Analyse du cycle de vie : étude comparative de ponts

Juin 2017

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode normalisée, quantitative, multiétape et multicritère qui permet de quantifier les impacts environnementaux et d'apprécier la qualité environnementale d'un ouvrage sur la totalité de son Cycle de Vie.

La démarche a été appliquée au cas concret d'un pont courant en béton (Passage Supérieur en Dalle Précontrainte) représentatif du patrimoine des ouvrages d'art routiers et autoroutiers français puis à trois solutions alternatives : ouvrage PRAD, structure mixte Acier/Béton et structure mixte Bois/Béton.

L'ACV se révèle être un nouvel outil pertinent au service des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, ingénieurs et architectes pour concevoir, sélectionner et optimiser des solutions constructives respectueuses du principe du Développement Durable.

Présentation des solutions comparées

L'ouvrage de référence étudié est 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 RN80 – Route Centre Europe Atlantique (RCEA).

Caractéristiques générales de l'ouvrage de référence

L'ouvrage de référence (Passage Supérieur en Dalle Précontrainte : PSDP), qui comporte un unique tablier, possède deux travées de 25 m de portée, pour une longueur totale de 51,53 m.

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, coiffées par une semelle de 4 m de largeur et de 0,90 m d'épaisseur.

La pile intermédiaire est constituée d'un voile unique en béton armé de forme trapézoïdale (largeur d'environ 4,50 m en pied et 6 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 profondeur, surmontées d'une semelle de 4 m de largeur pour 6,40 m de longueur et 0,80 m d'épaisseur.

Le tablier repose sur ses appuis par l'intermédiaire de lignes de deux appareils d'appui en caoutchouc fretté. Il est équipé à ses extrémités de joints de chaussée à de 50 mm de souffle.

Le profil en travers de 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 coulé sur cintre est constitué d'une dalle nervurée de hauteur constante en béton précontraint : nervure de 5,30 m de largeur et d'épaisseur maximale à l'axe de 1,01 m et encorbellements de 2,15 m de largeur.

Le tablier est précontraint au moyen de 19 câbles de type 12 T 15,7 (Super), torons TBR de classe 1860 MPa.

Coupe longitudinale de l'ouvrage de référence (PSDP)

Coupe longitudinale de l'ouvrage de référence (PSDP)

Demi-coupe transversale de l'ouvrage de référence

Demi-coupe transversale de l'ouvrage de référence

Caractéristiques générales des trois solutions alternatives

Les trois variantes ont été dimensionnées en conservant les exigences géométriques (longueur, largeur, gabarit…) et fonctionnelles (profil en travers, équipements, trafic…) de l'ouvrage de référence.

Chaque tablier a fait l'objet d'un dimensionnement précis. Les appuis (piles et culées) tout en conservant des dimensions et formes analogues ont été adaptés aux efforts spécifiques générés par chaque solution. Les adaptations se traduisent par des variations des volumes et des quantités d'armatures. Les équipements sont conservés en totalité pour toutes les solutions.

Les moyens humains, les matériels et engins et les délais nécessaires à la réalisation de chaque solution ont été déterminés en adaptant ceux de la solution de référence. La réalisation de chaque tablier nécessite un personnel spécifique pris en compte en substitution du personnel prévu dans la solution de référence.

Des scénarios d'entretien et de maintenance des 3 solutions alternatives ont été mis au point à partir d'une logique et d'une politique de surveillance et d'intervention analogue à la solution de référence.

Les scénarios de fin de vie sont identiques pour toutes les solutions mais intègrent des quantités différentes de matériaux à transporter dans le site de valorisation.

Solution à poutres PRAD

Le tablier PRAD (Poutres Précontraintes par Adhérence) est constitué de deux travées de 25 m de portée entraxe d'appui.

Chaque travée est constituée de 11 poutres précontraintes par fils adhérents (torons 15T15.7 classe 1860) de section en I (50 x 95) à blochet. Les poutres sont fabriquées dans l'usine de préfabrication la plus proche du chantier et livrées par camion.

Sur chantier, les poutres sont posées à l'aide d'une grue mobile, sur appuis provisoires.

Demi coupe transversale solution PRAD

Demi coupe transversale solution PRAD

Les poutres sont ensuite solidarisées par un hourdis en béton coulé en place (sur des coffrages perdus non participants) et reliées entre elles par des entretoises au niveau des appuis.

Solution mixte acier/béton

La solution mixte Acier/Béton est un bipoutre Acier/Béton, dont le tablier est constitué de deux poutres acier (PRS) associées à des entretoises et connectées à une dalle en béton armé. La connexion est assurée par des goujons soudés sur la semelle supérieure des poutres.

Les poutres sont en acier de nuance S 355 et S 355 N, les entretoises sont des profilés laminés. Elles sont fabriquées dans l'usine la plus proche du chantier par tronçon de 18 m et livrées sur chantier par camion.

Sur le site, la charpente entièrement assemblée au sol (poutres et entretoises) est mise en place au moyen de grues automotrices.

La dalle béton est réalisée par bétonnage en place et armée à un taux d'armatures de 230 kg/m2.

Elle a une largeur totale de 9,60 m et une épaisseur de 25 cm au milieu et 30 cm sur les poutres. Pour les encorbellements l'épaisseur est variable de 30 à 25 cm en rive. Les poutres ont un écartement transversalement de 6 m avec des encorbellements de 1,80 m. Elles ont une hauteur constante de 1,15 m. Elles sont reliées transversalement par des entretoises (IPE 600) sur les culées et la pile et tous les 6,50 m en travée.
Les poutres ont une semelle supérieure et inférieure de largeur respective 700 et 900 mm. Leur épaisseur est variable avec un minimum de 20 mm et un maximum de 50 mm sur la pile. L'âme a une épaisseur de 15 mm.

Demi coupe transversale solution mixte acier/béton

Demi coupe transversale solution mixte acier/béton

La dalle est coulée suivant un phasage classique de pianotage en 5 plots en commençant par les culées et se terminant par le dernier plot sur pile à l'aide d'un outil coffrant.

Solution mixte bois/béton

Le tablier du pont mixte Bois/Béton est constitué de poutres en bois lamellé collé sur lesquelles est connectée une dalle en béton armé grâce à des connecteurs métalliques. Le tablier est composé de deux travées isostatiques de 25 m de longueur.

La dalle en béton armé d'épaisseur moyenne 16 cm est constituée de prédalles de 8 cm préfabriquées, reposant sur la charpente en bois et faisant office de coffrage perdu, associées à un béton de seconde phase, coulé en place et enrobant les connections métalliques.

Les sept poutres en bois lamellé collé de classe GL 28 et de classe d'emploi 3, espacées de 1,3 m sont disposées

symétriquement par rapport à l'axe longitudinal du tablier. La poutre de rive est positionnée à 0,9 m de la rive de manière à lui assurer un environnement hydrique sain avec une protection des pluies les plus fréquentes. Une protection par lasure est appliquée sur le bois.

Les poutres ont une hauteur constante de 1,70 m et une largeur de 0,42 m (2 x 0,21).

Les poutres en bois sont préalablement fabriquées en usine. Elles sont transportées par camion jusqu'au chantier. Leur mise en place est effectuée, travée par travée, au moyen d'une grue équipée d'un palonnier.

Demi coupe transversale structure mixte bois/béton

Demi coupe transversale structure mixte bois/béton

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Principales quantités des 4 solutions

Source de données

Les données environnementales utilisées dans cette ACV comparative sont issues en particulier de :

- La base de données DIOGEN de l'Association Française de Génie Civil : AFGC ;
- Bases de données publiques (FDES répertoriées dans la base INIES) ;
- Bases de données internationales accessibles via Internet.
- Certaines données ont été aussi collectées auprès des organismes tels que, l'ATILH pour le ciment, le SNBPE pour le béton, l'UNPG pour les granulats.

Analyse et synthèse de l'ace comparative

L'analyse des résultats permet de mettre en évidence la part déterminante de 2 étapes du Cycle de Vie quel que soit le type d'ouvrage et pour tous les impacts.

Étape 1 – Fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier :pour cette étape, la production des matières premières (ciments, acier…) est la plus impactante.

Étape 4 – Vie de l'ouvrage :les enrobés bitumineux constituant la couche de roulement ont une contribution significative dans le bilan global, compte tenu des scénarios d'entretien retenus.

Le classement global des étapes pour les 4 ouvrages est le suivant :

Étape 1 – Fabrication des matériaux, matériels et engins de chantier ;

Étape 4 – Vie de l'ouvrage ;

Étape 3 – Réalisation de l'ouvrage ;

Étape 2 – Transport ;

Étape 5 – Fin de vie.

Comparaison des 4 ouvrages étudiés

L'analyse des valeurs des impacts environnementaux pour les 5 étapes du cycle de vie et l'ensemble du cycle de vie pour les 4 ouvrages étudiés permet de synthétiser les principales conclusions suivantes :

- Aucun type d'ouvrage se distingue par des valeurs d'impacts toutes plus faibles ou toutes plus élevées que les autres solutions.
- Chaque solution obtient pour quelques impacts des valeurs plus faibles que les autres solutions.

Une analyse intégrant la globalité des résultats aboutit au classement suivant des 4 solutions alternatives :

- PSDP BPE ;
- PRAD ;
- Mixte bois/béton ;
- Mixte acier/béton.

Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été effectuée afin d'évaluer l'incidence de paramètres clefs sur les valeurs des impacts pour les 4 solutions étudiées et pour les diverses étapes du cycle de vie.

- **PSDP PBE** : béton du tablier BHP 80 MPa au lieu de 40 MPa – Tous les ciments remplacés par du CEM II/A – Distance de transport du béton BPE 50 km au lieu de 29 km – Scénario d'entretien divisé par 2 ;
- **PRAD** : tous les ciments des bétons BPE remplacés par du CEM III/A – Distance de transport des poutres 800 km au lieu de 400 km et 200 km au lieu de 400 km – Scénario d'entretien divisé par 2 ;
- **Mixte acier/béton** : tous les ciments des bétons BPE remplacés par du CEM III/A – Poutres en acier à haute limite élastique – Distance de transport des poutres 200 km au lieu de 800 km et 1600 km au lieu de 800 km – Scénario d'entretien divisé par 2 ;
- **Mixte bois/béton** : tous les ciments des bétons BPE remplacés par du CEM III/A – Distance de transport des poutres 500 km au lieu de 100 km et 1 000 km au lieu de 100 km – Scénario d'entretien divisé par 2.

Ratio clé

Le tableau ci-dessous donne la valeur de chaque impact pour les 4 ouvrages étudiés en fonction du mètre carré de surface totale du tablier (500 m2).

Ratio clé

Ratio clé

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 26/11/2026 © infociments.fr