	0
TOTAL	49 944	97	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	15	0	53
Equipements de l'ouvrage	5	0	18
Matériaux nécessaires à la construction	3	0	11
Matériels et engins de chantier	5	0	18
TOTAL	28	0	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	211	1	69
Moyens humains	23	0	7
Matériels et engins de chantier	73	0	24
TOTAL	307	1	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	3	0	0
Matériels et engins de chantier	105	0	9
Matériaux	1 055	2	91
TOTAL	1 163	2	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	13	0	45
Transport	7	0	24
Concassage	9	0	31
TOTAL	29	0	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	50 987	99
Transport	47	0
Energie	411	1
Moyens humains	26	0
TOTAL	51 471	100

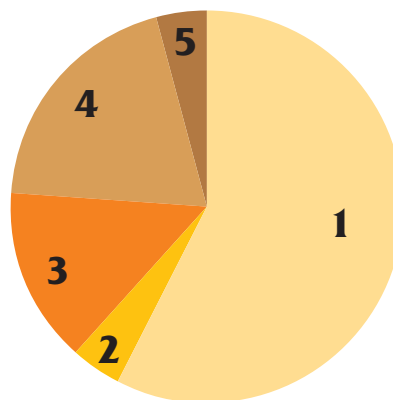
Les matériaux sont responsables de 99 % de cet impact.

5.4.5 - Changement climatique

Unité : t équivalent CO₂

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	396	59
2	28	4
3	95	14
4	130	19
5	28	4
TOTAL	677	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	372	55	94
Equipements de l'ouvrage	11	2	3
Matériaux nécessaires à la construction	11	2	3
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	2	0	0
TOTAL	396	59	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	14	2	50
Equipements de l'ouvrage	5	1	18
Matériaux nécessaires à la construction	3	0	11
Matériels et engins de chantier	6	1	21
TOTAL	28	4	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	2	0	2
Moyens humains	23	3	24
Matériels et engins de chantier	70	11	74
TOTAL	95	14	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	3	0	2
Matériels et engins de chantier	100	15	77
Matériaux	27	4	21
TOTAL	130	19	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	11	2	41
Transport	7	1	24
Concassage	10	1	35
TOTAL	28	4	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	409	60
Transport	47	7
Energie	195	29
Moyens humains	26	4
TOTAL	677	100

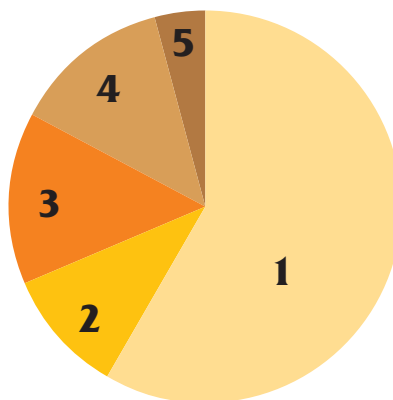
Les étapes Réalisation et Vie de l'ouvrage participent à hauteur du tiers à l'impact.
La fabrication des matériaux structurants contribue à hauteur de 55 %.

5.4.6 - Acidification atmosphérique

Unité : kg équivalent SO₂

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	1 343	58
2	229	10
3	326	14
4	308	14
5	95	4
TOTAL	2 301	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	1 230	53	92
Equipements de l'ouvrage	43	2	3
Matériaux nécessaires à la construction	60	3	4
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	10	0	1
TOTAL	1 343	58	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	121	5	53
Equipements de l'ouvrage	38	2	17
Matériaux nécessaires à la construction	24	1	10
Matériels et engins de chantier	46	2	20
TOTAL	229	10	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	10	0	3
Moyens humains	186	8	57
Matériels et engins de chantier	130	6	40
TOTAL	326	14	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	27	2	9
Matériels et engins de chantier	187	8	61
Matériaux	94	4	30
TOTAL	308	14	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	23	1	24
Transport	55	2	58
Concassage	17	1	18
TOTAL	95	4	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	1 344	58
Transport	382	17
Energie	363	16
Moyens humains	212	9
TOTAL	2 301	100

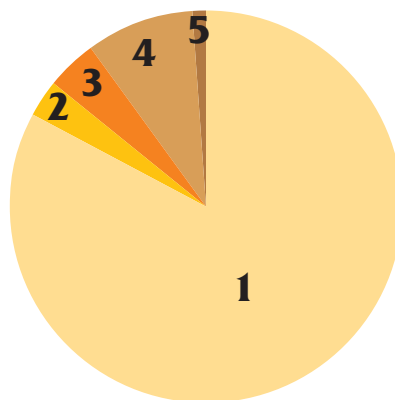
Répartition homogène des trois étapes Transport, Réalisation et Vie de l'ouvrage, avec une contribution totale supérieure au tiers. La fabrication des matériaux structurants représente la moitié de l'impact.

5.4.7 - Pollution de l'air

Unité : 10³ m³

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	53 425	83
2	2 023	3
3	2 413	4
4	5 570	9
5	696	1
TOTAL	64 127	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	49 597	77	93
Equipements de l'ouvrage	2 137	3	4
Matériaux nécessaires à la construction	1 276	2	2
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	415	1	1
TOTAL	53 425	83	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	1 065	2	53
Equipements de l'ouvrage	339	0	17
Matériaux nécessaires à la construction	209	0	10
Matériels et engins de chantier	410	1	20
TOTAL	2 023	3	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	92	0	4
Moyens humains	1 633	3	68
Matériels et engins de chantier	688	1	28
TOTAL	2 413	4	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	235	0	4
Matériels et engins de chantier	983	2	18
Matériaux	4 352	7	78
TOTAL	5 570	9	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	120	0	17
Transport	486	1	70
Concassage	90	0	13
TOTAL	696	1	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	56 959	89
Transport	3 373	5
Energie	1 927	3
Moyens humains	1 868	3
TOTAL	64 127	100

Les matériaux sont responsables de 89 % de l'impact.

5.4.8 - Pollution de l'eau

Unité : 10³ m³

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	183	31
2	36	6
3	127	22
4	203	35
5	38	6
TOTAL	587	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	141	24	77
Equipements de l'ouvrage	25	4	14
Matériaux nécessaires à la construction	13	2	7
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	4	1	2
TOTAL	183	31	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	19	3	53
Equipements de l'ouvrage	6	1	17
Matériaux nécessaires à la construction	4	1	11
Matériels et engins de chantier	7	1	19
TOTAL	36	6	100

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	1	0	1
Moyens humains	29	5	23
Matériels et engins de chantier	97	17	76
TOTAL	127	22	100

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	4	1	2
Matériels et engins de chantier	139	24	68
Matériaux	60	10	30
TOTAL	203	35	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	17	3	45
Transport	8	1	21
Concassage	13	2	34
TOTAL	38	6	100

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	229	39
Transport	60	10
Energie	265	45
Moyens humains	33	6
TOTAL	587	100

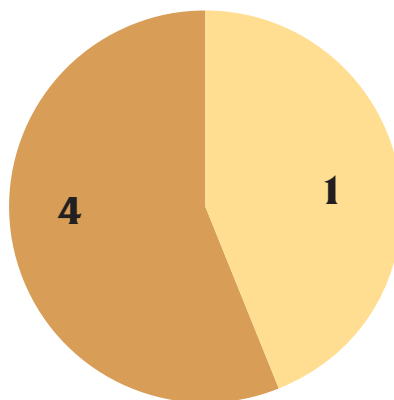
Forte contribution du poste énergie (45 %).
L'étape Vie de l'ouvrage est la plus impactante.

5.4.9 - Formation d'ozone photochimique

Unité : kg équivalent éthylène

Bilan global

Étape	Valeur	%
1	90	44
2	0	0
3	0	0
4	114	56
5	0	0
TOTAL	204	100



Décomposition par étape

Étape 1 : fabrication	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	54	26,5	60
Equipements de l'ouvrage	28	13,5	31
Matériaux nécessaires à la construction	8	4	9
Matériels, engins de chantier et installation de chantier	0	0	0
TOTAL	90	44	100

Étape 2 : transport	Valeurs	% / total	% / étape
Matériaux structurants	0	0	0
Equipements de l'ouvrage	0	0	0
Matériaux nécessaires à la construction	0	0	0
Matériels et engins de chantier	0	0	0
TOTAL	0	0	0

Étape 3 : réalisation	Valeurs	% / total	% / étape
Installation de chantier	0	0	0
Moyens humains	0	0	0
Matériels et engins de chantier	0	0	0
TOTAL	0	0	0

Étape 4 : vie de l'ouvrage	Valeurs	% / total	% / étape
Moyens humains	0	0	0
Matériels et engins de chantier	0	0	0
Matériaux	114	56	100
TOTAL	114	56	100

Étape 5 : fin de vie	Valeurs	% / total	% / étape
Déconstruction	0	0	0
Transport	0	0	0
Concassage	0	0	0
TOTAL	0	0	0

Synthèse par nature	Valeurs	% / total
Matériaux	204	100
Transport	0	0
Energie	0	0
Moyens humains	0	0
TOTAL	204	100

Seuls les matériaux contribuent à l'impact.

5.5 - Ratios clés

Le tableau ci-dessous donne la valeur de chaque impact en fonction de deux paramètres courants en matière d'ouvrage d'art :

- le m² de surface utile du tablier
- le m² de surface totale du tablier

Impact environnemental	Unités	Valeurs	/m ² de surface utile du tablier	/m ² de surface totale du tablier
Consommation de ressources énergétiques	MJ	6 541 000	14 770	13 210
Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	4 380	9,89	8,85
Consommation d'eau	Litre	3 232 800	7 300	6 530
Déchets solides	kg	51 470	116	104
Changement climatique	kg équivalent CO ₂	677 000	1 530	1 370
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO ₂	2 300	5,19	4,65
Pollution de l'air	m ³	64 127 000	144 760	129 550
Pollution de l'eau	m ³	587 300	1 330	1 190
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	204	0,46	0,41

Nota : surface utile du tablier : 443 m²
surface totale du tablier : 495 m²

Commentaires de synthèse

L'Analyse du Cycle de Vie a été réalisée sur un ouvrage représentatif du patrimoine des ouvrages d'art routiers et autoroutiers. Mais les résultats ne concernent malgré tout qu'un seul ouvrage. Les différents ratios et valeurs d'impacts environnementaux issus de cette analyse ne peuvent donc pas être transposés et généralisés pour l'ensemble des ouvrages d'art. Outre de la structure et des dimensions de l'ouvrage, ceux-ci dépendent notamment de son environnement, des conditions d'exploitation, des politiques d'entretien, etc.

L'étude devra être complétée par une analyse de sensibilité des différents paramètres et hypothèses pris en compte. Cette analyse pourra étudier par exemple, la variabilité :

- des données d'ICV issues de différentes bases de données,
- des consommations en énergie des différents matériels et engins,
- des consommations des véhicules de transports.

Les trois premières étapes du cycle de vie (fabrication et transport des matériaux, matériels et engins de chantier, et réalisation de l'ouvrage) ont fait l'objet d'une collecte très précise de données fournies principalement par l'entreprise SNCTP. L'étape 4 (Vie de l'ouvrage) a été exploitée, par contre, à partir d'hypothèses, de scénarios d'entretien et de maintenance de l'ouvrage traduisant l'expertise actuelle mais qui pourraient, peut-être, être optimisés en fonction de l'évolution des connaissances sur la durabilité des matériaux et le comportement des structures. Les Impacts Environnementaux qui en résultent peuvent apparaître surévalués. D'autant plus que l'on peut réellement envisager qu'au cours des prochaines décennies, les engins, matériels et véhicules de transport nécessiteront des consommations en énergie fossile beaucoup plus faibles, voire quasi nulles.

L'étape 5 (Fin de vie de l'ouvrage) fait l'objet d'une hypothèse de déconstruction de l'ouvrage et valorisation des matériaux bien spécifique. Elle suppose que l'ouvrage est entièrement déconstruit au bout de 100 ans. Cette hypothèse est purement conventionnelle, la pratique actuelle vise à concevoir des structures offrant des durées d'utilisation supérieures.

Annexes

Annexe 1

Description générale de l'Analyse du Cycle de Vie

Annexe 2

Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire

Annexe 3

Glossaire

Annexe 4

Recueil des données pour le transport des matériaux structurants, des équipements de l'ouvrage et des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage

Annexe 5

Recueil des données relatives aux matériels de chantier

Annexe 6

Recueil des données relatives aux engins de chantier

Annexe 7

Recueil des données pour le transport sur le chantier des matériels de chantier

Annexe 8

Recueil des données pour le transport sur le chantier des engins de chantier

Annexe 9

Recueil des données de consommation d'énergie des matériels de chantier

Annexe 10

**Recueil des données de consommation d'énergie
des engins de chantier**

Annexe 11

**Recueil des données relatives aux déplacements du personnel
intervenant sur le chantier**

Annexe 12

**Synthèse des consommations et émissions des véhicules,
des camions et des engins de chantier**

Annexe 13

**Recueil des données relatives à l'entretien et à la maintenance
de l'ouvrage**

Annexe 14

Principales informations sur la composition des bétons

Annexe 15

Recueil des données relatives aux coffrages et aux étaielements

Annexe 16

Bibliographie

Annexe 1

Description générale de l'Analyse du Cycle de Vie

1.1 - Définition générale

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode normalisée (dont les principes sont établis selon la série des normes ISO 14000) pour évaluer les flux de matières et d'énergies et les impacts environnementaux d'un système (ensemble des opérations se rapportant à un produit fini) ou associés à la production d'un produit ou d'un ouvrage, au cours de son cycle de vie.

C'est une analyse multicritères (différents types de flux entrants et sortants) et multiétapes (extraction des matières premières, fabrication des matériaux...).

Les données spécifiques à chaque étape du cycle de vie étudié (consommations de matières premières, consommation d'énergie, déchets...) permettent le calcul de l'inventaire complet des ressources prélevées et des polluants et déchets générés.

Les résultats sont traduits en termes d'impacts environnementaux (consommation énergétique, émission de Gaz à Effet de Serre, production de déchets...) générés tout au long du cycle de vie et rapportés à une durée de vie typique (DVT) en évaluant les données nécessaires à l'étude pour une unité fonctionnelle.

L'ACV nécessite de réaliser :

- la compilation et l'évaluation des flux entrants et sortants à chaque étape de la vie du produit ou de l'ouvrage,
- le bilan complet des consommations de ressources et d'énergie et des émissions dans l'environnement,
- l'agrégation des flux matières et d'énergie prélevés et rejetés dans l'environnement,
- l'évaluation des impacts environnementaux.

Elle permet :

- d'identifier des possibilités d'amélioration des performances environnementales des produits à différentes étapes de leur cycle de vie,
- de réduire les impacts environnementaux potentiels,
- d'aider à la décision en matière de choix industriels stratégiques,
- de comprendre et de repérer les impacts environnementaux déterminants,

- d'aider les professionnels à améliorer la qualité environnementale de leur projet d'ouvrage, en particulier lors de la phase de conception ou de mise en œuvre,
- de minimiser l'impact environnemental de l'ouvrage en comparant des variantes répondant aux mêmes exigences fonctionnelles et en quantifiant les performances, à long terme, des choix.

L'analyse couvre l'ensemble de la vie du système, du produit ou de l'ouvrage de la fabrication des matières premières jusqu'à la valorisation (ou mise en décharge) en fin de vie.

Les phases du cycle de vie pour un ouvrage sont :

- la production : extraction des matières premières, fabrication des matériaux
- le transport : de la sortie du site de production jusqu'à l'arrivée sur le chantier,
- la mise en œuvre : de l'arrivée sur le chantier des produits et matériaux jusqu'à la réception de l'ouvrage,
- la vie en œuvre : en intégrant la gestion, la maintenance et l'entretien de l'ouvrage,
- la fin de vie : de la déconstruction de l'ouvrage à la valorisation, recyclage ou mise en décharge des matériaux de démolition.

Nota : l'ACV est utilisée pour des produits de construction via la norme NF EN 01 010 qui permet de mettre au point des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

1.2 - Méthodologie de l'ACV

L'ACV est un processus itératif qui se décompose en 4 étapes :

- Définitions des objectifs et du cadre de l'étude : frontières du système étudié et du champ de l'étude.
- Inventaire de Cycle de Vie (ICV).
- Évaluation des impacts sur l'environnement.
- Recherche d'améliorations.

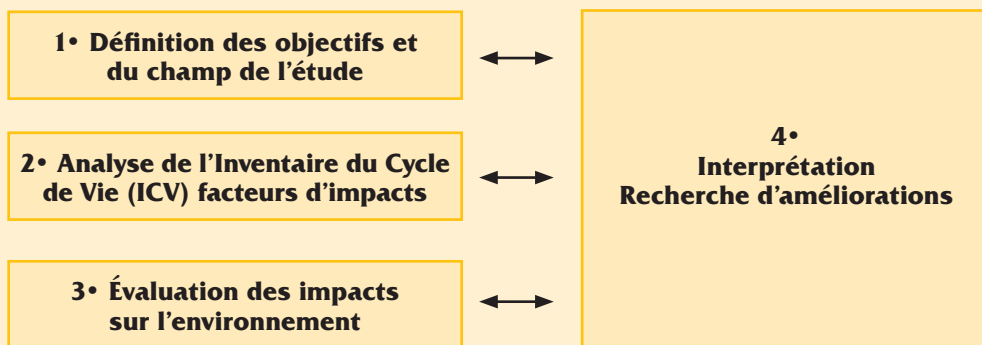


Schéma n°9 : les étapes de l'ACV

L'Analyse du Cycle de Vie nécessite la définition précise de l'objectif, du champ de l'étude, de l'unité fonctionnelle, des frontières du système et l'utilisation de sources de données adaptées, validées et fiables. Les entrants et les sortants pris en compte doivent être appropriés au champ de l'étude.

L'Analyse de l'Inventaire du Cycle de Vie vise à :

- quantifier les flux économiques (matières, énergies...) et les flux élémentaires (matières premières, ressources, déchets, émissions dans l'air, dans l'eau et dans le sol...) associés à chaque étape du cycle de vie et à chaque processus,
- quantifier les extractions et émissions pour chaque processus,
- agréger les divers flux.

L'évaluation des impacts sur l'environnement permet d'agréger et de convertir les divers flux identifiés pendant la phase d'inventaire, en une série d'impacts environnementaux.

La phase d'interprétation des résultats doit, en particulier, valider la qualité des données, la cohérence des résultats et l'adéquation des résultats avec l'objectif, le champ de l'étude et l'unité fonctionnelle. La qualité des données utilisées est indispensable pour valider les résultats.

1.3 - Inventaire du Cycle de Vie

L'Inventaire du Cycle de Vie est la phase de l'ACV qui consiste à compiler et à quantifier le bilan complet de tous les entrants (consommation de matières premières, d'énergie, d'eau...) et les sortants correspondants (émissions dans l'air, dans l'eau et dans le sol, déchets...) pour un système, un produit ou un ouvrage, pour toutes les phases de son Cycle de Vie.

Les données quantitatives recueillies correspondant à l'unité fonctionnelle, pour chaque processus élémentaire inclus dans les frontières du système, sont regroupées en trois principales catégories :

- **Consommation**
 - des ressources naturelles énergétiques et non énergétiques
 - d'eau
 - d'énergie récupérée, de matière récupérée
- **Émissions**
 - dans l'air
 - dans l'eau
 - dans le sol
- **Déchets**
 - valorisés
 - éliminés

Les flux d'entrants et sortants sont ensuite agrégés et pondérés puis traduits sous forme d'impacts environnementaux en appliquant des règles d'affectation et des modèles d'allocation des flux par catégories d'impacts.

1.4 - Limites de l'ACV en Génie Civil

La démarche d'Analyse du Cycle de Vie a quelques limites liées :

- à la pertinence du choix des indicateurs pour des ouvrages de Génie Civil,
- au choix des frontières du système (parfois subjectif), de l'unité fonctionnelle, des sources de données et des catégories d'impacts,
- au choix des modèles de calculs et d'évaluation des impacts (les modèles ne sont pas toujours disponibles),
- aux précisions sur l'évaluation des flux de matières et d'énergies et aux variabilités des données du cycle de vie,
- aux accessibilités, disponibilités et qualités des données environnementales sur de nombreux matériaux de construction ou de matériels de chantier (la difficulté liée au manque de données est un problème récurrent et délicat lors d'une étude ACV),
- aux précisions sur la transcription des flux en impact environnemental et sur l'agrégation des impacts,
- aux précisions sur les règles d'imputation, de coupure ou d'exclusion de certains flux,
- aux précisions sur la durée de la période d'analyse et sur les évolutions possibles des techniques d'entretien et de maintenance des ouvrages et de recyclage et valorisation des matériaux d'ici plusieurs décennies.

Annexe 2

Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire

Les industriels de la filière ciment et béton se sont engagés dans une démarche d'Analyse du Cycle de Vie de leurs matériaux afin :

- d'améliorer les performances environnementales et sanitaires de leurs produits,
- de donner aux utilisateurs des indications chiffrées des impacts environnementaux du matériau béton dans ses utilisations,
- de permettre une évaluation environnementale et sanitaire des solutions constructives.

Cette démarche se concrétise par la mise au point de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) des matériaux.

Une FDES est élaborée à partir d'une étude conduite conformément aux dispositions de la norme NF P 01-010 selon une démarche d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Elle permet aux prescripteurs de choisir les meilleures solutions constructives dans le cadre de projets soucieux de préserver l'environnement et les ressources naturelles et d'appliquer une démarche de qualité environnementale à leurs ouvrages.

Nota : les FDES sont regroupées dans une base de données officielle et publique "INIES". Elles sont consultables sur le site **www.inies.fr**

2.1 - Norme NF P 01-010

La norme NF P 01-010, "Qualité environnementale des produits de construction - Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction", établit les bases communes pour la délivrance d'une information objective tant sur le plan qualitatif que quantitatif sur les matériaux et les produits.

Elle permet de mettre à disposition des maîtres d'œuvre et des concepteurs qui souhaitent prendre en compte des critères environnementaux dans leur projet, une information objective et consensuelle sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits.

Elle s'appuie sur la série des normes ISO 14000 et regroupe les règles et spécifications méthodologiques basées sur les principes de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV).

***Nota :** l'ACV est une méthodologie permettant de quantifier l'impact environnemental d'un matériau tout au long de son cycle de vie. Pour chaque étape de cycle de vie, un bilan matière et énergie des entrants et sortants est réalisé, ramené à une unité fonctionnelle du produit.*

Cette norme précise la méthodologie à suivre pour recueillir et traiter les informations pertinentes nécessaires et définit les principes applicables à la fourniture d'informations sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction.

Elle fournit un cadre de référence aux fabricants de produits de construction pour déclarer et communiquer sur les caractéristiques environnementales et sanitaires de leurs produits sous forme d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

Elle distingue deux types d'informations :

- les données d'Inventaires du Cycle de Vie (ICV),
- les valeurs des indicateurs d'impacts du cycle de vie du produit.

Les résultats sont traduits selon 10 indicateurs environnementaux qui permettent d'évaluer la contribution des produits à la qualité environnementale des ouvrages.

La norme NF P 01-010 divise le cycle de vie d'un produit de construction en 5 étapes :

- 1 • La fabrication du produit : extraction, préparation et transport des matières premières... Cette étape se termine à la sortie du produit de l'usine.
- 2 • Le transport du produit de l'usine de production jusqu'au chantier.
- 3 • La mise en œuvre du produit au sein de l'ouvrage.
- 4 • La vie en œuvre pendant laquelle le produit assure sa fonction. Cette étape couvre toute la durée de vie typique du produit.
- 5 • La fin de vie qui consiste en la dépose du produit et son transport jusqu'à un site de valorisation.

2.2 - Présentation générale d'une FDES

Une FDES a pour objectif d'aider les concepteurs à intégrer les critères environnementaux et sanitaires dans l'élaboration et le choix de leurs produits, matériaux et solutions constructives pour la réalisation d'un ouvrage.

Elle fournit pour un produit de construction, pour l'ensemble de son cycle de vie :

- un bilan environnemental du produit (ou des produits pour un système) défini par son unité fonctionnelle, synthétisé au travers d'impacts environnementaux traduisant les impacts que peuvent générer les produits de construction sur l'environnement extérieur,
- des caractéristiques environnementales et sanitaires du produit ou du système,
- la contribution du matériau aux performances environnementales de l'ouvrage pendant sa phase d'exploitation : risques sanitaires et qualité de vie à l'intérieur d'un bâtiment (confort hygrothermique, acoustique, visuel et olfactif).

Elle intègre les impacts générés par l'extraction des matières premières, la préparation et la transformation des matières premières, la fabrication des produits et des matériaux, leur transport jusqu'au chantier, leur mise en œuvre (en intégrant les consommables utiles à la mise en œuvre, les rebuts et les déchets), la vie en œuvre (entretien, maintenance, remplacement partiel de certaines parties d'ouvrages ou de constituants du produit), ainsi que la fin de vie (recyclage, déconstruction, valorisation, mise en décharge).

Le bilan environnemental est traduit sous forme d'impacts environnementaux tels que la consommation de ressources énergétiques, l'épuisement des ressources, la consommation d'eau, la production de déchets solides, l'impact sur le changement climatique, l'acidification atmosphérique, la pollution de l'eau et de l'air, la destruction de la couche d'ozone et la formation d'ozone photochimique.

Les FDES ne permettent pas de comparer les produits ou les différents systèmes constructifs et les techniques. La comparaison ne peut se faire qu'au niveau de l'ouvrage en situation, en agrégeant les données et en analysant les résultats obtenus pour chaque solution constructive, sur l'ensemble du cycle de vie.

Une FDES qui se présente sous forme d'un cadre commun et cohérent pour l'ensemble des produits de construction, constitue un outil d'aide au choix des matériaux ou des techniques constructives permettant :

- de réduire l'impact des ouvrages,
- de diminuer les consommations d'énergie,
- de limiter les nuisances,
- de faciliter le recyclage et la valorisation.

Il appartient aux prescripteurs de choisir les produits de construction dont les caractéristiques techniques, économiques, environnementales et sanitaires permettent, moyennant une mise en œuvre conforme aux règles de l'art ou aux prescriptions du fabricant, d'obtenir la qualité visée de l'ouvrage.

2.3 - Données fournies dans les FDES

Une FDES d'un matériau de construction regroupe sous forme d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) l'ensemble des données relatives aux consommations de ressources et aux émissions dans l'air, dans l'eau et le sol et à la production de déchets valorisés ou éliminés.

2.3.1 - Consommation de ressources

> Consommation de ressources naturelles énergétiques

Les principales ressources naturelles énergétiques considérées sont le bois, le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium.

Ces ressources sont consommées en tant qu'énergie pour la production des matières premières et des produits ainsi que pour le transport et la mise en œuvre des matériaux sur le chantier.

Les consommations sont exprimées sous forme de flux matière en kg et sous forme de flux énergétiques en MJ (Mégajoule).

Les divers indicateurs énergétiques pris en compte sont relatifs à :

- l'énergie primaire totale qui représente la somme des énergies renouvelables et non renouvelables,
- l'énergie renouvelable : ressources renouvelées ou régénérées naturellement à une vitesse supérieure à la vitesse d'épuisement de cette ressource (énergie hydraulique, éolienne, solaire, issue de la biomasse),
- l'énergie non renouvelable : ressource énergétique limitée ne pouvant être renouvelée à l'échelle de temps humaine (pétrole, charbon, gaz naturel),
- l'énergie procédé,
- l'énergie matière,
- l'électricité.

Les indicateurs fournissent des informations complémentaires sur la part d'énergie renouvelable et également sur la part de l'énergie stockée (énergie matière) par le produit (cas des produits contenant par exemple du bois...) par rapport à l'énergie totale consommée.

> **Consommation des ressources naturelles non énergétiques**

Les FDES distinguent près de 50 types de ressources naturelles non énergétiques

Les principales ressources utilisées, par exemple pour la construction d'ouvrages en béton, sont :

- l'argile,
- le calcaire,
- les granulats : sables et gravillons,
- le fer.

> **Consommation d'eau**

Les eaux sont classées selon leur provenance : issues de lacs, de la mer, des nappes phréatiques, des rivières et du réseau d'eau de distribution d'eau potable.

> **Consommation d'énergie récupérée et de matière récupérée**

Les FDES distinguent les diverses énergies et matières récupérées, issues d'autres cycles de vie tels que :

- l'acier,
- les minéraux.

Il s'agit par exemple des matières premières issues de recyclage et les énergies issues de combustibles secondaires (huiles usagées...). Ces consommations représentent des économies de matières premières et d'énergie.

2.3.2 - Émissions dans l'environnement : eau, air, sol

> **Émissions dans l'air**

Plusieurs dizaines de flux représentant les émissions dans l'air sont distinguées tels que principalement :

- les hydrocarbures,
- le méthane (CH_4),
- le dioxyde de carbone (CO_2) et le monoxyde de carbone (CO),
- l'oxyde d'azote (NO_2),
- l'hydrogène sulfureux (H_2S),
- l'acide chlorhydrique (HCl),
- les composés chlorés organiques et inorganiques,
- les composés fluorés,
- les métaux lourds.

Ces émissions sont générées principalement par les transports et les procédés de combustion des énergies fossiles.

> **Émissions dans l'eau**

Toutes les émissions dans l'eau sont concernées.

- Polluants divers :
 - les hydrocarbures,
 - les métaux lourds,
 - les composés phosphorés, fluorés, chlorés...

- Indicateurs de pollution de l'eau :
 - les matières en suspension,
 - la Demande Chimique en Oxygène (DCO),
 - la Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (DBO5).

> **Émissions dans le sol**

Les flux pris en compte sont relatifs à l'arsenic, au chrome, au cuivre, au fer, au plomb, au zinc et à divers métaux lourds.

2.3.3 - Production de déchets

Les déchets produits sont classés en deux catégories :

- déchets valorisés,
- déchets éliminés.

Les déchets générés lors du cycle de vie du produit sont recensés par nature (métal, plastique, papier, minéraux...) et par type (déchets dangereux, déchets non dangereux, déchets inertes, déchets radioactifs, déchets valorisés...).

Le recyclage entraîne une économie de matières premières, prise en compte dans la quantification des entrants et des sortants.

2.4 - Calcul des impacts environnementaux

Les impacts sont calculés en multipliant les flux de l'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) par un coefficient spécifique à chaque flux, puis en sommant l'ensemble des résultats pour obtenir l'impact total.

Les indicateurs de flux par catégorie d'impact sont donnés par une formule du type :

$$I_{catj} = \text{SOMME} (A_{icatj} \times C_{icatj} \times M_i)$$

Avec :

I_{catj} : Indicateur du flux i pour la catégorie d'impact j

A_{icatj} : Coefficient de pondération du flux i à la catégorie d'impact j

C_{icatj} : Contribution du flux i à la catégorie d'impact j

M_i : Masse du flux i

Deux principales méthodes sont utilisées pour déterminer les Impacts Environnementaux :

- la méthode des équivalences,
- la méthode du volume critique.

Chaque méthode est adaptée au type d'impact.

2.4.1 - Méthode des équivalences

Le principe de la méthode des équivalences consiste à convertir les flux des substances susceptibles de contribuer aux impacts en un flux d'une substance de référence spécifique à chaque catégorie d'impact.

> Changement climatique

Les émissions dans l'air sont converties en kg puis multipliées par un coefficient de conversion (kg CO₂ équivalent) spécifique à chaque gaz.

L'indicateur de changement climatique correspond à la somme des résultats convertis.

Flux	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Coefficient de conversion	21	1	310

Exemples de coefficient de conversion

> **Indicateur épuisement des ressources naturelles**

L'indicateur de base est l'ADP (Abiotic Depletion Potential). Les ressources sont classées comme non renouvelables ou non épuisables si leur ADP est respectivement supérieur ou inférieur à l'ADP du charbon ($1.34 \cdot 10^{-2}$). Les consommations sont exprimées en kg puis multipliées par un coefficient de conversion (kg équivalent antimoine).

Flux	Calcaire	Silice	Fer	Pétrole
Coefficient de conversion	$7,08 \times 10^{-10}$	$2,99 \cdot 10^{-11}$	$8,43 \cdot 10^{-8}$	$2,01 \cdot 10^{-2}$

Exemples de coefficient de conversion

> **Acidification atmosphérique**

Les émissions dans l'air sont converties en kg puis multipliées par un coefficient de conversion. Le résultat est exprimé en kg SO₂ équivalent.

Flux	NO ₂	NH ₃	HCl	H ₃ PO ₄
Coefficient de conversion	0,70	1,88	0,88	0,98

Exemples de coefficient de conversion

> **Destruction de la couche d'ozone stratosphérique**

Cet impact est dû principalement à deux familles de composés chloro-fluorés organiques : les CFC (chloro-fluoro-carbures) et les HCFC (hydro-géno-chloro-fluoro-carbures).

L'émission est convertie en kg puis multipliée par un coefficient de conversion (kg équivalent CFC-11).

Flux	HCFC-123	HCFC-124	HCFC-141b	HCFC-142b	HCFC-22
Coefficient de conversion	0,012	0,026	0,086	0,043	0,034

Exemples de coefficient de conversion

> **Formation d'ozone photochimique**

Le coefficient de conversion est de 0,40 kg d'éthylène par kg d'hydrocarbures.

2.4.2 - Méthode du volume critique

Le principe consiste à calculer le volume fictif d'air ou d'eau (en m³) par lequel il faudrait diluer chaque flux de l'inventaire pour le rendre conforme au seuil de l'arrêté du 02/02/1998.

> Pollution dans l'air

L'émission dans l'air est divisée par le coefficient de conversion (g/m³).

Flux	Hydrocarbures	Oxyde d'azote NOx	Acide chlorhydrique
Coefficient de conversion	0.11	0.50	0.05

Exemples de coefficient de conversion

> Pollution dans l'eau

L'émission dans l'eau divisée par un coefficient (g/m³)

Flux	DCO	DB05	Composés azotés	Fer	Zinc
Coefficient de conversion	125	30	30	5	1

Exemples de coefficient de conversion

Annexe 3

Glossaire

Acidification atmosphérique	Elle concerne les émissions dans l'air contribuant à la libération de protons dans l'atmosphère, puis l'eau et les sols par transfert de pollution en milieu aqueux. Les substances contribuant à cette catégorie d'impacts sont responsables de ce que l'on appelle couramment les "pluies acides" (SO ₂ , NO _x , NH ₃ , HCl, HF).
Affectation	Imputation au système de produits étudié des flux entrants ou sortants d'un processus élémentaire.
Analyse d'incertitude	Procédure systématique permettant de rechercher, puis de quantifier, l'incertitude introduite dans les résultats d'une analyse de l'Inventaire du Cycle de Vie par les effets cumulés de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des données.
Analyse de l'Inventaire du Cycle de Vie	Phase de l'Analyse du Cycle de Vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.
Analyse du Cycle de Vie	Compilation et évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits donné au cours de son cycle de vie.
Antimoine	Composé métallique dont les réserves et le taux d'épuisement servent de référence pour le calcul de l'indicateur d'épuisement des ressources.
Approche Cycle de Vie	Approche consistant à prendre en compte l'ensemble des étapes de la vie d'un produit, pour évaluer les conséquences sur l'environnement du produit tel qu'il a été conçu. Les étapes du cycle de vie d'un produit de construction sont : production, transport, mise en œuvre, vie en œuvre, fin de vie.
Bilan carbone	Méthode mise au point par l'ADEME pour comptabiliser les émissions de Gaz à Effet de Serre d'une activité ou d'une entreprise, à partir de données facilement disponibles.

Catégorie d'impact	Classe représentant les points environnementaux étudiés dans laquelle les résultats de l'inventaire du cycle de vie peuvent être imputés.
Changement climatique	Concerne les émissions dans l'air contribuant à l'augmentation des émissions de Gaz à Effet de Serre.
Co-produit	Substance ou matière générée au cours d'une étape industrielle et valorisée.
COV	Les Composés Organiques Volatils (butane, propane, éthanol...) entrent dans la composition de nombreux produits courants comme les carburants, les peintures, les colles... Les COV regroupent une multitude de substances qui sont toujours composées de l'élément carbone auquel s'ajoutent d'autres éléments tels que l'hydrogène, les halogènes, l'oxygène, le soufre. Ils se vaporisent à une température relativement basse et peuvent contaminer l'air.
Cycle de vie	Phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination finale.
Déchets	Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit que son détenteur destine à l'abandon. Les déchets sont exprimés en terme de flux, selon la classification : déchets dangereux, déchets non dangereux, déchets inertes, déchets radioactifs.
Déchets inertes	Déchets minéraux non pollués. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne se détériorent pas au contact d'autres matières d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets proviennent essentiellement des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment et les travaux publics.
Déchets valorisés	Tout déchet que l'on dirige vers un stock en vue de sa valorisation.
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	Catégorie d'impact qui regroupe toutes les émissions dans l'air susceptibles de détruire l'ozone stratosphérique (dans les hautes couches de l'atmosphère). Ces substances sont responsables des "trous" dans la couche d'ozone.

Développement durable	"Le développement durable doit répondre aux besoins des générations actuelles sans compromettre la possibilité de répondre à ceux des générations à venir" (rapport Brundtland, ONU, 1987)
Durée de vie typique	Durée de vie théorique du produit retenue pour l'unité fonctionnelle.
Effet de serre	L'effet de serre est un phénomène de piégeage naturel de la fraction de rayonnement solaire retransmis par la surface de la terre. La terre réfléchit une partie du rayonnement infrarouge reçu du soleil. L'effet de serre est provoqué par l'accumulation de certains gaz (vapeur d'eau, gaz carbonique, méthane), appelés Gaz à Effet de Serre, dans l'atmosphère. Ces gaz absorbent une partie du rayonnement infrarouge réfléchi par la surface de la terre. Une partie de l'énergie solaire reste ainsi piégée dans les basses couches de l'atmosphère, ce qui permet à la terre de conserver une température moyenne de 15°C. Sans effet de serre, cette température serait en effet de -18°C. Les émissions dues aux activités humaines accentuent l'effet de serre et provoquent des modifications du climat par un réchauffement planétaire.
Électricité consommée	Electricité consommée sur l'ensemble des lignes de production. Elle est exprimée en kWh.
Énergie grise	Énergie qui a été nécessaire pour fabriquer, emballer, distribuer puis éliminer un produit.
Énergie matière	Elle correspond à la part de l'énergie primaire contenue dans les matériaux utilisés comme combustibles entrant dans le système.
Énergie primaire totale	Elle représente la somme de toutes les sources d'énergie qui sont directement puisées dans les réserves naturelles tels que le gaz naturel, le pétrole, le charbon, le minerai d'uranium, la biomasse, l'énergie hydraulique, la géothermie. Elle est divisée en énergie renouvelable et non renouvelable d'une part, et en énergie procédé et en énergie matière d'autre part. Énergie primaire totale = énergie non renouvelable + énergie renouvelable = énergie procédé + énergie matière.

Énergie procédé	Apport d'énergie nécessaire dans un processus élémentaire pour mettre en œuvre le processus ou faire fonctionner l'équipement correspondant, à l'exclusion des entrants énergétiques de production et de livraison de cette énergie.
Eutrophisation	L'eutrophisation des eaux superficielles est l'asphyxie des milieux aquatiques par la prolifération d'algues qui, en se développant, appauvrissent les eaux en oxygène au détriment des autres espèces. Ce phénomène est généré par les rejets industriels et agricoles, de matières nutritives (comme le phosphore, l'azote...) dans le cycle de l'eau et donc dans les eaux superficielles.
Évaluation de l'impact du cycle de vie	Phase de l'analyse du cycle de vie destinée à comprendre et évaluer l'ampleur et l'importance des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits.
FDES	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (selon la norme NF P 01-010)
Flux de référence	Mesure des sortants nécessaires des processus, dans un système de produits donné, pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.
Flux élémentaire	Matière ou énergie entrant ou sortant du système étudié et puisée ou rejetée dans l'environnement sans transformation humaine préalable ou ultérieure.
Flux énergétique	Entrant ou sortant d'un processus élémentaire ou d'un système de produits, exprimé en unités d'énergie.
Flux entrant	Matière ou énergie entrant dans un processus élémentaire.
Flux sortant	Matière ou énergie sortant dans un processus élémentaire.
Formation d'ozone photochimique	Regroupe toutes les émissions dans l'air susceptibles de conduire à la formation d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère par réaction photochimique (réaction utilisant l'énergie du rayonnement solaire).
Frontière du système	Interface entre un système de produits et l'environnement ou d'autres systèmes de produits.
Gaz à Effet de Serre (GES)	Gaz comme le dioxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote, l'oxyde nitreux, le méthane et la vapeur d'eau présents dans l'atmosphère, qui absorbent les rayons solaires et produisent de la chaleur et sont donc un catalyseur de l'effet de serre.

Impact environnemental	Toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme.
Indicateur de catégorie d'impact de cycle de vie	Représentation quantifiable d'une catégorie d'impact.
Inventaire du cycle de vie	Phase de l'Analyse du Cycle de Vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.
Matériau récupéré	Matériau qui aurait autrement été éliminé comme déchet ou utilisé pour la valorisation énergétique, mais qui a été collecté et récupéré (pour valorisation) comme matériau d'apport, au lieu d'une nouvelle matière première, dans un processus de recyclage ou de fabrication.
Matériau recyclé	Matériau qui a fait l'objet d'une nouvelle mise en œuvre à partir d'un matériau récupéré (pour valorisation) au moyen d'un processus de fabrication et transformé en produit fini ou en composant pour être intégré à un produit.
Matières et énergies récupérées	Elles correspondent aux co-produits et aux produits valorisés en fin de vie.
Norme NF P 01-010	Norme regroupant les règles et spécifications permettant de proposer une méthodologie et un modèle de déclaration des données environnementales et sanitaires relatives aux produits de construction. Ces données sont publiées dans une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire.
Ozone photochimique	La formation d'ozone photochimique est issue d'un ensemble de phénomènes complexes qui utilisent des polluants primaires, comme des oxydes d'azote (NOx) et Composés Organiques Volatils (COV), et l'énergie apportée par le rayonnement solaire. Ces phénomènes ont lieu dans les couches d'air proches du sol et ont des effets néfastes sur la santé humaine et sur les végétaux.
Ozone stratosphérique	On trouve une forte concentration d'ozone stratosphérique à une altitude de 15 à 35 km. L'ozone est le seul constituant de l'atmosphère capable d'absorber le rayonnement des ultraviolets et de nous en protéger.

Processus élémentaire	Plus petite partie d'un système de produits pour lequel les données sont recueillies lors de l'Analyse du Cycle de Vie.
Produit de construction	Tout produit fabriqué en vue d'être incorporé, assemblé, utilisé ou installé de façon durable dans des bâtiments ou des ouvrages de Génie Civil.
Recyclable	Caractéristique d'un produit, d'un emballage ou d'un composant associé qui peut être collecté, traité et remis en usage sous la forme de matière première ou de produits.
Ressources abondantes	Certaines matières présentes sur terre sont constituées d'éléments (granulats, eau, fer, calcium, magnésium, sodium, potassium...) si abondants qu'elles sont jugées inépuisables ou quasi inépuisables.
Ressources fossiles	Matières premières présentes dans les couches géologiques terrestres, telles que le pétrole, le charbon, le gaz...
Ressource non renouvelable	Ressource qui existe en quantité fixe en différents points de la croûte terrestre et qui ne peut pas être renouvelée sur une échelle de temps humaine. Elle ne peut potentiellement se renouveler que par des procédés géologiques, physiques et chimiques qui se déroulent sur plusieurs milliers d'années.
Ressource renouvelable	Ressource qui est soit cultivée, soit naturellement renouvelée ou régénérée à une vitesse qui excède la vitesse d'épuisement de cette ressource et cela, moyennant une gestion correcte de la ressource.
Résultat de l'Inventaire du Cycle de Vie	Données produites par une analyse de l'Inventaire du Cycle de Vie qui comprennent les flux traversant les frontières du système.
Système de produits	Ensemble de processus élémentaires liés du point de vue matériel et énergétique et remplissant une ou plusieurs fonctions définies.
Unité fonctionnelle	Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une Analyse du Cycle de Vie.
Valorisation	Procédé qui permet de donner une seconde vie à un produit. On distingue la valorisation énergétique (ex : la combustion) et la valorisation matière (ex : recyclage).

Sources : Norme ISO 14050 - Norme ISO 14040 - Norme ISO 14021.

Annexe 4

Recueil des données pour le transport des matériaux structurants, des équipements de l'ouvrage et des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage

4.1 - Transport des matériaux structurants

Le béton est livré à partir de la centrale BPE par camion toupie d'une capacité de 6 m³.

Les armatures passives sont livrées par camion à partir de l'usine de façonnage de l'armaturier.

Les câbles de précontrainte et tous les accessoires associés (conduits, corps d'ancrage, clavettes...) sont livrés par camion à partir du dépôt du sous-traitant précontrainte.

Trois types de camions sont distingués dans l'étude pour le transport des matériaux structurants :

- camion toupie : T (charge 6 m³),
- camion plateau : P (charge utile 20 t),
- semi-remorque : S (charge utile 25 t).

Type de matériau	Désignation	Qtés	Unité	Mode de transport et type de camion	Nombre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
BETON	Béton de propreté	37	m ³	T	7	29	29
BETON	Béton de blocage	73	m ³	T	13	29	29
BETON	Béton de fondations profondes	70	m ³	T	12	29	29
BETON	Béton dalles de transition	14	m ³	T	3	29	29

Type de matériau	Désignation	Qtés	Unité	Mode de transport et type de camion	Nombre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
BETON	Béton du tablier	365	m ³	T	61	29	29
BETON	Béton de semelles	188	m ³	T	32	29	29
BETON	Béton dalles	32	m ³	T	6	29	29
BETON	Béton des piles	63	m ³	T	11	29	29
ARMATURES	Acier HA et doux pour pieux	3 160	kg	S	1	100	100
ARMATURES	Acier HA pour ouvrage hors pieux	57 050	kg	S	3	100	100
ACIER	Tube d'auscultation des pieux	260	ml	S	1	150	-
Précontrainte	Câbles	14 165	kg	S	1	990	990
Précontrainte	Conduits	1 000	ml	S	1	300	300
Précontrainte	Corps (*) d'ancrage et clavettes	38	u	-	-	-	-
Précontrainte	Ciments pour coulis	5.1	t	P	1	550	-

(*) Transport inclut avec celui des câbles de précontrainte.

4.2 - Transport des équipements de l'ouvrage

Pour le transport des équipements de l'ouvrage, 5 types de camions sont utilisés :

- camion de livraison en palettes (charge utile 20 t) : L
- Semi-remorque (charge utile 25 t) : S
- camion benne (charge utile 25 t) : B
- camion toupie (charge 6 m³) : T
- camion plateau (charge utile 20 t) : P

Les transports sont assurés sous forme, soit de livraisons spécifiques (S), soit de livraisons groupées (G) en palette. Dans le cas de livraisons groupées, l'impact transport est affecté au prorata du nombre de palettes.

Type de matériau	Désignation	Qtés	Unité	Mode de transport et type de camion	Type de livraison (nbre de palettes)	Nbre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
Bitume Elastomère	Étanchéité	490	m ²	L	S	2	370	-
Enrobés bitumineux	Couche de roulement	60	t	B	S	3	15	15
Acier	Joints de chaussées	2 2	U U	L	G (1)	-	500	-
Asphalte	Asphalte sur trottoir	27 3	t t	B	S	3	25	25
Elastomère Acier	Appareil d'appui	6	U	L	G (1)	1	480	-
Acier	Dispositif de retenue	136	ml	S	S	1	750	-
Béton préfabriqué	Corniche	97	ml	S	S	2	120	120
Asphalte	Dispositif d'assainissement	4	t	B	S	1	25	25
Aluminium	Dispositif d'assainissement	215	ml	P	S	1	250	-
Plomb	Dispositif d'assainissement	4	U	L	G (1)	1	250	-
Béton préfabriqué	Regards	2 4	U U	S	S	1	120	120
Béton préfabriqué	Bordures de trottoir	105	ml	S	S	1	120	120
Béton préfabriqué	Perré	144	m ²	S	S	1	290	290
Béton BPE	Dalle de transition	-	m ³	Camion toupie	-	-	-	-
PVC	Canalisation de service public	310	ml	P	S	-	250	-

4.3 - Transport des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage

> Matériaux divers

Type de matériau	Désignation	Qtés	Unité	Mode de transport et type de camion	Type de livraison (nbre de palettes)	Nbre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
Divers	Produits démoulants	1 025	m ²	L	G (1)	1	250	-
Divers	Produits de cure	890	m ²	L	G (1)	1	250	-
Bitume	Noir de fondation	390	m ²	L	G (1)	1	250	-
Divers	Anti-graffiti	900	m ²	L	G	1	250	-
Bitume	Primaire d'étanchéité	100	l	L	G (1)	1	250	-
Acier	Tube d'auscultation des pieux	260	ml	S	S	1	150	150
Remblais d'apport	Granulats	533	m ³	B	S	40	25	25

Nota : les distances de transport sont prises forfaitairement égales à 250 km pour les camions de livraison en palettes pour les matériaux divers.

> Coffrages et étaielements

Le transport des matériaux, coffrages, étaielements et divers matériels appartenant à l'entreprise générale ont été pris en compte avec le transport des engins de chantier (cf. Annexe 8).

Seuls sont considérés dans le tableau ci-dessous les transports des coffrages en bois achetés spécifiquement pour le chantier et livrés directement.

Type de matériau	Désignation	Qtés	Unité	Mode de transport et type de camion	Type de livraison (nbre de palettes)	Nbre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
Bois	Bastaings et planches	3	m ³	P	S	1	50	50
Bois	Contre-plaqué et aggloméré	5,6	m ³	P	S	1	25	25

Annexe 5

Recueil des données relatives aux matériels de chantier

Les matériels de chantier regroupent l'ensemble des outils, équipements et petits matériels nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.

> Pour l'entreprise générale

N°	Type de matériel	Caractéristiques du matériel	Informations complémentaires
M1	Groupe électrogène	-	-

> Pour les sous-traitants

N°	Type de matériel	Caractéristiques du matériel	Informations complémentaires
----	------------------	------------------------------	------------------------------

Terrassements

M6	-	-	-
----	---	---	---

Fondations profondes

M11	Groupe électrogène	-	-
M12	Compresseur	-	-

Précontrainte

M16	Groupe électrogène	-	Triphasé 15 kVA
M17	Malaxeur	-	Malaxeur haute turbulence
M18	Pompe	-	Pompe d'injection

Étanchéité

M21	-	-	-
-----	---	---	---

Couche de roulement

M26	-	-	-
-----	---	---	---

Appareils d'appui et joints de chaussée

M31	-	-	-
-----	---	---	---

Asphalte

M35	-	-	-
-----	---	---	---

N°	Type de matériel	Caractéristiques du matériel	Informations complémentaires
Remblais contigus			
M41	-	-	-
Armatures passives			
M45	-	-	-
Glissières de sécurité			
M51	-	-	-
Préparation de chantier			
M55	-	-	-

Nota : seules les informations relatives aux matériels ayant un impact non négligeable ont été renseignées.

Annexe 6

Recueil des données relatives aux engins de chantier

> Pour l'entreprise générale

N°	Type de matériel	Caractéristiques de l'engin	Informations complémentaires
E1	Grue mobile	-	PPM 35 T
E2	Elévateur	-	Manitou JCB
E3	Camion	-	Semi pour transport
E4	Pompe à béton	-	Automotrice
E5	Tracteur	-	Déboisage, décapage

> Pour les sous-traitants

N°	Type de matériel	Caractéristiques de l'engin	Informations complémentaires
Terrassements			
E6	Pelle	-	-
E7	Tombereau	-	-
E8	Tombereau	-	-
Fondations profondes			
E11	Pelle	-	Pelle Koenig 406 -100 ch
E12	Vibreux	-	Vibreux hydraulique PTC 25H1
E13	Benoto	-	Hammergrab type CP5
Précontrainte			
E16	-	-	-
Etanchéité			
E21	-	-	-
Couche de roulement			
E26	-	-	-
Appareils d'appui et joints de chaussée			
E31	-	-	-

N°	Type de matériel	Caractéristiques de l'engin	Informations complémentaires
Asphalte			
E35	-	-	-
Remblais contigus			
E41	Pelle	-	-
E42	Compacteur	-	-
Armatures passives			
E45	-	-	-
Glissières de sécurité			
E51	-	-	-
Préparation de chantier			
E55	-	-	-
E56	-	-	-
E57	-	-	-
E58	-	-	-

Nota : seules les informations relatives aux engins ayant un impact non négligeable ont été renseignées.

Annexe 7

Recueil des données pour le transport sur le chantier des matériels de chantier

Ces tableaux synthétisent les données relatives au transport des matériels de chantier.

La rubrique "TYPE DE CAMION" indique le camion utilisé pour transporter le matériel.

La rubrique "DISTANCE" donne la distance parcourue par ce camion entre le dépôt de l'entreprise et le chantier. Si le matériel du chantier part directement sur un autre chantier, la distance retour sera considérée comme nulle (l'impact du transport retour sera affecté au chantier suivant).

Si plusieurs matériels sont transportés avec le même camion, un seul camion est pris en compte pour le transport.

Deux types de "CAMIONS" sont distingués dans l'analyse pour assurer le transport des matériels de chantier :

- camion semi-remorque ou porte char : S
- camion plateau : P

> Pour l'entreprise générale

N°	Type de matériel	Type de camion	Distance aller (km)	Distance retour (km)	Nbre de camions
M1	Groupe électrogène	S*	-	-	-

Nota : *transport du groupe électrogène pris en compte avec les matériaux de chantier nécessaires à SNCTP.

> Pour les sous-traitants

N°	Type de matériel	Type de camion	Distance aller (km)	Distance retour (km)	Nbre de camions
Terrassements					
M6	-	-	-	-	-
Fondations profondes					
M11	Groupe électrogène*	P	300	-	1
M12	Compresseur	P	-	-	-
Précontrainte					
M16	Groupe électrogène**	P	300	-	-
M17	Malaxeur	P	-	-	-
Etanchéité					
M21	-	-	-	-	-
Couche de roulement					
M26	-	-	-	-	-
Appareils d'appui et joints de chaussée					
M31	-	-	-	-	-
Asphalte					
M35	-	-	-	-	-
Remblais contigus à l'ouvrage					
M41	-	-	-	-	-
Armatures passives					
M45	-	-	-	-	-
Glissières de sécurité					
M51	-	-	-	-	-

Nota :

*groupe électrogène et compresseur transportés sur le même camion.

**groupe électrogène et malaxeur transportés sur le même camion.

Annexe 8

Recueil des données pour le transport sur le chantier des engins de chantier

Ces tableaux synthétisent les données relatives au transport des engins de chantier.

La rubrique "TYPE DE CAMION" indique le camion utilisé pour transporter l'engin de chantier. Si l'engin est automoteur, le "TYPE DE CAMION" est l'engin lui-même.

La rubrique "DISTANCE" donne la distance parcourue par le camion (ou l'engin) entre le dépôt de l'entreprise et le chantier. Si l'engin de chantier part directement sur un autre chantier, la distance retour sera considérée comme nulle (l'impact du transport retour sera affecté au chantier suivant).

Si plusieurs engins sont transportés avec le même camion, un seul camion est pris en compte pour le transport.

Trois types de camions sont distingués dans l'analyse pour le transport des engins de chantier :

- engin automoteur : A
- camion semi-remorque ou porte char : S
- camion plateau : P

> Pour l'entreprise générale

N°	Type d'engin	Type de camion	Distance aller (km)	Distance retour (km)
E1	Grue mobile	A	75	-
E2	Élévateur	P	75	-
E3	Camions	P	1 180	1 180
E4	Pompe à béton	A	50	50
E5	Tracteur	S	50	-

Le camion E3 est utilisé pour transporter les matériaux, les coffrages, les étaitements et les divers matériels nécessaires à l'entreprise (2 allers-retours Dijon : 2 x 90 km / 2 allers-retours Lyon : 2 x 140 km / 2 allers-retours Paris : 2 x 360 km).

> Pour les sous-traitants

N°	Type d'engin	Type de camion	Distance aller (km)	Distance retour (km)
Terrassements				
E6	Pelle	S	50	-
E7	Tombereau	S	50	-
E8	Tombereau	S	50	-
Fondations profondes				
E11	Pelle	S	350	-
E12	Vibreux	S	350	-
E13	Benoto	S	350	-
Précontrainte				
E16	-	-	-	-
Etanchéité				
E21	-	-	-	-
Couche de roulement				
E26	-	-	-	-
Appareils d'appui et joints de chaussée				
E31	-	-	-	-
Asphalte				
E35	-	-	-	-
Remblais contigus à l'ouvrage				
E41	Pelle	S	50	-
E42	Compacteur	S	50	-
Armatures passives				
E45	-	-	50	
Glissières de sécurité				
E51	-	-	-	-
Préparation de chantier				
E55	Tombereau	S	50	
E56	Tombereau	S	50	-
E57	Pelle	S	50	-
E58	Tracteur	S	50	-

Annexe 9

Recueil des données de consommation d'énergie des matériels de chantier

L'analyse prend en compte les consommations d'énergie (gazole, fioul...) nécessaires au fonctionnement des matériels de chantier.

Nota : les pièces de rechange ainsi que les consommables (huiles de vidange...) sont négligés.

Certains tableaux ne sont pas renseignés car la phase de travail ne nécessite pas de matériels de chantier.

Certaines cases des tableaux ne sont pas renseignées car les données ne sont pas significatives.

> Pour l'entreprise générale

N°	Durée d'utilisation (jour)	Conso. moyenne (l/jour)	Conso. totale (l)	Durée d'immobilisation sur le chantier (semaines)	Durée de vie de l'engin (années)	Amortissement (%)
M1	Groupe électrogène	130	12	1 560	-	-

> Pour les sous-traitants

N°		Durée d'utilisation (jour)	Conso. horaire moyenne (l/jour)	Conso. totale (l)	Durée d'immobilisation sur le chantier (semaines)	Durée de vie de l'engin (années)	Amortissement (%)
Terrassements							
M6	-	-	-	-	-	-	-
Fondations profondes							
M11	Groupe électrogène	10	12	120	-	-	-
M12	Compresseur	10	12	120	-	-	-
Précontrainte							
M16	Groupe électrogène	3	12	36	-	-	-
M17	Malauteur	-	-	-	-	-	-
Etanchéité							
M21	-	-	-	-	-	-	-
Couche de roulement							
M26	-	-	-	-	-	-	-
Appareil d'appui / Vérinage							
M31	-	-	-	-	-	-	-
Asphalte							
M35	-	-	-	-	-	-	-
Remblais contigus							
M41	-	-	-	-	-	-	-
Armatures passives							
M45	-	-	-	-	-	-	-
Glissières de sécurité							
M51	-	-	-	-	-	-	-
Préparation de chantier							
M55	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 10

Recueil des données de consommation d'énergie des engins de chantier

L'analyse prend en compte les consommations d'énergie (gazole, fioul...) nécessaires au fonctionnement des engins de chantier.

Nota : les pièces de rechange ainsi que les consommables (huiles de vidange...) sont négligés.

Certains tableaux ne sont pas renseignés car la phase de travail ne nécessite pas d'engins de chantier.

Certaines cases des tableaux ne sont pas renseignées car les impacts ne sont pas significatifs.

> Pour l'entreprise générale

N°		Durée d'utilisation (heure)	Conso. horaire moyenne (l/heure)	Conso. totale (l)	Durée d'immobilisation sur le chantier (semaines)	Durée de vie de l'engin (années)	Amortissement (%)
E1	Grue mobile	516	25	9 030	26	10	5
E2	Elévateur	516	8	3 096	26	10	5
E4	Pompe à béton	16	10	160	0,2	-	-

> Pour les sous-traitants

N°		Durée d'utilisation (heure)	Conso. horaire moyenne (l/heure)	Conso. totale (l)	Durée d'immobilisation sur le chantier (semaines)	Durée de vie de l'engin (années)	Amortissement (%)
Terrassements							
E6	Pelle	40	12	480	-	-	-
E7	Tombe-reau	40	30	1200	-	-	-
E8	Tombe-reau	40	30	1200	-	-	-
Fondations profondes							
E11	Pelle	80	12	960	2	20	0,2
E12	Vibreur	4	5	20	2	10	0,4
E13	Benoto	30	5	150	2	20	0,2
Précontrainte							
E16	-	-	-	-	-	-	-
Étanchéité							
E21	-	-	-	-	-	-	-
Couche de roulement							
E26	-	-	-	-	-	-	-
Appareil d'appui / Vérinage							
E31	-	-	-	-	-	-	-
Asphalte							
E35	-	-	-	-	-	-	-
Remblais contigus							
E41	Pelle	16	12	192	1	-	-
E42	Compacteur	16	15	240	1	-	-
Armatures passives							
E45	-	-	-	-	-	-	-
Glissières de sécurité							
E51	-	-	-	-	-	-	-

N°		Durée d'utilisation (heure)	Conso. horaire moyenne (l/heure)	Conso. totale (l)	Durée d'immobilisation sur le chantier	Durée de vie de l'engin (années)	Amortissement (%)
----	--	-----------------------------	----------------------------------	-------------------	--	----------------------------------	-------------------

Préparation de chantier

E55	Tombe-reau	40	30	1200	-	-	-
E56	Tombe-reau	40	30	1200	-	-	-
E57	Pelle	40	12	480	-	-	-
E58	Tracteur	40	10	40	-	-	-

Annexe 11

Recueil des données relatives aux déplacements du personnel intervenant sur le chantier

> Pour l'entreprise générale

L'analyse prend en compte les consommations de carburants nécessaires pour tous les déplacements du personnel de chantier et de l'encadrement à partir de leur domicile personnel ou du siège de l'entreprise, pendant toute la durée des travaux, ainsi que les divers déplacements nécessaires pendant les heures de chantier.

Fonction de la personne	Distance aller/retour par jour (km)	Nbre de jours de présence sur le chantier	Nbre total de km pour intervention sur le chantier	Type de véhicule	Conso. du véhicule (l gazole/ 100 km)
Directeur de chantier	-	10	5000	VL	6
Conducteur de travaux	-	40	12500	VL	6
Chef de chantier	150	130	19500	VL	6
5 ouvriers	150	130	19500	Utilitaire	12
Grutier	-	-	3250	VL	6
Responsable études	-	-	-	VL	6
Responsable méthodes	-	-	-	VL	6
Géomètre	50	6	300	VL	6

La distance correspond au kilométrage (aller et retour) parcouru chaque jour par chaque intervenant pour se rendre sur le chantier ou à un forfait estimé pour l'ensemble du chantier (cas, par exemple, du directeur du chantier et du conducteur de travaux), au prorata du nombre de kilomètres effectués dans l'année et du nombre de chantiers réalisés.

> Pour la maîtrise d'œuvre, les études et le contrôle du chantier

Fonction de la personne	Distance aller/retour par jour (km)	Nbre de jours de présence sur le chantier	Nbre total de km pour intervention sur le chantier	Type de véhicule	Conso. du véhicule (l gazole/ 100 km)
Responsable maîtrise d'œuvre	-	-	9750	VL	6
Responsable contrôle extérieur	-	-	6000	VL	6
Responsable contrôle externe	180	5	900	VL	6
Epreuve de l'ouvrage 9 personnes	30	6	180	VL	6

Nota : la maîtrise d'œuvre est assurée par la DDE 71, les contrôles extérieurs par les experts du LRPC d'AUTUN et le contrôle externe par les experts de sigma béton.

> Pour les sous-traitants

L'analyse prend en compte les consommations de carburants nécessaires pour tout le personnel assurant les phases de travaux de sous-traitance à partir du siège ou du dépôt de leur société :

- soit sous forme d'une distance (aller/retour) journalière,
- soit sous forme d'une distance globale pour l'ensemble de l'intervention.

Les déplacements relatifs aux intervenants se rendant sur le chantier à l'aide des engins de chantier ne sont pas pris en compte dans ces tableaux (ils sont intégrés dans les déplacements propres des engins).

Fonction de la personne	Distance aller/retour par jour (km)	Nbre de jours de présence sur le chantier	Nbre total de km pour intervention sur le chantier	Type de véhicule	Conso. du véhicule (l gazole/ 100 km)
Terrassements					
Chef d'équipe	60	2	120	VL	6
3 chauffeurs	60	5	300	VL	6
Fondations profondes					
Equipe	820	10	1 640	Utilitaire	12
Précontrainte					
Equipe	640	-	640	Utilitaire	12
Etanchéité					
Equipe	180	4	720	Utilitaire	12
Couche de roulement					
Equipe	150	1	150	Utilitaire	12
Appareils d'appui et joints de chaussée					
Equipe	1000	-	1 000	Utilitaire	12

Fonction de la personne	Distance aller/retour par jour (km)	Nbre de jours de présence sur le chantier	Nbre total de km pour intervention sur le chantier	Type de véhicule	Conso. du véhicule (l gazole/100 km)
-------------------------	-------------------------------------	---	--	------------------	--------------------------------------

Asphalte

Equipe	180	3	540	Utilitaire	12
--------	-----	---	-----	------------	----

Remblais contigus

Equipe	120	6	720	Utilitaire	12
--------	-----	---	-----	------------	----

Armatures passives

Equipe	-	-	8000	Utilitaire	12
--------	---	---	------	------------	----

Glissières de sécurité

Equipe	1580	-	1580	Utilitaire	12
--------	------	---	------	------------	----

> Bilans

Type de véhicule	Nombre total de km parcourus pour le chantier	Consommation totale de gazole (l)
------------------	---	-----------------------------------

Entreprise générale

Voiture particulière	40550	2433
Utilitaire	19500	2340
Total	60050	4773

Maîtrise d'œuvre, études et contrôles

Voiture particulière	16830	1009
Utilitaire	-	-
Total	16830	1009

Sous-traitant

Voiture particulière	420	25
Utilitaire	13130	1576
Total	13550	1601

Bilan total

Voiture particulière	57800	3468
Utilitaire	32630	3916
Total	90430	7384

Annexe 12

Synthèse des consommations et émissions des véhicules, des camions et des engins de chantier

Cette synthèse des consommations et émissions des véhicules, des camions et des engins de chantier a été établie en exploitant différentes données fournies par des constructeurs de véhicules ou d'engins et des rapports de l'ADEME.

L'analyse des données a permis de déterminer pour chaque véhicule et engin de chantier, les Gaz à Effet de Serre générés :

- par la production du véhicule (ratio kg éq CO₂/kg masse du véhicule),
- lors de son utilisation, en intégrant la puissance du moteur et sa consommation (l/100 km ou l/heure).

La prise en compte des durées de vie moyennes (en milliers de km parcourus pour les véhicules et en nombres d'heures d'utilisation pour les engins) a permis d'agglomérer l'ensemble des émissions de Gaz à Effet de Serre liées à la fabrication et à l'utilisation, sous forme d'un ratio unique :

- **pour les véhicules : kg éq CO₂/km parcouru,**
- **pour les engins de chantier : kg éq CO₂/heure d'utilisation.**

Les différents ratios pour chaque véhicule ou engin sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Ces ratios permettent, à partir des données recueillies pour les étapes de transport (des matériaux, matériels et engins de chantier), réalisation de l'ouvrage et vie de l'ouvrage, d'estimer les émissions de Gaz à Effet de Serre globalement imputables à l'ouvrage.

Nota : les ratios sont des valeurs moyennes représentatives de catégories de véhicules et d'engins. La détermination précise des GES réellement affectés à l'ouvrage nécessite une prise en compte de chaque véhicule utilisé (en intégrant des données constructeurs) et une analyse de sensibilité et de variabilité des différents paramètres.

Nota : les véhicules sont constitués d'un assemblage de nombreux matériaux (acier, verre, aluminium, cuivre, plastiques, élastomères...). On a considéré, dans l'étude, pour les impacts autres que ceux liés aux émissions de Gaz à Effet de Serre, uniquement ceux du matériau acier. On a supposé que l'acier représente les $\frac{3}{4}$ de la masse du véhicule.

Type de véhicule	Emission de GES kg éq CO ₂ /km parcouru
Voiture particulière	0,24
Véhicule utilitaire	0,35
Camion toupie T	1,34
Camion plateau P	1,17
Semi-remorque S	1,17
Camion benne B	1,36
Camion de livraison L	1,17

Type d'engin	Emission de GES kg éq CO ₂ /heure d'utilisation
Manitou	15
Pelle sur chenille	40
Grue mobile	100
Tombereau (28 T)	85
Compacteur monocylindrique	50

Annexe 13

Recueil des données relatives à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage

Les tableaux ci-dessous synthétisent pour les diverses opérations de surveillance, entretien courant et petites réparations, les scénarios des diverses interventions prévues pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage. Pour chaque intervention, ils précisent le nombre (pendant la durée d'utilisation), les moyens humains (ingénieur, technicien, ouvriers), les kilomètres parcourus par les véhicules (VL, PL), les matériels (M1, M2, M3) et les fournitures (F1 à F10) utilisés.

Nota : ces données ne prennent pas en compte :

- les interventions suite à des accidents,
- les temps passés à la programmation des opérations de surveillance, d'entretien ou de réparation,
- les grosses réparations.

Détail matériel :

- **M1** : petit matériel (outillage) de base
consommation de gazole : 40 l/jour
- **M2** : matériel mécanisé et motorisé
consommation de gazole : 60 l/jour
- **M3** : matériel exceptionnel
consommation de gazole : 80 l/jour

Détail fournitures :

- **F1** : Appareils d'appuis
- **F2** : Joints de chaussée
- **F3** : Asphalte (chape étanche)
- **F4** : Mortier de réparation
- **F5** : Bordure de trottoir
- **F6** : Béton de trottoir
- **F7** : Béton Bitumineux
- **F8** : Grenaille (décapage GC)
- **F9** : Peinture de protection GC
- **F10** : Barrière de sécurité

Nota : si un produit utilisé dans l'ouvrage est renouvelé plusieurs fois pendant la durée de vie de l'ouvrage, les divers flux relatifs à ces matériaux doivent être multipliés par le nombre de remplacements (arrondi à l'entier supérieur) prévus dans l'ouvrage.

Exemple : pour un produit dont la durée de vie est de 20 ans, équipant un ouvrage dont la durée de vie est 100 ans, le nombre de remplacements à prendre en compte est égal à 4.

Nature des interventions	Détails de l'intervention	Unité	Nb	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
		u	Q	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour

A/ SURVEILLANCE

Inspection "Etat 0" (IDI)	Au cours de sa vie	u	1								
	Ingénieur	J	2	2							
	Technicien	J	8		8						
	Véhicule Léger	km	100				100				
	Passerelle	J	1,5							1,5	
	Signalisation	J	1						1		
Simple visite (type IQOA)	Tous les 3 ans <small>(retenu sur environ 70 %)</small>	u	20								
	Ingénieur	J	0,25	5							
	Technicien	J	2		40						
	Véhicule Léger	km	25				500				

Nature des interventions	Détails de l'intervention	Unité	Nb	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
		u	Q	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour

A/ SURVEILLANCE (suite)

Inspection détaillée périodique	Tous les 6 ans (retenu sur environ 50 %)	u	3								
	Ingénieur	J	2	6							
	Technicien	J	6		18						
	Véhicule Léger	km	100				300				
	Passerelle	J	2							6	
	Signalisation	J	1						3		
Inspection détaillée exceptionnelle	Au cours de sa vie	u	2								
	Ingénieur	J	2	4							
	Technicien	J	6		12						
	Véhicule Léger	km	100				200				
	Passerelle	J	2							4	
	Signalisation	J	1						2		

B/ ENTRETIEN COURANT

Actions d'entretien courant non spécifiques	Périodicité 1 fois / an	u	100								
	Ingénieur	J	0,1	10							
	Technicien	J	0,25		25						
	Véhicule Léger	km	10				1000				
	Matériel	J	0,1						10		
Nettoyage des joints de chaussée	Périodicité 1 fois / 5 ans	u	20								
	Ingénieur	J	0,5	10							
	Technicien	J	1		20						
	Ouvrier	J	1,5			30					
	Véhicule Léger	km	20				400				
	Matériel	J	1						20		
Nettoyage du dispositif d'évacuation des eaux	Périodicité 1 fois / 6 ans	u	16								
	Ingénieur	J	0,1	1,6							
	Technicien	J	1		16						
	Ouvrier	J	2			32					
	Véhicule Léger	km	20				320				
	Matériel	J	2						32		

Nature des interventions	Détails de l'intervention	Unité	Nb	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
		u	Q	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour
B/ ENTRETIEN COURANT (suite)											
Nettoyage des abords	Périodicité 1 fois / 6 ans	u	16								
	Ingénieur	J	1	16							
	Technicien	J	2		32						
	Ouvrier	J	8			128					
	Véhicule Léger	km	20				320				
	Poids Lourd	km	40					640			
	Matériel	J	4						64		
C/ PETITES RÉPARATIONS											
Remplacement du revêtement de chaussée	Périodicité	u	5								
	Ingénieur	J	3	15							
	Technicien	J	5		25						
	Ouvrier	J	18			90					
	Véhicule Léger	km	50				250				
	Poids Lourd	km	200					1000			
	Matériel	J	2								10
Changement des appareils d'appuis	Périodicité	u	1								
	Ingénieur	J	10	10							
	Technicien	J	40		40						
	Ouvrier	J	100			100					
	Véhicule Léger	km	50				50				
	Poids Lourd	km	50					50			
	Matériel	J	20						20	10	20

Nature des interventions	Détails de l'intervention	Unité	Nb	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
		u	Q	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour

C/ PETITES RÉPARATIONS (suite)

Changement des joints de chaussée	Périodicité	u	4									
	Ingénieur	J	4	16								
	Technicien	J	10		40							
	Ouvrier	J	20			80						
	Véhicule Léger	km	200				800					
	Poids Lourd	km	100					400				
	Matériel	J	20						80			
Remplacement de la chape d'étanchéité	Périodicité	u	2									
	Ingénieur	J	5	10								
	Technicien	J	10		20							
	Ouvrier	J	40			80						
	Véhicule Léger	km	300				600					
	Poids Lourd	km	150					300				
	Matériel	J	5						10	10		
Réfection du revêtement de trottoir	Périodicité	u	4									
	Ingénieur	J	3	12								
	Technicien	J	6		24							
	Ouvrier	J	15			60						
	Véhicule Léger	km	100				400					
	Poids Lourd	km	50					200				
	Matériel	J	5						20			
Réfection des corniches	Périodicité	u	2									
	Ingénieur	J	4	8								
	Technicien	J	10		20							
	Ouvrier	J	20			40						
	Véhicule Léger	km	200				400					
	Poids Lourd	km	50					100				
	Matériel	J	10						20			
Remise en peinture du garde-corps	Périodicité	u	4									
	Ingénieur	J	4	16								
	Technicien	J	8		32							
	Ouvrier	J	80			320						
	Véhicule Léger	km	400				1600					
	Poids Lourd	km	50					200				
	Matériel	J	20						80			

Nature des interventions	Détails de l'intervention	Unité	Nb	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
		u	Q	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour
C/ PETITES RÉPARATIONS (suite)											
Remplacement des dispositifs de sécurité	Périodicité	u	1								
	Ingénieur	J	4	4							
	Technicien	J	12		12						
	Ouvrier	J	60			60					
	Véhicule Léger	km	400				400				
	Poids Lourd	km	100					100			
	Matériel	J	15						15		
Reprise de béton dégradé	Quantité traitée sur les 100 ans	m²	100								
	Ingénieur	J	0,15	15							
	Technicien	J	0,3		30						
	Ouvrier	J	1,2			120					
	Véhicule Léger	km	10				1000				
	Poids Lourd	km	2					200			
	Matériel	J	0,3						30		
Reprise du revêtement anti-graffiti	Quantité traitée sur les 100 ans	m²	100								
	Ingénieur	J	0,05	5							
	Technicien	J	0,2		20						
	Ouvrier	J	0,5			50					
	Véhicule Léger	km	4				400				
	Poids Lourd	km	1					100			
	Matériel	J	0,05						5		
	Produit spécial	F	10								

Nature des interventions	Détails de l'intervention	Unité	Nb	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
		u	Q	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour

C/ PETITES RÉPARATIONS (suite)

Interventions sur les abords	Périodicité	u	3									
	Ingénieur	J	5	15								
	Technicien	J	10		30							
	Ouvrier	J	20			60						
	Véhicule Léger	km	100				300					
	Poids Lourd	km	50					150				
	Matériel	J	20						60			
	Fourniture	F	1									
Autres interventions diverses	Périodicité (4 fois en 100 ans)	u	4									
	Ingénieur	J	5	20								
	Technicien	J	10		40							
	Ouvrier	J	40			160						
	Véhicule Léger	km	200				800					
	Poids Lourd	km	50					200				
	Matériel	J	20						80			
	Fourniture	F	1000									

Nature des interventions	Matériaux utilisés	Unité	Nb	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
--------------------------	--------------------	-------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

C/ PETITES RÉPARATIONS

Remplacement du revêtement de chaussée	Béton bitumineux	t	70							350			
Changement des appareils d'appuis	Appareils d'appuis	dm ³	40	120									
Changement des joints de chaussée	Joints de chaussée	ml	15		60								
Remplacement de la chape d'étanchéité	Chape asphalte	t	30			60							
	Mortier (ragréage extradados)	t	5				10						
	Bordure T1	ml	104					208					
	Béton trottoir	m ³	20						40				
	Béton bitumineux	t	70							140			

Nature des interventions	Matériaux utilisés	Unité	Nb	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
--------------------------	--------------------	-------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

C/ PETITES RÉPARATIONS (suite)

Réfection du revêtement de trottoir	Asphalte	t	4			16							
Réfection de corniches	Mortier (enduit de ragréage)	t	0,5				1						
Remise en peinture du garde-corps	Grenaille	t	5								20		
	Peinture	kg	150									600	
Remplacement des dispositifs de sécurité	Garde-corps	ml	104										104
Reprise de béton dégradé	Mortier	t	0,05				5						

Tableaux récapitulatifs

Détails de l'intervention	Unité	Ing.	Tech.	Ouv.	Déplacement		Matériel		
	u	Jour	Jour	Jour	VL km	PL km	M1 jour	M2 jour	M3 jour
RÉCAPITULATIF sur les 100 ans									
Ingénieur	J	230							
Technicien	J		599						
Ouvrier	J			1 664					
Véhicule Léger (VL)	km				10 240				
Poids Lourd (PL)	km					3 740			
Matériel M1	J						592		
Matériel M2	J							51,5	
Matériel M3	J								76

Fournitures	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
RÉCAPITULATIF FOURNITURES sur les 100 ans										
	120 dm ³	60 ml	76 t	16 t	208 ml	40 m ³	490 t	20 t	600 kg	104 ml

Annexe 14

Principales informations sur la composition des bétons

N°	Désignation	Dosage en ciment (kg/m³)	Type de ciment	Sable 1 (kg)	Sable 2 (kg)	Gravillon 1 (kg)	Gravillon 2 (kg)	Addition	Adjuvants (%)	Eau efficace l
1	Béton de propreté	300	CEM II / A-L 52,5 N	A (370)	B (370)	C (380)	D (690)	-	F (1,66)	150
2	Béton de blocage et de remplissage	250	CEM II / A-L 52,5 N	A (370)	B (370)	C (380)	D (690)	-	F (1,66)	125
3	Béton de fondations profondes	385	CEM I 52,5 N PM ES CP2 NF	A (345)	B (345)	C (380)	D (680)	-	F (2,63) ou G (2,22)	185
4	Béton de dalle de transition	300	CEM II / A-L 52,5 N	A (370)	B (370)	C (380)	D (690)	-	F (1,66)	165
5	Béton de tablier	385	CEM II / A-L 52,5 N	A (330)	B (330)	C (300)	D (760)	E (35)	F (2,86) ou G (2,22)	170
6	Béton des semelles et culées	350	CEM II / A-L 52,5 N	A (361)	B (361)	C (310)	D (720)	E (27)	F (1,83)	180
7	Béton dalle appuis étaieement	350	CEM II / A-L 52,5 N	A (361)	B (361)	C (310)	D (720)	E (27)	F (1,83)	175
8	Béton pile longrines mur garde grève	420	CEM I 52,5 N PM ES	-	B (650)	C (400)	D (615)	-	F (2,86) et H (0,5)	155

Compositions des bétons

A : sable 0/2 Saône C2 B roulé

B : sable 0/4 Saône C2 B roulé

C : gravillon 4/12,5 cognard chazey semi-concassé

D : gravillon 10/20 cognard chazey roulé

E : addition bétocarb P2 225

Méac Gy Filler

F : adjuvant Sika 22 S

G : adjuvant viscocrète V2 Sika

H : adjuvant Chrysoair D Chryso

Provenance des ciments

CEM I 52,5 N CE PM ES CP2 NF : cimenterie LAFARGE CEMENTS de Val d'Azergues

CEM II / A-L 52,5 N CE CP2 NF : cimenterie CEMENTS CALCIA de Beffes•

Transport des ciments de la cimenterie jusqu'à la centrale BPE

Type de ciment	Quantité	Unité	Mode de transport	Nbre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
CEM I 52,5 N PM ES	53,4	t	Citerne ciment	2	110	110
CEM II A-L 52,5 N	251,1	t	Citerne ciment	10	175	175

• Transport des sables et des gravillons de la carrière jusqu'à la centrale BPE

Type	Quantité	Unité	Mode de transport	Nbre de camions	Distance aller (km)	Distance retour (km)
Sable	580	t	Camion benne	23	50	50
Gravillons	884	t	Camion benne	35	50	50

• Bilan transport ciments et granulats

Type de véhicule	Consommation (litres/100 km)	Nbre de km aller	Nbre de km retour	Consommation totale de gazole (litre)
Citerne ciment	38	1 970	1 970	1 497
Camion benne	38	2 900	2 900	2 204

Annexe 15

Recueil des données relatives aux coffrages et aux étaitements

• Désignation et composition

Désignation	Type de matériau	Qté	Unité	Informations complémentaires
Coffrage 1	Bois	3	m ³	Bastaings et planches, utilisés plusieurs fois sur le chantier, récupérés en fin de chantier
Coffrage 2	Bois	190	m ²	Contreplaqué filmé, ép. 15 mm 2 utilisations par face, brûlé en fin de chantier
Coffrage 3	Bois	125	m ²	Aggloméré CTBH, ép. 22 mm, utilisé uniquement sur le chantier
Banches 1	Acier	-	-	Ossature métallique Panneaux et banches PASCHAL 50 kg/m ²
Banches 2	Bois	160	m ²	Peau contreplaqué, ép. 19 mm Panneaux et banches PASCHAL
Etalement 1	Acier	-	-	Tours métalliques Mills
Etalement 2	Acier	-	-	Profilés et consoles métalliques
Coffrage 4	Acier	-	-	Plateaux coffrants du tablier Ossature métallique 40 kg/m ²
Coffrage 5	Bois	518	m ²	Plateaux coffrants du tablier Peau en contreplaqué, ép. 21 mm

• Estimation des amortissements

Désignation	Masse (T)	Durée d'immobilisation sur chantier (semaines)	Durée de vie estimée (années)	Amortissement %
Banches 1	8	9	20	0,9
Banches 2	3	9	1	17,3
Etalement 1	14	10	10	1,9
Etalement 2	78	10	20	1
Coffrage 4	20	10	10	1,9
Coffrage 5	11	10	2	9,6

Annexe 16

Bibliographie

- **Documentation technique Cimbéton : T89**
Analyse du Cycle de Vie des structures routières.
- **Documentation SNBPE**
Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire BPE : commentaires et fiche.
- **Norme NF 01-010**
Qualité environnementale des produits de construction.
Déclaration Environnementale et Sanitaire des produits de construction.
Partie 1. Méthodologie et modèle de déclaration des données.
- **Norme XP P 01-010-2**
Qualité environnementale des produits de construction.
Information sur les caractéristiques environnementales des produits de construction.
Partie 2. Cadre d'exploitation des caractéristiques environnementales pour application à un ouvrage donné.
- **FASCICULE DE DOCUMENTATION FD P 01-015**
Fascicule de données énergie et transport.
- **Norme NF EN ISO 14040**
Management environnemental - Analyse du Cycle de Vie - Principes et cadre.
- **Norme NF EN ISO 14041**
Management environnemental - Analyse du Cycle de Vie - Définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire.
- **Norme NF EN ISO 14042**
Management environnemental - Analyse du Cycle de Vie - Evaluation de l'impact du cycle de vie.
- **Norme ISO 14043**
Management environnemental - Analyse du Cycle de Vie - Interprétation du cycle de vie.
- **Norme NF ISO 14050**
Management environnemental - Analyse du Cycle de Vie - Vocabulaire.

- **FASCICULE DE DOCUMENTATION FD ISO/TR 14049**
Management environnemental - Analyse du Cycle de Vie - Exemple d'application de l'ISO 14041 traitant de la définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire.
- **Norme NF EN ISO 14020**
Etiquettes et déclarations environnementales - Principes généraux.
- **Vademecum AIMCC 2009**
Pour la réalisation des Analyses du Cycle de Vie dans le cadre de l'élaboration des FDES des produits de construction.

 egis structures
& environnement



7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. 01 55 23 01 00 • Fax 01 55 23 01 10
e-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr