

# LA CARBONATATION DU BÉTON ARMÉ

*C. Girard*

Division ST – Technical Facilities Management (ST/TFM)  
CERN, Genève, Suisse

## Résumé

Ce document présente les divers aspects de la carbonatation du béton armé: Description des diverses réactions chimiques qui conduisent à la carbonatation des bétons. Comment le  $pH$  du béton se modifie laissant les armatures dans un milieu acide, donc corrosif. Description des conséquences sur les bétons et les armatures. Formation de cloques de surface, éclatement et perte de résistance. Méthodes d'investigation des dégâts d'ouvrages en béton armé visuelle, électrique, et par carottage. Prophylaxie passive et active: disposition des armatures lors de la réalisation, utilisation d'armatures inoxydables ou de fers enrobés de peinture epoxydique, protection des aciers lors de travaux d'assainissement. Principes d'assainissement du béton armé sur ouvrages anciens. Purge des bétons, passivation et protection des armatures et reconstitution au mortier de résine, ou passivation par infiltration du béton. Impact sur les ouvrages du CERN et conséquences financières prévisibles.

## 1. INTRODUCTION

L'apparition des premiers bétons se situe à la fin du premier quart du XIXème siècle lorsque la chaux hydraulique, liant utilisé jusqu'alors, est remplacée par le ciment Portland.

C'est vers 1870 que l'on introduit des barres d'acier dans le béton afin de compenser sa faible résistance à la déformation et plus particulièrement à la traction. Le béton armé est né. Ce n'est cependant que vers 1900 que le béton armé remplace peu à peu les structures métalliques dans la construction d'ouvrage de génie civil. Les premières théories des calculs statiques apparaissent 30 ans plus tard. Les formes hardies que permet le béton armé sont monnaie courante dès la deuxième moitié de notre siècle, et plus particulièrement grâce à la découverte du béton précontraint.

## 2. CHIMIE DU BÉTON ET FORMATION DE LA CARBONATATION

### 2.1 Composition du béton

#### 2.1.1 Le béton

Le béton est obtenu en incorporant du ciment (environ 300 kg par m<sup>3</sup> de béton) à un mélange de sable et graviers de diverses granulométries, le tout additionné de 150 à 175 litres d'eau.

#### 2.1.2 Le ciment

Il existe plusieurs sortes de ciment offrant des caractéristiques différentes. Le plus usuel est le ciment dit "Portland".

Le ciment "Portland" est issu de la cuisson à haute température d'un mélange d'environ 2/3 de silicate de calcium (roche calcaire), le reste étant composé principalement d'oxydes de fer et d'oxydes d'aluminium.

L'hydratation des silicates de calcium provoque le durcissement du mélange (la pâte de ciment).

### 2.1.3 Le béton armé

Le béton armé est l'intime assemblage de barres d'acier et de béton afin de compenser la mauvaise tenue de ce dernier à la traction. Cet assemblage est rendu possible grâce à la dilatation comparable des deux matériaux.

## 2.2 La carbonatation

### 2.2.1 Chimie

La carbonatation est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie.

La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence.

A partir d'une distance de 25 à 30 mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment. Le pH reste stable à une valeur d'environ 11. La corrosion ne se manifeste pas.

Compte tenu de l'absence d'échanges gazeux, les bétons immergés ne carbonatent pas. Il est à remarquer que des manifestations de carbonatation peuvent survenir sur des faces intérieures de béton lors de climatisation et d'humidification de l'air ambiant.

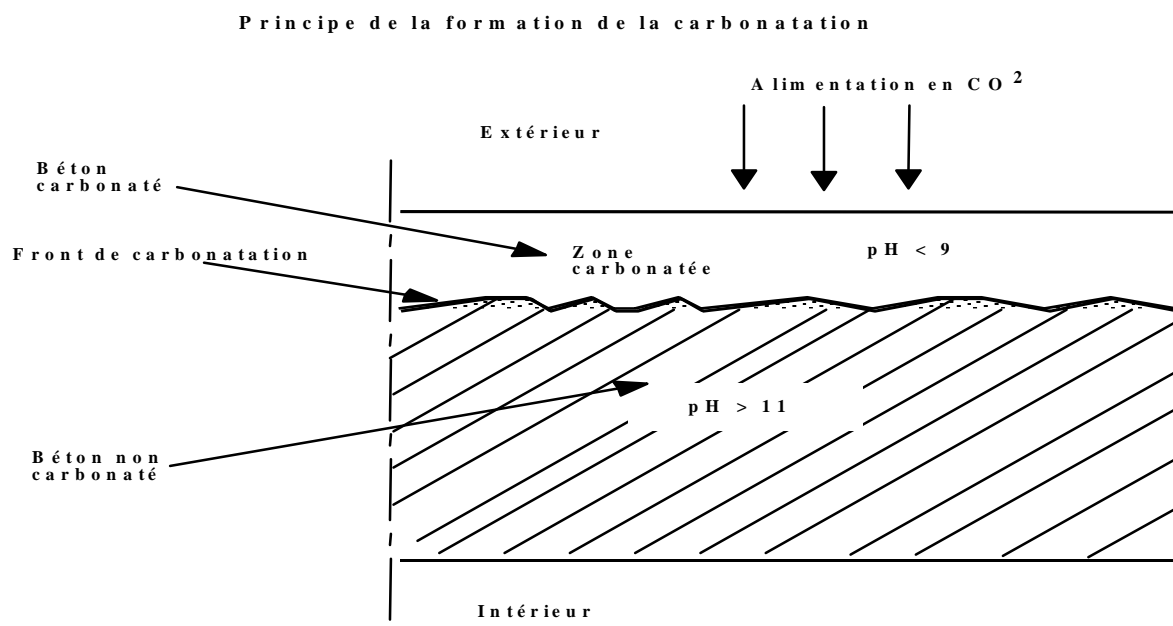


Figure 1 - Coupe théorique d'un mur en béton.

### 2.2.2 Conséquences

Les armatures métalliques incorporées au béton à une distance inférieure à 25 mm de la surface se trouveront, dans les conditions habituelles de construction, soumises à la corrosion.

Lors de sa formation, la rouille foisonne et fait éclater l'épiderme du béton déplaçant du même coup le front de carbonatation.

## 3. TECHNIQUES D'INVESTIGATION

Les différentes techniques d'investigation sont:

- l'observation visuelle directe;
- le prélèvement d'échantillons (carottes ou éclats);
- la détermination de l'âge du béton;
- mesure du *pH* par contact avec des réactifs;
- la mesure électrique afin de localiser les armatures et d'en déterminer leur diamètre et la distance du front de carbonatation.

## 4. MÉTHODES D'ASSAINISSEMENT ET ACTIONS PRÉVENTIVES

### 4.1 Carbonatation avec éclats et armatures apparentes

Les diverses étapes de restauration sont énumérées ci-après:

- Lavage, bouchardage, hydrodémolition du béton afin de détacher toutes les parties non solidaires de l'ensemble.
- Décapage par sablage des armatures, couper celles très corrodées.
- Protection des fers par un revêtement alcalin.
- Réalisation de l'adhérence à la structure par l'emploi de mortiers de résine.
- Application d'un enduit de finition micro-perméable et éventuellement d'une peinture micro-poreuse.

### 4.2 Carbonatation sans ou avec très peu de dégâts

Il est possible de ré-alcaniser le béton et donc de recréer un environnement fortement basique autour des armatures, par infiltration de substances alcalines. Cette solution respecte les caractéristiques esthétiques et géométriques initiales de l'ouvrage.

Cette technique consiste en l'application contre la surface à traiter d'un "manteau" composé d'une pâte cellulosique, imbibée d'une solution alcaline, installée contre un treillis métallique. Une circulation électrique est mise en place entre l'armature du béton et le "manteau". En deux à trois semaines, la solution alcaline est passée dans le béton. Le milieu est à nouveau non corrosif. Il convient ensuite de laver la surface et d'y appliquer une peinture micro-poreuse.

Cette méthode n'est toutefois utilisée que lorsque les effets de la carbonatation sont minimes, elle est plutôt considérée comme prophylactique.

### 4.3 Actions préventives

Assurer une distance de 30 mm entre les armatures et les faces du béton.

Les dernières normes en la matière le stipule très clairement.

Pour des ouvrages particuliers en milieux très exposés, il est possible d'utiliser des armatures zinguées, revêtues de composés époxydiques ou en acier inoxydable.

## 5. PATRIMOINE DU CERN, SITUATION ET COÛT DE REMISE EN ÉTAT

Environ 15 000 m<sup>2</sup> de béton armé sont susceptibles de subir les méfaits de la carbonatation. Il s'agit essentiellement des façades des bâtiments mais aussi d'autres ouvrages, tels que ponts, châteaux d'eau, réservoirs, stations de pompage.

L'analyse statistique montre divers degrés de détérioration et donc de réfection.

Les types de dégâts et leur coût de réfection sont classés ci-après par catégorie.

- *Type "A"*: Dégâts superficiels et ponctuels, nécessite une purge partielle des parties atteintes, la réfection au mortier de résine, et l'application d'une peinture micro-poreuse de protection/ finition.  
Surface considérée, environ 2 000 m<sup>2</sup>, soit CHF 600'000.--.
- *Type "B"*: Dégâts marqués et généralisés, nombreux éclats de béton, fers apparents et très rouillés. Nécessite un décapage important par hydrodémolition, la coupe d'armatures, la réfection au mortier de résine, et l'application d'une peinture micro-poreuse de protection / finition.  
Surface considérée, environ 8 400 m<sup>2</sup>, soit CHF 3'800'000.--
- *Type "C"*: Dégâts comparables à ceux du type "A" avec application de la méthode de réfection par passivation électrochimique du béton et l'application d'une peinture micro-poreuse de protection/ finition.  
Surface considérée, environ 4 300 m<sup>2</sup>, soit CHF 2'500'000.--.

Le total des besoins se monte à environ CHF 6'900'000.-- (Site de Meyrin). Les opérations de réfection des façades nécessitent l'installation d'échafaudages dont le coût n'est pas négligeable. Il convient d'organiser l'ensemble des travaux de façade (menuiserie, joints, stores, etc.) lorsque les moyens d'intervention sont en place. Des budgets additionnels sont à prévoir conjointement à ceux nécessaires à la réfection des bétons.

## 6. CONCLUSION

Le patrimoine du CERN, site de Meyrin, évalué à environ 800 millions de francs suisses, doit être entretenu, il est notre outil de travail. Le budget nécessaire à la réfection des bétons atteints par les méfaits de la carbonatation ne représente que **8,6 %**.