

BÂTIMENT LA GRANDE CORNICHE : TRAITEMENT DES BÉTONS POLLUÉS PAR DES CHLORURES

THE “LA GRANDE CORNICHE” BUILDING: TREATMENT OF CHLORIDE CONTAMINATED CONCRETE

Robert GIRAUD

FREYSSINET France Région Sud-Est



L'immeuble LA GRANDE CORNICHE, situé en front de mer dans la ville de Marseille, a été construit au début des années 60. Il s'agit d'un immeuble de 15 étages sur rez-de-chaussée (de dimensions 60 m x 14 m profondeur x 58 m hauteur).

Le début des travaux fait suite à un diagnostic préalable établi sur l'immeuble «La Grande Corniche» à l'initiative du maître d'œuvre par le laboratoire du LERM. Celui-ci a permis de mettre en évidence les pathologies du béton : éclatement des bétons par corrosion des aciers, teneur en ions chlorure importante, profondeur de carbonatation importante...

L'objectif de ces travaux, sur une période de 9 mois, était de rénover de manière pérenne, les façades de l'immeuble dont les parements se dégradaient de plus en plus depuis des années.

The LA GRANDE CORNICHE building, located on the waterfront in Marseille, was built in the early 60s and has 15 floors above ground level (60 m x 14 m deep x 58 m high).

The start of the work followed on from a preliminary diagnosis carried out on the “La Grande Corniche” building by the LERM laboratory, at the project manager's request. The diagnosis highlighted the problems in the concrete: spalling of the concrete due to steel corrosion, high chloride ion content, deep carbonation, and more.

The purpose of these works, over a 9-month period, was the durable renovation of the building's main walls, the facings of which had been deteriorating steadily for years.

Les désordres visibles se présentaient de la manière suivante : des fissures, des épaufrures, des éclatements du béton, avec localement la mise à nu des armatures repérés aux angles de nez de balcon.

La pathologie de la structure en béton armé est due à la pénétration d'agents agressifs dans le béton tels que : **les ions chlorure, la pénétration du dioxyde de carbone (carbonatation du béton)...**

The visible faults found included cracks, spalling and localised exposure of the reinforcements at the corners of the balcony nosing.

*The deterioration of the reinforced concrete structure is due to the penetration of corrosive contaminants into the concrete, such as **chloride ions, carbon dioxide (concrete carbonation), etc., resulting in reinforcement corrosion.***

Les photos ci-dessous mettent en évidence les zones de béton dégradées par la corrosion
The photos below highlight the areas of the concrete damaged by corrosion



MÉTHODES DE RÉPARATION

De part l'emplacement du bâtiment, les 2 façades sont réparées par deux méthodes différentes : la façade Est par un inhibiteur de corrosion car le taux de chlorure mesuré était inférieur à 0.4% par rapport au poids du ciment préconisé par la norme ENV 206, et la façade Ouest par une méthode électrochimique qu'est la déchloruration / réalcalinisation du béton car le taux de chlorure mesuré était supérieur à 0.4%.

Le déroulement des travaux s'effectue tout d'abord par la préparation du support (façades Est et Ouest), puis l'application d'un inhibiteur de corrosion (façade Est), et la mise en œuvre du procédé de déchloruration et réalcalinisation (façade OUEST).

Les réparations sur la façade Ouest demandaient un suivi et des contrôles de l'activité du traitement.

La préparation du support consiste en la démolition des bétons non adhérents, au sablage du béton et des armatures permettant l'adhérence des matériaux rapportés. Les travaux de réparations consistaient en l'application de produits de ragréage ou en la mise en œuvre de béton projeté par voie sèche conforme à la norme NFP 95.102 (procédé TORKRET) ; enfin le traitement curatif effectué par l'application du procédé REGEBETON®.

Ce procédé a pour but d'extraire les ions chlorure présents dans le béton et d'augmenter le pH du béton.

REPAIRS METHODS

Due to the location of the building, the 2 main walls were repaired using two different methods; the East façade was repaired with a corrosion inhibitor, as the measured chloride content was less than 0.4% relative to the weight of the cement recommended in standard ENV 206, and the West façade was repaired using an electrochemical method consisting of the chloride removal and realalkalinization of the concrete, as the measured chloride content was greater than 0.4%.

The work started with the preparation of the substrate (East and West façades), followed by the application of a corrosion inhibitor (East façade) and the implementation of the chloride removal and realalkalinization process (West façade).

The repairs on the West façade required monitoring and inspection of the treatment activity.

The preparation of the substrate consisted of removing the non-adherent concrete and sand blasting the concrete and reinforcement to allow for adherence of the new materials to be added. The repair work consisted of applying levelling products or dry process shotcrete in accordance with standard NP 95.102 (TORKRET process); finally, the corrective treatment was carried out by applying the REGEBETON® process.

The aim of the process is to extract the chloride ions in the concrete and increase its pH.

Cette technique d'extraction des ions chlorure utilise la charge négative des ions Cl^- pour les attirer vers une anode placée sur la surface de la structure enrobée d'une pâte électrolytique. Les armatures constituent la cathode (-) et le treillis anodique représente l'anode (+). Le treillis anodique tel que l'aluminium (métal moins noble que le fer) attire les ions Cl^- qui eux mêmes se trouvent piégés dans la pâte électrolytique.

Cette opération provoque aussi au niveau des armatures (cathode) une réaction électrochimique avec la création d'ions OH^- qui tendent à renforcer le pH autour de l'armature : réalcalinisation du béton.

Ensuite le treillis anodique et la pâte électrolytique sont retirés puis la surface du parement est nettoyée. Une protection du béton comme un revêtement est alors recommandée pour limiter la porosité du béton si celui-ci continue à être en contact avec les ions chlorure.

La mise en œuvre du procédé électrochimique de déchloruration et réalcalinisation se fait en 6 étapes :

- **Pose des baguettes support de grilles** : les baguettes sont des lattes de contreplaqué de 10 mm d'épaisseur et de 20 mm de largeur. Elles sont fixées sur le parement à l'aide d'une colle de type SIKA 11 FC. Elles permettent de limiter l'épaisseur de la pâte et servent de fixations aux grilles anodiques.
- **Réalisation des connexions électriques aux armatures** : les connexions électriques seront réalisées en soudant un morceau de HA 12 sur le cadre de ferrailage. Avant de reboucher la connexion, un morceau de PVC est prévu pour isoler l'acier HA 12 du béton de manière à éviter les courts circuits. Les connexions sont faites sur les poteaux et sur les poutres de la façade à chaque étage.
- **Application de la pâte électrolytique** : Avant d'appliquer la pâte il est nécessaire d'humidifier jusqu'à saturation le béton à l'aide d'un pulvérisateur. Il convient d'attendre que l'aspect du béton soit mat avant d'appliquer la pâte. La pâte sera appliquée à la truelle sur une épaisseur légèrement supérieure à l'épaisseur des baguettes (entre 12 et 15 mm).
- **Pose des grilles anodiques** : Les grilles sont posées sur la pâte et seront agrafées sur les baguettes. Les grilles doivent être en contact avec la pâte sinon le système ne fonctionnera pas.
- **Raccordements électriques des armatures et des grilles anodiques** : Chaque grille sera reliée aux armatures par l'intermédiaire d'un fil électrique et d'une résistance d'1 ohm. Cette résistance permettra de contrôler l'intensité du courant débité.

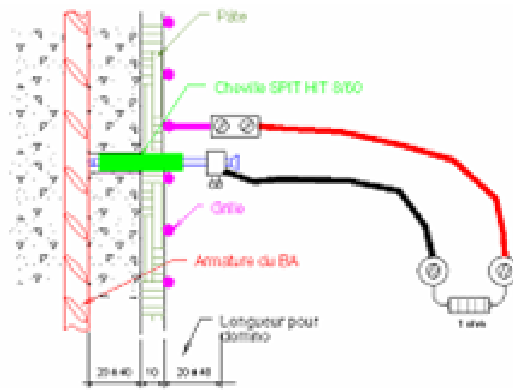
This chloride ion extraction technique uses the negative charge of the Cl^- ions to attract them to an anode installed on the surface of the structure coated with an electrolytic paste. The reinforcement form the cathode (-) and the anodic mesh forms the anode (+). The anodic mesh, made from a metal such as aluminium (which is less noble than iron), attracts the Cl^- ions which, in turn, are trapped in the electrolytic paste.

This operation also causes an electrochemical reaction on the reinforcement (cathode), generating OH^- ions, which tend to increase the pH around the reinforcement; this is the realkalinization of the concrete.

Then, the anodic mesh and electrolytic paste are removed, and the facing surface is cleaned. A protective coating is then recommended in order to close the porosity of the concrete if it remains in contact with the chloride ions.

The implementation of the electrochemical chloride removal and realkalinization process includes 6 steps:

- **Installation of mesh support battens:** These are plywood battens 10 mm thick and 20 mm wide. They are secured to the facing with a SIKA 11 FC type adhesive compound. They allow for the thickness of the paste to be reduced and are used to secure the anodic mesh.
- **Electrical connections to the reinforcement:** The electrical connections are made by welding a piece of HA 12 rod to the reinforcement frame. Before sealing the connection, a piece of PVC is installed to insulate the HA 12 rod from the concrete, in order to prevent short-circuits. The connections are made on the façade stanchions and beams on each floor.
- **Application of the electrolytic paste:** Before applying the paste, the concrete must be dampened, using a sprayer, until saturation is reached. It is advisable to wait for the concrete to look dull before applying the paste. The paste is applied with a trowel, over a thickness slightly greater than the thickness of the battens (between 12 and 15 mm).
- **Installation of the anodic mesh:** The mesh is placed on the paste and stapled to the battens. The mesh should be in contact with the paste, otherwise the system will not work.
- **Electrical connection of the reinforcement and anodic mesh:** Each mesh will be connected to the reinforcement by means of an electric wire and a 1-ohm resistor. The resistor allows for the strength of the output current to be monitored.



Pâte / Paste
Cheville SPIT HIT 8/60 / SPIT HIT 8/60 plug
Grille / Grid
Armature du BA / Reinforced concrete reinforcement
Longueur pour domino / Length for connecting block

- **Humidification de la pâte** : l'humidification se fera à l'aide d'un système d'arrosage permettant de la maintenir et de la conserver grâce au géotextile pendant une durée de 30 jours avant la dépose.

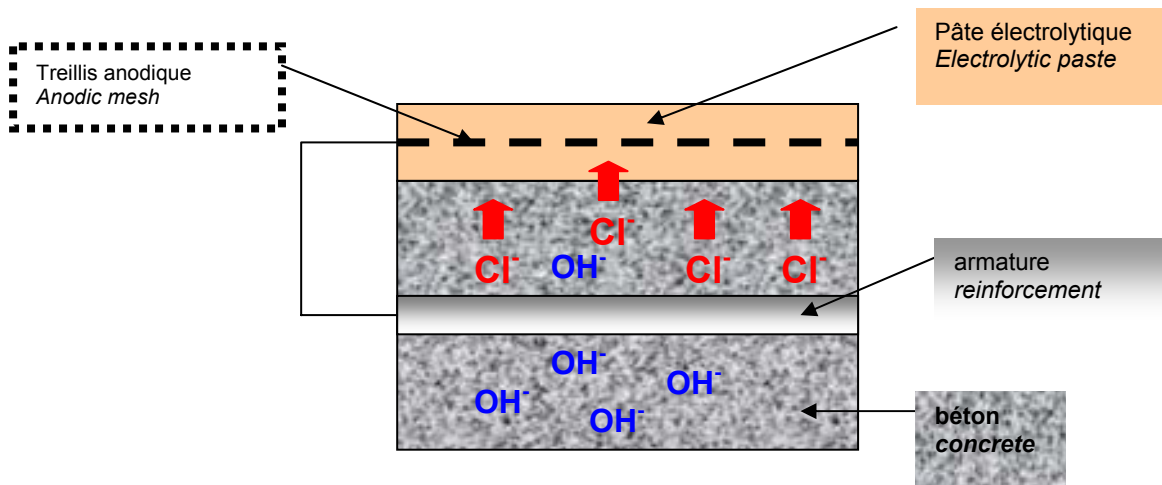
Une fois le traitement terminé, on effectue la dépose du système puis les résidus de la pâte sont récupérés et évacués vers une décharge spécialisée.

Le schéma ci-dessous représente le principe du procédé REGECON® :

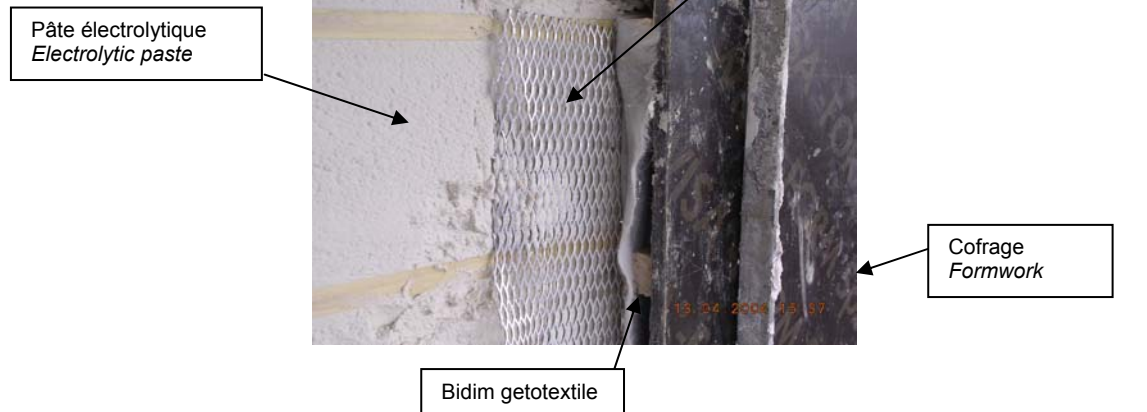
- **Dampening of the paste**: The paste is dampened with a sprinkler system that allows for it to be maintained and preserved by means of a geotextile for a 30-day period before removal.

When the treatment is complete, the system is removed and the paste residues are collected for disposal at a specialized dumping yard.

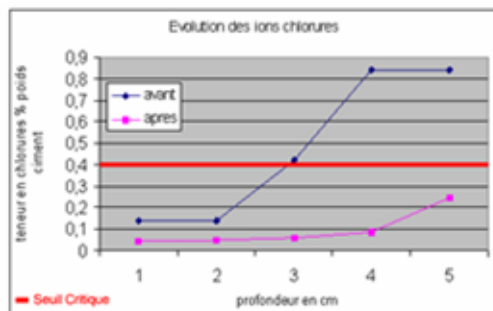
The diagram below shows the principle of the REGECON® process:



La photo ci-dessous illustre ce procédé
The photo below illustrates the process

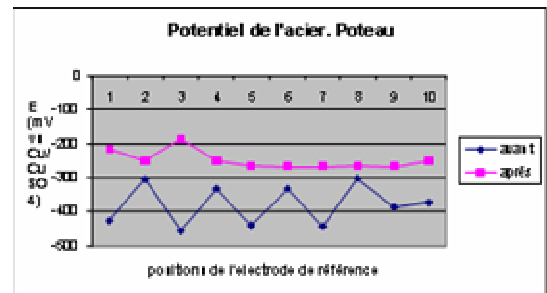


CONTRÔLES DE L'ACTIVITÉ DU TRAITEMENT



Mesure de la concentration en ions chlorures
Chloride ion concentration measurement

MONITORING OF THE TREATMENT ACTIVITY



Mesure du potentiel électrique de l'acier
Measurement of the electric potential of the steel

Evolution des ions chlorures
Teneur en chlorures % poids
Seuil critique
Profondeur en cm
Avant
Après

Chloride ion development
Chloride content % weight
Critical threshold
Depth in cm
Before
After

Après le traitement on constate une diminution de la teneur en ions chlorure d'environ 70%. La teneur en chlorure se trouve au-dessous du seuil de 0,4% par rapport au poids du ciment préconisé par la norme ENV 206 dans le cas des bétons armés.

Les mesures de potentiel avant traitement sont de l'ordre de -400 mV vs Cu/CuSO₄ et après traitement ces mesures tendent à évoluer vers des valeurs plus positives de l'ordre de -250 mV vs Cu/CuSO₄. Ces mesures ont été effectuées (par le LERM) après une période hors connexion des armatures d'environ 3 mois, outre la remonté des potentiels d'armature, on constate un rééquilibrage de ces potentiels suffisamment significatif pour démontrer l'absence après traitement d'anode induite sur la surface concernée.

After treatment, a reduction of around 70% in the chloride ion content was found. The chloride content is below the 0.4% threshold relative to the weight of the cement recommended by standard ENV 206 for reinforced concrete.

The pre-treatment potential measurements were approximately -400 mV vs Cu/CuSO₄ and, after treatment, these measurements tend to move towards more positive values of the order of -250 mV vs Cu/CuSO₄. The measurements were conducted (by LERM) after leaving the reinforcement unconnected from the anode mesh for approximately 3 months; in addition to the increase in reinforcement potentials, a rebalance of these potentials was found, being significant enough to demonstrate the absence of an induced anode on the surface concerned, after treatment.

Les mesures de potentiel montrent une modification sur l'échelle de risque de corrosion. Globalement les armatures sont proches des niveaux de potentiel à faible risque de corrosion.

Le traitement étant terminé, l'application d'un revêtement de finition (type I1 par exemple) est nécessaire pour neutraliser la pénétration de nouveaux agents agressifs et pour apporter la finition esthétique recherchée par le maître d'ouvrage.

Ces travaux traditionnels ont été sous-traités à une entreprise spécialisée en ravalement de façade.

INTERVENANTS

- Maître d'ouvrage : CASAL Immobilier
- Maître d'œuvre : Cabinet Yves DUBOIS
- Laboratoire externe : LERM
- Entreprise : FREYSSINET France région Sud-Est.

The potential measurements demonstrate a change in the corrosion risk scale. Overall, the reinforcement potentials are close to the low corrosion risk levels.

When the treatment was complete, a finishing coating (e.g. type I1) had to be applied to prevent the penetration of new corrosive contaminants and provide the aesthetic finish desired by the owner.

This conventional work was subcontracted to a specialist façade renovation company.

PARTICIPANTS

- Owner: CASAL Immobilier
- Project Manager: Cabinet Yves DUBOIS
- External laboratory: LERM
- Contractor: FREYSSINET France région Sud-Est (FREYSSINET France South Eastern Region)