

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Tlemcen
Faculté de Technologie



Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil
Spécialité : Art Et Techniques De Réhabilitation

Thème :

**DEGRADATIONS AU NIVEAU DE L'USINE ALZINC
CONSTATS ET RECOMMANDATIONS**

Présenté le : 18/04/ 2013 par :

Mohammed Salim KAOUADJI

Devant le Jury composé de :

Mr : BAGHLI

Mr : GHANNANI

Mr : MELOUKA Ismail

Mr: CHERIF-BENMOUSSA Med Yazid

Président

Examineur

Examineur

Encadreur

Dédicaces

Je dédie ce projet de fin d'études

- ♥ A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles, qui ont été à mes côtés et qui m'ont toujours soutenu.
- ♥ A mes sœurs.
- ♥ A mes beaux frères.
- ♥ A toute ma famille.
- ♥ A tous mes amis.
- ♥ A toute la promotion « construction métallique » et « art et techniques de réhabilitation »
- ♥ Et mon défunt ami SAADOUN Oussama. Que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

Remerciement

Nous tournons nos premières pensées à Dieu que nous le remercions, le tout puissant, le miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

C'est avec un grand plaisir que je m'adresse mes sincères remerciements à l'égard de mon encadreur Mr CHERIF BENMOUSSA Yazid d'avoir largement contribué à la réalisation de ce projet de fin d'étude par son disponibilité, soutien, encouragement, et son expérience.

Je tiens à remercier vivement le professeur Monsieur GHOUMARI Fouad pour son soutien, remarques, conseils.

Je tiens à remercier l'équipe de formation d'Art et Technique de réhabilitation.

Je tiens aussi à remercier Mr BOURICH qui s'est rendu avec moi sur site d'étude
Je tiens aussi à remercier l'ensemble du personnel de l'usine ALZINC qui m'ont apporté leur aide.

Je réserve une pensée spéciale à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation et spécialement à ceux qui m'ont marqué.

Je ne terminerai pas sans avoir exprimé des remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Pour réaliser ce travail, plusieurs personnes nous ont assistés, chacune de sa manière. Il est opportun, à cette page, de leur réitérer mes remerciements.

Résumé

L'importance stratégique des différentes usines implantées le long du littoral Algérien. Nous oblige à procéder à des études de réhabilitation pour chaque unité industrielle, pour assurer leur fonctionnement et la durabilité de leurs ouvrages et bâtiments.

Ce travail de fin d'étude va prendre comme exemple la réhabilitation dans l'usine ALZINC exactement sur les deux zones « lixiviation et d'électrolyse du zinc ». Cette étude comprend cinq parties essentielles. La première sera théorique et qui consiste à présenter les différentes causes de dégradation des ouvrages en béton armé dans les milieux marins et industriels. La deuxième partie a pour but de présenter l'environnement, (environnement extérieur et l'usine). La troisième partie présentera les matériaux mis en place et leurs caractéristiques. Le quatrième et cinquième réalise respectivement le diagnostic sommaire des désordres et la proposition des solutions pour y remédier et des mesures préventives de maintenance.

Mots clefs : Rehabilitation, Alzinc, Beton Arme

Abstract

Strategic importance of different industrial units which establish on Algerian coast. Oblige us to do deep studies about their rehabilitation, to protect and provide their functioning.

This end project of studies will take for example the rehabilitation in industrial unit « ALZINC » exactly « lixiviation and electrolyse » zone. This study includes five important chapters. First chapter will be theoretical which consists to present a different structural anomaly specific to our environment. Second chapter has as goal to present general environment « our unit, and environment ». A third chapter will be present the different materials used in this industrial unit and their characteristics. Fourth and fifth chapters will propose solutions and act to do for preserving ALZINC.

Key words : Rehabilitation, Alzinc, Reinforced Concrete

ملخص

الأهمية الإستراتيجية لمختلف الوحدات الصناعية الواقعة على طول الشريط الساحلي للجزائر. تفرض علينا القيام بدراسات التهيئة و هذا للاستمرارية في الإنتاج و الحفاظ على منشئتها .

هذا مشروع نهاية دراستنا سوف يأخذ كمثال التهيئة في مصنع الزنك بغزوات تحديدا على مواقع التاشين و الالكتروليك الزنك. هذه الدراسة تشمل خمسة مراحل أساسية . المرحلة الأولى ستكون نظرية والتي سوف تعرف مختلف الأسباب المؤدية إلى تدهور المنشآت بالخرسانة المسلحة في الأوساط البحرية و الصناعية. المرحلة الثانية تهدف إلى تقديم المحيط العام (المحيط الخارجي و المصنع). المرحلة الثالثة ستقدم المواد المستعملة و مميزاتهما. المرحلة الرابعة و الخامسة تقوم على تحقيق على التوالي فحص التدهورات و أسبابها. و تقديم الحلول المناسبة لمعالجتها و اقتراح اجرائات الوقاية المستقبلية

Sommaire

INTRODUCTION	11
CHAPITRE I : Causes De Dégradations Des Ouvrages En Béton Arme Dans Les Régions Marines Et Industrielles.....	13
I.1. Causes de dégradations internes (endogènes)	13
I.1.1. Réaction alcali-granulat	13
I.1.2. La réaction due sulfatique interne.....	14
I.2. Causes de dégradations par des agents extérieurs (exogènes).....	14
I.2.1. Corrosion du béton armé due à la pénétration de O ₂ et H ₂ O	14
I.2.2. Attaque due aux acides	21
I.2.3. Attaque sulfatique externe	23
I.3. Causes de dégradation liées aux au sol.....	24
I.3.1. Tassement	24
I.3.2. Liquéfaction du sol	25
I.4. Causes de dégradation dues à l'âge du béton	26
I.5. Causes de dégradation physiques	26
I.6. D'autres causes de dégradation	27
CHAPITRE II : Présentation De L'environnement Général	28
II.1. Présentation de l'environnement extérieur.....	28
II.1.2. situation géographique.....	28
II.1.3. Caractéristiques climatique.....	29
II.1.4. Cadre tectonique	30
II.1.5. Description et caractéristiques du sol	31
II.2. Présentation de l'environnement intérieur	32
II.2.1. présentation de l'usine	32
II.2.2. Processus de fabrication	33
II.2.3. Présentation des différents ouvrages de la structure.....	34
CHAPITRE III : Les Matériaux Mis En Place	37
III.1. Le béton	37
III.1.1. Le ciment.....	37
III.1.2. Les granulats	40
III.2. Le béton armé	40
III.2.1. L'acier	41
III.2.2. La qualité du béton armé.....	42

III.3. le plomb	42
III.4. le bitume	43
CHAPITRE IV : Diagnostic Des Désordres Constatés	44
IV.1. Constatation des désordres et leurs origines probables	44
IV.1.1. L'infrastructure et la surface	45
IV.1.2. La super structure.....	51
CHAPITRE V : Solutions Et Mesures préventives	68
V.1. Les travaux à exécuter	68
V.1.1. Les travaux concernant le sous sol et la surface.....	68
V.1.2. Les travaux concernant la superstructure	69
V.2 les mesures préventifs et d'entretien des ouvrages	74
CONCLUSION	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76

Liste des figures

Fig. I. 1 Réunion des facteurs de la corrosion	15
Fig. I. 2 : Processus électrochimique de la corrosion des armatures par [Duval (R.), 1992]	15
Fig. I. 3 : Diagramme de Pourbaix du fer [Pourbaix (M.), 1963]	16
Fig. I. 4 Processus de carbonatation [Andrade (C.), et al 2000].....	18
Fig. I. 5 : Processus général de carbonatation [Andrade (C.), et al 2001].....	18
Fig. I. 6: Incidence de l'humidité relative de l'air sur la vitesse de carbonatation [Andrade (C.), et al 2001]	19
Fig. I. 7 Modèle de [Tuutti (K.), 1982]	20
Fig. I. 8 Mécanismes de corrosion par des piqures due à la corrosion	21
Fig. I. 9 Evolutions de dégradation des éprouvettes en mortier de ciment dans des milieux acides à différentes concentration [Belhachemi (b.), et al 2012].....	22
Fig. II. 1. Une vue satellitaire de situation prise par Google Earth	28
Fig. II. 2 Représente la direction des vents dominants sur l'usine	30
Fig. II. 3 tectoniques euro-méditerranéennes [2].....	30
Fig. II. 4 Vue générale sur la zone de lixiviation	34
Fig. II. 5. Représente deux vues de notre décanteur réalisé en auto cad 2011	35
Fig. II. 6. Répartitions des pilotis sur les deux couronnes.....	35
Fig. II. 7 Vue de dessous sur la zone d'électrolyse du zinc.....	36
Fig. III. 1. Procède de fabrication de ciment [1]	38
Fig. IV. 1 Vue satellitaire sur l'usine avec la désignation des différentes zones	44
Fig. IV. 2. Représentation du tassement et du soulèvement du sol	47
Fig. IV. 3 Décomposition de la charge à cause d'un tassement	57
Fig. IV. 4 Répartitions de la poussée hydrostatique sur la paroi.....	58
Fig. V. 1 Poteau dégradé	71
Fig. V. 3 un zoom sur la zone de liaison mortier de réparation et béton support.....	72
Fig. V. 4 Détail de renforcement des poteaux par chemisage à partir des fondations	72
Fig. V. 5 La coupe A-A	73

Liste des tableaux

Tableau. I. 1 composition ionique de la mer méditerranéenne [Wilson, 1975].....	23
Tableau. II. 1 Moyennes mensuelles et annuelles des températures (1970 – 2004) source « Source ONM station de Zenata (2005) »	29
Tableau. II. 2 Moyennes mensuelles et annuelles des températures (1970 – 2004) source « Source ONM station de Zenata (2005) »	29
Tableau. IV. 1 tableau récapitulatif des différents désordres constatés.....	67

Liste des photos

Photo. I.1 Séisme de Niigata 1964 Quartier Kawagishi-Cho	25
Photo. IV. 1 Tassements d'un fut de fondation	45
Photo. IV. 2 Stagnations d'eau industrielle à coté des silos	45
Photo. IV. 3 Traces d'écoulement des eaux industrielles (efflorescence) sur décanteur (A)	46
Photo. IV. 4 Représente une déformation d'un contreventement.....	46
Photo. IV. 5 Déformations significatives du sol.....	47
Photo. IV. 6 Vue sur le caniveau (galerie)	48
Photo. IV. 7 Vue sur la cave	49
Photo. IV. 8 Vue sur la dégradation du bitume	49
Photo. IV. 9 Vue sur deux pieds de poteau (pilotis).....	50
Photo. IV. 10 Vue sur des poteaux dans un état de dégradation très avancé	51
Photo. IV. 11 Vue sur l'ensemble décanteur silo	52
Photo. IV. 12 Eclatements d'enduit et apparition du ferrailage sur décanteur (B)	52
Photo. IV. 13 Zoom sur la zone d'éclatement du béton sur décanteur(A)	53
Photo. IV. 14 Efflorescences du béton sur décanteur (B)	54
Photo. IV. 15 Réseau de fissures décanteur (C)	55
Photo. IV. 16 Eclatements du béton en appui	56
Photo. IV. 17 Zoom sur un appui	56
Photo. IV. 18 Alignement des anomalies	57
Photo. IV. 19 Désordres au niveau de la reprise de bétonnage	59
Photo. IV. 20 Vue sur l'ensemble des cuves de lixiviation acide	60
Photo. IV. 21 Vue sur les cuves de roulement primaire et secondaire (zone d'électrolyse).....	61
Photo. IV. 22 Vue sur l'état de la cuve d'électrolyse	61
Photo. IV. 23 Zoom sur la fissure profonde	62
Photo. IV. 24 Vue sur la dalle pleine qui se trouve au-dessus des cuves d'électrolyses.....	63
Photo. IV. 25 Vue sur le plafond de la salle d'électrolyse du zinc.....	63
Photo. IV. 26 Vue sur la cave de la salle d'électrolyse du zinc.....	64
Photo. IV. 27 Vue sur une zone d'éclatement et apparition de ferrailage (partie supérieure du poteau)	65

INTRODUCTION

Tout le long du littoral Algérien (1200km de long) la présence de plusieurs sites industriels très importants (raffineries, liquéfaction du gaz, silos de stockage, port maritime, usine d'électrolyse de zinc....etc.), constituent le nerf de l'économie Algérienne.

Ces sites industriels constitués de bâtiments et d'ouvrages de génie civil (béton armé, structures métalliques) sont soumis quotidiennement à des risques naturels tels que le séisme et ses conséquences, et les agents agressifs qui sont dus à l'environnement, à l'atmosphère et à l'activité industrielle.

L'altération de ces ouvrages qui se situent généralement en bordure ou à proximité des villes peut constituer un danger et peut être à l'origine de grandes catastrophes (explosion, déversement de produits chimiques, pollution de l'atmosphère,...etc.) ainsi que d'autres préjudices telle que la pollution du sous sol (les nappes) et de la mer.

D'où la nécessité de suivre de prêt ces ouvrages, et ainsi les réhabiliter. Ce qui veut dire mettre en œuvre des opérations avec comme objectif l'élimination des désordres, la modernisation de la structure et des équipements, et la préparation pour une utilisation actuelle et future.

Parmi les sites industriels maritimes il y a l'usine d'électrolyse du zinc « ALZINC » qui est une usine de production de zinc, qui est l'unique dans le monde arabe et la deuxième en Afrique. Elle emploie plus de 400 personnes et produit plus de 36.850tonnes/an. Ce qui représente un intérêt majeur pour l'économie de la région.

Le règlement parasismique Algérien RPA1999 version 2003 classe ce type d'ouvrage (qui abrite plus de 300 personnes) dans la catégorie des ouvrages de grande importance et par conséquent nécessite une étude minutieuse et une maintenance.

Cette usine a subi des dégradations très importantes et apparentes sur ses différents ouvrages (béton armé, charpente métallique, maçonnerie, ainsi qu'au niveau des infrastructures).

Pour connaître la nature des dégradations, leur étendue et leur niveau d'évolution, on établit un diagnostic nécessaire pour apporter les solutions afin d'y remédier.

Intervenir pour réparer les désordres constatés, stabiliser la structure, et se préparer dans le futur à assurer la maintenance et l'entretien des ouvrages concernés.

L'objet de notre étude va tenir compte essentiellement sur l'intervention de deux zones :

- La zone de lixiviation du zinc.
- La zone de l'électrolyse du zinc.

Pour ce travail, nous allons établir un diagnostic sur l'ensemble des bâtiments qui se trouvent au niveau des deux zones (lixiviation et électrolyse), on tenant compte des conditions climatique, la pollution, et de tous les composants néfastes de l'environnement. Cette étape est nécessaire pour la conservation des bâtiments et leur durabilité. Cette étude se compose de cinq chapitres qui sont les suivants :

- **Le premier chapitre** : les différentes causes de dégradations des ouvrages en béton armé dans les milieux marins et industriels.
- **Le deuxième chapitre** : l'environnement extérieur et intérieur au site concerné par le projet. Concernant l'environnement extérieur, il s'agit de la situation géographique, des caractéristiques climatiques de la région ainsi que du cadre tectonique de la région et enfin les caractéristiques du sol. Concernant l'environnement intérieur nous présenterons l'usine, avec son processus de fabrication, ainsi que la description sommaire des différents ouvrages existants dans la zone concernée par l'étude.
- **Le troisième chapitre** : les données relatives aux matériaux de constructions existants ainsi que leurs caractéristiques chimiques.
- **Le quatrième chapitre** : un diagnostic sur les causes de dégradations et leurs origines probables.
- **Le cinquième chapitre** : les propositions de solutions pour la réhabilitation des ouvrages ayant subi des désordres accompagné de propositions préventives de maintenance.

CHAPITRE I : Causes De Dégradations Des Ouvrages En Béton Arme

Dans Les Régions Marines Et Industrielles

L'étude de notre projet de réhabilitation pour un site bien défini nous incite à faire un diagnostic, à comprendre et à chercher l'origine des différentes causes de dégradations spécifiques à cet environnement et à l'identifier. Ces différentes causes seront définies dans ce chapitre.

I.1. Causes de dégradations internes (endogènes)

I.1.1. Réaction alcali-granulat

La réaction alcali-granulats est une réaction chimique à évolution lente entre certains granulats dits « réactifs » et les alcalins normalement présents dans la solution interstitielle du béton ou introduits par des agents extérieurs. Cette réaction conduit à la formation d'un gel de silicate suivie d'un gonflement du béton qui provoque une fissuration importante et une perte de résistance considérable.

Afin qu'une réaction alcali-granulats ait lieu, les trois conditions suivantes doivent être réunies mais ne donnent pas forcément lieu à la réaction :

- Présence de granulats réactifs (silice mal cristallisée)
- Milieu ambiant humide
- Teneur suffisante en alcalins dans le béton (calcium, sodium)

I.1.1.1. Désordres dus à l'alcali-réaction

La pathologie et les manifestations externes de la réaction alcali-granulat se signalent par un ou plusieurs des symptômes suivants :

- Une fissuration,
- Un faïençage à mailles plus ou moins larges ou en étoile ou une fissuration orientée suivant la direction de distribution des armatures,
- Des exsudations blanches formées de calcite et parfois de gels siliceux translucides,
- Des pustules ou cratères avec des éclatements localisés en forme de petits cônes résultant de la réaction de gros granulats superficiels qui sont visibles au fond des cratères d'éclatement,
- Des déformations,
- Des colorations ou décolorations.

I.1.2. La réaction sulfatique interne

La réaction sulfatique interne résulte d'une remobilisation des sulfates initialement contenus dans la matrice cimentaire qui, normalement, se transforment en ettringite primaire lors de la prise du béton.

Si cette réaction ne peut avoir lieu, l'ettringite secondaire (également dite différée) expansive peut se former ultérieurement dans le béton durci et provoque son gonflement et sa désorganisation.

Cette remobilisation des sulfates nécessite une élévation de température notable et durable du béton pendant sa prise (par exemple, > 75°C pendant plus de 4 heures), la réaction se produit donc essentiellement dans des bétons étuvés ou des pièces massives (piles de pont de section importante par exemple).

D'autres paramètres de la réaction sulfatique interne :

- Teneur en alcalins du béton,
- Teneur en SO_3 et Al_2O_3 (C_3A) du ciment,
- Formulation du béton (dosage en ciment, E/C, granulats),
- Humidité relative du milieu.

I.1.2.1. Dégradation dus à la réaction sulfatique interne

Les désordres provoqués par l'attaque sulfatique sont dus principalement au gonflement du béton.

-un faïençage à mailles plus ou moins larges

-éclatements localisés de la matrice cimentaire au droit du granulat

I.2. Causes de dégradations par des agents extérieurs (exogènes)

Selon la nature du sol, caractéristiques de l'environnement et la nature des produits stockés, les eaux qui ruissellent ou qui stagnent sur les structures peuvent être chargées de sels minéraux plus ou moins agressifs pour le béton. Les milieux les plus agressifs pour le béton sont soit salins (chlorures, nitrates et surtout sulfates de sodium, de calcium et de magnésium), soit acides.

I.2.1. Corrosion du béton armé due à la pénétration de O_2 et H_2O

La corrosion des armatures du béton armé est une pathologie fréquemment rencontrée en génie civil. Les facteurs qui sont à l'origine de cette pathologie sont schématisés sur la fig. I. 1

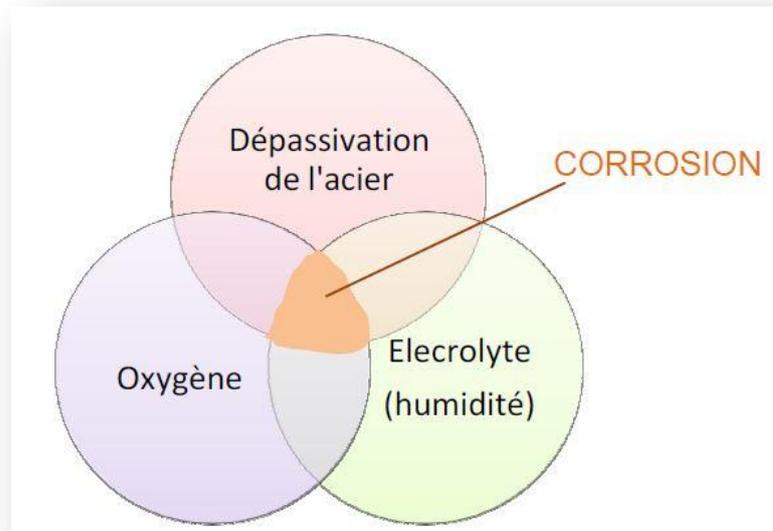


Fig. I. 1 Réunion des facteurs de la corrosion

L'acier enrobé dans le béton peut, sous certaines conditions, se dépassiver et engendrer des désordres notables pour le comportement en service de la structure par la diminution de sa capacité portante.

Les causes d'une telle fragilisation peuvent être par exemple la perte de ductilité de l'acier ou bien encore la perte d'adhérence acier-béton.

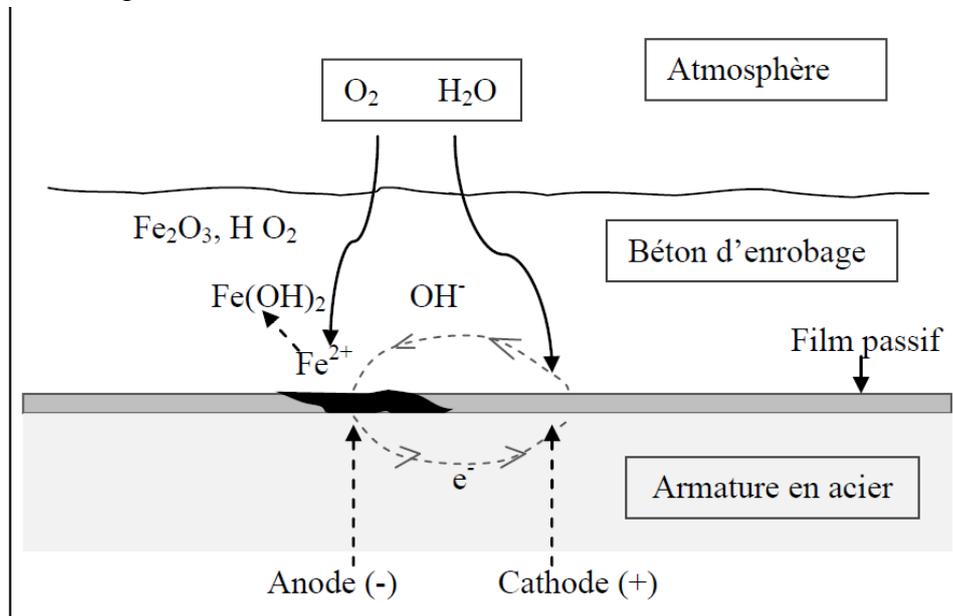


Fig. I. 2 : Processus électrochimique de la corrosion des armatures par [Duval (R.), 1992]

I.2.1.1. La dépassivation de l'acier

Le béton armé est un matériau composite constitué d'armatures noyées dans du béton. Différentes pathologies amoindrissent la robustesse et la durabilité de ces structures, la plus répandue étant la corrosion des armatures. Cette attaque est d'origine chimique, la présence d'eau et/ou de sels étant nécessaire.

Ces éléments vont modifier l'équilibre chimique du matériau, en agissant notamment sur la basicité du milieu. En l'absence de sel, le pH de la solution interstitielle à l'interface acier-béton, et plus généralement dans le béton, est compris entre 12.5 et 13.1. Par ailleurs, on peut mesurer le potentiel du fer (ϵ_0) par rapport à une électrode de référence : la plus couramment utilisée est l'électrode à l'hydrogène. Dans ce cas là, le potentiel de l'acier sain est -0.44 V (à 25°C). Finalement, à chaque couple pH – (ϵ_0) correspond un état de stabilité de l'acier.

Ces résultats sont synthétisés par le diagramme de **Pourbaix (1963)** ; fig. I. 3

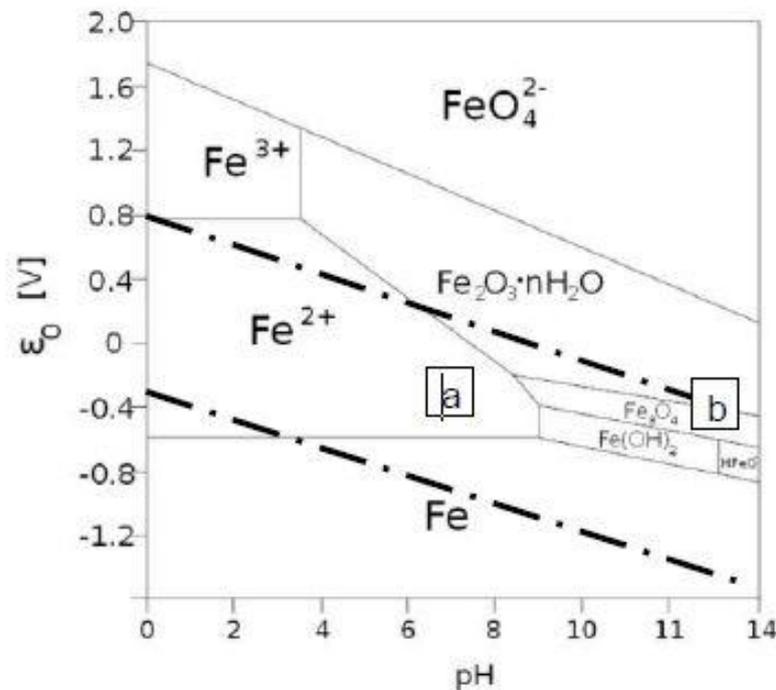


Fig. I. 3 : Diagramme de Pourbaix du fer [Pourbaix (M.), 1963]

La condition décrite auparavant, soit une basicité d'environ 13 et un potentiel de -0.44 V, correspond à la zone (b) : les composés présents initialement sur les armatures sont des oxydes de fer (Fe_2O_3 et Fe_3O_4). Ces produits enrobent l'armature, la protégeant ainsi vis-à-vis de la corrosion : ils constituent un film passif.

La zone « a » correspond à la stabilité de l'eau : les réactions de dissolution-précipitation ne sont réalisables que dans cette zone. La présence de sels et/ou d'eau peut entraîner une diminution du pH de la solution interstitielle, modifiant ainsi l'équilibre des phases. Pour un pH inférieur à 9, la couche de passivation est rompue, l'état du fer le plus stable est la forme oxydant Fe^{2+} .

On distingue généralement deux facteurs responsables de l'amorçage de la corrosion : la carbonatation et la présence de chlorures au niveau de l'acier. [Auger (J.), 1992]

A. Dépassivation des aciers par la carbonatation

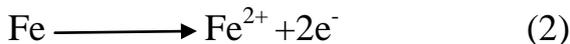
Le dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique pénètre dans le matériau par diffusion à travers le réseau poreux. L'état de saturation est un facteur déterminant en ce qui concerne le niveau de carbonatation fig. I. 4 ; trois cas peuvent être envisagés :

- Le réseau poreux est saturé : la diffusion du CO₂ est très faible,
- Le béton est très sec : la diffusion est rapide mais l'absence d'eau limite les réactions de carbonatation,
- La carbonatation est optimale pour une humidité relative d'environ 60%, le CO₂ se diffuse rapidement dans le pore puis réagit avec les molécules d'eau adsorbées à la surface du pore et la fig. I. 6 témoigne de ça.

Le CO₂ ainsi diffusé réagit avec les principaux hydrates, notamment la portlandite selon la réaction suivante (1) :



Le calcium Ca²⁺ est dissout et passe en solution, abaissant la basicité de la solution interstitielle jusqu'à un pH inférieur à 9, l'acier est alors dépassivé. Dès lors, les armatures s'oxydent selon l'équation (2)



Ce processus est ainsi alimenté jusqu'à la corrosion complète de l'armature, la corrosion par carbonatation est dite « généralisée ».

A.1. Vitesse de carbonatation

Après un temps assez court, de un à trois mois, la vitesse de carbonatation devient à peu près inversement proportionnelle à la profondeur déjà carbonatée car la couche superficielle de carbonate formée freine la diffusion du gaz carbonique.

Exemple

Pour fixer les idées, à propos d'un béton moyen, conservé en atmosphère ordinaire à environ 65 % d'humidité relative, on peut donner les valeurs suivantes :

- 5 mm de carbonatation après 1 an ;
- 10 mm de carbonatation après 4 ans ;
- 25 mm de carbonatation après 25 ans (et peut aller jusqu'à 10 cm). [Michel (I.), 2012]

A.2. Les principaux facteurs influant la carbonatation sont :

- la composition du béton,
- le dosage en eau et en ciment rapport E/C,
- le milieu et la nature de l'ouvrage,
- le rapport surface/volume.

Suivant la quantité de chaux renfermée dans le ciment, l'humidité du matériau et de l'ambiance, enfin et aussi de l'exposition, le phénomène évoluera différemment. Dès la

formation superficielle des premières couches carbonatées, le phénomène se ralentit ou s'annule. [Michel (I.), 2012]

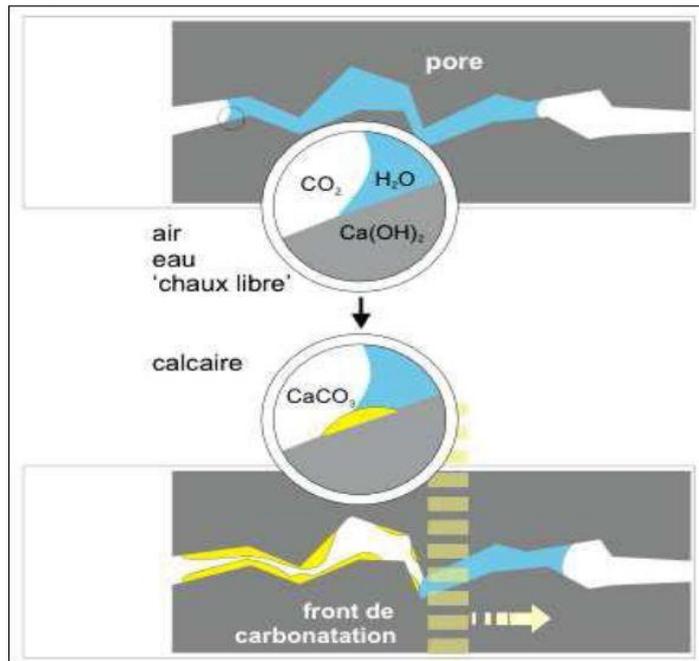


Fig. I. 4 Processus de carbonatation [Andrade (C.), et al 2000]

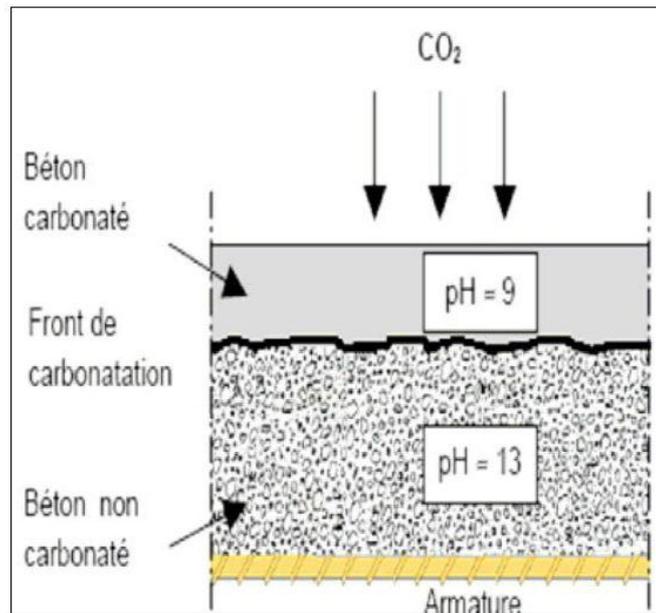


Fig. I. 5 : Processus général de carbonatation [Andrade (C.), et al 2001]

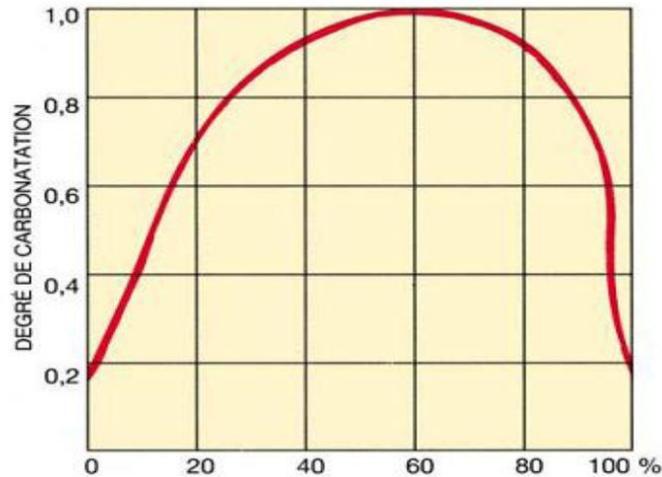


Fig. I. 6: Incidence de l'humidité relative de l'air sur la vitesse de carbonatation [Andrade (C.), et al 2001]

B. Dépassivation des aciers par les chlorures

Les chlorures pénètrent généralement par diffusion due au fait que la teneur en chlorure est plus forte dans le milieu environnant que dans le béton (gradient de concentration). Les chlorures venant de l'extérieur restent en majorité à l'état dissous dans la solution interstitielle du béton. Mais ils peuvent aussi réagir avec certains constituants du matériau (réaction chimique ou adsorption).

Les chlorures, tout comme les carbonates, peuvent au-delà d'une certaine concentration (C critique) au niveau de l'acier être responsable de l'amorçage de la corrosion. Bien que relativement controversée, la concentration est estimée entre 0.025% et 0.03% de la masse du béton en chlorure libre [Building Code, 1999]. Dans certains documents ils ont défini un seuil critique par le rapport $[Cl^-] / [OH^-]$, exprimant la teneur en Cl^- en fonction de la basicité de la solution interstitielle au niveau de l'armature : il est admis que la corrosion est amorcée lorsque ce taux est supérieur à 0.6.

La fig. I. 7 (Tuutti, 1982) est un schéma décrivant les différentes étapes du processus de corrosion en fonction de la concentration en chlorures au niveau de l'armature.

L'ion chlorure, peut aussi réagir avec le matériau en profondeur.

Les sels de chlorure présents naturellement dans l'eau de mer, notamment les chlorures de magnésium $MgCl_2$ et les chlorures de calcium $CaCl_2$ sont agressifs vis-à-vis du béton.

Le chlorure de magnésium $MgCl_2$ réagit avec la portlandite $Ca(OH)_2$ et provoque la dissolution (ou lixiviation) du liant. Le chlorure de calcium $CaCl_2$ réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A (provenant du clinker) et conduit à la formation d'un chloro-aluminate de chaux puis d'ettringite, voire même de thaumasite (en présence de silice dissoute et de carbonates), qui sont des gels expansifs pouvant générer des gonflements, des fissurations et des éclatements du béton.

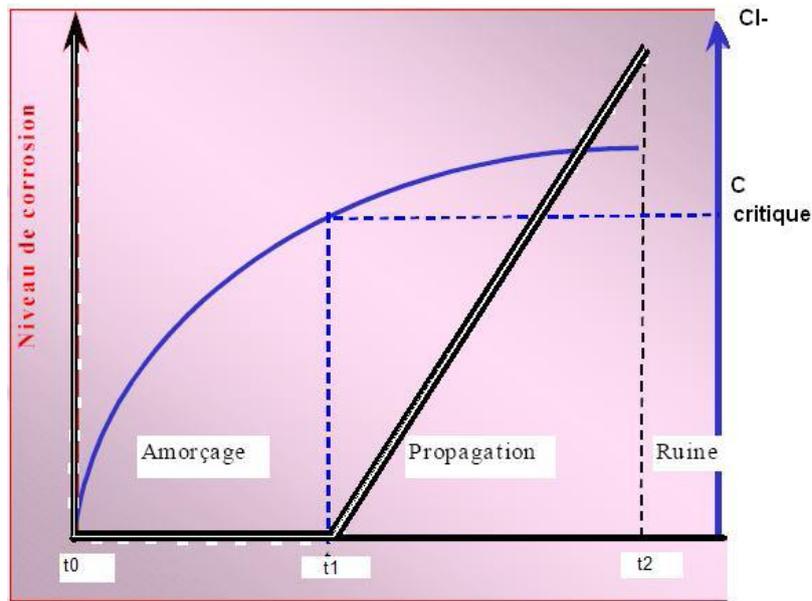


Fig. I. 7 Modèle de [Tuutti (K.), 1982]

Ce graphique est paramétrique : le niveau de corrosion (courbe en trait double) est représenté pour une évolution de la concentration en Cl- donnée (courbe en trait simple). Deux phases sont considérées dans ce modèle, l'amorçage puis la propagation.

La première correspond au temps mis par les chlorures pour pénétrer dans le béton d'enrobage jusqu'aux aciers (de t_0 à t_1).

Durant cette phase, le film passif protège toujours l'acier, ce qui explique pourquoi le niveau de corrosion reste nul. Lorsque les chlorures sont en concentration suffisante à l'acier (C critique à t_1), la couche de passivation est détruite et la corrosion débute.

La deuxième phase (de t_1 à t_2) traduit une propagation de cette corrosion pouvant aboutir dans les cas les plus sévères à la rupture de la structure.

En général :

- les chlorures agissent par rupture du film passif des aciers qui perd son caractère protecteur
- les chlorures sont rarement distribués de manière homogène à la surface de l'acier et le film passif est lui-même variable selon l'endroit
- les chlorures entraînent une corrosion qui est localisée (piqures)

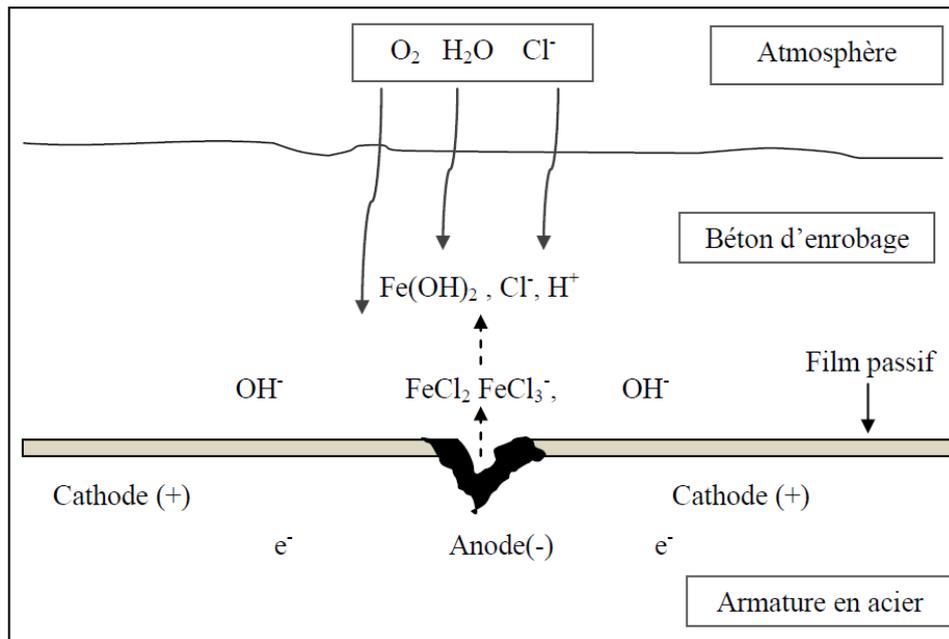


Fig. I. 8 Mécanismes de corrosion par des piqures due à la corrosion

I.2.2. Attaque due aux acides

Le principal milieu externe d'agression chimique pour le béton, c'est le milieu acide. Lorsque les acides entrent en contact avec le béton, ils dissolvent la chaux produite par l'hydratation du ciment, faisant alors progressivement diminuer le pH et ils annihilent ainsi la passivation des aciers mais aussi la résistance du béton. Plus le pH est faible, plus l'attaque est importante.

I.2.2.1. Attaque due au H₂SO₄

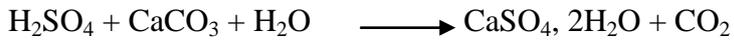
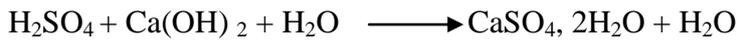
Le H₂SO₄ qui se trouve dans les milieux industriels sous forme gazeuse et liquide présente un effet néfaste sur le béton, acier et même la santé des ouvriers.

Sachant que le béton est de PH basic cette propriété joue un rôle très important dans la durabilité du béton, mais la présence des produits chimiques tel que H₂SO₄ à proximité des constructions pose un problème réel.

L'attaque de l'acide sulfurique sur le béton armé se traduit par une perte de masse (détérioration), fig. I. 9 et la résistance à la compression diminue d'une manière tragique tous ça est le résultat des réactions chimiques entre l'acide et les constituants du ciment à savoir

- d'une part la formation du gypse secondaire suite à la lixiviation (dissolution) de la portlandite (Ca (OH)₂) et silicates de calcium hydratés C-S-H selon la notation cimentière C=CaO, S= SiO₂, H=H₂O

et le carbonate de calcium (Ca CO₃) des ajouts selon



- d'autre part la formation de l'ettringite secondaire ; produit des réactions entre l'aluminate de calcium C_3A ($3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$), le monosulfoaluminate tétracalcique ($\text{C}_3\text{A}, \text{CaSO}_4, 12\text{H}_2\text{O}$) et l'hydrate d'alumine ($\text{C}_3\text{A}, 6\text{H}_2\text{O}$) et le gypse respectivement selon :



Les solides ainsi formés possèdent deux volumes beaucoup plus grands que ceux des corps qui leur ont donnée naissance ; il en résulte donc une expansion qui conduira a la détérioration donc l'attaque du béton par le H_2SO_4 peut engendrer une lixiviation du béton et une dépassivation des armatures en réduisant le PH de la solution interstitielle [Belhachemi (b.), et al 2012]

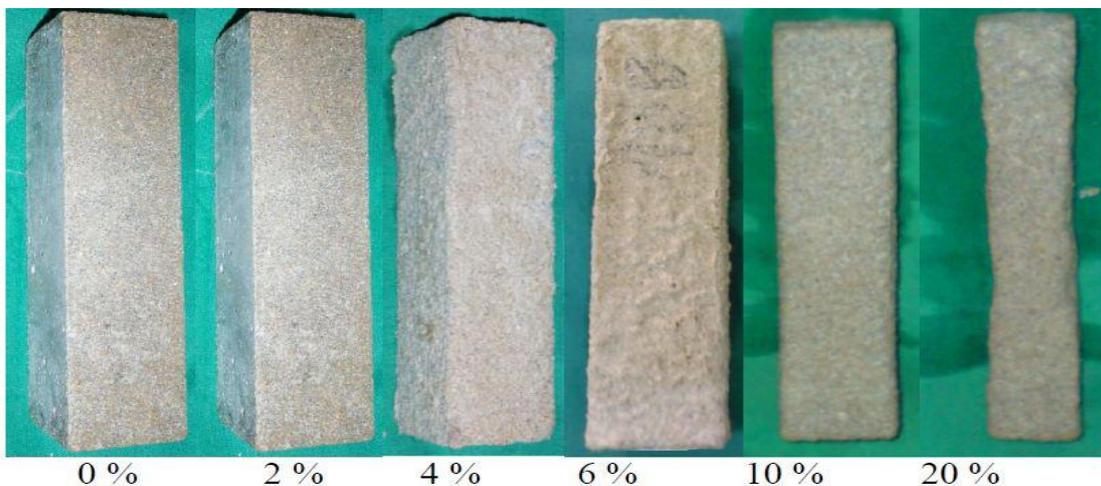


Fig. I. 9 Evolutions de dégradation des éprouvettes en mortier de ciment dans des milieux acides à différentes concentration [Belhachemi (b.), et al 2012]

I.2.3. Attaque sulfatique externe

Les sulfates, source de cette attaque, ont des origines naturelles mais aussi accidentelles, notamment la pollution industrielle :

- Les sols peuvent contenir naturellement une quantité de sulfates (de 0.01 à 0.05%). Dans le cas des sols constitués de roches gypseuses, cette teneur peut être supérieure à 5%.
- Les eaux souterraines séléniteuses proviennent de la dissolution de nappes de gypse. Elles peuvent aussi provenir de la dissolution de tous les sulfates alcalins.
- L'eau de mer est naturellement chargée en sulfates, le **tableau. I. 1** représente la composition ionique de la mer méditerranéenne (**Wilson, 1975**).

Espèce ionique	Méditerranée (g/l)
Cl ⁻	21.4
Br ⁻	0.07
SO ₄ ²⁻	3.06
CO ₃ ²⁻	
Na ⁺	11.6
K ⁺	0.4
Ca ²⁺	0.47
Mg ²⁺	1.8

Tableau. I. 1 composition ionique de la mer méditerranéenne [**Wilson, 1975**].

Les ions sulfatiques ne sont pas passifs vis-à-vis de la matrice cimentaire et conduisent à la formation de certains composés chimiques expansifs tels que : L'étringite secondaire, le gypse secondaire et la thaumasite. Ces composés provoquent le gonflement du béton créant en son sein des tensions qui engendrent des fissurations.

I.3. Causes de dégradation liées aux au sol

I.3.1. Tassement

I.3.1.1. Tassement uniforme

Lorsque les tassements sont uniformes, ils ne provoquent pas de désordres dans les constructions, mais ils peuvent causés des désordres fonctionnels.

Ce type de tassements se manifeste principalement lorsque les fondations sont assez rigides et reposent sur une importante couche de sol compressible ou bicouche.

Généralement, dans le cas de sol compressible dont la couche est importante, toutes les mesures nécessaires doivent être prises pendant la conception.

Ce n'est pas le cas pour les bicouches qui sont constituées d'une couche très compressible surmontée d'une autre couche relativement résistante mais de faible épaisseur. La force portante à la partie supérieure de la couche compressible est fonction de la valeur du rapport H/B (H étant l'épaisseur de la couche résistante et B étant la largeur de la semelle qui conditionne la répartition des charges à travers la couche résistante. [M^{lle} **Ouzaa (k.),** par exemple, les immeubles d'habitation de Santos au Brésil posés sur une mince couche de sable reposant sur 70m d'argile molle tassent couramment de 0.80m à 1.50m. [Guy (s.), et al]

I.3.1.2. Tassement différentiel

Lorsqu'un sol tasse d'une façon inégale sous les différents points d'une fondation, on dit qu'il y-a un tassement différentiel.

Il se manifeste soit par un basculement soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle-même si le tassement est important.

Les causes des tassements différentiels sont multiples, mais les plus fréquemment rencontrés sont :

- les sols compressibles,
- les remblais récents,
- la non homogénéité du sous-sol de fondations,
- l'emploi des fondations hétérogènes,
- les affouillements du sol sous les fondations,
- la modification du volume de certains sols en fonction de la teneur en eau,
- la non homogénéité de la super structure.

I.3.2. Liquéfaction du sol

Le phénomène de liquéfaction des sols meubles lors d'un séisme, plus généralement de vibrations, est un évènement catastrophique. De nombreux et importants sinistres sont ainsi rencontrés. Il est décrit comme le fait que le sol se comporte pendant un court instant à la manière d'un fluide visqueux. Ce phénomène est principalement rencontré dans les milieux côtiers et des sols sableux, ainsi que les argiles sensibles. Il se produit si le sol est saturé et soumis à des sollicitations rapides, telles que les séismes, les raz-de marée, les explosions.

La liquéfaction se produit quand la structure d'un sable lâche et saturé se décompose à cause de la sollicitation rapidement appliquée. En effet, sous la sollicitation, les particules du sol ont tendance à se structurer de manière plus dense, en diminuant les vides, qu'à leur état initial. Dans le cas présent, la vitesse de l'évènement ne permet pas à l'eau de s'évacuer, les pressions interstitielles augmentent alors très fortement. Cette augmentation des pressions diminue ainsi les forces de contact entre les particules du squelette du sol, diminuant donc la capacité portante de ce dernier. A cet instant, si de nombreuses particules perdent le contact entre elles, le sol perd toute résistance et se comporte alors plus comme un liquide que comme un solide. Le sol est donc liquéfié. La photo. I.1 représente les effets d'une liquéfaction sur un quartier au **Japan**



Photo. I.1 Séisme de Niigata 1964 Quartier Kawagishi-Cho

I.4. Causes de dégradation dues à l'âge du béton

Le phénomène du fluage se produit à moyen et à long terme, ce dernier concerne les ouvrages en béton armé.

La déformation d'un élément en béton soumis à un chargement de longue durée est la somme de la déformation dite instantanée et de la déformation différée due au fluage.

Déformation instantanée : c'est la déformation qui se produit sous l'effet d'un chargement de courte durée (jusqu'à quelques jours).

Déformation différée : le chargement étant maintenu constant, la déformation croît lentement, à vitesse décroissante, jusqu'à atteindre, après plusieurs années, sa valeur maximale qui est, en ordre de grandeur, le double de celle de la déformation instantanée. Le fluage du béton est ce processus continu de déformation d'un élément sur lequel s'exerce une charge constante ou variable. Il est en fonction notamment des caractéristiques du béton, de son âge lors du chargement, de l'épaisseur de l'élément, de l'hygrométrie de l'environnement et du temps. Le fluage est un phénomène complexe, constaté mais encore mal compris. Il serait lié à des effets de migration d'eau dans les pores et les capillaires de la matrice ainsi qu'à un processus de réaménagement de la structure des cristaux hydratés du liant. C'est **Eugène Freyssinet** qui, le premier, dès **1912**, à mis en évidence ce phénomène et en a mesuré les conséquences sur le comportement des structures en béton armé et en béton précontraint (réduction de la résistance sous charges soutenues, pertes de précontrainte, redistribution de moments).

I.5. Causes de dégradation physiques

Abrasion : Usure accompagnée d'une perte de matière consécutive au frottement d'un élément par un abrasif ou par le passage répétitif des piétons, véhicules et chariots industriels, etc.

Erosion : Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement.

Cavitation : Usure d'une structure hydraulique caractérisée par une perte de masse en présence de bulbes de vapeur qui se forment lors d'un changement brusque de direction d'un écoulement rapide de l'eau.

Chocs : Le béton éclate sous l'effet de chocs produits par des engins de transport ou de levage, des outils.

Surcharges : Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes qui ont entraîné des fissurations et des éclatements du béton.

Le feu : Les très fortes élévations de température lors d'un incendie par exemple, entraînent un éclatement du béton.

Cycle gel/ dégel : Après un nombre important de cycles gel/dégel, certains bétons peuvent se déliter en surface et se désagréger. C'est le cas des ouvrages de montagne, des chambres froides.

I.6. D'autres causes de dégradation

Certaines causes, essentiellement dues à une mauvaise mise en œuvre, peuvent également participer à la dégradation des bétons.

Mauvais positionnement des armatures : les armatures (généralement en acier) placées trop près du parement béton lors du coulage provoquent à terme des fissurations de surface.

Mauvaise qualité des bétons employés un béton trop faiblement dosé en ciment, mal vibré, présentera un aspect défectueux : nids d'abeilles, faïençage, fissures superficielles, trous laissant les armatures apparentes.

Vibration trop importante : une vibration trop longue peut entraîner une ségrégation du béton et par conséquent une mauvaise répartition des constituants.

Absence de cure du béton : la cure du béton est indispensable par temps chaud venté. Sans protection de surface, le béton se faïence en surface.

CHAPITRE II : Présentation De L'environnement Général

Pour assurer une bonne réhabilitation des ouvrages en béton armé, il faut non seulement s'intéresser aux méthodes de formulation, de fabrication et de mise en œuvre, mais aussi aux conditions d'environnement. Tous les milieux extérieurs sont considérés comme agressifs pour les bétons et mortiers.



Fig. II. 1. Une vue satellitaire de situation prise par Google Earth

II.1. Présentation de l'environnement extérieur

II.1.2. situation géographique

Ghazaouet se trouve sur la rive Sud de la méditerranée dans l'Ouest Algérien exactement $35^{\circ} 05' 38''$ Nord $1^{\circ} 51' 37''$ Ouest[4] à proximité des frontières marocaines. Le site où l'usine est implantée est marin et sachant que ce milieu est, pour les ouvrages en béton armés, a priori pathogène.

Parce que l'air marin (poussés par le vent, les embruns, chargés de sel, SO_4^{2-} et CL^-), déposent des quantités de sel non négligeables dans les pores et les fissurations du béton, engendrant à terme la corrosion des ouvrages.

A l'Est de l'usine on trouve la présence d'oued Ghazouanah qui est appelé également oued El Marsa. Il est formé par la confluence de deux grands oueds : oued Tleta qui draine la partie orientale de la commune de Nedroma et Oued Taima qui draine la zone occidentale de la commune de Djebala. Son bassin versant est relativement très important (320 km^2). De plus il est caractérisé par des pluies torrentielles qui sont à l'origine de nombreux problèmes au niveau de la ville de Ghazaouet : inondation de la ville et envasement de son port par les différents apports de particules solides. Et selon le rapport de (L'urbanisation et les risques naturels et industriels en Algérie : inquiétudes actuelles et futures **2003**) « l'usine est implanté sur un cité instable ».

II.1.3. Caractéristiques climatique

La position géographique du **Ghazaouet** sur le sud méditerranéen lui procure le climat de ce dernier qui se caractérise par un hiver modéré et un été relativement sec et chaud.

Le tableau. II. 1 représente les variations de température dans la région de **Ghazaouet** de **1970 à 2004**

II.1.3.1. Températures

Températures	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne
T° Max	17.26	17.50	19.31	20.39	22.45	24.00	26.84	27.32	27.32	23.91	20.96	18.08	22.27
T° min	8.84	9.30	11.00	12.39	15.53	18.11	21.32	22.58	20.01	16.68	12.97	10.06	14.90
T° Moy	13.05	13.4	15.16	16.39	18.99	21.06	24.08	25.91	23.67	20.30	16.97	14.07	18.59

Tableau. II. 1 Moyennes mensuelles et annuelles des températures (1970 – 2004) source
« **Source ONM station de Zenata (2005)** »

II.1.3.2. Précipitations

Et le tableau. II. 2 représente les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en (mm) entre 1970-2004

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne
Précipitations (mm)	40.69	48.13	37.64	25.63	28.23	3.95	2.02	1.56	16.14	24.68	50.08	28.05	306.80

Tableau. II. 2 Moyennes mensuelles et annuelles des températures (1970 – 2004) source
« **Source ONM station de Zenata (2005)** »

II.1.3.3. Vent

Le vent accentue les effets des éléments du climat (température, humidité et précipitations). L'espace étudié est fortement influencé par la présence de la mer. Les vents dominants sont souvent humides, chargés de sels minéraux agressifs vis-à-vis du béton armé et sont en prévalence du Nord et du Nord-Ouest [**Berrayah; 2005**].



Fig. II. 2 Représente la direction des vents dominants sur l'usine

II.1.4. Cadre tectonique

Toute la bande du littoral Algérien est siège d'une forte activité sismique et le séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 de magnitude 6.8 à l'échelle de Richter est venu confirmer une autre fois après celui de Chlef de 1980 que le Nord Algérien est une zone de forte sismicité. Causée par l'affrontement entre les deux plaques tectoniques africaine et eurasiatique issu de l'avancement progressif de la plaque africaine vers le Nord-Ouest contre la plaque eurasiatique, à une vitesse de quelques millimètres par an. La figure. II. 3 schématise les sens et les vitesses des déplacements des plaques. Ce niveau de sismicité élevé de la bordure littorale peut s'expliquer par le fait que cette zone soit le siège des déformations continentales les plus importantes. [Yelles (c.), et al., 2003]. Et selon le RPA 1999 versions 2003 classe la région de Ghazaouet en zone II d'une sismicité moyenne



Fig. II. 3 tectoniques euro-méditerranéennes [2]

II.1.5. Description et caractéristiques du sol

Les descriptions et les caractéristiques du sol sont selon le rapport du sol du LTPO et rapport d'expertise du sol fait par la société Algérienne de la sidérurgie tous ces rapports ont été faits en 1994 octobre et décembre.

L'usine d'électrolyse de zinc de **Ghazaouet** comprend une vingtaine de bâtiments ou installations (halle industrielle avec pont roulant, des chalets en matériau composite, deux silos en acier, six décanteurs sur élève par des pilotis, des cuves en béton armé enterrées, des cuves en acier). Les fondations de ces installations sont établies sur du sol sableux en générale et même il-y-a une couche de béton poreux dont l'épaisseur est de 4.00m (qui a été injecté par une entreprise italienne en **1994**) dans quelque endroit et cette dernière repose sur du sable fin à moyen parfois grossier graveleux avec trace de galets marron. Le sol est caractérisé par un angle de frottement $\phi=43^\circ$ et une cohésion nulle, il se classe dans le groupe des sols pulvérulents. La résistance de portance admissible, qu'on peut affecter à ce sol est $Q_d=0.5\text{bar}$, Compte-tenu des essais de pénétration dynamique, et des essais au SPT réalisés antérieurement dans différentes études au sein du port de Ghazaouet. La composition moyenne du sable situé au dessus de la nappe peut avoir la composition minéralogique suivante

60% de grains de silice (SIO₂)

20% de grains de silicate noirs (basalte)

20% de carbonates sous forme de grains calcaires.

II.1.5.1 Nappe souterraine

Le niveau d'eau enregistré lors de la campagne de sondage est situé dans les environs de 4m. Un échantillon de cette eau a été prélevé et analysé.

A. Facteurs chimiques de la nappe

Lors de la réalisation des essais en laboratoire, ils avaient constaté que le terrain étudié présente des caractéristiques chimiques assez variables.

Concernant l'eau de la nappe dont le ph est à peu près neutre

PH=7.8 et le pourcentage de sulfate assez élevé

SO₄=5.8g/l nous renseigne sur le caractère agressif de cette eau vis-à-vis des bétons et armatures.

II.2. Présentation de l'environnement intérieur

II.2.1. présentation de l'usine

Située à Ghazaouet dans l'ouest Algérien, La société algérienne du zinc (Alzinc) est une filiale de METANOF ; sa vocation est la production et la commercialisation du zinc, de ses alliages, de l'acide sulfurique et du cuivre électrolytique en cathodes. A démarrer sa production en décembre 1974.elle est la seul usine de zinc au niveau du monde arabe et la deuxième en Afrique (après l'Afrique du sud). [3]

Le projet de l'usine fus lancé en 1969 avec la coopération de la société belge « vieille montagne ».

L'étude et la construction ont durés 5ans le maitre d'ouvrage été le ministère des énergies et des mines. Maitre d'œuvre été société national de sidérurgie **Alger**. Elle est entrée en production à partir de **1974**

Elle est étalée sur une superficie de 14 hectares, et maintenant c'est le centre d'activité industrielle le plus important de la région.

L'usine traite de la blende (association zinc/soufre « Zn s ») pour donner une variété de produits qui sont :

- Zinc lingot de 25 kg
- Zinc Jumbo de 02 Tonnes, préaluminé, préplombé
- Alliages de zinc (zamak 3 et zamak 5)
- Anodes pour protection cathodique
- Acide sulfurique concentré à 98%
- Cuivre électrolytique en cathodes de 100 à 160 kg teneur 99.98% Minimum.

La matière première (blende) provient du Pérou d'une part et d'autre part de Chaâbat Hamra en Algérie.

La capacité de production a été envisagé au début de 40.000tonnes /an mais maintenant peut atteindre 36.850tonnes/an et l'usine emploie plus de 400 personne. [3].

II.2.2. Processus de fabrication

L'unité traite des minerais de zinc appelés sulfure de zinc pour extraire du zinc métal à 99.95%, du cadmium, du cuivre et de l'acide sulfurique.

Le minerai de zinc est oxydé dans un four à lit fluidisé. Cette oxydation donne de l'oxyde de zinc et un gaz (anhydride sulfureux) qui après purification est transformé en anhydride sulfurique puis en acide sulfurique. Dans la zone de grillage de la blende

Remarque : un pourcentage de 0.02% de gaz anhydride sulfureux est toléré d'être dégagé dans l'atmosphère par la norme ISO 14001

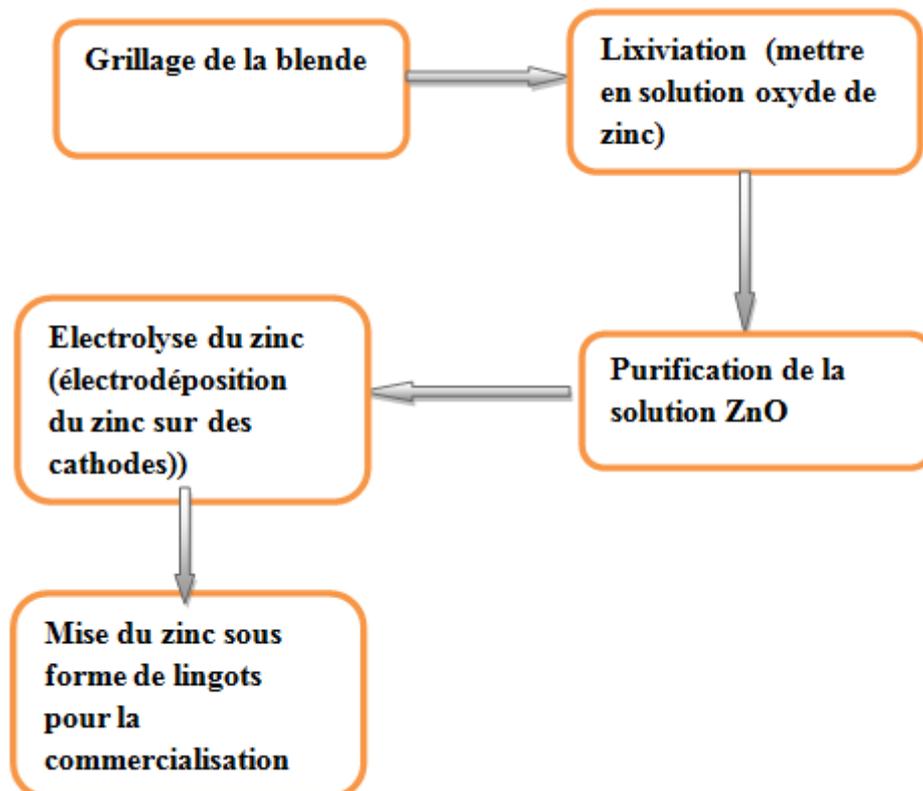
L'oxydation donne également lieu à de la chaleur qui est récupérée sous forme de vapeur haute pression pour faire tourner un turbo-alternateur pour la production de l'énergie électrique de 2.2 MW.

L'oxydation de zinc obtenu est mise en solution avec de l'acide sulfurique pour obtenir une solution de sulfate de zinc. Dans la zone de lixiviation

Cette solution est purifiée par cémentation, dans la zone de purification ensuite envoyée dans des cellules d'électrolyse qui se trouvent dans la zone d'électrolyse de zinc.

Les plaques de zinc cathodique obtenues par électrodéposition sont refondues dans des fours pour être mises sous forme de lingots de zinc commercialisables.

Les cuivre cathodes, les alliages de zinc sont produits dans des ateliers annexes situés dans l'enceinte de l'usine. La schématisation du processus de fabrication



II.2.3. Présentation des différents ouvrages de la structure

II.2.3.1. La zone de lixiviation

Dans cette zone il y-a des décanteurs qui sont des réservoirs réalisés en béton armé soutenus par douze pilotis fig. II. 5, la cuve est déposée sur deux couronnes concentriques de poteaux fig. II. 6, sa capacité est de 418m^3 , la température du liquide est entre 50c° et 60c° , leur fonction c'est la décantation de la solution sulfate de zinc on d'autre terme c'est suppression de tous ce qui est solide, ces derniers sont construits sur une fondation de type radier générale, ils se trouvent dans l'usine six décanteurs, trois d'entre eux sont exposé aux vents dominants (A, B, C) et les trois autres (D, E, F) sont couverts par le bâtiment du département technique.

Concernant la résistance du béton à 28 jours été de 30Mpa acier si $\phi > 25\text{mm}$ 400Mpa , si $\phi \leq 20\text{mm}$ 420Mpa selon les plans que j'ai pu les consulter, sur place.

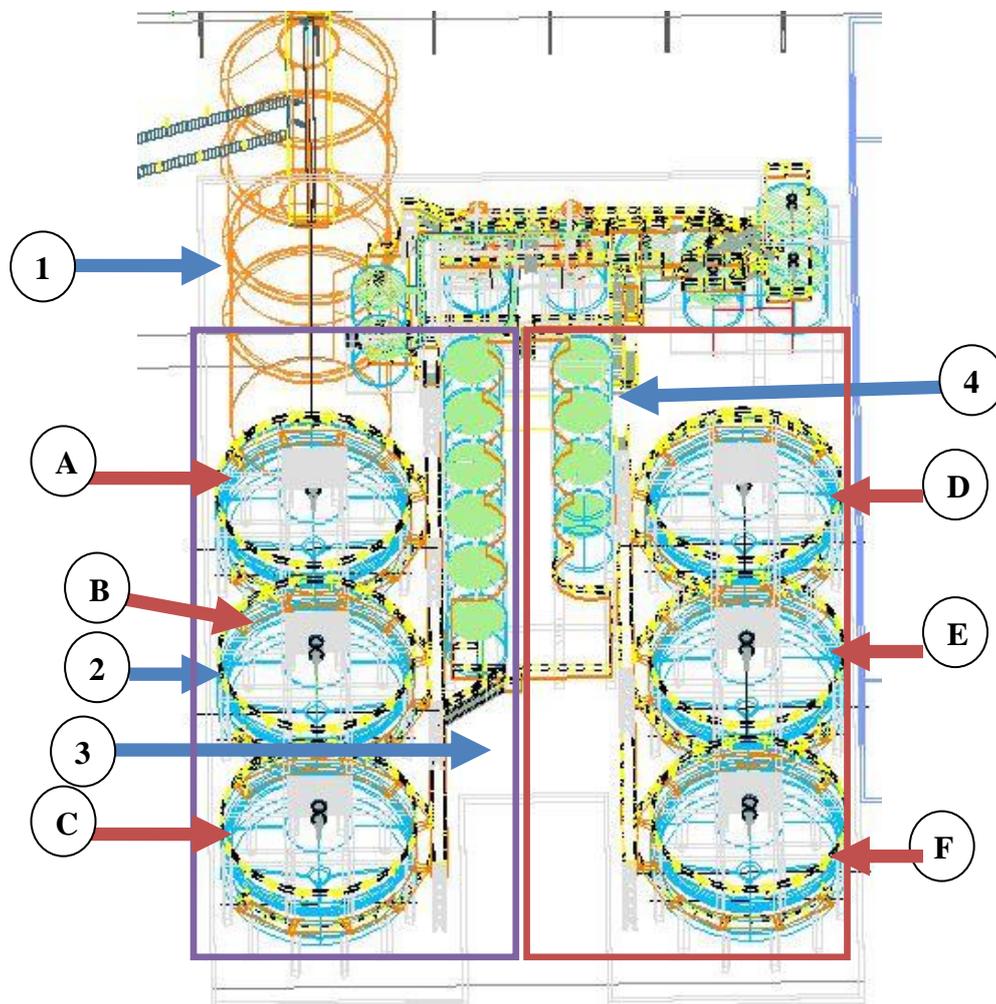


Fig. II. 4 Vue générale sur la zone de lixiviation

1 : silos de stockage de la blende

2 : décanteur

3 : plate forme

4 : cuve de lixiviation

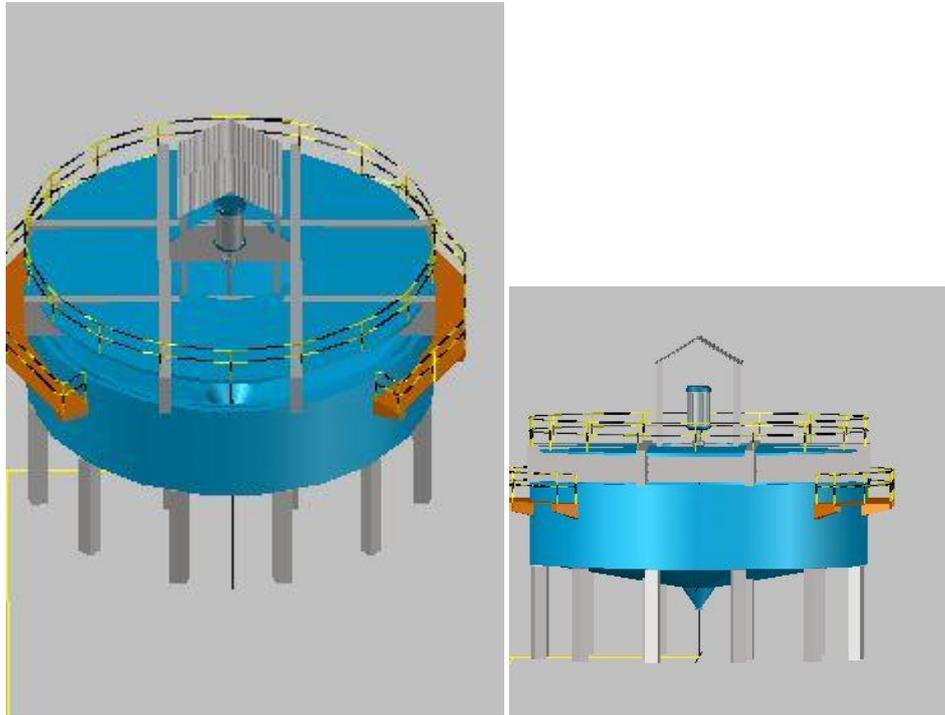


Fig. II. 5. Représente deux vues de notre décanteur réalisé en auto cad 2011

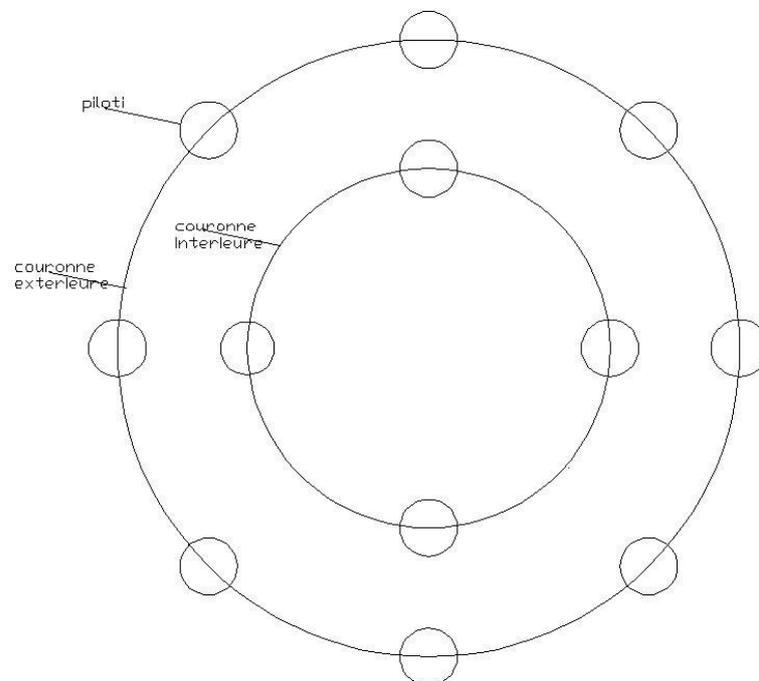


Fig. II. 6. Répartitions des pilotis sur les deux couronnes

Et une plate forme réalisée sous les cuves de lixiviation et des décanteurs et cette dernière reçoit les déchets de la décantation. Cette plate forme est revêtue par du bitume.

Les cuves de lixiviation sont des réservoirs placés à une hauteur de six mètres de la plate forme, sont supportées par une structure poteaux poutres. Ces cuves qui contiennent une solution acide sont protégées par du plomb de l'intérieur d'épaisseur de 4mm.

II.2.2.2. La zone d'électrolyse

Dans cette zone la solution du sulfate de zinc est transformée par électrodéposition par le biais des plaques cathodiques qui se trouve dans le hall électrolyse de zinc.

- dans cette zone il y-a trois cuves contenant la solution de sulfate de zinc, deux cuves de 150m³ légèrement enterrées appelées, cuve de roulement primaire et secondaire. Et une troisième petite cuve de 16m³ appelée cuve d'épuise, destinée a recevoir le surplus de la solution, cette dernière est surélevée par une structure en charpente métallique. Toutes ces cuves sont protégées avec une feuille à partir l'intérieur d'une épaisseur de 4 mm.

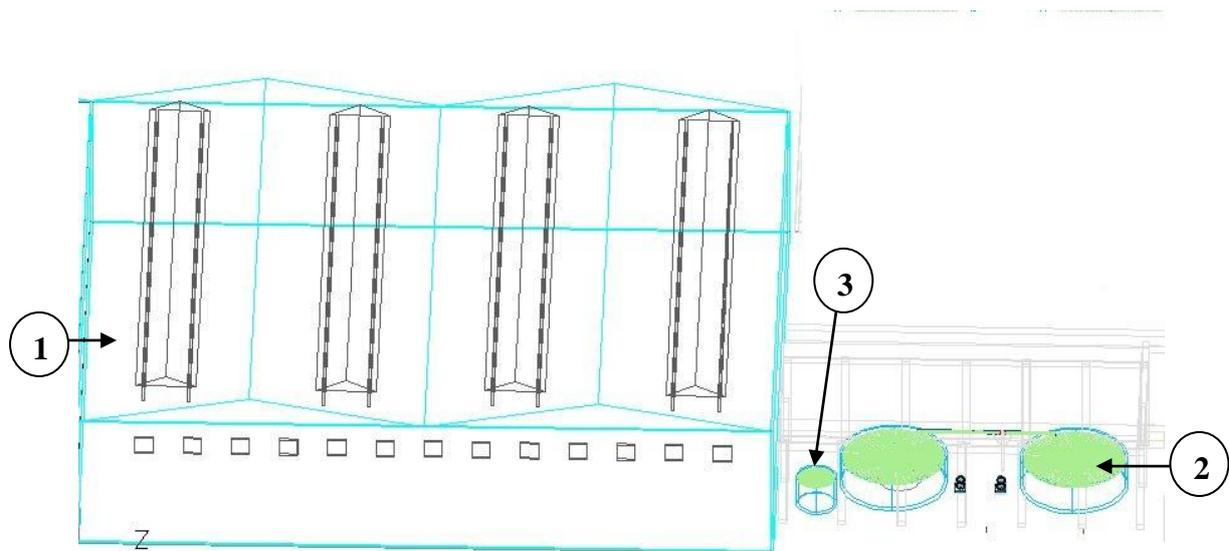


Fig. II. 7 Vue de dessus sur la zone d'électrolyse du zinc

1 : halle de l'électrodéposition du zinc

2 : cuve de roulement

- le hall où se fait l'électrodéposition du zinc, c'est une structure en poteaux poutres, composé d'un sous sol, et une partie supérieure où se trouvent les douze rangées de 24 cellules de quarante cathodes et de quarante-et-un anodes.

CHAPITRE III : Les Matériaux Mis En Place

Après les premières visites au site concerné par l'étude, on a constaté que les dégradations sont généralement d'ordre physique et chimique, on va s'intéresser aux anomalies chimiques. Donc la connaissance des différents matériaux utilisés, Leur nature, et propriétés. Sont nécessaire pour mieux comprendre ces pathologies.

III.1. Le béton

Le béton est issu d'un mélange ciment, eau, granulats, et souvent des adjuvants, réalisé suivant des proportions bien déterminées en fonction des caractéristiques que l'on veut obtenir. L'ensemble doit être homogène. La pâte résultante des réactions entre le ciment et l'eau, est l'élément actif du béton.

III.1.1. Le ciment

Le ciment (du latin Caementum, signifiant pierre non taillée) est une matière pulvérulente formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier.

III.1.1.2. La composition du ciment

Le ciment est composé essentiellement de clinker, qui est obtenu par broyage d'une roche artificielle produite par calcination vers 1450°C d'un mélange de calcaire et d'argile en proportion moyenne 80%, 20%.

Le clinker comporte les éléments chimiques suivants :

- silicate tricalcique, $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ ou C_3S^* ($\approx 50-70\%$) « alite »,
- Silicate bi-calcique, $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ ou C_2S ($\approx 5-25\%$) « bélite »,
- Aluminate tricalcique, $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A ($\approx 2-12\%$),
- alumino-ferrite tétracalcique, $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF ($\approx 0-15\%$). [Georges (d.), et al]

Parmi la grande variété de ciment. Un des plus couramment utilisé est le ciment portland CEM1 (selon EN 197-1) composé de clinker, de gypse ($\approx 5\%$) et éventuellement d'ajouts ($< 5\%$).

III.1.1.3. La fabrication du ciment

Les étapes de fabrication du ciment sont résumées dans la figure qui suit :

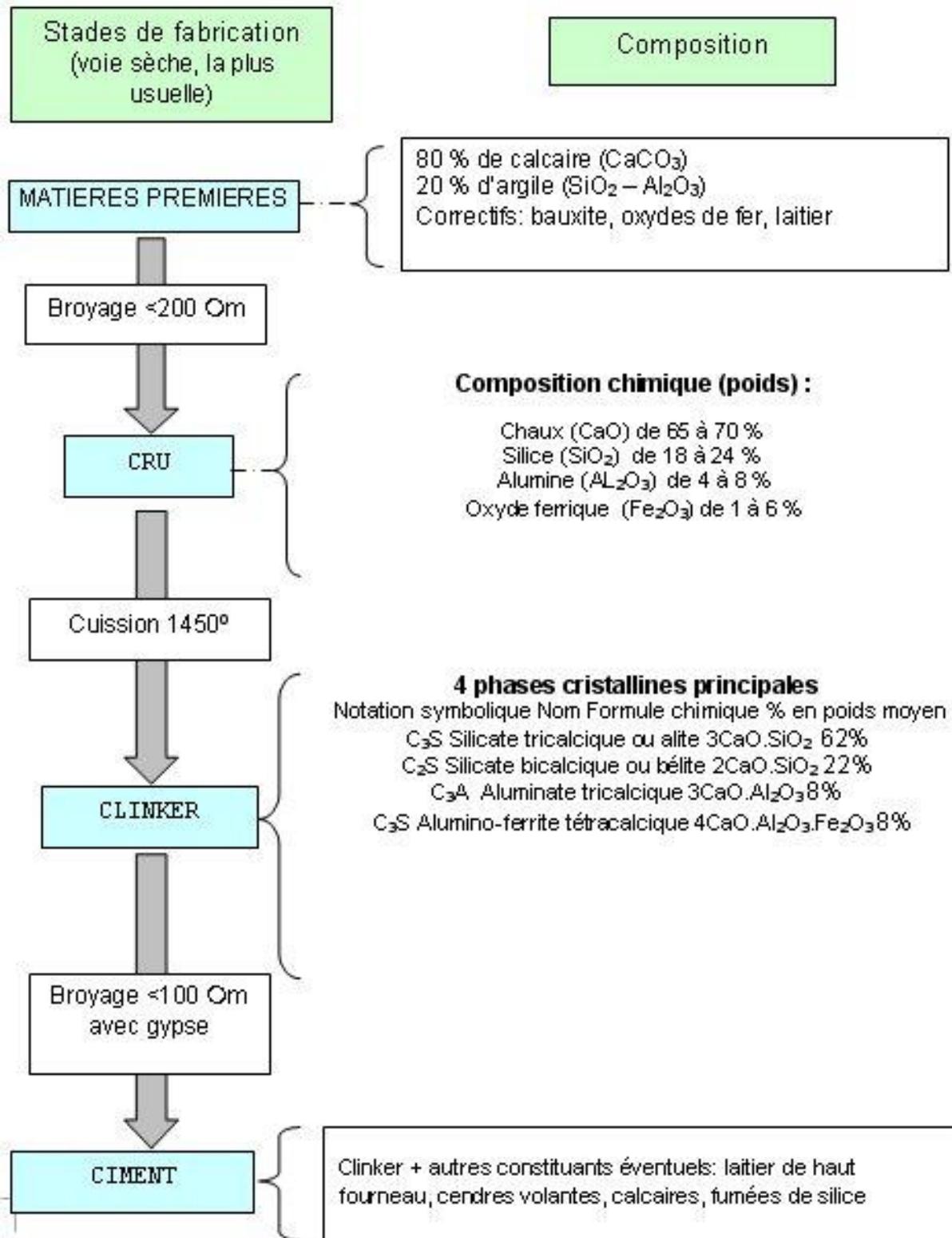


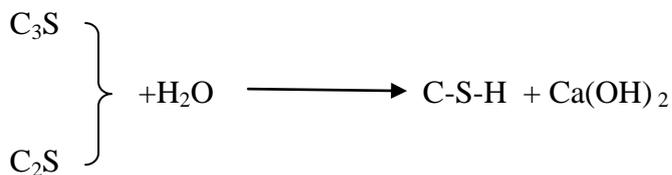
Fig. III. 1. Procède de fabrication de ciment [1]

III.1.1.4. Hydratation du ciment

Au cours de son hydratation, le ciment réagit chimiquement avec l'eau, en effet, sous l'action de l'eau, les espèces du ciment, légèrement soluble dans l'eau passent en solution dans la phase aqueuse pour donner les ions suivants:

- Calcium Ca^{2+}
- Potassium k^+
- Sodium Na^+
- Hydroxyde OH^-
- Silicate $\text{SiO}_4\text{H}_2^{2-}$, $\text{SiO}_4\text{H}^{3-}$, $\text{SiO}_7\text{H}_4^{2-}$
- Aluminate $\text{AL}(\text{OH})^{4-}$, ALO^{2-}
- Sulfate SO_4^{2-}

Les produits d'hydratation majeurs sont les silicates de calcium hydratés C-S-H et la portlandite ou hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou CH qui résultent de la réaction chimique suivante :



Avec : C = CaO, S = SiO₂, A = AL₂F₃, F = FeO₃, S = SO₃, H = H₂O

Les quantités de C-S-H et de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formées dépendent essentiellement du rapport eau/ciment noté E/C, et du temps de réaction. une pâte de ciment durcie ordinaire contient 50 à 70% de C-S-H et 25 à 27% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Les C-S-H définissent la phase hydratée la plus importante dans la pâte de ciment durci et c'est d'elle que vont dépendre les principales propriétés mécaniques du matériau.

La portlandite, quant à elle, joue un rôle essentiel dans la durabilité du matériau. En effet, elle se dissout dans l'eau des pores du béton (la solubilité de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans l'eau pure à 25°C est de 0,8 g/l), conférant au béton, avec les hydroxydes alcalins KOH et NaOH, la basicité de sa solution interstitielle, dont le PH va évoluer d'environ 12,4 à 13,5 au cours de l'hydratation. C'est cette basicité qui va permettre la passivation des armatures en acier du béton armé.

La composition chimique de la phase aqueuse interstitielle peut être déterminée en extrayant la solution interstitielle par pression comme l'ont décrit [Longuet et al 1973]. Les principaux éléments constitutifs de la solution dépend du type de ciment employé et de l'âge du béton

[McDonald (d.), et al 1995]. elle est par conséquent influente sur la conductivité du béton et sur les processus d'oxydation et de passivation des armatures.

Les autres hydrates formés sont :

- l'hydroxyde d'aluminium : $2\text{Al}(\text{OH})_3$ ou AH_3
- l'acide silicique (ou silice hydratée) : $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SH_2
- les aluminates de calcium hydratés :
 - C_2AH_8 : aluminat bi-calcique hydraté
 - C_4H_{13} : aluminat tétra-calcique hydraté
 - C_3AH_6 : aluminat tricalcique hydraté
- la gehlénite hydratée ou aluminosilicate de calcium hydraté : C_2ASH_8
- les sulfo-aluminates de calcium hydraté :
 - $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS}^- \cdot \text{H}_{32}$: ettringite (ou trisulfo-aluminat de calcium hydraté)
 - $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CS}^- \cdot \text{H}_{12}$: monosulfo-aluminat de calcium hydraté

III.1.2. Les granulats

Les granulats sont composés de roches carbonatées (CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ou constituent, dans les conditions normales, le squelette inerte du béton, lui conférant sa compacité et participant à sa résistance mécanique.

Il existe trois types de granulats

- le granulats naturel est le granulats d'origine minérale n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique. Dans cette catégorie se rangent des granulats de roche, comme le calcaire, le porphyre, le trapp,
- le granulats artificiel est le granulats d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des modifications thermiques ou autres. Dans cette catégorie se rangent des granulats transformés, comme le schiste expansé, l'argile expansée, mica expansé (vermiculite),
- le granulats recyclé est le granulats résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux.

III.2. Le béton armé

Le béton dans son sens actuel fut introduit par l'ingénieur « Bélidor » dans « l'architecture hydraulique » en 1737, l'invention du ciment par « Vicat » en 1817, puis celle du ciment portland par « Aspdin » en 1824 préparèrent l'avènement du béton. Le béton

prendra son plein essor lorsqu'on y introduira des armatures métalliques qui lui confèrent une bonne résistance à la traction. Ainsi, les progrès réalisés au 20^{ème} siècle ont fait que le béton armé est devenue aujourd'hui le principal matériau de construction.

III.2.1. L'acier

Le béton est résistant à la compression mais possède une faible résistance à la traction. Pour lui conférer une bonne résistance à la traction, on dispose dans les parties tendue des armatures généralement en acier dont les formes utilisées les plus courantes sont des aciers lisses, des aciers à haute adhérence, ou des treillis soudés fils lisses. L'adhérence entre l'acier et le béton est nécessaire. Celle-ci est fonction de la forme des armatures, de leur surface (les nervures améliorent l'adhérence), de la rugosité de l'acier et de la résistance du béton. La quantité d'armatures et leur disposition, dictées par la répartition des contraintes, résultent de calculs qui font appel aux lois de comportement des matériaux.

Les spécifications concernant les barres sont détaillées dans les normes AFNOR NF A 35015 et NF A 35016. La première norme concerne les hautes adhérences et la deuxième concerne les ronds lisses.

Les éléments chimiques présents dans l'acier peuvent être classés en 3 catégories :

- Les impuretés, originellement présentes dans les ingrédients de haut fourneau qui serviront à produire la fonte qui servira à fabriquer l'acier. Ce sont le soufre (S) et le phosphore (P) présent dans le coke mais aussi le plomb (Pb) et l'étain (Sn) qui peuvent être présents dans les aciers de récupération ainsi que nombre d'autres éléments à bas point de fusion comme l'arsenic (As), l'antimoine (Sb),
- Les éléments d'addition mentionnés plus haut et qui sont ajoutés de manière intentionnelle pour conférer au matériau les propriétés recherchées, et enfin,
- Les éléments d'accompagnement que l'aciériste utilise en vue de maîtriser les diverses réactions physico-chimiques nécessaires pour obtenir en final un acier conforme à la spécification. C'est le cas d'éléments comme l'aluminium, le silicium, le calcium.

Vis-à-vis de la corrosion, l'acier inoxydable est bien plus résistant qu'un acier ordinaire mais son coût très élevé fait que, l'acier ordinaire, capable de durer assez longtemps pour satisfaire une durée de service déterminée, est utilisé dans la plupart des constructions en béton armé.

III.2.2. La qualité du béton armé

Plus le béton est « compact » plus il est capable de s'opposer à la pénétration des agents agressifs. Dans les zones où le béton est plus « poreux », au niveau des nids de cailloux, des fissures ou des reprises de bétonnage par exemple, la capacité du béton à s'opposer à la pénétration des agents agressifs est réduite. La corrosion se développe donc préférentiellement dans ces zones.

La qualité du béton dépend notamment de la formulation de ce dernier. Le choix d'une formule de rapport eau sur ciment (E/C) faible et de granulométrie adaptée permet en général d'obtenir une compacité suffisante. La sélection des constituants est également primordiale : la nature du ciment est par exemple un paramètre fondamental vis-à-vis de l'agressivité physico-chimique du milieu concerné.

La qualité du béton dépend également beaucoup de sa mise en œuvre. Une mauvaise mise en œuvre peut, à elle seule, compromettre la qualité du béton : cure insuffisante, serrage inadapté, décoffrage trop rapide par exemple.

L'épaisseur d'enrobage est très importante pour la durabilité du béton. Ce dernier constitue une barrière protectrice des armatures contre les agents agressifs. Si l'enrobage est réduit (abrasion, choc, défaut de conception, défaut d'exécution), l'initiation de la corrosion se fera plus rapidement. A l'inverse, un enrobage excessif peut être à l'origine de fissures (dus au retrait) favorisant la pénétration des agents agressifs.

Des études récentes ont montré que les contraintes dans le béton ont une influence sur sa durabilité par exemple, dans les zones de traction la corrosion était plus importante que dans les zones comprimées, microfissuration du béton dans les zones tendues favorisant la pénétration des agents agressifs, sensibilité à la corrosion des armatures en traction.

La prise en compte de l'environnement dans la formulation du béton et les modalités de mise en œuvre du béton ont un impact significatif sur la bonne durabilité du béton armé.

III.3. le plomb

Le plomb est par importance le 36ème élément constituant l'écorce terrestre; cette dernière en contient 1,4.10⁻³% jusqu'à une profondeur de 16 km. [**Ghoumari (F.),**]

Il résiste bien aux agents chimiques, mais se ternit à l'air par suite de la formation superficielle d'un carbonate basique la céruse. Le plomb fond à 327°C, sous de très fortes pressions, la température de fusion s'abaisse légèrement (326°C à 150 atm. et 321°C à 2000 atm).

Le plomb est très résistant aux acides, par ailleurs il est très énergiquement attaqué par les bases : soude, potasse, chaux. Il est également attaqué par les halogènes et en particulier le fluor. Par conséquent, les tuyaux de plomb placés dans du ciment portland ou de la chaux hydraulique doivent être recouverts d'un enduit protecteur. [**Ghoumari (F.),**]

III.4. le bitume

Le bitume est une substance composée d'un mélange d'hydrocarbures, très visqueuse (voire solide) à la température ambiante et de couleur noire. Connue depuis la plus haute Antiquité sous forme naturelle, il provient, de nos jours, presque exclusivement de la distillation des pétroles bruts.

Les qualités physiques et chimiques du bitume en ont fait un matériau de toute première importance.

Il possède un grand pouvoir agglomérant car il adhère à la majorité des matériaux usuels : pierre, béton, bois, métal, verre.

C'est un excellent isolant thermique et diélectrique.

Il est léger, ductile et souple. Du point de vue mécanique, il se comporte comme un matériau plastique ou élastique.

Il est insoluble dans l'eau, mais l'on peut en obtenir des solutions dans de nombreux solvants organiques. Il est pratiquement inerte vis-à-vis de la plupart des agents chimiques usuels.

CHAPITRE IV : Diagnostic Des Désordres Constatés

Les travaux de réhabilitation de l'usine ALZINC ne sauraient être entrepris et réalisés dans de bonnes conditions sans que s'il soit établi au préalable un diagnostic sérieux et complet des ouvrages qui la constitue.

Notre diagnostic va se limiter à une zone bien définie : zone de lixiviation, et électrolyse de zinc. Ce diagnostic sera effectué en se limitant sur les lieux visible et accessible en fonction des moyens existants, et de la difficulté d'accessibilité (pour raison de sécurité).

IV.1. Constatation des désordres et leurs origines probables

L'usine s'étend sur une superficie de 14 hectares et la zone à diagnostiquer occupe 1,5 hectare d'espace placé entre la zone de lixiviation et d'électrolyse. Dans ces deux zones on trouve les décanteurs, les cuves en béton armé enterrées, deux silos métalliques, ainsi que les passerelles en structure métallique pour la circulation des ouvriers et aussi pour le passage de la tuyauterie pour le transport de la solution industrielle. Une plate forme située sous les décanteurs revêtue par du bitume. Toutes ces structures reposent sur des fondations de types radier général selon les plans consultés sur place. Sauf pour les passerelles en structures métalliques qui reposent sur des futs de fondation.

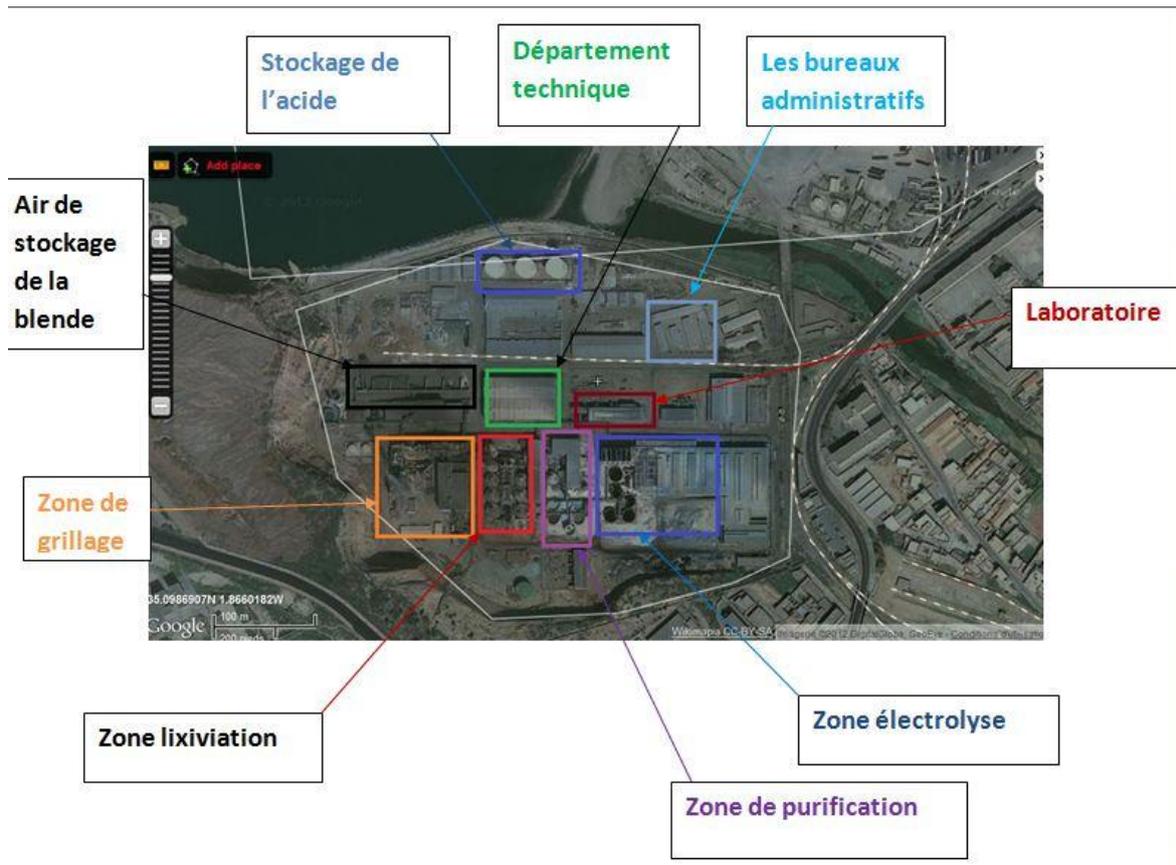


Fig. IV. 1 Vue satellitaire sur l'usine avec la désignation des différentes zones

IV.1.1. L'infrastructure et la surface

IV.1.1.1. Le sol



Photo. IV. 1 Tassements d'un fut de fondation

1 : fut de fondation d'une structure en charpente métallique



Photo. IV. 2 Stagnations d'eau industrielle à côté des silos

1 : eau industrielle

2 : tuyau d'évacuation des eaux



Photo. IV. 3 Traces d'écoulement des eaux industrielles (efflorescence) sur décanteur (A)

1 : trace d'efflorescence

2 : des fissures transversales

Nous avons constaté des tassements important atteignant dans certains cas plusieurs centimètres. Les structures ayant subi des désordres en sont témoins, ce qu'a engendré déversements dans le sol de grande quantité d'eau industrielle.



Photo. IV. 4 Représente une déformation d'un contreventement

1 : la zone déformée du contreventement



Photo. IV. 5 Déformations significatives du sol

1 : éclatement d'une plate forme

La déformation du sol à occasionner la déformation du contreventement et ainsi que l'éclatement de la plate forme. Cette dernière a tassé d'un côté et s'est soulevé de l'autre tel que représenté sur la figure. IV. 2 on peut aussi considérer que l'absence du ferrailage de la plate forme de 4cm d'épaisseur à faciliter son éclatement.

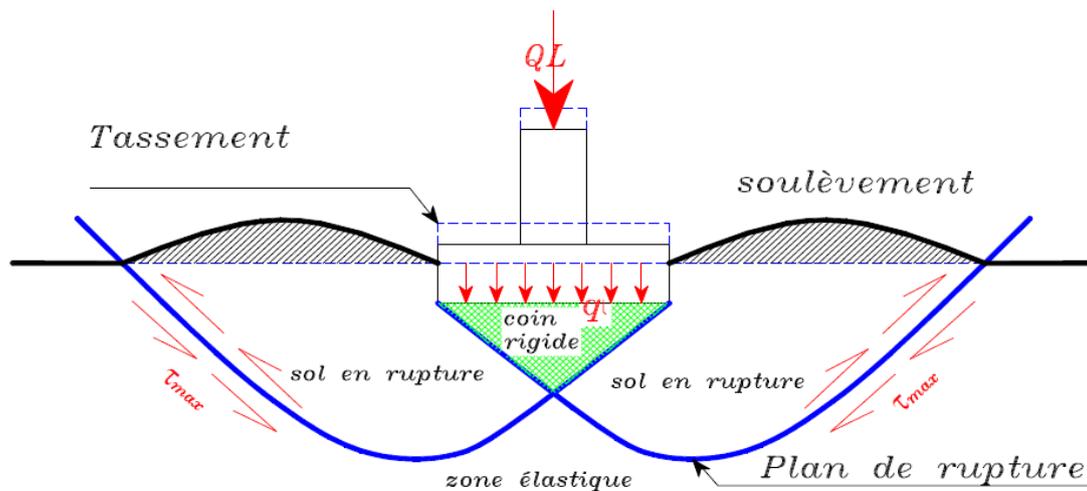


Fig. IV. 2. Représentation du tassement et du soulèvement du sol

Le tassement est probablement due à :

- la charge très importante des équipements par rapport à une capacité portantes admissible $Q_d=0,5\text{bar}$.
- la présence de l'Oued (Ghazouanah) qui se trouve à l'Est de l'usine et la mer méditerranéenne au Nord, ces derniers peuvent être à l'origine d'un affouillement sous les fondations. L'affouillement du sol est l'action de l'eau en mouvement qui creuse des cavités sous les fondations.



Photo. IV. 6 Vue sur le caniveau (galerie)

1 : eau saline

2 : tuyau d'évacuation

IV.1.1.2. Les galeries souterraines

les caniveaux (galeries technique) prévu pour le passage des câbles d'électricité pour l'alimentation des différents équipements, mais sont toujours débordée d'eau saline dont on ignore la provenance, l'eau est évacuée à l'aide des pompes. On peut faire des hypothèses concernant la provenance de l'eau. Qui peuvent être confirmées par des investigations détaillées, par exemple analyse de l'eau pour connaître sa composition chimique et la comparée avec celle de la nappe phréatique et celle des eaux industrielles. La présence de H_2SO_4 avec une concentration importante (solution acide) nous ramène à conclure que l'eau qui submerge la galerie est industrielle infiltrée dans le sol.

On peut établir des hypothèses concernant la provenance de l'eau

- Soit de la nappe phréatique,
- Soit de la mer,
- Soit d'une défection des tuyauteries,
- Soit du débordement des cuves.

IV.1.1.3. Les fondations

Les fondations sont généralement du type radié général pour une répartition des charges. On peut supposer que les fondations sont dégradées soit par des attaques de produits chimiques comme le H_2SO_4 ou par les sulfates et les chlorures ou par les alcalins, des investigations détaillées au niveau des fondations peuvent nous définir les causes essentielles du désordre.

IV.1.1.4. La plate forme appelée la cave

C'est une plate forme qui se trouve dans la zone de lixiviation et plus exactement sous les décanteurs et qui reçoit déchets de décantation. Pour étanchéifier cette dernière le maître d'œuvre a exigé le revêtement de la cave en bitume pour la protection du sol des eaux industrielles qui s'infiltré. Mais depuis 1974 le bitume dégradé n'a pas été refait.



Photo. IV. 7 Vue sur la cave

- 1 : revêtement bitumineux de la plate forme 2 : un contour de pierre sur la base du poteau
 3 : détérioration superficielle du béton 4 : vanne d'évacuation de la boue



Photo. IV. 8 Vue sur la dégradation du bitume

- 1 : détérioration du revêtement bitumineux

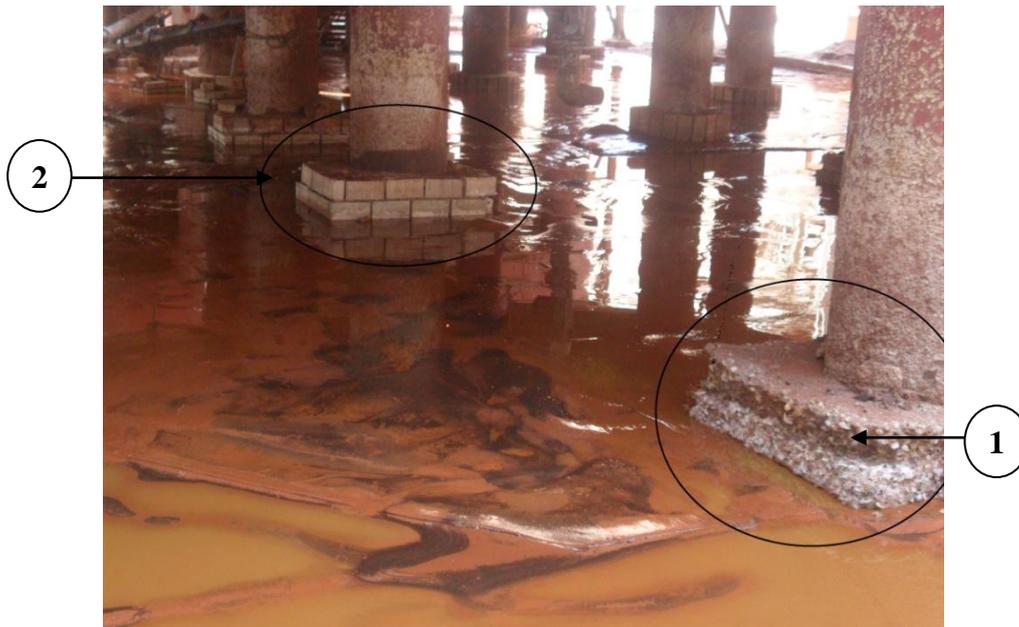


Photo. IV. 9 Vue sur deux pieds de poteau (pilotis)

1 : une base du poteau détériorée

2 : une base de poteau relativement bonne

Les photos précédentes (de IV. 8 à IV. 10) représentent l'état de dégradation de la plate forme et les pieds de poteaux des décanteurs.

A travers ces photos on a constaté :

- Une détérioration du revêtement de la plate forme due probablement aux :
 - Acides déversés dans le sol,
 - Manque flagrant d'entretien,
 - Circulation des ouvriers sur le bitume.

Ces détériorations de l'étanchéité portent un grand risque aux fondations, et à toutes les conséquences qui peuvent en découler.

- Une détérioration de la base des poteaux des décanteurs (pilotis), par la dégradation superficielle du béton, et la détérioration du pourtour de la base des poteaux réalisée en pierre taillées justement pour protéger la base qui est la plus exposée au risque. il-y-eu justement une lixiviation de la base des poteaux, c'est-à-dire lessivage des hydrates de la pate de ciment, dû au contact avec le liquide qui contient des agents agressifs tel que le H_2SO_4 .

IV.1.2. La super structure

IV.1.2.1 Les poteaux qui supportent les cuves de lixiviations



Photo. IV. 10 Vue sur des poteaux dans un état de dégradation très avancé

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 : du gypse formé sur le poteau | 2 : détérioration de la section du poteau |
| 3 : stalactite blanche | 4 : un poteau relativement en bonne état |

La photo IV.10 montre les poteaux qui sont dans la zone de lixiviation concernée par l'étude on peut remarquer qu'il y-a deux poteaux menaçant ruine au point où leur section a diminué de façon tragique. On constate la formation d'une matière blanche (gypse) qui les couvre. Tous ces symptômes sont les signes d'une réaction entre le béton et l'acide (H_2SO_4). et sur la même photo nous pouvons constater ainsi que deux poteau n'ont pas subis les mêmes effets, qui peut signifier que le déversement du liquide acide provenant des cuves de lixiviation qui se trouvent au dessus en est la cause. Pour qu'on soit certain de la cause principale de ces désordres, on doit prélever des carottes et les examiner par des tests chimiques au laboratoire et effectuer des essais d'écrasement. Donc en ce qui concerne la formation des stalactites blanches, on ignore leur composition chimique, il faut procéder au prélèvement d'échantillons pour les analyser.

IV.1.2.2. Cuves et décanteurs

Dans cette étape nous allons analyser trois types de cuves

Les décanteurs sont des cuves en béton armé surélevé par douze pilotis, la cuve est posée sur deux couronnes concentriques de poteaux, avec une capacité de $4000m^3$, la température du liquide varie entre $50c^\circ$ et $60c^\circ$, leur fonction permet la décantation de la solution de sulfate de zinc.

Ces derniers sont construits sur fondation de type radié générale, dans l'usine il y-a six décanteurs. Les décanteurs contiennent un liquide qui est considéré comme neutre $\text{Ph}=6,8$ d'où la non nécessité de mettre une protection de l'intérieur.



Photo. IV. 11 Vue sur l'ensemble décanteur silo

1 : silo

2 : décanteur (C)

3 : des déchets industriels solides

On remarque sur la photo IV.11 que les déchets industriels sont déposés n'importe comment, à coté des équipements sensibles de l'usine, le contact de ces déchets avec l'eau de pluie provoque la création d'une solution industrielle chargée chimiquement et nocive qui va s'infiltrer dans le sol et nuire à la durabilité des fondations.



Photo. IV. 12 Eclatements d'enduit et apparition du ferrailage sur décanteur (B)

1 : trace blanche

2 : éclatement d'enduit

3 : trace de rouille



Photo. IV. 13 Zoom sur la zone d'éclatement du béton sur décapeur(A)

1 : ferrailages corrodés

Les deux prises précédentes photo. IV. 13 et photo. IV. 14 représentent un éclatement d'enrobage et apparition de ferrailage corrodé et des traces de rouille

- Origine possible :
 - Foisonnement de l'acier dû à la corrosion des armatures.
- Causes possibles ou élément déclencheur :
 - Corrosion normale des armatures due à la pénétration des agents agressifs (Chlorures et dioxyde de carbone),
 - Enrobage insuffisant,
 - Défaut de compacité du béton (porosité, nid de cailloux),
 - Mauvaise formulation du béton (excès d'eau, ségrégation).
- Facteurs aggravant :
 - Trace de rouille elle est visible sur la photo.

Pour déterminer la cause principale de cette dégradation, on doit déterminer exactement :

- L'épaisseur d'enrobage, qui est en principe de 4cm minimum selon les plans d'exécution, il n'y-a pas grande différence entre celle du BAEL qui exige dans les milieux marins un enrobage de 5cm,
- Prélevé une éprouvette et la voire sous microscope à balayage électronique, pour avoir une idée sur la compacité du béton,
- Prélevé une éprouvette sur laquelle on va procéder à des analyses détailler pour déterminer le taux des chlorures ou de calcium, dans le cas où le rapport $[CL^-/OH^-]$ >0.6 cela implique corrosion à été causée par des chlorures, et dans le cas où Ca^{2+} se trouve avec des concentrations considérable on peu dire que la corrosion a été causée par la carbonatation, et à l'aide du phénophtaléine on déterminera la profondeur du front de carbonatation.

La phénolphthaléine est un composé organique de formule $C_{20}H_{14}O_4$. L'avantage de ce composé est son changement de couleur selon le pH de l'élément avec lequel il entre en contact. Il fait parti des indicateurs de pH ou indicateur coloré. Ce changement de couleur est dû à une modification de la structure chimique de la molécule lors du passage de la forme protonée (milieu acide) à la forme déprotonnée (milieu basique). La couleur que prend la phénolphthaléine dépend du pH. Elle sera rose pour un pH compris entre 8,2 et 12 et incolore au-delà et au-deçà de cette zone de virage.



Photo. IV. 14 Efflorescences du béton sur décanteur (B)

1 : réseau de fissure

2 : trace d'efflorescence

3 : zone d'appui où le béton s'est éclaté

On remarque sur cette photo des dépôts blanchâtres ou efflorescence du béton qui est des dépôts irréguliers de teinte claire blanchâtre. Elles sont essentiellement constituées par des microcristaux de carbonate de calcium provenant de la dissolution des constituants du béton ciment essentiellement. Elles apparaissent en général au niveau des fissures.

- Origines possibles :
 - Circulations d'eau à travers le béton,
 - Humidité très élevé.
- Eléments déclencheurs :
 - Défaut d'étanchéité de la structure,
 - Déversement du liquide des cuves.

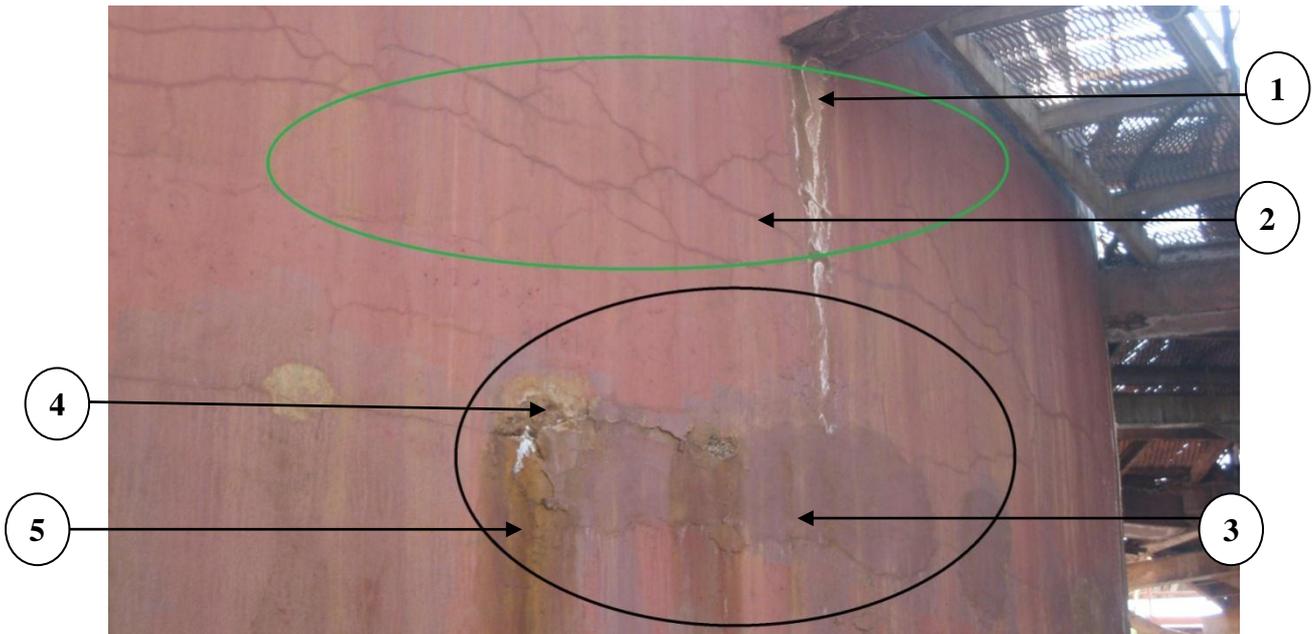


Photo. IV. 15 Réseau de fissures décaiteur (C)

1 : trace d'efflorescence

2 : fissures transversales

3 : zone colmatée

4 : éclatement du béton

5 : trace de rouille

Sur la photo on remarque qu'il y-a un réseau de fissures (Faïençage) désigné par le cercle vert

➤ Origines possibles :

- réaction de gonflement interne (alcali-réaction ou réaction sulfatique interne),
- attaque sulfatique externe.

➤ causes possibles ou éléments déclencheurs

- formulation du béton (dosage et nature des constituants),
- conditions de mise en œuvre (cure insuffisante, bétonnage par temps chaud).

Pour déterminer l'origine de cette pathologie et pour suivre l'état de gravité et de la vitesse d'évolution du phénomène, on fait appel à deux grands types de moyens d'investigations :

- le suivi in situ du gonflement de la structure et de sa fissuration dans le temps,
- l'analyse en laboratoire d'échantillons prélevés sur l'ouvrage à l'aide d'un MEB (Microscope Electronique à Balayage).

MEB nous permettra de connaître avec certitude la cause du gonflement interne, notamment quand il s'agit d'alcali-réaction on remarquera la formation d'un gel de silicate ce que n'est pas le cas pour attaque sulfatique interne ou externe qui forment l'ettringite.

Dans la zone représentée par le cercle noir, on a remarqué :

- différence de teinte entre deux zones,
- un petit éclatement d'enduit,
- trace de rouille.

Donc on peut dire qu'un colmatage a été mal fait auparavant sur cette zone à cause d'une incompatibilité entre le béton support et le mortier de réparation, le mortier à été posé sans traitement de la zone et du ferrailage.



Photo. IV. 16 Eclatements du béton en appui

1 : éclatement d'enduit



Photo. IV. 17 Zoom sur un appui

1 : éclatement d'enduit sur le pilotis

2 : du ciment ajouté

3 : trace blanchâtre

4 : affaissement du béton

A travers les photos (IV. 17 et IV. 18) on remarque les éclatements :

- éclatement à proximité des nœuds, juste au niveau où le liquide déversé (constaté par la présence de trace d'efflorescence). Donc on peut dire que la charge supportée par ces pilotis a été dévisée en deux composantes P_y et P_x , la composante horizontale P_x à créer un moment au niveau des nœuds supérieurs. Donc le poteau qui a été calculé initialement à la compression simple va être soumis à une flexion composée et lorsqu'il y a flexion, le niveau des contraintes maximum se situe dans les « zones critiques », qui dans ce cas sont localisées en haut et en bas du poteau.
- La corrosion des armatures peut être la cause des éclatements.

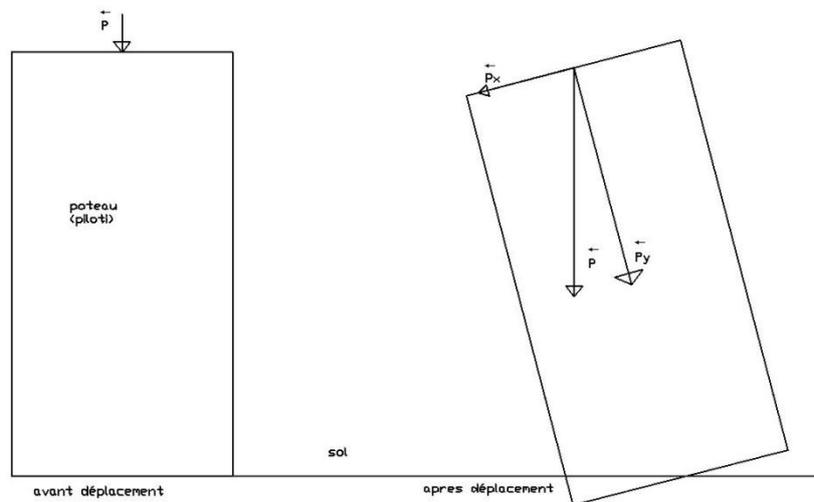


Fig. IV. 3 Décomposition de la charge à cause d'un tassement



Photo. IV. 18 Alignement des anomalies

1 : trace de rouille

2 : trace blanche

3 : éclatement d'enduit

À un mètre de l'encastrement poteau/poutre on remarqué qu'il y-a des pathologies tout au long de ce niveau, et ce n'est pas le hasard qui a fait que les pathologies soit alignées dans le même niveau. Donc ces désordres sont, causés probablement par :

- une reprise de bétonnage entre une virole et une autre, et ce lieu est privilégié de rupture en raison de la non continuité physique du matériau béton dont la prise ne s'est pas faite en même temps dans l'ensemble de la « zone Critique ». La jonction du béton coulé après coup sur le béton déjà « tiré » est un point faible, même si on a continuité des aciers
- la poussée hydrostatique à contribuer à l'apparition de ces pathologies en ce niveau de la paroi où elle est en ce maximum figure. IV. 3

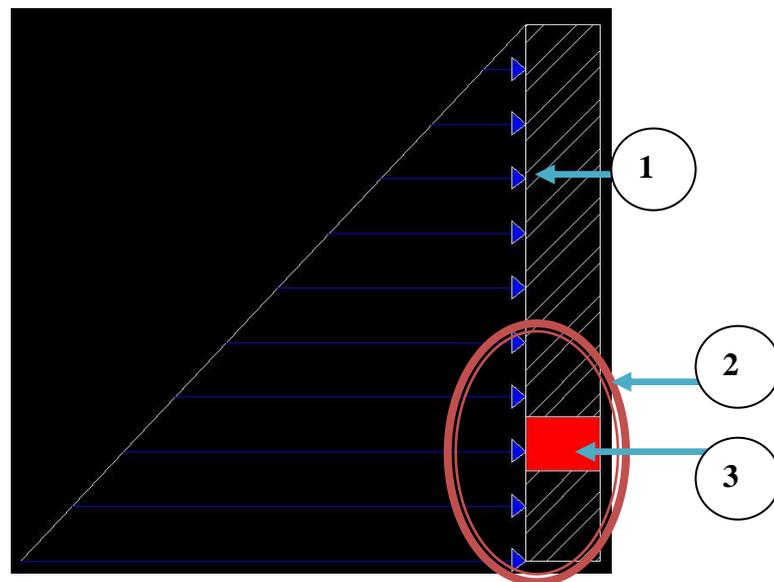


Fig. IV. 4 Répartitions de la poussée hydrostatique sur la paroi

- 1 : paroi du décanteur 2 : la zone la plus sollicitée
3 : la zone d'éclatement du béton et apparition du ferrailage corrodé

- les cuves de lixiviation et de l'électrolyse : Les cuves de lixiviations se trouvent sur une structure poteau poutre, et les cuves d'électrolyse sont légèrement enterrées. Tous ces cuves contiennent une solution acide PH=4.2, et pour cette raison le maitre d'œuvre à exigé une protection de l'intérieur par du plomb d'épaisseur 4mm, concernant la résistance du béton à 28jours été de 30Mpa: acier si $\phi > 25\text{mm}$ 400Mpa, si $\phi \leq 20\text{mm}$ 420Mpa, et la cuve la plus grande entre eux est de capacité de 150m^3 selon les plans.



Photo. IV. 19 Désordres au niveau de la reprise de bétonnage

1 : mortier de colmatage

3 : trace blanchâtre

2 : une fissuration transversale profonde 4 : fissuration longitudinale

- On remarque sur l'ouvrage (voire photo ci-dessus) :
 - des traces blanchâtres probablement dues à une efflorescence ou une réaction acide/béton,
 - une fissuration transversale profonde,
 - éclatement du mortier de colmatage,
 - des fissures longitudinales.

- Origines probables :
 - fuite d'eau industrielle à travers la zone dégradée,
 - une reprise de bétonnage très mal faite,
 - poussée hydrostatique sachant qu'on est à 1 mètre de la base où elle est importante,
 - retrait du mortier de colmatage,
 - un colmatage mal fait,
 - réactions de gonflement internes et externes.



Photo. IV. 20 Vue sur l'ensemble des cuves de lixiviation acide

1 : tuyau d'évacuation

2 : corrosion de la structure métallique

Sur la précédente photo IV. 20

- On a remarqué
 - un gonflement du béton et une présence des fissures représenté par le cercle rouge,
 - une détérioration superficielle des cuves, elle s'est manifestée par le changement de la couleur d'enduit extérieur des cuves,
 - tuyau d'évacuation de la solution industrielle,
 - corrosion de la structure métallique,
 - l'érosion de la paroi.

- Origines probables :
 - réaction de gonflement interne du béton,
 - une carbonatation ou une attaque par les chlorures puisque sont exposés directement à l'air marin et sachant que le vent dominant provient de la mer Nord et Nord Ouest,
 - réaction du béton des cuves avec le H_2SO_4 ,
 - défection du plomb qui a été destiné à la protection des cuves contre H_2SO_4 ,
 - l'action de la pluie sur la paroi.



Photo. IV. 21 Vue sur les cuves de roulement primaire et secondaire (zone d'électrolyse)

1 : le plomb de protection



Photo. IV. 22 Vue sur l'état de la cuve d'électrolyse

1 : une fissure profonde

2 : trace de gypse



Photo. IV. 23 Zoom sur la fissure profonde

Sur les différentes photos précédentes photo. IV. 21 jusqu'à la photo. IV. 23

➤ on a remarqué

- les cuves (d'électrolyses) représentent des désordres relativement importants, une fissure de 3,2 cm entre lèvres et épaisseur de la couche éclaté 1,5cm pourtant il-y avait une protection du plomb de l'intérieur, donc on peut soupçonner que :
 - ✓ Les agents agressifs proviennent de l'extérieur par des déversements du liquide ou une pluie qui contient des particules du H_2SO_4 ,
 - ✓ les agents agressifs proviennent de l'intérieur à cause d'une défection probable du plomb protecteur, sachant que le plomb est énergiquement attaqué par des bases (ciment).
 - ✓ La remonté capillaire des eaux de la nappe qui contiennent des sulfate, et probablement de l'acide sulfurique.

Donc on doit vider les cuves et les vérifier, pour voir si les cuves sont en bonne état de l'intérieur. Et ensuite procéder à une investigation détaillée, (prélèvement des carottes de la paroi et les analysés).

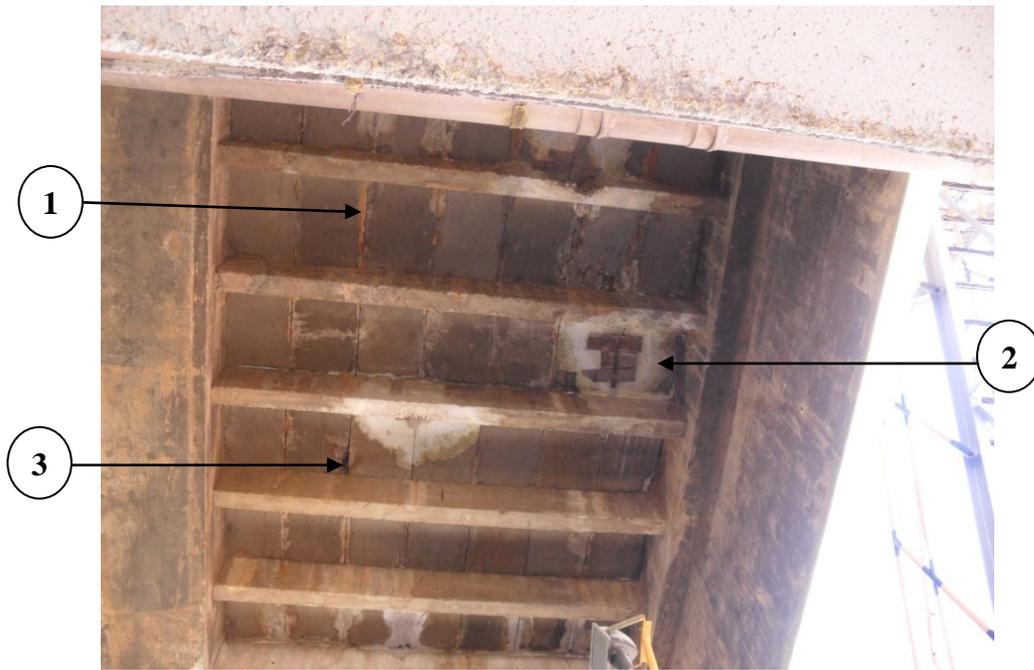


Photo. IV. 24 Vue sur la dalle pleine qui se trouve au-dessus des cuves d'électrolyses

1 : trace de rouille

2 : trace blanche probablement du gypse

3 : éclatement du béton

Cette dalle pleine se trouve au-dessus des cuves d'électrolyses, elle n'est pas en contact directe avec la solution industrielle mais peut être la vapeur acide c'est elle qui est la cause de toutes ces dégradations; présence de trace de rouille, dépôts blanchâtre, détérioration de la section du béton.



Photo. IV. 25 Vue sur le plafond de la salle d'électrolyse du zinc

1 : une raille corrodée

2 : une raille traitée par l'anti rouille

- Dans cette salle on a remarqué
 - une couleur jaune sur les murs,
 - toiture défectueuse,
 - corrosion des deux rails et présence sur eux des traces blanche,
 - deux raille sont traité par une peinture anti rouille.
- Origines probables de ces désordres
 - absence d'un système d'aération efficace,
 - vapeur acide et présence du gaz d'hydrogène,
 - manque d'entretien.

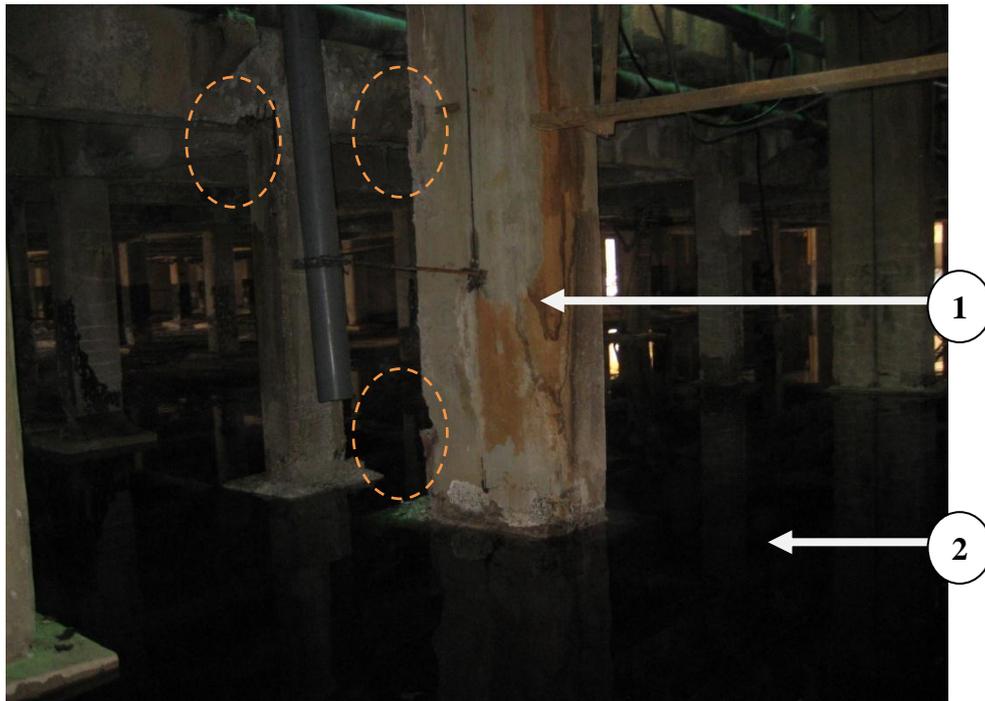


Photo. IV. 26 Vue sur la cave de la salle d'électrolyse du zinc

1 : trace de rouille

2 : eau stagnante

- On a remarqué
 - Les cercles représentent la détérioration de la section des poteaux et l'apparition des ferrillages corrodés,
 - Stagnation d'eaux probablement agressive vis-à-vis du béton,
 - Une importante trace de rouille.
- Origines probable
 - Corrosion du béton armé,(carbonatation, attaque par les chlorures)
 - Corrosion du béton armé due à la réaction avec H_2SO_4 .



Photo. IV. 27 Vue sur une zone d'éclatement et apparition de ferrailage (partie supérieure du poteau)

1 : éclatement du béton et apparition du ferrailage transversal

Cet éclatement est dû probablement à une attaque des acides qui provient de la salle électrolyse du zinc à cause d'une étanchéité défectueuse

Un tableau récapitulatif des zones et leur désordre spécifiques et leur causes probables et leur degré de nuisance vis-à-vis l'usine.

	Désordres constatés	Causes probable	Danger représenté
Sol	-tassement et soulèvement du sol importants, -des fuites d'eaux dans la galerie.	-l'importance de la charge supportée vis-à-vis la capacité portante du sol, -présence d'eau dans le sol, -mouvement du sol causé par présence de la mer au Nord et oued à l'Est.	-Très nuisible considéré comme la source de tous les autres désordres
Les décanteurs	-des éclatements relativement petits, -réseau de fissure, -efflorescence de la cuve, -trace de rouille, -corrosion des armatures, -éclatements au niveau des nœuds, -détériorations sur la base des pilotis, -l'alignement des éclatements sur le même niveau (niveau de la reprise de bétonnage)	-carbonatation, attaque par les chlorures, -réactions de gonflement interne, -circulation d'eau à travers le béton, -la corrosion du béton armé par les différents mécanismes, -excentricité de la charge supportée par les poteaux (pilotis), -contact avec le H_2SO_4 , - la non continuité du béton.	Généralement les désordres qui apparaissent sur les décanteurs ne présentent pas un danger de ruine à court terme.
Les deux poteaux de la structure qui supportent les cuves de lixiviations	-détérioration de la section et le dépôt important d'une matière blanche (gypse)	-réaction du béton avec l'acide sulfurique (H_2SO_4).	Présentent un danger très important de ruine vue l'importance de la charge qu'ils supportent.
Cuves de lixiviation	-détérioration superficielle, dépôt du gypse, éclatement du béton. -érosion du béton.	-réaction béton/ H_2SO_4 , -l'action de la pluie sur la paroi	Présentent un danger moyen c'est-à-dire une réhabilitation est nécessaire.
Plate forme	-Détérioration du bitume qui a engendré par la suite des infiltrations d'eaux agressives dans le sol.	-manque d'entretien, -déversement de la solution acide sur le bitume.	Le détérioration du bitume paraît simple ses conséquences sont néfaste sur les fondations.
Les cuves d'électrolyses	-des éclatements du béton relativement très importants, -apparition des traces	-détérioration du plomb protecteur à causé les infiltrations de la solution	Des dégradations très importantes qui présentent un danger important

	jaunes et blanches (gypse).	agressive dans le béton, -une carbonatation ou attaque par les chlorures ou les deux phénomènes.	qui peut nuire à la production.
Les poteaux qui se trouvent dans la cave qui se trouve sous la salle d'électrolyse de zinc	-trace de rouille importante, -détérioration de la section, -éclatement du béton d'enrobage et apparition du ferrailage transversal.	- corrosion du béton armé par carbonatation, attaque par les chlorures, -réaction du béton avec le H ₂ SO ₄ ,	Représentent un danger important, parce que la dégradation avancée d'une structure porteuse est toujours considérer comme dangereuse.

Tableau. IV. 1 tableau récapitulatif des différents désordres constatés

En générale :

Les différentes pathologies dans cette usine sont d'ordre chimique, et les causes principales de ces désordres sont comme suit

- Manque flagrant d'entretien (absence de maintenance),
- Les déformations du sol (déversement des eaux qui contiennent de l'acide),
- L'environnement agressif (CL⁻, CO₂, SO₄⁻², H₂O),
- Les matériaux qui sont utilisés dans la production comme H₂SO₄ (l'exploitation).

CHAPITRE V : Solutions Et Mesures préventives

Après les constatations et l'étude des causes probables des dégradations de l'usine, il est nécessaire de prendre une décision définitive pour remédier aux anomalies et préciser l'ensemble des travaux à exécuter et des mesures d'entretien préventives qui seront prévus.

Les travaux vont concernés l'infrastructure, décanteurs, poteaux qui supportent les cuves de lixiviation, cuves d'électrolyse, et des décisions administratives.

V.1. Les travaux à exécuter

Avant de commencer les travaux de réhabilitation on doit décider de

- Prendre une décision de suspendre la production pendant l'exécution des travaux ou faire les deux à la fois. Cette décision dépend d'une étude socio-économique qui sera faite par des spécialistes. personnellement je préfère un arrêt temporaire de la production pendant les travaux,
- réhabiliter, et améliorer les tuyauteries endommagées et les pièces mécaniques,
- remplacer les filtres qui filtrent le gaz anhydre sulfureux pour qu'il ne soit pas dégagé dans l'atmosphère, pour rendre le taux de dégagement de ce gaz à 0%,
- réserver une zone pour le dépôt des déchets industriel, où ces déchets ne seront pas en contact directe avec le sol et l'atmosphère,
- Relier les tuyaux d'évacuations des cuves de lixiviations et des décanteurs à des bacs de stockages spéciales.

V.1.1. Les travaux concernant le sous sol et la surface

Concernant le sol deux cas peuvent se présenter :

- dans le cas où le sol n'est plus en mouvement il s'est stabilisé : on commencera par renforcement du sol par des injections pour améliorer la texture du sol ou la mise en place de micro pieux inclinés et puis le traitement des fondations qui présentent probablement quelques anomalies telles que des éclatements, fissures, trace d'humidité.
- Dans le cas où le sol est toujours en mouvement : on doit en premier lieu chercher la cause de cette instabilité et l'arrêter, ensuite on procédera à un renforcement du sol par des injections de coulis de ciment dans le sol qui a été déjà utilisé dans ce site par une entreprise italienne en **1994**.

Cette technique consiste à combler par injection sous pression les vides ou fissures du sol afin d'augmenter sa résistance à la compression. Les produits d'injection sont, selon les cas, constitués de coulis de ciment éventuellement additionné de pouzzolanes de cendre volante, de plastifiant et d'accélérateur de coulis d'argiles

colloïdale ou de bentonite, de coulis à base de produit chimique liquide ou de résines organiques. L'inconvénient de cette technique est que le sol va supporter une charge supplémentaire qui peut engendrer des tassements.

Les travaux qui seront réalisés après la stabilisation du sol :

- Se débarrasser de tous les déchets industriels (liquide, solide),
- Régler le problème des infiltrations des eaux dans la galerie souterraine,
- Mettre le sol a niveau,
- Reconstituer le système de drainage d'eaux superficielles (pluviales et de ruissellement),
- Reprise de la plateforme qui se trouve sous les cuves de lixiviation et la revêtir avec une résine époxyde qui ne assurera une bonne étanchéité dans le sol, et résistera aux acides.

V.1.2. Les travaux concernant la superstructure

Les décanteurs présentent des dégradations qui sont classés comme légères, qui ne présentent pas un risque de ruine ou de dysfonctionnement, et avant de commencer les travaux on doit éliminer les traces de rouille et d'efflorescence, et de mettre en œuvre une note qui exige un remplissage des décanteurs qui ne permettra pas un débordement de la solution industrielle, puisque le relèvement par vérin des décanteurs et les mettre en niveau horizontal coûtera beaucoup d'argent et de temps. Les deux poteaux qui font partie de la structure qui supportent les cuves de lixiviation sont dans un état jugé dangereux. Les cuves de lixiviation et électrolyses doivent avoir un traitement profond. Chaque dégradation aura des mesures de traitement spécifiques.

V.1.2.1. Cas d'éclatement du béton et apparition de ferrailage corrodé sur les décanteurs

Avant de réparer les zones dégradées (armatures apparentes, éclatements de béton, traces de rouille, etc.)

- On enlève les revêtements en place sur toute la surface par un moyen mécanique ou chimique,
- traiter les armatures corrodées, on les dégageant par burinage, repiquage ou bouchardage, jet d'eau ou sablage. Le dégarnissage doit être effectué jusqu'à ce qu'un acier sain apparaisse et la longueur de cet acier doit être dégagée sur toute sa périphérie, selon la norme **NF P95 95.101** (un dégagement d'un minimum de 2 cm derrière l'armature est conseillé).
- La phase d'élimination de la zone sous corrosion, il est donc impératif d'éliminer l'intégralité de cette altération, qu'elle soit foisonnante ou de surface et ceci sur toute la périphérie de l'acier par décapage et brossage soigné ou par des moyens mécaniques

(sablage). Cette opération doit être plus particulièrement soignée en milieu marin car la rouille y est chargée de chlorures acides.

- Ensuite un nettoyage surfacique afin de faire disparaître toute poussière ou toute souillure subsistant après élimination des bétons dégradés, ce nettoyage peut être réalisé par voie humide ou sèche (brossage et soufflage), mais dans le cas du lavage à l'eau, celle-ci doit être éliminée par soufflage ou par aspiration
- Remplacement des armatures fortement corrodés qui seront de même nature et ces dernières seront mises en place par scellement ou soudure ou collage avec des colles spéciales afin de restituer la situation initiale. Dans le cas de soudure, celles-ci devront être effectuées selon les normes en vigueur après que la soudabilité de l'acier ait été vérifiée
- Protection des armatures cette dernière consiste à appliquer sur toute la surface de celles qui sont dégagées (périphérie complète), un produit assurant une protection vis-à-vis de la corrosion, et ce produit ne devra pas nuire à l'adhérence béton/acier.
- Etape de la réfection des bétons qui consiste à rétablir l'enrobage des armatures par la mise en œuvre de mortier.

Ce dernier doit avoir les propriétés suivantes :

- tenue verticale sans coffrage,
 - de montée en résistance rapide et de résistance mécanique supérieure au béton support,
 - d'adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support,
 - à l'eau et aux agents agressifs,
 - de coefficient de dilatation thermique et de module d'élasticité dynamique équivalent au béton support,
 - de bonne protection des aciers,
- la mise en œuvre d'un revêtement superficiel qui aura comme fonction technique, la protection du support vis-à-vis de l'environnement, les produits de revêtement sur béton doivent en effet empêcher l'eau et ses éléments agressifs de pénétrer dans le béton et assurer des fonctions d'étanchéité à l'eau, à la vapeur d'eau et acide ou au gaz carbonique.

V.1.2.2. Cas des deux poteaux porteurs des cuves de lixiviations

Les deux poteaux dégradés qui supportent les cuves de lixiviation, avant de les traiter on doit éliminer les origines des désordres qui sont les infiltrations depuis les cuves des solutions acides.

- effectuer un nettoyage surfacique par un brossage, pour éliminer le gypse,
- nettoyage surfacique avec de l'eau de haute pression, pour éliminer la présence des acides,
- dégagement des armatures,
- traitement des armatures et le remplacement de ceux qui sont dans un état très avancé de dégradation, ensuite on choisira entre chemisage ou réfection du béton. Pour cela une analyse entre les deux techniques sera faite
 - la réfection des bétons ne peut assurer la distribution des charges d'une manière cohérente entre béton armé support et le mortier de réparation, plus exactement, quand des poteaux sont réparés dans l'état chargé, le béton armé support est sous un effort très élevé. Dû aux charges appliquées, aucun effort n'est développé dans le patch de réparation (mortier, matériaux composites). Et des contraintes de traction seront développées dues au retrait du patch de réparation, fig. V. 3 qui peut être mortier à base de ciment ou matériaux composites et pour cela il faut étayer la structure avec une force qui sera calculé avant d'ajouter les patches de réparation pour que la force de compression due au chargement va favoriser l'adhérence entre béton support et le matériau de réparation.

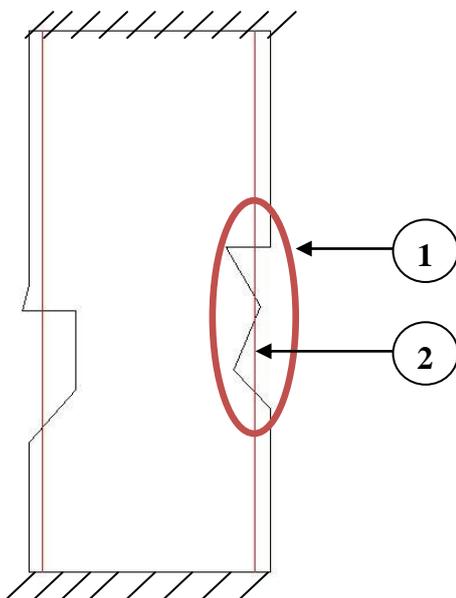


Fig. V. 1 Poteau dégradé

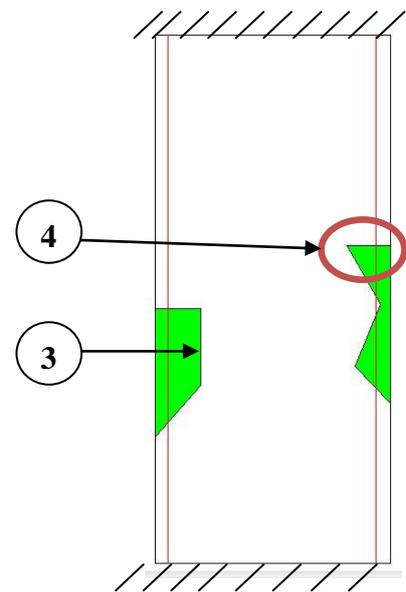


Fig. V. 2 Poteau réparé par mortier

1 : zone dégradé

3 : mortier de réparation

2 : ferrailage apparent

4 : zone de liaison entre mortier et support

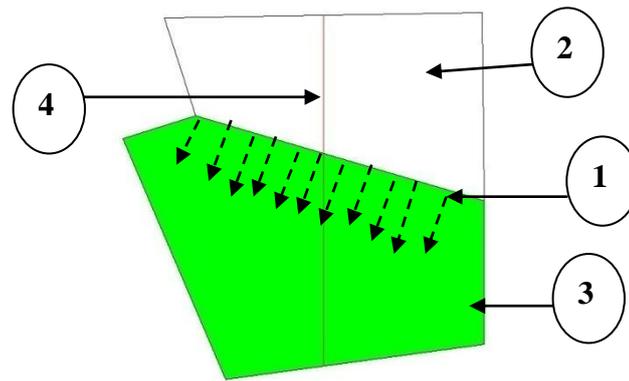


Fig. V. 3 un zoom sur la zone de liaison mortier de réparation et béton support

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1: les forces développés a cause d'un retrait | 2 : béton support |
| 3 : le patch de réparation mortier | 4 : une barre de ferrillage |

- La technique du chemisage consiste à chemiser l'élément en augmentant sa section par mise en œuvre d'une épaisseur de béton sur tout le périmètre de l'élément primitif. L'utilisation d'un micro-béton, auto-compactable, pour remplir les interstices sans mode de vibration, peut s'avérer essentielle. La préparation du support est très importante, il est donc nécessaire de faire des décaissés dans le béton pour améliorer la transmission des efforts, de traiter les surfaces avec une peinture primaire de résine époxy.

S'il s'agit d'un renforcement avec armatures, il faudra mettre cette armature en place et réaliser le bétonnage par coulage ou pompage.

Cette solution est difficile à réaliser et nécessite une étude géotechnique détailler, car le poids qui serait rajouté à la structure serait trop important et l'on ne sait pas si les fondations et le sol sont capables de reprendre une charge supplémentaire.

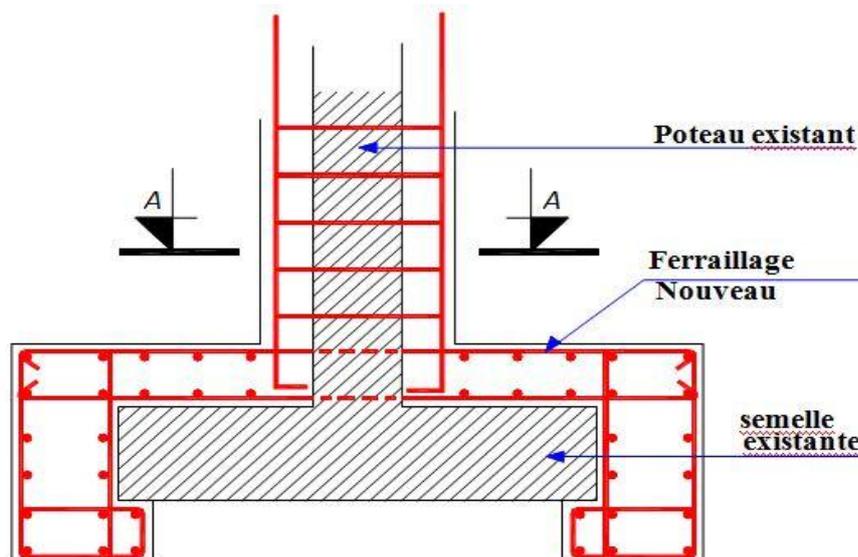


Fig. V. 4 Détail de renforcement des poteaux par chemisage à partir des fondations

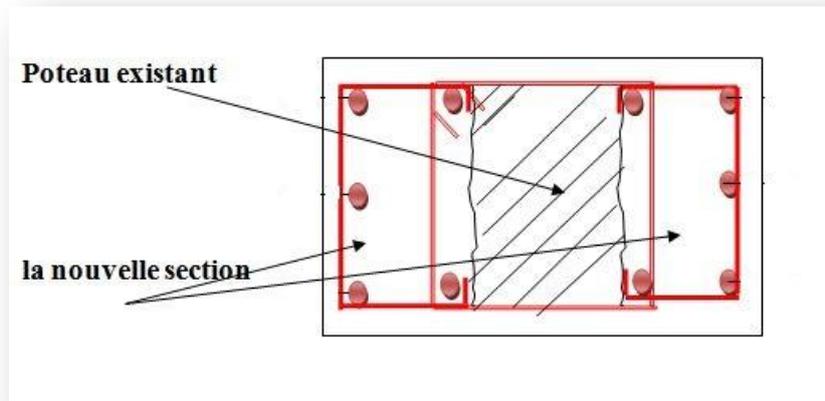
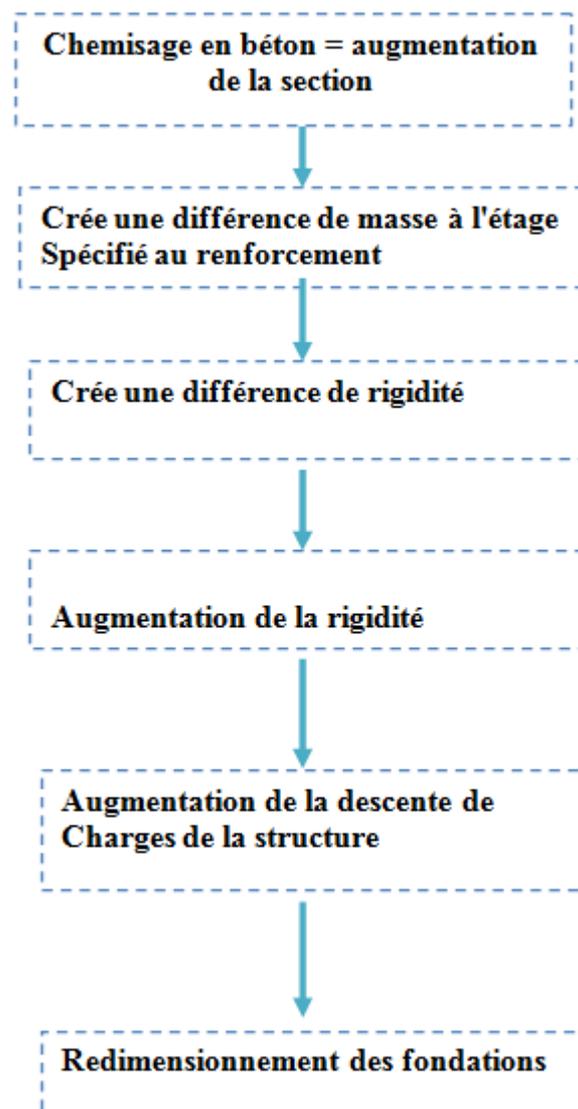


Fig. V. 5 La coupe A-A

L'organigramme suivant montre les inconvénients d'un chemisage



Donc l'application une de ces méthodes nécessite une étude détailler concernant le sol, la nature des matériaux de réparations et leur caractéristiques, évaluation de la charge ajoutée. Pour faire une réparation durable et sans conséquences néfastes sur la structure ou l'infrastructure.

V.1.2.3. Cas des cuves

On ce qui concerne les travaux à réalisé pour la réhabilitation de ces dernière :

- Eliminer les fuites de la solution acide,
- Réparation des cuves qui ne sont pas dans un état de dégradation avancé,
- reconstitution de ceux qui présentent des signes de dégradations tres avancés
- revêtement de la dalle qui se trouve au-dessus des cuves pour empêcher que la vapeur acide puisse nuire a sa durabilité

V.2 les mesures préventifs et d'entretien des ouvrages

Ces mesures vont faire partie d'un programme d'actions techniques et administratives permettant de maintenir le bien en conditions fonctionnelles satisfaisantes.

Parmi les importantes mesures préventives on sites

- Construire une digue pour empêcher que l'oued puisse déplacer les particules du sol et créer par la suite un mouvement indésirable du sol,
- Construire un mur de protection contre des tsunamis probables,
- Mettre en place un ingénieur qui va suivre de prêt tous les ouvrages,
- Repeindre les cuves en béton armé et les structures métalliques, pour les structures métalliques chaque deux ans et pour les cuves chaque 7ans,
- Sensibilisé les ouvriers pour qu'il fasse attention aux équipements et aux structures,

CONCLUSION

A travers cette étude on a constaté qu'une unité industrielle implantée au littoral Algérien est exposé à un danger permanent et aussi à des agents agressifs provenant de l'environnement et de la fabrication.

Un recensement des agents agressifs dans les milieux marins et industriels et la compréhension des causes de dégradation des ouvrages sont nécessaires pour établir un bon diagnostic.

La connaissance de la nature des matériaux utilisés dans la construction, la protection et l'étanchéité s'avère nécessaire pour comprendre comment les matériaux réagissent entre eux et avec des agents extérieurs.

Plus généralement la réalisation de ce projet de fin d'étude au sein de l'entreprise Alzinc nous a permis de découvrir les différentes pathologies relatives à cet environnement et leur causes.

Le diagnostic mener dans le cadre de ce projet de fin d'étude nous à permis de dire que l'absence d'entretien et de maintenance de ces ouvrages dans cet environnement, jugé très agressif, sont les causes principales dans leur dégradations qui peuvent aboutir à un état de ruine.

Afin d'éviter tout cela une prise en charge urgente s'avère nécessaire afin de préserver ces équipements industriels qui représentent une grande sinon la plus importante ressource économique et stratégique locale.

Nous recommandons qu'une étude de réhabilitation détaillée et profonde soit faite par des essais destructifs et non destructifs, des analyses des échantillons au laboratoire.

Nous proposons à ce que cette unité industrielle disposera un rapport d'expertise (fiche technique et signalétique) définissant toutes les actions à mener a partir d'une étude de réhabilitation confier à des experts pour apporter les solutions adéquates aux problèmes posés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[**Andrade (c.), et al 2001**]Andrade (C.), Alonso (C.), Arteaga (A.) et Tanner (P.) Methodology based on the electrical resistivity for the calculation of reinforcement service life.l'industria italiana del cemento N° 764, pp 330-339, avril 2001

[**Auger (J.), 1992**] AUGER (J.), Thèse de doctorat Mise au point et développement d'un procédé d'aide à la déconstruction des ouvrages en béton armé. 1992. Pp, 145-147.

[**Belhachemi (b.), et al 2012**] Belhachemi (B.), et Hassaine (N.), Etude d'un milieu agressif acide sur un mortier à base de ciment

[**Berrayah ; 2005**] thèse de doctorat en l'aménagement intégré et durable des zones de montagnes et particulièrement les monts des Trara., p, 39

[**Duval (R.), 1992**] Duval R. La durabilité du béton vis-à-vis des eaux agressives. 1992. pp, 391.

[**Georges (D.), et al**] : Georges (D.), et Jean (F.), nouveau guide du béton et de ses constituants. p, 29

[**Ghoumari (F.),]Pr. GHOMARI (F.), cours science des matériaux de construction, pp. 1 et 12.**

[**Guy (S.), et al**] auteur JEAN (C.), Et Guy (S.), edition Dunod titre cours pratique de mecanique des sols 1 plasticité et calcul des tassements

[**Longuet(P.), et al**] Longuet (P.), Burglen (L.), Zelwer (A.), la phase liquide du ciment hydraté., Revue des matériaux de construction (1973), pp.35-41.

[**Mcdonald (D.), et al 1995**] Mcdonald (D.), Sherman (M.), Pfeiffer (W.), Virmani (Y.), stainless steel reinforcing as corrosion protection,concrete international (1995) ,p.65.

[**Michel (L.), 2012**] Michel (L.), Pathologie, diagnostic, prévention et maintenance des structures. 2012., pp11

[**M^{lle} Ouzaa (K.),] mémoire de magister theme réhabilitation du vieux bati solutions techniques pour un batiment menaçant ruine situé à oran auteur M^{lle} OUZAA Khera page 21**

[**Pourbaix (M.), 1963**] Atlas d'équilibres électrochimiques. Paris : Gauthier-Villars, (1963).

[**Tuutti (K.), 1982**] Tuutti (K.), Corrosion of steel in concrete. report F482. Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, (1982).

[Yelles (C.), et al., 2003] Yelles-chaouche (A.K.), et Djellit (H.), « séisme de Boumerdes », colloque international risque, vulnérabilité et fiabilité dans la construction, 11-12 octobre 2003, Algérie.

Sites internet :

[1] :http://www.google.fr/imgres?imgurl=http://www.la.refer.org/materiaux/images/schema_ciment_2.jpg&imgrefurl=http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_deux_deux.html&h=616&w=473&sz=59&tbnid=f0DjVNIeiHnHcM:&tbnh=82&tbnw=63&prev=/search%3Fq%3Dun%2Bsch%25C3%25A9ma%2Bde%2Bfabrication%2Bdu%2Bciment%26tm%3Disch%26tbo%3Du&zoom=1&q=un+sch%C3%A9ma+de+fabrication+du+ciment&usg=__M5rTTdc5wuyJ8eshlBFASCNN2QU=&docid=to35cuOL8x5eaM&hl=fr&sa=X&ei=H6tKUMymNs7WsgaWl4DQDg&ved=0CCYQ9QEwAQ&dur=1592

[2] <http://eost.u-strasbg.fr>

[3] www.alzinc.dz

[4] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ghazaouet>