



La Cité Radiieuse - Altération des façades au cours du temps

Format de l'activité	<ul style="list-style-type: none"> • L'activité pourra être proposée comme une activité de synthèse sur les réactions d'oxydo-réduction ; • Réalisée par groupe d'élève au cours d'une séance de 90 min ou bien en travail personnel à réaliser à la maison. • Cette activité pourra faire l'objet d'évaluation par compétence (cf. grille d'évaluation) 	
Points du programme abordés	<p>Connaître les matériaux métalliques et leurs transformations :</p>	
	<p>Oxydation, réduction, couple oxydant/réducteur, réaction d'oxydoréduction.</p>	<p>Identifier une oxydation et une réduction.</p> <p>Reconnaître l'oxydant et le réducteur dans un couple oxydant-réducteur.</p> <p>Écrire l'équation d'une réaction d'oxydoréduction en utilisant les demi-équations électroniques.</p>
	<p>Action de l'eau, des acides et du dioxygène sur les métaux.</p>	<p>Présenter, par des exemples appropriés, l'action des acides sur la surface des matériaux</p>

La Cité Radieuse - Altération des façades au cours du temps

La Cité Radieuse de Marseille a été construite entre 1947 et 1951 par le célèbre architecte Le Corbusier et constitue une œuvre clé de l'histoire de l'architecture française du XX^{ème} siècle.

Ce bâtiment en béton armé a été classé monument historique en 1986.



Figure 1: La Cité Radieuse

Mais au cours du temps, le béton armé des façades a subi une altération par carbonatation. Il a été procédé à un traitement par réalcalinisation pour réparer ce béton.



Figure 2: Béton armé en cours de préparation : coulage du béton sur une armature en acier.

D'après L'Actualité Chimique. Octobre-novembre 2007

TRAVAIL DEMANDÉ

Afin de présenter les futurs travaux de réfection de la façade de la Cité Radieuse à la population marseillaise, vous réaliserez un support :

- rappelant l'intérêt de l'usage du béton armé ;
- expliquant les causes des dégradations observées et la méthode de traitement opérée sur les façades et permettant d'y remédier.

Votre planche, dont le support devra se limiter à un format A3 ou à une ou deux diapositives, pourra faire intervenir des schémas, graphismes, textes ou tout autre élément visuel permettant de synthétiser ces deux axes.

Vous vous attacherez en particulier à préciser l'équation de dissolution de l'hydroxyde de calcium et la demi-équation d'oxydo-réduction intervenant dans le traitement des façades.

Vous pourrez vous aider des documents présentés ci-dessous ainsi que de vos connaissances.

Document 1 : Le béton

Économique et facilement manipulable, le **béton** peut être utilisé dans **divers domaines** tels que dans la construction ou l'art. À la fois **résistant et durable**, il répond à de nombreux **critères de performance**, ce qui explique son omniprésence actuelle. Sa composition **variant** en fonction des différents constituants présents dans le mélange, il est dorénavant possible de fabriquer le béton de vos envies !

De manière générale, les principaux ingrédients employés sont le sable, le gravier, le ciment, le tout gâché (CAD délayer) avec de l'eau.

D'après <http://www.guidebeton.com/beton-sable>

Document 2 : Pourquoi armer du béton ?

Pour comprendre l'utilité du béton armé, il est bon de rappeler quelques points. Le béton est un matériau résistant à la compression mais ne supportant pas la traction. L'acier, quant à lui, est un matériau résistant à la fois à la traction et à la compression. C'est le **mélange** de ces deux matériaux qui donne ce qu'on nomme le béton armé. Par définition, le béton armé est un matériau dans lequel des **armatures métalliques** ont été ajoutées afin d'obtenir un béton **renforcé**.

Le béton armé est donc utilisé pour les ouvrages où le béton devra être **résistant** à la **traction**. Les aciers sont placés dans la zone où le béton sera confronté à un effort de traction, soit dans la partie **inférieure**.

Pour que le béton armé soit réellement efficace, il doit y avoir une réelle **cohésion** entre le béton et l'acier. Pour cela, l'acier doit être pourvu **d'aspérités** à sa surface afin de renforcer **l'adhérence** entre les deux matériaux.

D'après <http://www.guidebeton.com/beton-arme>

Document 3 : Caractéristiques du béton armé

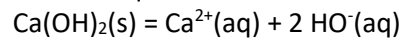
Après hydratation du ciment, 1 m³ de béton contient 30 kg d'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂. L'hydroxyde de calcium est une base qui confère à l'eau qui se trouve dans les pores du béton un pH élevé, compris entre 12 et 14. En effet, les ions hydroxydes HO⁻ sont responsables du caractère basique de la solution. À ces valeurs de pH, les armatures en acier sont dans un état dit "**passivé**", pour lequel une couche d'oxydes très stable se forme à leur surface et les protège.

*D'après "Carbonatation du béton et corrosion des armatures"
du Laboratoire des matériaux de construction de l'EPF de Lausanne*

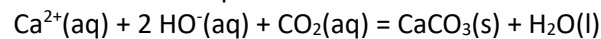
Document 4 : Le processus de carbonatation du béton

La durabilité d'un mortier ou d'un béton est liée, dans un environnement donné, à ses propriétés chimiques qui sont essentiellement celles de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 . La formation d'hydroxyde de calcium lors de la prise donne au béton un pH très élevé (13 à 13,5). Ce pH très élevé se traduit par la nécessité de se protéger la peau lors de la mise en œuvre du ciment afin d'éviter ce qui était appelé autrefois la « gale du ciment ».

Il présente par contre l'avantage de passiver l'acier utilisé dans le béton armé, c'est-à-dire de le protéger de la corrosion. Le pH élevé du ciment le rend sensible aux attaques acides : l'hydroxyde de calcium, mais aussi le silicate de calcium hydraté se solubilisent. Pour l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 , voici la réaction de dissolution d'équation :



Lorsque le ciment est en contact régulier avec l'eau de pluie, l'hydroxyde de calcium, légèrement soluble dans l'eau sera entraîné au cours du temps, ce qui augmentera la porosité du ciment. Par ailleurs, également au cours du temps, l'hydroxyde de calcium forme des ions carbonates (CO_3^{2-}) au contact de l'atmosphère. Les ions calcium précipitent avec le dioxyde de carbone pour donner du carbonate de calcium selon la réaction d'équation suivante :



Tous ces phénomènes de vieillissement se traduisent par une diminution du pH et si celui-ci devient inférieur à 9, les armatures d'acier ne sont plus passivées, le fer s'oxyde en donnant des produits d'oxydation plus volumineux que le fer de départ.

*D'après « une vie de ciment », J.-L. Vignes.
Bulletin de l'union des physiciens (Vol 90 et 99).*

Document 5 : Oxydation des armatures

Le béton est généralement associé à des armatures en acier, ce qui permet d'augmenter sa résistance, d'où le terme de béton armé. Les armatures en acier proches de la surface et protégées par le béton d'enrobage peuvent être soumises, au cours de la vie de l'ouvrage, à un phénomène d'oxydation (corrosion).

Dans le béton sain, les armatures en acier du béton armé sont entourées d'une couche protectrice d'hydroxydes de fer et de calcium qui le protègent de la corrosion. Lorsque des agents agressifs comme le dioxyde de carbone pénètrent dans le béton et atteignent les armatures, ils dégradent la couche protectrice et entraînent la corrosion du béton.

Les produits de corrosion qui se forment occupent un volume plus important, ce qui déclenche une fissuration du béton.

D'après la revue annuelle "Construction Moderne" - Ouvrage d'Art 2011

Document 6 : La réalcalinisation du béton armé

Une des techniques permettant de réparer le béton armé dégradé par corrosion des armatures consiste en un traitement électrochimique : la réalcalinisation.

Le traitement est une électrolyse au cours de laquelle le dioxygène produit à l'anode est réduit à la cathode en présence d'eau. Il y a alors formation d'ions hydroxyde à la cathode. Cela conduit à l'augmentation du pH du béton corrigeant ainsi la diminution de pH consécutive à sa carbonatation.

La réalcalinisation est donc une méthode électrochimique qui consiste à :

1. Connecter un fil électrique sur une armature du béton qui affleure. Cette armature jouera le rôle de cathode ;
2. Poser temporairement, à la surface du béton, un grillage métallique servant d'anode, noyé dans une pâte électrolytique et relié lui aussi par un fil électrique ;
3. Faire passer un courant entre anode et cathode, en les reliant à un générateur de courant dont la densité de courant imposé a une valeur comprise entre 1 et 2 A.m⁻².

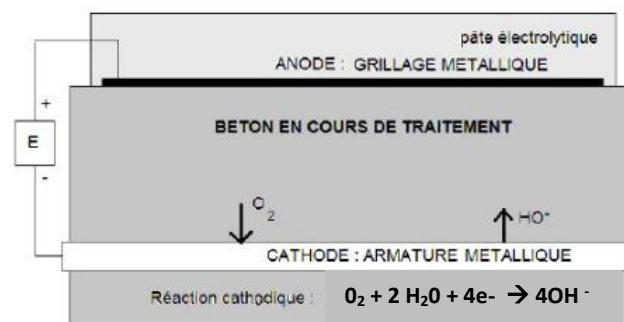


Figure 3: Schéma de principe de la réalcalinisation

La réalcalinisation peut prendre une à trois semaines.

Dans les monuments historiques, les façades apparentes ne doivent pas changer d'aspect. La réalcalinisation est alors un traitement adapté, à condition que le front de carbonatation n'ait pas encore atteint l'armature.

D'après Bulletin du ciment, numéro 21, septembre 1993