Spécialité : Réparation des bétons armés carbonatés

Bac S 2016 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Expliquer comment savoir si un morceau de béton est carbonaté.

Données utiles béton sain : pH entre 12 et 14 ; béton carbonaté : pH voisin de 8 ; phénolphtaléine : incolore si pH < 8, rose au-delà

La carbonatation consomme les ions hydroxyde HO^- du béton : son pH passe de 12-14 (béton sain) à environ 8 (béton carbonaté).

On prélève un échantillon et on pulvérise de la phénolphtaléine sur la tranche :

- zone **rose** : pH élevé, le béton est sain ;
- zone **incolore** : le pH a chuté, le béton est carbonaté.

Le béton carbonaté est celui qui reste incolore après pulvérisation de phénolphtaléine.

COMPRENDRE

Un indicateur coloré change de teinte selon le pH. Ici la teinte rose signale un milieu nettement basique, celui où les armatures en acier restent protégées par leur couche d'oxydes.

2 Montrer que la réfection de 1 m² de façade consiste à réalcaliniser environ $2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$ de béton. Problème : évaluer la durée du traitement par réalcalinisation régénérant tous les ions hydroxyde perdus pour 1 m² de parement, puis commenter.

Données utiles $S = 1\ \text{m}^2$; 30 kg de Ca(OH)_2 par m³ de béton ; $M(\text{Ca(OH)}_2) = 74\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; charge d'une mole d'électrons : $96\,500$ C ; densité de courant : 0,5 à 1 $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$; $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$

Question 2. Sur la photographie du document 3, la zone restée incolore s'étend de la surface extérieure jusqu'à la graduation 2,5 cm environ : le béton est carbonaté sur une profondeur $p \approx 2{,}5\ \text{cm} = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{m}$.

Volume à traiter pour une surface S : $V = S \times p = 1 \times 2{,}5 \times 10^{-2}$

$V = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$, valeur attendue.

Problème. On cherche la quantité d'ions HO^- perdus dans le volume V, puis la charge électrique qui les régénère, enfin la durée de l'électrolyse.

Ions hydroxyde à régénérer

- Masse d'hydroxyde de calcium initialement présente dans V : $m = 30 \times 2{,}5 \times 10^{-2} = 0{,}75\ \text{kg} = 7{,}5 \times 10^2\ \text{g}$
- Quantité de matière : $n(\text{Ca(OH)}_2) = \dfrac{m}{M} = \dfrac{7{,}5 \times 10^2}{74} = 10\ \text{mol}$
- D'après $\text{Ca(OH)}_2\,(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}\,(\text{aq}) + 2\,\text{HO}^-\,(\text{aq})$, chaque mole d'hydroxyde de calcium disparue correspond à deux moles d'ions hydroxyde : $n(\text{HO}^-) = 2\,n(\text{Ca(OH)}_2) = 20\ \text{mol}$

Charge électrique nécessaire

- Réaction à la cathode : $\text{O}_2 + 2\,\text{H}_2\text{O} + 4\,\text{e}^- \longrightarrow 4\,\text{HO}^-$. Un électron échangé forme un ion hydroxyde : $n(e^-) = n(\text{HO}^-) = 20\ \text{mol}$
- $Q = n(e^-) \times 96\,500 = 20{,}3 \times 96\,500 = 2{,}0 \times 10^6\ \text{C}$

Durée du traitement

- Pour $S = 1\ \text{m}^2$, l'intensité est comprise entre $I_{\min} = 0{,}5\ \text{A}$ et $I_{\max} = 1\ \text{A}$.
- $\Delta t = \dfrac{Q}{I}$, donc :

$$\Delta t_{\min} = \frac{Q}{I_{\max}} = \frac{1{,}96 \times 10^6}{1} = 2{,}0 \times 10^6\ \text{s}, \text{ soit } \frac{1{,}96 \times 10^6}{24 \times 3600} \approx 23 \text{ jours}$$

$$\Delta t_{\max} = \frac{Q}{I_{\min}} = \frac{1{,}96 \times 10^6}{0{,}5} = 3{,}9 \times 10^6\ \text{s}, \text{ soit environ 45 jours}$$

Commentaire

Le document 4 annonce une à deux semaines ; on trouve trois à six semaines, soit environ trois fois plus. L'ordre de grandeur est cohérent, et l'écart s'explique par les hypothèses retenues :

- on a supposé que tout l'hydroxyde de calcium avait disparu sur 2,5 cm et qu'il fallait régénérer la totalité des ions ; en pratique il suffit de ramener le pH à une valeur où l'acier est protégé ;
- la durée annoncée est une valeur usuelle, sans précision sur la profondeur carbonatée ; celle de ce béton de 1950 est sans doute plus grande que la moyenne.

Le traitement reste adapté : l'armature se trouve vers 5,5 cm de profondeur, le front de carbonatation ne l'a pas atteinte.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 entre Ca(OH)_2 et HO^-, laisser 30 kg en kilogrammes avec M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, ou associer la plus grande intensité à la plus longue durée.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 30 kg, 74 et 2,5 cm ; la densité de courant n'en a qu'un, d'où un simple encadrement. Les valeurs intermédiaires restent dans la calculatrice (20,27 mol et non 20).

COMPRENDRE
Le thème « matériaux » de l'ancien enseignement de spécialité a disparu, mais les outils utilisés ici (électrolyse, $Q = I\,\Delta t$, charge d'une mole d'électrons) figurent au programme actuel de Terminale.

$2{,}0 \times 10^6\ \text{s} \leqslant \Delta t \leqslant 3{,}9 \times 10^6\ \text{s}$, soit entre 23 et 45 jours (trois à six semaines) : plus long que la durée usuelle d'une à deux semaines.

À LA CALCULATRICE

