Analyse du cycle de vie (ACV) d'un pont en béton

Août 2020

La démarche s'appuie sur le cas concret d'un pont courant en béton (Passage Supérieur en Dalle Précontrainte) représentatif du patrimoine des ouvrages d'art routiers et autoroutiers français. Le Guide technique CIMbéton T87 décrit de manière détaillée l'ensemble de la démarche, qui détermine les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie, afin de réaliser une évaluation globale de la qualité environnementale de l'ouvrage.

La démarche ACV inclut une réflexion complète et précise 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, piles et culées) 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.

L'ensemble des données relatives à l'ouvrage ont été inventoriées et collectées avec le plus de précision possible afin d'établir un bilan matières et énergies 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 Indicateurs Environnementaux ont été menées en conformité avec le référentiel normatif en vigueur.

La démarche ACV nécessite pour aboutir à une évaluation environnementale précise, une décomposition fine de l'ouvrage considéré comme un système (unité fonctionnelle) en sous-systèmes (parties d'ouvrages) et chaque partie d'ouvrages en sous-ensembles et en particulier une définition précise des modèles représentatifs des procédés de production , de consommation et d'émissions des matériels de transports et des engins de chantier .

Démarche suivie pour l'étude

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 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 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 Indicateurs Environnementaux afin d'évaluer l'impact environnemental global de l'ouvrage
8. Analyse des Indicateurs Environnementaux.

Source 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.
- Soit de bases de données d'organismes techniques : ATILH pour les ciments, UNPG pour les granulats, SNBPE pour le BPE ,CERIB pour les produits préfabriqués en béton…

Traitement des données

L'ensemble des données issues du recueil des informations sur l'ouvrage et des Inventaires de Cycle de Vie (ICV) ont été compilé afin de pouvoir déterminer les différents impacts environnementaux.

Une série d'indicateurs environnementaux avec leurs coefficients de pondération spécifiques, a également été identifiée et sélectionnée :

- 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 indicateurs sont issus de la norme NF P01-010 sur la « 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.

Ces indicateurs environnementaux permettent d'évaluer la contribution environnementale de l'ouvrage tout au long de son cycle de vie.

Les différents flux ont été pondérés au sein de chaque catégorie d'impact auxquelles ils contribuent 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. Différents types de méthodes de calcul 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.

Présentation générale de l'ouvrage etudié

Identification de l'ouvrage

Le guide présente la démarche détaillée d'Analyse de 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.

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

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

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 longueur, 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-grève et sont équipées d'une dalle de transition de 3 m de longueur.

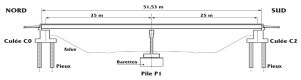
La pile intermédiaire est constituée d'un voile unique en béton armé de forme trapézoïdale (largeurs d'environ 4,50 m en pied et 6 m en tête) et d'épaisseur 0,70 m à sa base, qui s'épaissit (0,90 m en tête).

Elle est fondée par l'intermédiaire de trois barrettes de section 5 m x 0,80 m et de 2,10 m de longueur, surmontées d'une semelle de 3 m de largeur 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,.

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

Coupe longitudinale de l'ouvrage

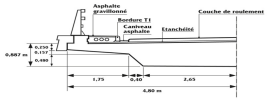


Le **profil en travers** sur l'ouvrage est constitué d'une chaussée de 6,60 m de largeur, avec un profil en toit déversé à 2,5 %, bordée de deux trottoirs de 1 m de largeur, soit une largeur utile de 8,60 m, pour une largeur totale du tablier de 9,60 m.

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).

Coupe transversale de l'ouvrage



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

- chape d'étanchéité feuille préfabriquée protégée 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.
- appareils d'appui
- joints de chaussée

Principales quantités mises en oeuvre

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	14165	kg
Coulis Super Stresscem	5,1	t
Aciers pieux des culées	3159	kg
Aciers hors pieux des culées	57050	kg
Corniches préfabriquées en BA C35/45	97,4	ml
Appareils d'appui en caoutchouc fretté	109	dm^3
BN4	136	ml
Joints de chaussée	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

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.

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.

L'analyse prend en compte les différentes étapes suivantes :

- Préparation du chantier
- Installations de chantier
- 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-traitante) à partir de leur domicile personnel ou du siège de leurs entreprises pendant toute la durée des travaux.

- Matériels de chantier
- Engins de chantier

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 = Durée d'utilisation (semaines) / Durée de vie (années) x 55 x 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.

Vie de l'ouvrage

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
- Petites réparations

La surveillance de l'ouvrage comprend :

- L'inspection détaillée initiale (état 0)
- La visite de type IQOA
- L'inspection détaillée périodique
- L'inspection détaillée exceptionnelle

L'entretien courant couvre :

- Le nettoyage des joints de chaussées
- Le nettoyage des dispositifs d'évacuation des eaux
- Le nettoyage des abords

Les petites réalisations réalisées 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 gardes corps
- Le remplacement des dispositifs de sécurité
- La reprise du béton dégradé
- La reprise des revêtements antigrafiti
- Les interventions sur les abords

L'analyse a considéré 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 (outillages 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 énergies des divers matériels lors des interventions
- A la fabrication des diverses fournitures, produits et matériaux et à leur livraison sur le site.

En accord avec le principe de l'ACV qui évalue des procédés ou des produits ayant un fonctionnement normal, il est considéré que l'ouvrage a été exécuté correctement, dans le respect des exigences contractuelles. Les conséquences d'évènements accidentels, chocs, incendies, dégâts des eaux ou autres n'ont pas été prises en compte.

Chaque matériel spécifique (camion, compresseur, groupe électrogène etc) a fait l'objet d'une décomposition en durée de fonctionnement (durée d'acheminement et durée d'utilisation) qui a pu être traduite en quantité de consommable énergétique.

Pour les fournitures, l'analyse a retenu les impacts relatifs à chacun d'eux en tenant compte de leur lieu de fabrication (ou en retenant comme point de départ l'importateur français) ainsi que de leur transport jusqu'au chantier.

Fin de vie

Scénario de fin de vie

A la fin de sa durée d'utilisation (prise égale à 100 ans) l'ouvrage sera déconstruit.

Les matériaux issus de la **démolition** 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.

Etapes de fin de vie prises en compte :

- Déconstruction de l'ouvrage
- Transport et stockage des matériaux
- Concassage des bétons

Synthèse de l'analyse du cycle de vie

L'ACV permet d'évaluer les impacts environnementaux d'une structure de Génie Civil selon une approche globale de l'ensemble des processus associés à la fabrication des matériaux, à sa réalisation et à son exploitation ainsi qu'à sa fin 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 5 : fin de vie
- Etape 2 : transport

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 58% pour les 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 inférieur 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 13% 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% pour les impacts : consommation de l'eau, déchets solides, pollution de l'air et formation d'ozone photochimique.

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.

L'étude peut 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 issus 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 apparaitre 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.

Constats

La répartition des impacts environnementaux selon les différentes phases du cycle de vie est présentée dans le tableau suivant. L'impact est exprimé, pour chaque **catégorie d'impact**, en pourcentage par rapport à l'impact de l'ensemble du cycle. L'analyse de gravité des résultats permet de mettre à jour deux étapes déterminantes dans l'ACV pour cet ouvrage, en termes de valeurs d'impacts: la production des matériaux et la vie de l'ouvrage. A elles deux, celles-ci concentrent 70% de la consommation d'énergie, 80% de l'épuisement des ressources et 100% de la formation d'ozone photochimique. A l'exception de la pollution de l'eau, les autres impacts trouvent quant à eux leur source quasi-exclusive dans l'étape de production des matériaux (l'étape "vie de l'ouvrage" inclut la production des matériaux des opérations de maintenance).

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

Répartition des impacts environnementaux selon les différentes étapes du cycle de vie

La fabrication des matériaux structurants reste l'élément clé en matière de consommation d'énergie et plus encore d'émissions de GES.
Les impacts imputables à l'étape "vie de l'ouvrage" trouvent leur origine principale dans les consommations de carburant des matériels et engins de chantier ainsi que dans les matériaux bitumineux (couche de roulement et étanchéité du tablier).

Synthèse des impacts environnementaux par étape du cycle de vie

Les résultats des impacts environnementaux pour chaque étape du cycle de fabrication sont synthétisés dans les tableaux ci-

dessous.

Indicateurs	Unités par UF	Fabrication	Transport	Réalisation	Vie de l'ouvrage	Fin de vie
Consommation de ressources énergétiques	10^3 Mj	2 492	350	1 345	1 981	372
Épuisement des ressources	kg équivalent antimoine	1 968	166	592	1 481	176
Consommation d'eau totale	10^3 Litre	2 646	33	165	355	34
Déchets solides	kg	49 944	28	307	1 163	29
Changement climatique	t équivalent CO_2	396	28	95	130	28
Acidification atmosphérique	kg équivalent SO_2	1 343	229	326	308	95
Pollution de l'air	10^3 m^3	53 425	2 023	2 413	5 570	696
Pollution de l'eau	10^3 m^3	183	36	127	203	38
Formation d'ozone photochimique	kg équivalent éthylène	90	-	-	114	-

Ratios clefs

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

- Le m^2 de surface utile du tablier
- Le m^2 de surface totale du tablier

Impact environnemental	Unités	Valeurs	m^2 de surface utile du tablier	m^2 de surface to
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	51 740	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*

Auteur

Patrick Guiraud

Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 28/11/2026 © infociments.fr