



## résumés — abstracts

### **GUIDE D'AIDE AU CHOIX DES CLASSES D'EXPOSITION POUR MAITRISER LA DURABILITÉ DES OUVRAGES EN BÉTON**

François TOUTLEMONDE, Henry THONIER,  
Patrick GUIRAUD, Philippe FRANCISCO

Les textes normatifs européens relatifs aux ouvrages en béton et produits préfabriqués structuraux prennent en compte la durabilité en s'appuyant sur la notion de classe d'exposition. Ces classes traduisent les actions dues à l'environnement auxquelles le béton et les armatures de chaque partie d'ouvrage vont être exposés pendant la durée d'utilisation de la structure. Leur spécification est de la responsabilité du maître d'œuvre qui se trouve ainsi engagé dans l'expression des risques et des conditions d'exploitation de la structure qu'il commande. Les visées spécifiques des différentes normes et la multiplicité des praticiens concernés ont conduit à une nécessaire mise en commun des interprétations, de façon à aider à une spécification homogène des classes d'exposition, compte tenu des enjeux économiques liés à la durabilité des ouvrages. Un groupe de travail créé au sein de l'École Française du Béton a coordonné la préparation d'un guide pour aider les rédacteurs de cahiers des charges à choisir les classes d'exposition pour les catégories d'ouvrages ou de constructions concernées : ouvrages de bâtiment, ponts, ouvrages maritimes et fluviaux, tunnels et ouvrages souterrains, ouvrages divers de génie civil. Ce guide constitue une indication du consensus technique actuel cohérent avec les niveaux d'exigence prescriptifs et/ou performantiels associés, à ce jour, aux classes d'exposition, en lien avec les durées d'utilisation de projet de référence en vigueur. Il contribue à rendre possible une réponse optimisée et responsable aux objectifs de durabilité en termes de formulation des bétons et de conception des ouvrages.

### **GUIDE TO THE CHOICE OF EXPOSURE CLASSES FOR A BETTER CONTROLLED DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES**

*European standards related to concrete structures and to structural precast products take durability into account using the concept of exposure classes. These classes express environmental effects which concrete and reinforcement of each part of the structure will be submitted to during the structure service life. It is the owner's responsibility to specify them, so that he is engaged in defining the risks and operation conditions associated to the structure he orders. The specific scopes of the different standards and the variety of concerned practitioners who will use them have led to share interpretations for favouring homogeneous specification of exposure classes, considering the economic stakes associated to structures durability. A task group was thus created within EFB (the French Foundation for Concrete Knowledge) in order to coordinate preparation of a guidance document intended to help specifications writers in selecting exposure classes for the structures concerned : building components and constructions, bridges, marine structures, tunnels and other civil works. This guide indicates the present technical consensus in consistence with prescriptive and/or performance-based up-to-date requirements associated to the exposure classes and to the reference design service lives presently in force. It contributes to make a responsible, consistent and optimized approach of durability possible, in terms of concrete proportioning and engineering and of structural design.*

### **APPROCHE PERFORMANTIELLE DE LA DURABILITÉ DES OUVRAGES D'ART EN BÉTON : PRÉSENTATION ET EXEMPLES D'APPLICATION SUR LE RÉSEAU DE LA DIR CENTRE EST**

Bruno GODART, Brigitte MAHUT, Didier BRAZILLIER, Christophe AUBAGNAC, Bruno BOULET

L'article présente la nouvelle approche performantielle de la durabilité des ouvrages d'art en béton telles qu'elle est exposée dans le guide technique publié par le LCPC en mars 2010. Il décrit les 6 étapes de cette méthodologie : le choix de la durée d'utilisation de projet, la prise en compte des conditions d'environnement et les principaux risques de dégradation traités, la sélection des indicateurs de durabilité et les spécifications associées, la formulation du béton incorporant les épreuves d'étude, les épreuves de convenance et de contrôle, et la façon de constituer le point zéro de la durabilité sur ouvrage.

Pour étayer cette approche et prendre la mesure des éventuelles difficultés de mise en œuvre, la Direction Interdépartementale des Routes Centre-Est a testé cette nouvelle méthode sur deux de ses chantiers :

- un viaduc en Saône et Loire à Volesvres avec la réalisation des essais induits par l'approche performantielle en parallèle d'un CCTP classique et des contrôles habituels. Cet ouvrage a également été équipé de capteurs de corrosion électro-chimiques pour suivre en réel l'effet de la carbonatation et de la pénétration des chlorures ;
- un viaduc dans l'Allier sur la déviation de Montluçon avec la rédaction du CCTP selon une approche de durabilité spécifiée de 100 ans via une porosité à l'eau inférieure à 12% et une perméabilité accessible aux gaz inférieure à  $150 \text{ } 10^{-18} \text{ m}^2$  sans autres prescriptions que le respect des normes pour les composants.

L'article conclut sur les premiers retours d'expérience sur les plans scientifique, pratique et organisationnel, ainsi que sur les retombées potentielles en matière de développement durable sur la conception des infrastructures.

### **PERFORMANCE BASED APPROACH OF THE DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES: INTRODUCTION AND EXAMPLES OF APPLICATION TO THE NETWORK OF THE CENTRE-EST DIR**

*The paper presents a new performance based approach to the durability of concrete structures as it is exposed in the technical guide published by LCPC in March 2010. It describes the six steps of this methodology: the choice of the design working life, the consideration of environmental conditions and main risks of damage dealt with, the selection of durability indicators and related specifications, the formulation of concrete incorporating the tests for study, convenience and control, and the way to establish the zero state of the durability of the structure on site.*

*To support this approach and take the measure of possible difficulties of implementation, the "Centre Est" Interdepartmental Directorate of Roads has tested this new method on two of its projects:*

- *a viaduct in Saône et Loire Department at Volesvres with the tests generated by the performance approach in parallel with a*



*conventional CCTP and normal controls. This structure has also been equipped with electrochemical corrosion sensors for monitoring the real effect of carbonation and chloride penetration;*

- *a viaduct in Allier Department on the deviation of Montluçon by drafting the CCTP according to a durability approach specified over 100 years through a porosity to water below 12% and a permeability to gas below  $150 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$  without any other additional requirements than those conforming to the standards for components.*

*The article concludes with the first feedback on the scientific, practical and organizational aspects, as well as with the potential benefits in developing sustainable infrastructure design.*

## ANALYSE DU CYCLE DE VIE D'UN PONT

Christophe AUBAGNAC, Patrick GUIRAUD,  
Guillaume HABERT, Amélie SEMAT-PONCHEL,  
Yannick TARDIVEL, Christian TRIDON

L'Analyse du Cycle de Vie (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 démarche normalisée, quantitative, multiétapes et multicritères permet de quantifier les impacts environnementaux et d'apprécier la qualité environnementale d'un ouvrage sur la totalité de son cycle de vie.

Cette 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. Nous avons d'abord collecté, les entrants (matières ou énergies consommés 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 nous avons déterminé les impacts environnementaux générés par l'ouvrage au cours de l'ensemble de son cycle de vie.

Dans cet article nous présentons les principaux résultats en terme d'impacts environnementaux du cycle de vie d'un pont courant en béton. Une étude de sensibilité de ces impacts est ensuite effectuée afin de valider la robustesse des résultats.

Cet article permet ainsi de synthétiser les principaux acquis de cette étude et les connaissances et expertise à développer pour décliner l'utilisation de la démarche à l'ensemble des ouvrages de Génie Civil.

## LIFE CYCLE ANALYSIS OF BRIDGE

*Life Cycle Assessment (LCA) method is the most appropriate method to evaluate the environmental impact of a product or a process. The methodology follows standards and allows a quantification of different environmental impacts which is necessary to appreciate the environmental quality of a structure during all its life cycle.*

*In this study, this method has been applied to the specific case of a concrete bridge (Prestressed concrete bridge) which is common to the panel of French bridges. Input and output data have been collected for each step of the life cycle. Environmental impact calculation has then been determined following NF P 01-010 standards.*

*In this paper, the environmental impacts for the whole life cycle of the bridge are shown and a sensitivity analysis is performed to evaluate the robustness of the results. This paper allows then to gather the main knowledge that this study has highlighted in order to better apply this methodology for further building structure in the near future.*

## L'A65, UNE CONCEPTION ENVIRONNEMENTALE ÉVOLUTIVE MÊME EN PHASE CHANTIER

Sandrine CHOTARD, Didier KOENIG

L'A65, autoroute de Gascogne, première autoroute française construite après le Grenelle de l'Environnement, se devait d'être exemplaire du point de vue de la préservation de la qualité de vie des habitants, de la protection de l'environnement et de la biodiversité.

La conception multicritère développée par le groupement Concepteur – Constructeur, GIEA65 piloté par EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS, a permis de définir le tracé de moindre impact de l'A65 en intégrant l'ensemble des enjeux environnementaux et les usages répertoriés d'un secteur tout en respectant les engagements de l'État. La nouveauté sur l'A65 a été d'avoir dimensionné les ouvrages, non plus seulement sur des considérations hydrauliques, mais également sur des considérations écologiques.

La conception s'est poursuivie en phase chantier en interaction directe avec les aléas terrain (terrain instable, source,...). Elle a aussi été évolutive pour atteindre l'objectif de transparence écologique maximale de l'infrastructure. En effet, durant la phase travaux, des ingénieries spécialisées ont été missionnées pour auditer le travail de conception afin de valider les aménagements spécifiques à chaque contexte et de les adapter si besoin. Ce travail a permis d'identifier les ouvrages « déjà adoptés » par la faune, avant même l'achèvement des travaux.

Cette phase avait pour objectif de confronter le projet conçu à la réalité terrain avec la part d'inconnu lié au comportement de la faune vis-à-vis des perturbations et des aménagements.

La construction de l'A65 ne pouvait qu'impliquer des mesures de protection strictes en phase chantier pour s'assurer la protection de la ressource en eau, de la sauvegarde des espèces et des habitats en associant une formation et sensibilisation du personnel.

## THE A65 MOTORWAY – A PROGRESSIVE ENVIRONMENTAL DESIGN CONCEPT EVEN AT THE CONSTRUCTION STAGE

*The A65 motorway in south west France was the first French motorway to be built after the Grenelle Agreement's environmental legislation came into force. It was therefore duty bound to set an example in safeguarding local residents' quality of life, protecting the environment and enhancing biodiversity.*

*The design and construction consortium GIEA65 headed by EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS came up with a multi-requirement design enabling the definition of a motorway layout with limited impact on the environment and including impact-offset zones. A balance was maintained between consideration for environmental issues and local needs and activities on the one hand, and honouring administrative commitments on the other. Structural dimensions were no longer established according to hydraulic criteria alone, but also on the basis of environmental issues – a major innovation.*

*The concept progressed throughout the construction stage, interacting with building-site difficulties such as unstable land, or a spring. Environmental transparency targets set for the infrastructure were reached. While building was underway, specialized engineers were assigned to audit the design concept and approve developments specific to each particular context, adapting them if need be. They were thus able to identify structures "already adopted" by local fauna even before the completion of building work. The aim of this phase was to confront a project designed around practical site realities with*

*the hitherto unknown behaviour of fauna faced with disturbance and changes in habitat.*

*Building the A65 motorway necessarily involved strict protection measures at the construction stage to ensure the preservation of water resources, species and habitats, training the workforce and raising awareness.*

## **DIOGEN : BASE DE DONNÉES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES MATERIAUX POUR LES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL**

Guillaume HABERT, Yannick TARDIVEL,  
Christian TESSIER

Les premières études d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) d'ouvrages de génie civil ont permis de mettre en évidence que les impacts environnementaux liés à la production de matériaux et de l'énergie constituaient des données déterminantes. En raison de leur importance, ces données doivent donc être fiables, ce qui suppose l'identification des sources et la préservation de la traçabilité, exigences qui peuvent se heurter à des chaînes d'approvisionnement longues ou des systèmes qualité inadaptés.

Les données doivent en outre être représentatives, à la fois de l'objet étudié et des technologies de production des matériaux. Il est donc nécessaire de connaître la destination du matériau et les critères de certification autorisant son utilisation pour choisir des valeurs d'impacts adaptées, dans la mesure où elles sont disponibles.

Au-delà du recensement des données disponibles, DIOGEN propose une méthodologie de qualification des données qui doit permettre d'évaluer la confiance que l'on peut accorder aux valeurs proposées par les producteurs de matériaux et par les bases de données. A l'issue de ce travail, une donnée environnementale se verra attribuer un indice de confiance qui reflètera notamment sa fiabilité et son adéquation avec son domaine d'application, à savoir le génie civil.

Le concepteur d'ouvrages de génie civil pourra donc s'appuyer sur DIOGEN pour construire une évaluation environnementale représentative et fiable à partir de données matériaux (domaine "cradle-to-gate"), puis y adjoindre les données relatives aux autres étapes du cycle de vie étudiées.

## **DIOGEN: ENVIRONMENTAL IMPACT DATABASE OF MATERIALS FOR CIVIL WORKS**

*Previous Life Cycle Assessment (LCA) studies on civil engineering works highlight that it is critical to have reliable data on the environmental impacts associated with the production of materials. This requires being able to identify sources and trace data through long supply chains.*

*Data must also be representative of both, the object of the study and the technologies used to produce the materials. It is therefore necessary to know the destination of the material and the criteria for certification allowing its use in order to choose suitable data. Beyond data collection, DIOGEN provides a methodology for calculating how trustworthy data provided by industries and*

*environmental database is. Following this work, a trust index that reflects the reliability and the relevance for civil engineering applications of environmental data will be assigned for each environmental product declaration.*

*The designer of engineering works can therefore rely on DIOGEN database to build a representative and reliable LCA study, using data materials (field "cradle-to-gate"). Then further data for other stages of life cycle can be added.*

## **CONTRÔLE DES EFFORTS DANS LES HAUBANS ET SUSPENTES : UNE NÉCESSITÉ POUR LA GESTION DES OUVRAGES D'ART**

C. SAUVAGE, P. GILLES

La connaissance des efforts dans les haubans, suspentes ou câbles de post contrainte extérieure est une donnée importante tout au long de la vie d'un pont.

Lors de la construction, cette information va permettre de contrôler la bonne répartition des efforts dans la structure. En outre, pour les ponts haubanés, la valeur exacte de ces efforts intervient dans le réglage final nécessaire pour obtenir le profil en long souhaité.

Durant toute la vie de l'ouvrage, la vérification de ces valeurs va permettre de contrôler son bon fonctionnement et de mettre rapidement en évidence l'existence de désordres.

La mesure des fréquences propres permet aisément de déterminer ces efforts. C'est une technique rapide et précise (incertitude de 2 à 5 %).

L'article débute par un rappel de la méthode et se poursuit par l'exposé de quelques cas pratiques investigués par la Direction de l'Expertise des Ouvrages. Plusieurs types de campagnes de mesures sont évoqués : mesure durant la construction (viaduc de Millau), contrôle lors de l'essai de chargement et suivi des efforts durant la vie du pont.

## **FORCE MEASUREMENT IN STAY CABLES AND STRUTS: A NECESSITY FOR BRIDGE MANAGEMENT**

*Knowledge of forces in stay cables, struts or post-tensioning cables is very important all along the bridge life.*

*During the bridge erection, this information will allow to control the uniform stress repartition in the deck structure. Further more for stay bridges, the exact forces has to be known to adjust the longitudinal profile.*

*During bridge life, these forces must also be control to verify good structural behaviour.*

*Determining the forces by measuring own frequencies is a rapid and accurate (2 to 5%) method.*

*This paper explains the measurement method and afterwards, it presents some measurements cases performed by the Direction de l'Expertise des Ouvrages. Different kinds of campaigns are described: measurements during bridge erection (Millau viaduct) and forces control during load test or bridge life.*