



**République Algérienne Démocratique et Populaire**

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique*

*Université Mohamed Khider - Biskra*

*Faculté des Sciences et de la Technologie*

*Département de Génie civil et Hydraulique*

## **MEMOIRE DE MASTER**

**GENIE CIVIL Spécialité: Matériaux**

**en Génie Civil**

---

### **Diagnostic et réparation de bâtiment a Sidi Khaled – wilaya de Ouled Djellal**

---

Présenté et soutenu par : MAHBOUB Abd El Madjid

Devant le jury :

Dr.GUETTALA Abd El Hamid

Université de Biskra

Rapporteur

Président Dr. TAALLAH Bachir

Examineur Dr GADRI Karima

Année universitaire : 2LU021-2022

# Remerciements

Je remercie en premier lieu ALLAH

qui m'a donné le courage et la  
volonté de suivre la mémoire. Avant  
d'entrer dans le cœur du sujet

Je tiens à remercier ma famille pour  
son soutien continu et ses

encouragements :Ma femme, le  
professeur **Dr Fatima Zohra Bayazid**,

mes chers enfants **Alaa Eddine**

**Nour El Hoda**

Je tiens à remercier le directeur de ce  
mémoire **le professeur Dr. Guettala**

**Abdelhamid**, qui grandement  
apprécié son style de travail, la liberté  
qu'il m'a laissée en organisant cette

courageant cette recherche

.Je voudrais également remercier les  
membres du jury qui ont accepté de

revoir ce résumé.

Je voudrais di remercié beaucoup à  
tous ceux qui sont présents avec moi

aujourd'hui

Amis des ingénieurs :Rachid

Gachtou..Gahmous Abdelhalim.

Mohamed Abbassi et Mustapha

Bdirina

Enfin, ,ainsi que tous ceux qui ont

contribué à ce travail.

## **LISTE DES FIGURES**

<b>figures</b>	<b>page</b>
Figure. 1: Représentation schématique des facteurs technologiques influant de manière déterminante sur la durabilité du béton.....	23
Figure. 1-2. - Délamination dues à la corrosion dans une dalle en béton armé.	30
Figure. 1-3. - Délamination de la paillasse d'escalier en béton armé.	30
Figure. 1.5 - Dissolution anodique du fer. [tiré de : Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal,].....	35
Figure. 1.6 Les réactions fondamentales de la corrosion métallique.....	35
Figure. 1.7 - Évolution du potentiel de l'anode et de la cathode en fonction du courant de corrosion. [tiré de : Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 474 p.].....	37
Figure 1.8. Variation de la vitesse de corrosion mesurée avec des cellules électrochimiques en fonction de l'humidité relative, d'après.....	39
Figure. 1.9 - Représentation schématique du mécanisme de la corrosion des aciers d'armature dans le béton.....	41
Figure. 1.10 - Volume relatif des produits d'oxydation du fer. .....	41
Figure.11 - Schéma de la cinétique du comportement des armatures et du béton d'enrobage.....	42
Figure 1.12 effet des chlorures.....	43
Figure. 1.13. Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure.....	44
Figure.14 - Influence du pourcentage de chlorures introduits dans le béton sur le courant de corrosion .....	46



Figure.1.15 mécanisme de carbonatation du béton.....	47
Figure. 1.16 Taux de corrosion dans le béton.....	49
Figure 1.17 :Pourcentage des facteurs de dégradations des ouvrages.....	55
Figure 1.18:La corrosion des armatures.....	57
Figure 1.19 Jauge Ginger CEBTP – Fissuromètre digital .....	73
Figure 1.20: Scléromètre à béton W-M-250 de James.....	75
Figure 1.21Pachomètre de béton .....	76
Figure 2.23. les éléments principaux d'un plancher à corps creux .....	126
Figure 2.24 les différents types de poutrelles .....	127
Figure 2.25 Mise en œuvre des planchers avec poutrelles préfabriquées.....	129

### ***LISTE DES PHOTOS***

Photo: 2. 00 .Situation de projet.....	87
Photo:2. 01 : Certaines poteaux sont très rapprochées.....	90
Photo:. 01-02 absence de quelques colonnes aux endroits nécessaires.....	90
Photo:2. 03 : absence d'appuis à la grande distance de 9 m.....	91
Image 2. 4-5-6-7 : état de gonflement en faisant de la corrosion des barres d'armature.....	92
Photo:2.8 :état de la corrosion des barres d'armature de poutrelles.....	93
Photo:. 9- : une fissuration dans l'axe des poutres.....	94

Photo:2. 11 :l'absence des appuis.....	103
Photo:2.12 les murs intérieurs et extérieurs ont été construits en premier, puis les poteaux ont été coulés.....	104
Photo:2.13 la mise en place d'une calle temporaire.....	95
Photo:2.14 releviez technique du bâtiment.....	102
Photo:2. -15: échantillon de poteaux.....	96
Photo:2. 16- : échantillon de poteaux.....	104
Photo:2. 17- : échantillon de poteaux.....	105
Photo:2. 18- : Poteaux E3 avant test de marteau.....	105
Photo:2.19- : poteaux E3 après test de marteau.....	106
Photo:2. 20 : le gonflement à plus de 7 cm.....	107
Photo:2.21- : poteaux B3- .....	109
Photo:2.22 : l'isolation de la poutre.....	112
Photo:2.23 : les fissures dans la poutre.....	112
Photo:2.24 : les fissures et humidité.....	113
Photo:2.25 : l'absence des appuis.....	114
Photo:2.26 : fissures et humidité dans la poutre.....	114
Photo:2.27 fissures dans la poutre et l'isolation.....	115

Photo:2.28 fissures dans la poutre et l'isolation.....	116
Photo:2.29 l'Ultrason.....	118
Photo:2.30 fissures avant le teste de plâtre.....	120
Photo:2.31 fissures après le teste de plâtre.....	121
Photo:2.32 le préparation la solution phénolphtaléine.....	123
Photo:2.33 l'essai de phénolphtaléine.....	123
Photo:2.34 l'isolation entre les poutres et les poutrelles.....	124
Photo:2.35 coup.....	125
Photo:2.36 Corrosion des barres de ferrailage de poutrelles et le humidité...	129
Photo:37 Corrosion total de ferrailage de longrine.....	132
Photo:2.38 gonflement de béton de longrine.....	141
Photo:2.39 fermeture des évacuations des eaux pluviales.....	135
Photo:1.47 la façade latéral.....	135
Photo:1.41 résidus d'eau de pluie sur la terrasse.....	135
Photo:2.42 la filtration d'eau dans l'infrastructure du bâtiment.....	136

### *LISTE DES TABLEUX*

<b>Tableau</b>	<b>page</b>
----------------	-------------

Tableau 1: modulation de la classe structurale recommandée	31
Tableau 2: Classification de l'état des ponts selon la méthodologie IQOA	61
Tableau: 03- Classification générale des pathologies liées au bâtiment	69

## SOMMAIRE

<b>Le continue</b>	<b>page</b>
INTRODUCTION.....	
-1 Problématique .....	12
2-Le problème posé.....	15
<b>CHAPITRE 01:Recherche bibliographiques</b>	
I- Durabilité et réparations des bétons .....	17
II-La corrosion.....	24
1... Aspects normatifs .....	28
1..1 Mécanismes de base.....	34
1.1.1 Corrosion par différence de concentration en oxygène.....	36
1.1.2.Le cas particulier du béton armé.....	38
1.1.2.a. Le rôle des chlorures .....	42
1.1.2.b Prévision de la pénétration.....	51
2-Corrosion par carbonatation.....	52
3-Corrosion par les chlorures.....	53
III- Le diagnostic.....	53

III -1- C'est quoi un diagnostic?.....	53
III -2- Les pathologies des ouvrages en béton armé: .....	54
III -2.1 Pathologies d'ordre chimiques :.....	54
III -2.1 -a-La réaction par sulfates :.....	57
III -2.1 -b- Phénomène de la réaction alcali granulat RAG:.....	58
III -1-2 Pathologies d'ordre physique :.....	59
III -3-La classification des ouvrages.....	60
III -3- 1-.Diagnostic-Pronostic.....	61
III -3- 2-.pré-diagnostic-Pronostic.....	62
III -3- 2-1.une visite préliminaire de l'ouvrage.....	62
III -3- 2-2La collecte des documents.....	62
III -3- 3.La préparation de l'intervention.....	63
III -3- 2-....Diagnostic détaillé .....	63
III -3- 2-1.Nécessité de la réparation des ouvrages.....	64
III -3- 2-1 a-Pénétration des chlorures.....	65
III -3- 2-1 b-.Corrosions des armatures.....	66
III -3- 2-1 c-...Alcali-réactions.....	66
III -3- 3 conclusion sur les pathologie .....	68
III -4. .Évaluation et Diagnostic.....	69
III -4.1.Conditions de service et d'expositions.....	70
III -4- 2.Types d'investigations.....	71
III -4- 3.Investigations non-destructives.....	71
III -4- 4.Relevé visuel.....	71
III -4- 5.Sondage par marteau.....	73
III -4- 6...Méthode échos-chocs.....	74
III -4- 7.Méthode de l'auscultation sonore.....	74
III -4- 8Le scléromètre.....	75
III -4- 9..Le relevé du ferrailage.....	76
III -4- 10.Investigations destructives.....	76
III -4- 11.Le Potentiel de corrosion.....	77
III -4- 12.Test au contenu de chlorure.....	78
III -4- 13.Test à la carbonatation.....	78
III -5.Conclusion sur le diagnostic.....	79
VI-Réparation des ouvrages en béton armé :.....	79
VI -1Le ragréage .....	81
VI -1-2..Mode opératoire .....	81
VI -2 -Le béton projeté.....	84
VI -2.1 Technique de projection.....	84
VI -3 .Tissus de fibres de carbone.....	85
<b>CHAPITRE 2 :ETUDE DE CAS</b>	
A-Présentation du projet.....	87
1Étapes de l'étude :.....	88
1.1. Inspection visuelle.....	88

1.2. Une visite préliminaire de l'ouvrage.....	88
2- Examen des données d'ingénierie.....	94
2-1 -Collecte de documents.....	94
2-2 Sondage par marteau.....	96
2-3 Interventions urgentes d'intervention :.....	97
2-4 Releviez du bâtiment :.....	98
3-Détails diagnostiques du bâtiment sur la base du plan de releviez :	100
3-1-Les poteaux.....	100
3-1-1 Les poteaux à corrosif.....	101
3-1-2 Les poteaux à non corrosif .....	109
3-2-Les poutres:.....	110
3-2-1-la poutre à la sens D à niveau 1-2.....	110
3-2-2-la poutre à la sens B à la travée 1-2 .....	112
3-2-3 la poutre au sens C à travée 8-10 .....	113
3-2-4-la poutre à la sens G à la travée 10-12.....	114
3-2-5-la poutre à la sens K à la travée 1-4.....	115
3-2-6-la poutre à la sens K à la travée 1-4.....	116
3-3-Les analyses sur les éléments de projet :.....	116
3-3-1 L'auscultation dynamique du béton :.....	116
3-3-1-1 Scléromètre.....	119
3-3-1-2 Ultrason.....	117
3-3-1-3 Teste de plâtre :.....	119
3-3-1-4 Essai de Phénolphtaléine.....	121
3-3-2- Conclusion pour les poutres.....	124
4- Les poutrelles.....	125
4-1 Définition.....	125
4-2 Dimensions.....	126
4-3- Mise en œuvre des planchers avec poutrelles préfabriquées .....	127
4-4 L'état de poutrelles:.....	129
5- Les longrines :.....	130
6-Analyse de résultats des essais.....	133
7- Conclusions et recommandations.....	134
7.1.Conclusion .....	137
7.2.N.B.....	140
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	141
RÉSUMÉ :.....	143

# ***INTRODUCTION GENERALE***



### **1- problématique**

Afin de choisir le sujet de fin d'études, génie civil, matériaux de génie civil, et selon la nature du métier que j'exerce, comme un ingénieur d'État principal au siège de la commune de Sidi Khaled, superviseur d'étude et de contrôle des projets municipaux.

L'amélioration des connaissances m'a toujours poussé à découvrir ce qui attisait curiosité, à faire une étude d'expertise technique pour le projet de l'ancien siège de la commune de sidi khaled.

### **Présentation du problème du bâtiment**

Nous avons constaté la nécessité pour le conseil municipal actuel de réutiliser le siège délaissé depuis 2014 après avoir mené une étude d'expertise par le Diagnostic et Expert Center Batna (C D E). Avec lequel une convention a été signée et dont la monnaie n'a pas encore été entamée, nous avons mené cette recherche dans laquelle nous avons expliqué ce qui suit.

Au début, nous avons défini la durabilité et montré son rôle dans le monde de l'urbanisme, de l'économie, du tourisme, de l'histoire et son impact sur la vie des individus et des institutions.

Définir les pathologies de béton, mentionner leurs types et leurs sources, et s'arrêter au phénomène le plus important, qui est le phénomène d'érosion des armatures d'acier au béton, ou ce qu'on appelle la rouille, ses causes telles que la carbonatation et le chlorure, comment il se produit, et les dommages qu'il cause aux installations...

Ensuite , nous avons été exposés aux méthodes réalisation et méthodes de diagnostics sur des installations en béton, en partant de l'inspection sur le terrain et de la collecte de documents jusqu'aux expérimentations sur le terrain

telles que les méthodes manuelles , l'inspection du plâtre , les auscultations dynamiques avec des scléromètres et des ultrasons ... pour arriver à la fin de cette étape importante pour recueillir et analyser les résultats et produire un rapport technique dans lequel l'ingénieur donne son avis sur l'état du bâtiment et la décision qui est conseillée par le propriétaire du projet, s'il s'agit de réaliser des travaux de réparation urgents ou bientôt ou une procédure de démolition car la construction n'est pas apte à l'exploitation afin de préserver l'intégrité de la vie humaine .

La réparation dans laquelle l'ingénieur présente les méthodes de réparation et de restauration des défauts qui ont affecté le bâtiment par des méthodes scientifiques et techniques représentées dans le type de défauts et leur réparation en fonction de chaque élément du bâtiment.

Ce qui serve le coté théorique au premier chapitre.

En deuxième chapitre nous avons effectué les démarches dont nous avons parlé dans le volet théorique, car nous n'avons pas pu obtenir le dossier de projet des plans et rapports en raison de la période pendant laquelle le bâtiment a été achevé, qui remonte en 1982 , nous avons donc soumis et complété un plan pour faciliter l'étude. A noter qu'une grande partie des murs intérieurs du bâtiment à été démolis en 2014.

Par la suite, nous avons compté les pathologies qui ont causé la détérioration du bâtiment ; de déterminer les effets possibles sur chaque élément, et des échantillons ont été prélevés sur chaque élément.

Pour arriver enfin au rapport final dans lequel nous exprimons notre avis technique sur l'état du bâtiment et ce qu'il convient de faire pour le maître d'ouvrage.

Dans notre étude, nous avons utilisé un certain nombre de livres, notamment :

- Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal

-Carpio Perez, J. J. 1991 Étude de la dépassivation et de la repassivation des armatures métalliques dans les bétons, Document OA9, Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris, France.

-Mailvaganam, N. P. 1992 Repair and protection of concrete structures, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA

-: Évaluation et diagnostic des structures en béton. BENSALEM Sara

Nous avons rencontré quelques difficultés dont les plus importantes étaient :

Le manque du dossier technique et administratif du projet

Ne pas intervenir librement dans l'étude en raison de la signature d'un contrat entre la commune et le Centre CDE BATNA

A qui j'adresse mes plus vifs remerciements et ma reconnaissance pour son accompagnement distingué et utile durant cette recherche et durant la saison scolaire,

Je remercie également la direction du département pour toute l'aide qu'elle nous a apportée.

Est ce que :

- Le bâtiment remplit-il sa durée de vie ?

- Le bâtiment peut-il résister aux dommages qu'il a subis ?

- Est-il possible d'augmenter le nouvel âge du bâtiment par la rénovation ?

La démolition du bâtiment est-elle la solution technique et économique la plus appropriée

### **2- Objectif :**

Notre objectif via ce travail est la réalisation d'une expertise sur un ouvrage contenant plusieurs défauts et dégradations en tenant compte des conditions de service, l'apparition des fuites dans les réseaux d'assainissement des ouvrages, et de tous les composants néfastes de l'environnement de ces dégradations menaçant son bon fonctionnement et sa durabilité. Il d'État principal au siège de la commune de Sidi Khaled. On s'intéresse aussi à la proposition de recommandations pour une éventuelle réparation de l'ouvrage. Cette étape est nécessaire pour la conservation des structures et leur durabilité.

# ***CHAPITRE 01***

## ***ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

### ***Les notions de dégradation des ouvrages***

## **I-DURABILITÉ ET RÉPARATIONS DU BÉTON**

La durabilité est la capacité du béton à résister aux conditions pour lesquelles il a été conçu et à travailler dans son environnement pendant une longue période de temps (la durée de vie) sans aucun dommage ni fragmentation. En d'autres termes, la durabilité est la résistance du béton à la détérioration, qu'elle soit due à des facteurs externes ou à des facteurs internes. Les facteurs internes comprennent l'apparition d'interactions nocives entre les matériaux en béton et l'apparition de changements de volume dans ceux-ci, ainsi que la perméabilité des fluides qu'ils contiennent. Quant aux facteurs externes, ils comprennent les conditions de fonctionnement, la charge et l'effet de l'atmosphère entourant l'installation.

\* (Le béton armé est un matériau hétérogène, puisque constitué de béton et d'armatures en acier.

Inerte, il évolue dans le temps, subissant des changements constants: dilatations, fissures, ruptures, etc.

Cet ouvrage permet de diagnostiquer les dégradations, désordres et pathologies éventuelles, et de mettre en œuvre un entretien ou une réparation adapté.

Ainsi, au moyen de fiches pratiques richement illustrées, cet ouvrage :

- explique la notion de durabilité d'un ouvrage, puis liste les désordres courants des constructions (bullage, écaillage, ségrégation, fissures, etc.)
- détaille les mécanismes de dégradations chimiques (carbonatation, attaques par les chlorures, les sulfates ou les acides, corrosion de l'acier, etc.) et leurs conséquences ;

- présente les classes d'exposition d'attaques chimiques (XA, XC, XD, etc.) ;
- décrit les dégradations mécaniques et physiques, constituées en majorité des surcharges, sols gonflants et du phénomène de gel/dégel ;
- expose les dégradations dues au défaut de conception, d'exécution ou d'exploitation.
- développe la méthodologie et les principales étapes d'un diagnostic, puis analyse les méthodes non destructives utilisées pour le contrôle des fissures, par exemple, ou partiellement destructives, comme le carottage.
- fournit les techniques de réparation (liants et résines en surface, béton coulé ou projeté, traitement des fissures), et de renforcement des poteaux, poutres, dalles et fondations par des plaques, du béton rapporté, ou des fibres synthétiques.

En début d'ouvrage, un sommaire graphique renvoyant aux fiches pratiques permet d'identifier visuellement les désordres et dégradations, et ainsi de déterminer les essais, réparations et renforcements à effectuer selon les situations)<sup>1</sup>

Conséquences techniques et économiques de l'endommagement des structures de béton<sup>2</sup>

Le béton est un matériau qui possède des qualités, techniques et économiques si intéressantes, ces multiples application lui permettent d'occuper la première classe des matériaux de construction les plus utilisés à notre époque et la deuxième classe mondiale des produits consommés après

<sup>1</sup> [https://www.eyrolles.com/Omrane Benjeddou, MehrezKhemakem - Collection Expertise technique](https://www.eyrolles.com/Omrane_Benjeddou_MehrezKhemakem_Collection_Expertise_technique)

<sup>2</sup> Cour d'étude, D.ABDELHAMID GHETTAL. Université Biskra.2021-2022

l'eau potable. Mais les problèmes de dégradation ont engendré des inquiétudes à travers le monde entier, à cause des dépenses importantes pourvues lors de la réparation.

La plupart des pays du monde allouent des montants importants de leur budget à l'entretien et à la restauration de leurs installations en béton exposées à la rouille et à la corrosion en raison des facteurs responsables, afin d'éviter l'aggravation du phénomène et l'arrivée des bâtiments à un état avancé, d'une part, et d'autre part réduire les pertes de réparations et restaurations qui sont plus coûteuses après l'aggravation du problèmes,

(En Europe, le secteur du bâtiment exploite environ la moitié de tous les matériaux extraits, épuise 50% de la consommation totale d'énergie ainsi qu'un tiers de la consommation d'eau, et génère un tiers de la production globale de déchets. Un bâtiment durable est donc un immeuble qui, dans sa conception, sa construction ou son fonctionnement, réduit ou élimine les impacts négatifs (voire crée des impacts positifs) sur l'environnement. Mais la durabilité ne se résume pas qu'aux critères environnementaux, elle repose aussi sur deux autres piliers: l'efficacité économique et la santé. Dans chacun de ces piliers, les critères à satisfaire sont nombreux. Ils sont relatifs à l'implantation de l'immeuble, ses fonctions sociales, sa consommation d'énergie et de ressources, son isolation, sa déconstruction, son confort, son accessibilité, etc.

Afin de créer un langage européen commun, la Commission européenne a élaboré «Level(s)», un cadre d'indicateurs permettant de mesurer la performance des bâtiments en matière de durabilité tout au long de leur cycle de vie. L'idée du projet est de créer un cadre volontaire simple, concentré sur



un nombre gérable de critères, permettant de promouvoir la mesurabilité et d'accumuler des données qui faciliteront l'obtention d'une certification.)<sup>3</sup>

Au Canada-par exemple-, 16 milliards de dollars, soit 60% des coûts totaux de la construction, sont dépensés chaque année pour la réparation et la restauration des structures de bâtiments. Au Québec, le ministère des Transports consacre plus de la moitié de son budget à l'entretien des structures en béton dont la détérioration est causée par la corrosion des armatures d'acier.

La durabilité des ouvrages en béton est une nouvelle exigence des maîtres d'ouvrages de 21<sup>ème</sup> siècle. Les performances du béton armé, son coût économique ont fait de lui le matériau de construction le plus utilisé à notre époque. Bien que l'on ait très longtemps cru que les ouvrages réalisés en béton étaient indestructibles, l'influence des détériorations sur les structures en béton a mis en évidence les problèmes de vieillissement et engendré des inquiétudes de plus en plus vives parmi les clients à qui sont destinés ces ouvrages. Il existe un très grand nombre de structures en béton âgées de 40 ans à 90 ans qui sont encore en excellent état, comme il existe aussi de très nombreux cas où une mauvaise durabilité a provoqué la ruine complète ou partielle des ouvrages.

L'utilisation du béton dans la dernière période, et frère au 21e siècle, est devenue très importante dans la vie de l'humanité en raison de ses multiples utilisations qui ne sont guère dépourvues de tout intérêt économique, militaire, touristique, culturel, sportif ou de tout domaine de développement.

La vie que la vie de tous les peuples de la terre exige parce qu'il a des caractéristiques qui lui sont propres par rapport aux autres matériaux de construction, et il n'y a plus aucune différence en ce sens qu'il est le matériau

---

<sup>3</sup><https://smarcitiesmag.lu/web/pour-une-definition-de-la-durabilite/Le> 09 décembre 2020

le plus utilisé dans la vie humaine après l'eau en raison de son coût économique et des performances importantes...

où elle est devenue

La durabilité des structures en béton est une exigence nouvelle et très importante pour les entrepreneurs du 21<sup>ème</sup> siècle.

Bien que l'on ait longtemps cru que les structures en béton étaient indestructibles, l'impact de la détérioration sur les structures en béton a mis en évidence les problèmes de vieillissement et suscité des inquiétudes croissantes parmi leurs clients cibles.

De la même manière qu'il existe un grand nombre d'ouvrages en béton âgés de 40 à 90 ans qui sont encore en excellent état, il existe également de nombreux cas où une mauvaise durabilité a entraîné la destruction totale ou partielle des structures, aux pertes importantes.

Le béton résiste bien et pour longtemps aux agressions lorsqu'il est correctement dosé, mais son comportement dépend aussi d'un ensemble de facteurs dont les principaux sont:

- les conditions climatiques et environnementales,
- la conception, sa mise en œuvre,
- l'entretien,
- les conditions d'exploitation,
- et la composition et la qualité de ces constituants.

La durabilité, c'est concevoir un ouvrage avec une prévision de son comportement dans le temps, compte tenu des sollicitations qu'il subit et des déformations imposées.

**P.C. KREIGER** définit la durabilité des matériaux en général comme une perte de performance en fonction du temps.

Il analyse les paramètres généraux ou spécifiques intervenant, et les manifestations pathologiques possibles: détériorations, déformations, changements de propriétés des matériaux.

**Jacques BARRON**, trouve que la définition de la durabilité se diffère selon l'ingénieur et le maître d'ouvrage. Ce dernier, n'accepte que la durabilité objective : c'est que l'ouvrage doit avoir une durée de vie indéterminée. Cette définition paraît naïve car la durabilité d'un ouvrage n'est pas une caractéristique mesurable dont la maîtrise peut régler une durée d'utilisation.

## **.2 Historique des problèmes de durabilité**

- Il existe un très grand nombre de structures en béton âgées de 40 à 90 ans qui sont encore en excellent état.
- Il existe aussi de très nombreux cas où une mauvaise durabilité a provoqué la ruine complète ou partielle des ouvrages.

### **• Les principales causes:**

À une certaine époque, on ne connaissait pas tous les **mécanismes de destruction** et les façons d'éviter les détériorations.

- Gel-dégel
- Réactions alcalis-granulats
- Corrosion

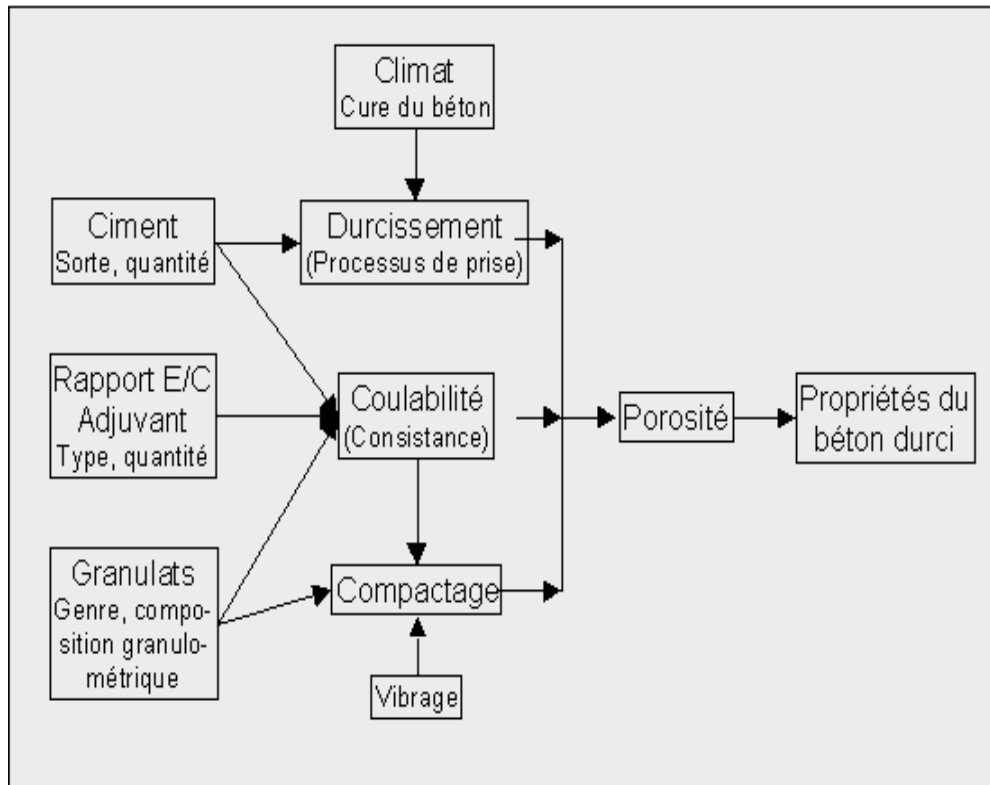


Fig. 1.1: Représentation schématique des facteurs technologiques influant de manière déterminante sur la durabilité du béton

## - II-LA CORROSION

Les fissures sont un passage facile pour l'oxygène, l'humidité et les chlorures vers le béton, donc les fissures de surface parallèles. Les barres de ferraillement peuvent faciliter le processus de corrosion, qui à son tour entraînera l'apparition de nouvelles fissures.

(Le phénomène de corrosion des aciers est un phénomène naturel et artificiel déclaré par leur utilisation et l'exploitation de ces métaux. Dans les secteurs de l'industrie et de la métallurgie (automobile, construction, etc), la surface des tôles en acier est revêtue afin de les protéger contre les attaques de corrosion qui surviennent, par exemple, pendant le stockage des tôles ou sur des véhicules (pluie, sels de déneigement...). A l'échelle industrielle, deux procédés sont majoritairement utilisés pour protéger les aciers de la corrosion: la galvanisation et l'électro-zincage. Toutefois, les méthodes classiques de protection ne suffisent pas et le coût total de la corrosion atteint aujourd'hui de 3 à 4 % du PIB mondial... Le plus souvent, des faiblesses de tenue à la corrosion sont observées sur les aciers zingués comme par galvanisation à chaud lorsqu'ils sont entreposés pendant de longues périodes dans des conditions non contrôlées (et souvent corrosives). De plus, ces aciers présentent une mauvaise aptitude au collage, en particulier pour les aciers revêtus de zinc sur leurs deux faces. Les revêtements existants des surfaces métalliques sont souvent insuffisants en ce qui concerne la protection des pièces critiques des véhicules (portières, longerons, bavolets...) et les bords découpés. Ils doivent alors être complétés par des post-protections afin d'augmenter la tenue à la corrosion de l'ensemble.)<sup>4</sup>

(Généralement, les armatures et les insertions métalliques sont

---

<sup>4</sup><https://www.researchgate.net/figure> Publisher: Editions universitaires européennes ISBN: 978-620-3-42842-1  
Project: Maintenance et Fiabilité des équipements dans les ateliers de tissage. Bachir Kerboua univ t\*Tlemcen

naturellement protégées dans le béton. Cependant, deux mécanismes peuvent mener, sous certaines conditions, à leur corrosion :

- la carbonatation
- l'attaque par les chlorures.

On distingue 2 phases dans le mécanisme de corrosion des armatures :

- phase 1 : initiation, dont la fin correspond à la dépassivation de l'armature
- phase 2 : propagation, correspondant à la destruction de l'armature.

La corrosion peut être empêchée pendant toute la durée de vie d'un ouvrage par une épaisseur et une qualité adéquate du béton d'enrobage. Il est également possible d'utiliser des aciers d'armature avec une résistance à la corrosion plus élevée si des exigences particulièrement sévères doivent être respectées.)<sup>5</sup>

L'acier d'armature est considéré comme l'élément le plus important dans la durabilité du béton armé et l'augmentation de la durée de vie de bâtiment, et il est à l'origine protégé des facteurs qui causent la rouille par la couche d'enrobage et d'autres moyens de protection comme le crépissage et le revêtement, mais il est exposé à l'attaque de facteurs extérieurs qui limitent la durabilité du béton, surtout si le problème n'est pas traité au début.

(La durabilité des structures en béton armé dépend principalement de la résistance de celui-ci aux milieux agressifs qui environnent les constructions. Ainsi, les aciers dans le béton sont naturellement protégés contre la corrosion par la nature alcaline du milieu (le pH est de l'ordre de 13), et l'existence d'un film de passivation issu des interactions chimiques de la pâte de ciment au

---

<sup>5</sup><https://www.holcim.be/fr> Causes et préventions des altérations du béton : Corrosion des armatures  
16 Septembre 2019

cours de son hydratation et la couche superficielle des aciers. Cependant, des agents agressifs peuvent pénétrer les bétons d'enrobage en tant que milieu poreux et leurs réactions avec les composés hydratés de la pâte de ciment, altèrent cette protection provoquant à terme la corrosion des armatures.

Selon Neville, la corrosion des armatures engendre deux types de phénomènes sur la structure :

- une augmentation de volume des aciers qui provoque la fissuration du béton d'enrobage, ce qui fait croître la vitesse de la corrosion par une perméabilité plus grande aux agents agressifs du béton fissuré,
- une réduction de la section " saine " des aciers, c'est à dire de leur capacité portante.

Ceci peut conduire, in fine, à la ruine de l'ouvrage, si aucune action de réparation n'est intervenue.

Les principaux agents agressifs sont :

- les chlorures, présents en forte concentration dans un environnement marin et les sels de déverglaçage sur les routes,
- le gaz carbonique de l'air qui, réagissant avec les constituants alcalins contenus dans la pâte de ciment durcie (principalement le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), responsable des phénomènes de carbonatation,

Cependant, depuis une trentaine d'années environ, un certain nombre de constructions en béton armé et précontraint laissent apparaître des désordres plus ou moins prononcés limitant la durée de vie des ouvrages et induisant des conséquences économiques majeures. Ainsi, selon le rapport de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques)<sup>6</sup>, quatre

<sup>6</sup>Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 474 p.

ponts routiers en béton armé sur dix sont dans un état déficient aux Etats-Unis. Parmi la nature des dégradations examinées, l'enquête rapporte que la corrosion des armatures dans le béton armé apparaît comme le défaut le plus fréquemment rencontrée.

(Une étude effectuée en Angleterre a montré qu'entre 1974 et 1978, la corrosion des aciers d'armature a été la cause directe de l'effondrement d'au moins 8 structures de béton. Ces structures étaient âgées de 12 à 40 ans)<sup>7</sup>.

Deux processus peuvent altérer la protection normalement assurée par le béton.

1. l'évolution de la phase aqueuse (humide) interstitielle dont le pH diminue à la suite de la transformation des composés hydratés du ciment et qui n'offre plus la protection souhaitable à l'acier. C'est principalement la réaction de carbonatation du béton à partir du dioxyde de carbone contenu dans l'air qui est impliquée dans ce processus

2. la pénétration d'agents agressifs, notamment les ions chlore jusqu'au niveau des armatures. Les ouvrages situés en milieu marin, en sites industriels pollués, les ponts, routes, aires de stationnement soumis à l'action des sels répandus en hiver sont particulièrement concernés par ces infiltrations.

La capacité de protection offerte par le béton aux armatures peut s'évaluer en termes de qualité du béton de recouvrement et d'épaisseur de recouvrement ou d'enrobage.

1. — Concernant la qualité du béton, deux facteurs sont à considérer les possibilités de migration des diverses espèces chimiques à l'intérieur du béton à partir du milieu extérieur dépendent en premier lieu de sa structure poreuse.

---

<sup>7</sup>Cour d'étude, D.ABDELHAMID GHETTAL. Université Biskra.2021-2022



Le second facteur concerne l'innocuité des constituants du béton vis-à-vis des armatures.

2. — L'épaisseur de recouvrement des armatures (« l'enrobage » en termes réglementaires) est directement liée au niveau d'agressivité du milieu d'exposition.

## 2.ASPECTS NORMATIFS

Toutes les dispositions, décrites dans la première partie, dont l'effet est de limiter la porosité du béton, contribuent à la durabilité du système béton-armatures. Les règles concernant la cure humide du béton ont une importance toute particulière puisque les quelques centimètres du béton d'enrobage sont très sensibles aux effets de la dessiccation.

Les autres dispositions, directement liées à la corrosion des armatures, concernent la limitation de la teneur en ions chlore, la fixation d'une épaisseur d'enrobage minimale, la limitation de l'ouverture des fissures du béton armé.

### •Épaisseur minimale d'enrobage

Les codes de calcul fixent une épaisseur minimale d'enrobage qui dépend de la classe d'environnement à laquelle l'ouvrage sera exposé (BAEL, Eurocode 2). Les épaisseurs minimales d'enrobage prescrites dans différents pays industrialisés sont représentées. Les variations sensibles des valeurs prescrites s'expliquent, en partie, par les différences entre les climats de ces pays.

L'épaisseur minimale d'enrobage des armatures pour le béton armé, prescrite par la réglementation, est liée à la sévérité du milieu d'exposition caractérisé par son niveau d'agressivité (N1, N2, N3, N4 ou N5) et varie d'un pays à l'autre de façon souvent disparate. Le passage d'un niveau

d'agressivité à un niveau supérieur ne s'accompagne pas toujours d'une modification de l'épaisseur d'enrobage.

Les codes de calcul donnent des règles pour limiter l'ouverture des fissures du béton armé. Les règles du BAEL 91 dépendent de l'agressivité du milieu et du caractère plus ou moins préjudiciable de la fissuration (peu nuisible, préjudiciable, très préjudiciable).

- Les dommages dus à la corrosion se manifestent par des expansions qui conduisent à la formation de fissures qui provoquent éventuellement le décollement du couvert de béton (l'enrobage) (Fig1.3).



*Fig. 1-2. - Délamination dues à la corrosion dans une dalle en béton armé.*



*Fig. 1.3- Délamination de la paillasse d'un escalier en béton armé.*

- La corrosion des aciers d'armature peut débuter si le film **passif est détruit** ou si les pH de la solution interstitielle devient trop faible ( $< 12$ ).

(L'enrobage des armatures et les caractéristiques du béton d'enrobage sont les paramètres fondamentaux permettant de maîtriser la pérennité des ouvrages aux phénomènes de corrosion et donc leur durée d'utilisation.

(L'enrobage des armatures représente la distance entre la surface du béton et l'armature la plus proche (cadres, étriers, épingles, armatures de peau, etc.).

Il doit être suffisant pour garantir :

- la bonne protection de l'acier contre la corrosion ;
- la bonne transmission des efforts d'adhérence ;

- une résistance au feu convenable.

Ainsi il est possible de placer les armatures hors d'atteinte des agents agressifs en les protégeant par une épaisseur suffisante d'un béton compact, ayant fait l'objet d'une cure appropriée.

L'optimisation des performances du béton et de l'enrobage des armatures constitue un facteur de progrès essentiel pour assurer la durabilité des ouvrages.

**Tableau n°1 : modulation de la classe structurale recommandée**

Critère	CLASSE D'EXPOSITION						
	XO	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1 / XS1 / XA1	XD2 / XS2 / XA2	XD3 / XS3 / XA3
Durée d'utilisation de projet	100 ans, majoration de 2						
	25 ans et moins minoration de 1						
Classe de résistance du béton	≥ C 30/37	≥ C 30/37	≥ C 30/37	≥ C 35/45	≥ C 40/50	≥ C 40/50	≥ C 45/55
	Minoration de 1						
	≥ C 50/60	≥ C 50/60	≥ C 55/67	≥ C 60/75	≥ C 60/75	≥ C 60/75	≥ C 70/85
	Minoration de 2						

Nature du liant	-	≥ C 35/45	≥ C 35/45	≥ C 40/50	-	-	-
	-	Béton à base de CEM I Sans cendres volantes			-	-	-
		Minoration de 1					
Enrobage compact	Minoration de 1						

(\*) L'obtention d'une bonne compacité de la zone d'enrobage concerne par exemple :

- la face coffrée des éléments plans (assimilables à des dalles, éventuellement nervurées), coulés horizontalement sur des coffrages industriels,
- les éléments préfabriqués industriellement : éléments extrudés, ou faces coffrées des éléments coulés dans des coffrages métalliques,
- la sous face des dalles de pont, éventuellement nervurées, sous réserve de l'accessibilité du fond de coffrage aux dispositifs de vibration.

Nota : si un béton d'une partie d'ouvrage est concerné par plusieurs classes d'exposition, on considère l'exigence la plus sévère et donc l'enrobage le plus important.

- Étape 3 : Détermination de l'enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité  $C_{min,dur}$

Les valeurs de  $C_{min, dur}$  (en mm) requis vis-à-vis de la durabilité sont données en fonction de la classe d'exposition et de la classe structurale dans le tableau 4.4 N pour les armatures de béton armé et dans le tableau 4.5NF pour les armatures de précontrainte à l'article 4.4.1.2 (5) de la norme NF EN 1992-1-1

**TABLEAU N° 4.4N : Valeur de  $C_{\min,dur}$  en fonction de la classe d'exposition et de la classe structurale dans le cas des armatures de béton armé**

Classe structurale	Classe d'exposition						
	XO	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Pour les classes d'expositions XF1, XF2, XF3 et XF4. La valeur de  $C_{\min,dur}$  est déterminée en prenant en compte les classes d'expositions concomitantes XC1 à XC4 et XD1 à XD3.

Type de salage	classe d'exposition XF			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Peu fréquent	XC4	SO	XD1 ou XC4(*)	SO
Fréquent	SO	XD1 XD3(**)	SO	XD2 XD3(**)
Très fréquent	SO	SO	SO	XD3

SO : sans objet

(\*) XD1 : si le béton est formulé avec un entraîneur d'air.

XC4 : si le béton est formulé sans entraîneur d'air

(\*\*) XD3 : pour les éléments très exposés (pour les ponts : corniches, longrines d'[ancrage](#) des dispositifs de retenue, solins des joints de dilatation).



Pour les classes d'exposition XA1 à XA3, la valeur de  $C_{\min, \text{dur}}$  est aussi déterminée en prenant en compte les classes d'exposition concomitantes XC ou XD.8

TYPE D'ARMATURE	CLASSE DE RÉSISTANCE DU BÉTON		
	C35/45	C45/55	C70/85
ACIER AU CARBONE	70	65	60
INOX	55	50	45

## 2..1 Mécanismes de base

Pile galvanique, potentiel de corrosion et courant de corrosion<sup>1</sup>

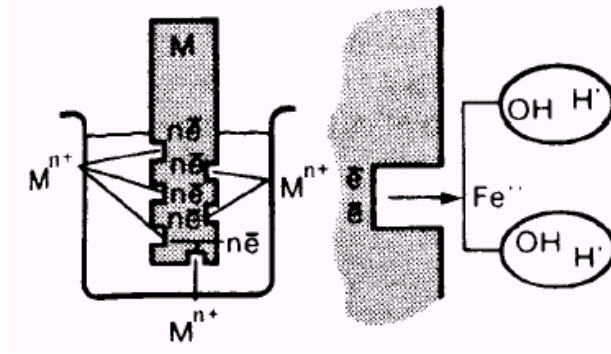
- Lorsqu'un métal est plongé dans un électrolyte, des ions vont passer dans la solution tandis que le métal se chargera en électrons négatifs (Fig 2.5).

- Le passage des ions en solution est limité dans le temps car, pour quitter le métal, ces ions doivent vaincre la répulsion des ions qui se trouvent déjà en solution et l'attraction des ions des électrons en excès qui chargent négativement le métal.

- Le potentiel, 0V, du métal par rapport à la solution tend donc vers une valeur stationnaire appelée potentiel d'électrode (le potentiel normal).

- Le potentiel de corrosion d'une électrode est le potentiel que prend un métal par rapport à un électrolyte donné. Il dépend des conditions expérimentales (type, concentration, température de l'électrolyte).

<sup>8</sup><https://www.infociments.fr/> PATRICK GUIRAUD, Novembre 2016

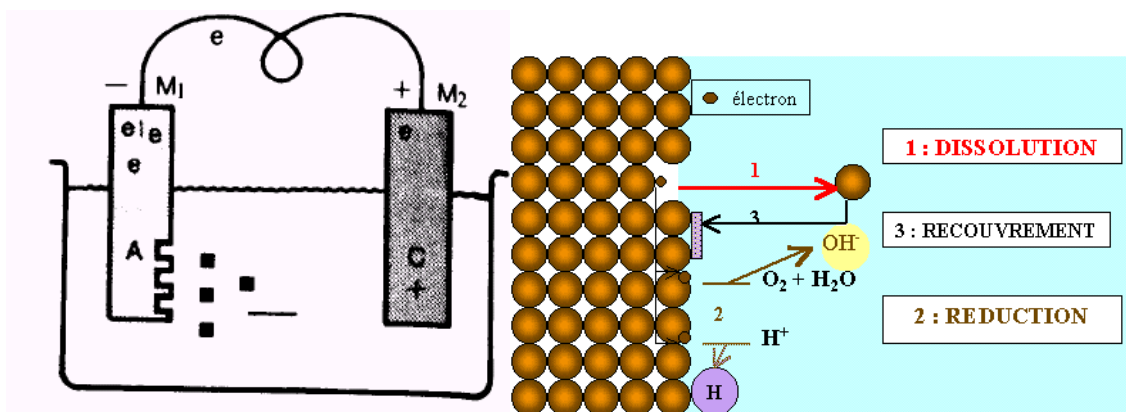


*Fig. 1.5 - Dissolution anodique du fer. [tiré de : Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 474 p.].*

• Dans le cas d'un **couplage de deux matériaux en contact avec un même électrolyte**, il est important de connaître les potentiels que prennent les métaux, par rapport à une solution donnée, de façon à savoir quel est celui qui constitue la **cathode** et quel est celui qui est **l'anode**.

° Dans un électrolyte, deux métaux de nature différente développent des potentiels de demi-pôle différents. Sachant quel est celui qui présente **la plus grande tendance à se dissoudre**, on peut prévoir lequel sera **l'anode** et lequel sera la cathode.

*Fig. 1.5 - Pile galvanique produite par deux*



*Fig. 1.6 Les réactions fondamentales de métaux reliés électriquement, en contact avec. La corrosion métallique .un électrolyte.*



• Comment varie le potentiel des deux électrodes lorsqu'elles sont reliées électriquement ?

◦ Lorsque le **circuit est ouvert**, le potentiel des deux électrodes est **EA0** et **EC0**.

◦ Dès qu'un **courant circule**, le potentiel de la **cathode devient plus négatif** (elle reçoit des  $e^-$  de l'anode) et le potentiel de **l'anode devient plus positif**. On appelle **courbes de polarisation**, les courbes qui donnent EC ou A en fonction de i.

◦ Pour une certaine valeur  $i_{cor}$ , le potentiel de l'anode et celui de la cathode tendent vers la même valeur  $E_{cor}$ . **Théoriquement,  $i_{cor}$  est la valeur maximale de l'intensité de courant que peut débiter la pile.**

◦ Il peut être **intéressant de connaître  $i_{cor}$**  car il permet de calculer la perte de poids  $\Delta M$  subie par le métal en fonction du temps (loi de Faraday).  
.....= M .....

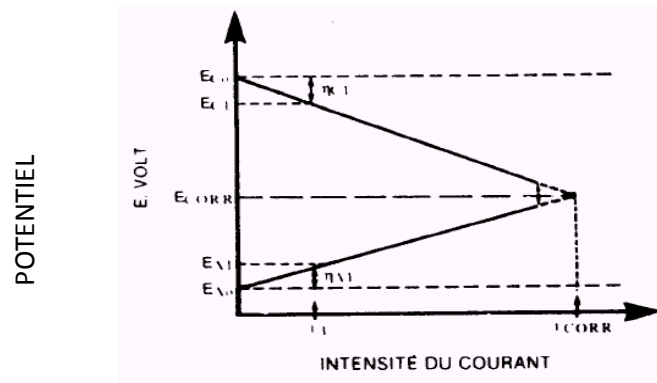
Avec,

M: Masse atomique du métal

$dm/dt$ : Perte de poids du métal par unité de temps

F: Constante de Faraday 96 500 Coulombs

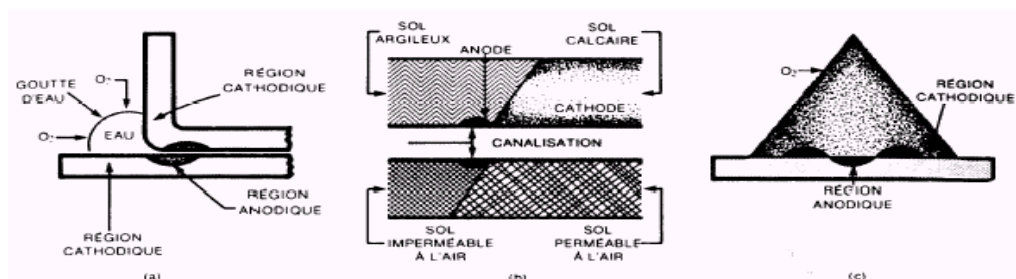
$\mu$ : Charge ionique (2 pour Fe  $\rightarrow$  Fe<sup>2+</sup> + 2e<sup>-</sup>)



**Fig. 1.7 - Évolution du potentiel de l'anode et de la cathode en fonction du courant de corrosion.** [tiré de : Palissy, B. 1980 *Des matériaux*, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 474 p.].

### 2.6.1.2 Corrosion par différence de concentration en oxygène

- En nature il existe de nombreux exemples de cas de corrosion par différence de concentration en oxygène : joints soudés, rivets, tas de sable, dépôts.
- La figure 1.8 présente quelques cas classiques.
  - Les zones cathodiques se forment aux endroits où l'oxygène est plus disponible.
  - Les zones anodiques (corrosion) sont situées près des frontières séparant les zones riches et faibles en oxygène.

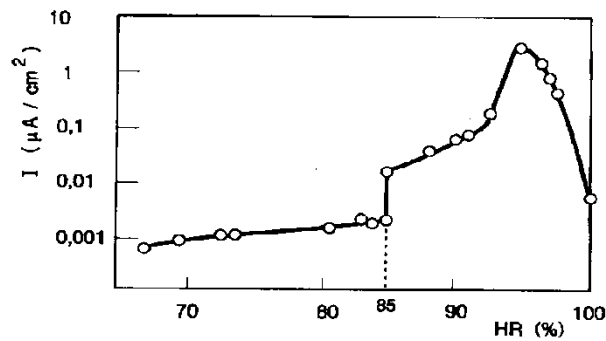


**Fig. 1.8 - Quelques exemples de corrosion engendrés par différences de concentration en oxygène.**

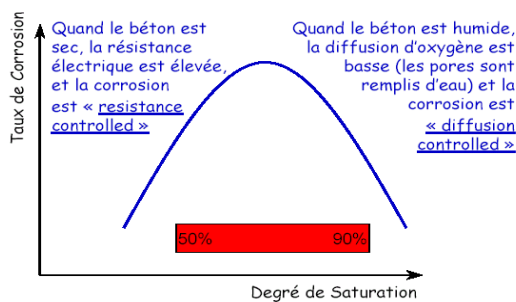
## 2.6.2 Le cas particulier du béton armé

- La corrosion des aciers d'armature dans le béton est issue d'un processus **électrochimique**.
- Pour que l'acier dans le béton se **corrode** (formation de rouille) il retrouver au **même moment**<sup>9</sup>:
  - Un **électrolyte** avec une forte conductibilité (ionique)
  - De l'**oxygène** à la zone cathodique
  - Une **dissolution non inhibée** (dépassivation de l'acier par l'attaque des chlorures ou par la carbonatation).
- Il ne se produit **pas de corrosion lorsque l'atmosphère est très sèche** (humidité relative > 40%: absence d'électrolyte).
- Il n'y a **pas de formation de rouille lorsque le béton est totalement immergé** dans l'eau désaérée (manque d'oxygène).
- **L'humidité** relative la plus favorable pour que la corrosion se produise est de **70% à 80%**. Pour des valeurs plus élevées, la diffusion de l'oxygène est considérablement diminuée.

<sup>9</sup>Carpio Perez, J. J. 1991 Étude de la dépassivation et de la repassivation des armatures métalliques dans les bétons, Document OA9, Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris, France, 168 p.



Effet de la teneur en eau sur vitesse de corrosion



**Figure 1.8. Variation de la vitesse de corrosion mesurée avec des cellules électrochimiques en fonction de l'humidité relative, d'après.**

Mortiers carbonatés de rapport E/C = 0,9 avec une épaisseur d'enrobage de 4 mm. La vitesse de corrosion augmente rapidement à partir de 80-85 % d'humidité relative pour passer par un maximum vers 95 % et décroître jusqu'à la saturation.

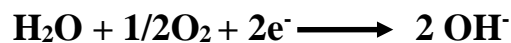
- Le potentiel électrochimique qui est à la base de la formation d'une cellule de corrosion peut être généré de deux façons:
  - Une différence dans la **nature des métaux** (conduits en aluminium - aciers d'armature) ou lorsque les propriétés de surface d'un même métal varient considérablement d'un endroit à l'autre.
  - Une différence de **concentration** de certains ions au voisinage de l'acier (alcalis, chlorures, oxygène).
- Dans une cellule de corrosion, un des deux métaux (ou une région du même métal) devient **anodique** et l'autre **cathodique**.

• Les **réactions chimiques de base** dans les régions anodiques et cathodiques sont les suivantes (en milieu alcalin):

- **Anode:**



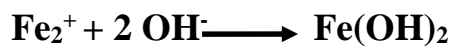
- **Cathode:**



• L'anode et la cathode sont reliés par le **métal con-ducteur** qui permet le passage des électrons.

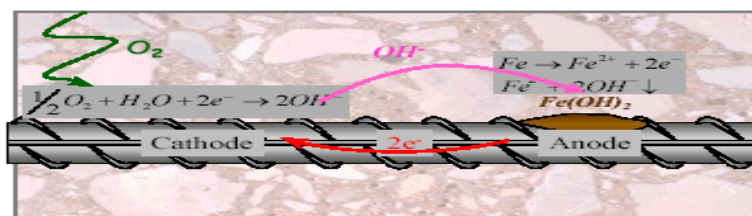
• Le milieu **électrolyte environnant (le béton)** assure le transport des ions par diffusion (Fig 2.104).

• La rouille apparaît lorsque les **ions ferreux** ( $\text{Fe}^{2+}$ ) **réagissent** avec les **ions  $\text{OH}^{-}$**  pour former de l'hydroxyde ferreux ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ).



• En **présence d'oxygène**, les réactions d'oxydation se **poursuivent** pour former des nouveaux produits dont certains sont très expansifs. La **rouille est formée d'un mélange de ces produits** ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

Quand l'alcalinité est réduite:

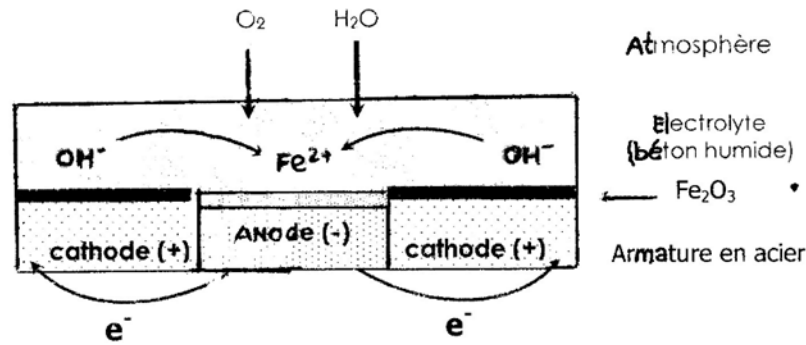


**Corrosion active** - la vitesse est contrôlée par:

1. l'arrivée d'oxygène à la cathode

2. Le transfert des ions  $\text{OH}^{-}$  de la cathode à l'anode

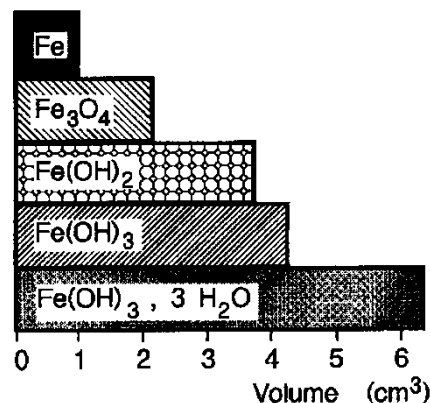
**PERMEABILITÉ  
DIFFUSION  
RESISTIVITÉ**



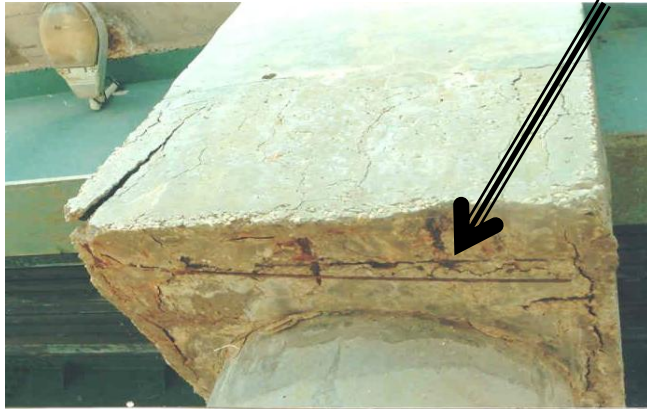
*Fig. 1.9 - Représentation schématique du mécanisme de la corrosion des aciers d'armature dans le béton. (www.memoireonline.com)*

- Pendant le processus, un courant de corrosion se développe entre la cathode et l'anode. Le **taux de corrosion** (quantité de fer dissous) est proportionnel au courant de corrosion.

- La corrosion des aciers d'armature peu provoquer des dommages au béton parce la rouille est formée de **produits fortement gonflants**. Dépendant de l'état d'oxydation, le fer métallique peut former des oxydes dont le **volume** peut être jusqu'à **6 fois supérieur** au volume initial (Fig 2.105).



*Fig. 1.10 - Volume relatif des produits d'oxydation du fer. [tiré de Metha, P.K. Concrete Structures, Properties and Materials, Prentice Hall, New Jersey, 1986, 449 p].*



*Fig1.11 - Schéma de la cinétique du comportement des armatures et du béton d'enrobage.*

En pratique, on doit donc faire en sorte que la période d'amorçage soit la plus longue possible.

° On peut **allonger cette étape** en prévoyant des épaisseurs de **recouvrement** suffisantes et en choisissant une formule de mélange permettant de **diminuer la perméabilité** du béton (eau, gaz).

### 2.6.3 La dépassivation des armatures

• La dépassivation de l'acier dans le béton se produit le plus souvent par l'action de **deux agents** qui peuvent se présenter simultanément:

1. ° Le dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$  (**carbonatation**)
2. ° La présence de **chlorures** au niveau des armatures

#### 2.6.3.1 Le rôle des chlorures

• La **vitesse de corrosion** des barres d'armature est **plus grande** en présence de **chlorures**.

• Les chlorures ont **deux effets** dans les mécanismes de corrosion.

° Ils diminuent la **résistivité** de l'électrolyte (le couvert de béton), ce qui facilite le transport des ions d'un site à l'autre.

° Ils permettent **l'amorçage plus rapide** de la corrosion en dépassivant la couche superficielle. (Dissolution de la couche passive ou migration des chlorures à travers le film d'oxyde ?).

• Aux endroits où la **couche a été détruite, l'acier se dissout** (zone anodique), alors que le reste de la surface encore passivée correspond à la **zone cathodique**

### Effet des chlorures

- Les ions chlore sont rarement distribués de manière homogène à la surface de l'acier et il subsiste quelques imperfections dans la couche passive qui facilitent l'incorporation des ions chlore
- Par conséquent, la dégradation de la couche passive est un phénomène local
- Cela conduit à une corrosion par piqûre (avec un taux élevé de cathode-anode)



*Fig 1.12 effet des chlorures*

(<http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

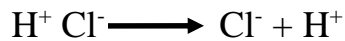
° Le rapport **cathode/anode élevé** favorise la **progression localisée** et en profondeur de la corrosion (corrosion caverneuse).

• Les réactions de corrosion au niveau de la cellule caverneuse sont encore mal comprises 4.

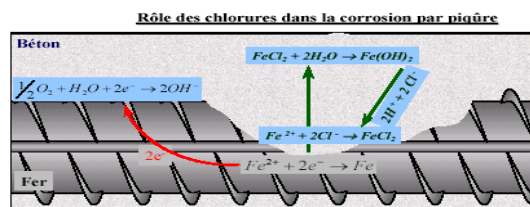
° Les ions chlorures s'associent avec l'ion hydrogène de l'eau pour former de **l'acide chlorhydrique**.



° Ces réactions engendrent une **importante baisse du pH**. (pH = 3 à 5). La dissolution du fer est alors accélérée. Les ions chlorures sont constamment recyclés



**Plus la concentration en chlorure au niveau des armatures est grande, plus vitesse de corrosion est élevée.**



A quelque distance de l'anode, où la concentration de pH et d' $\text{O}_2$  est plus élevée, le  $\text{FeCl}_2$  se dégrade,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  précipite, le  $\text{Cl}^-$  et  $\text{H}^+$  retournent à l'anode. Ainsi le processus se reproduit sans cesse et au lieu de s'étendre le long de la barre – la corrosion se poursuit localement à l'anode et des piqûres profondes se forment.

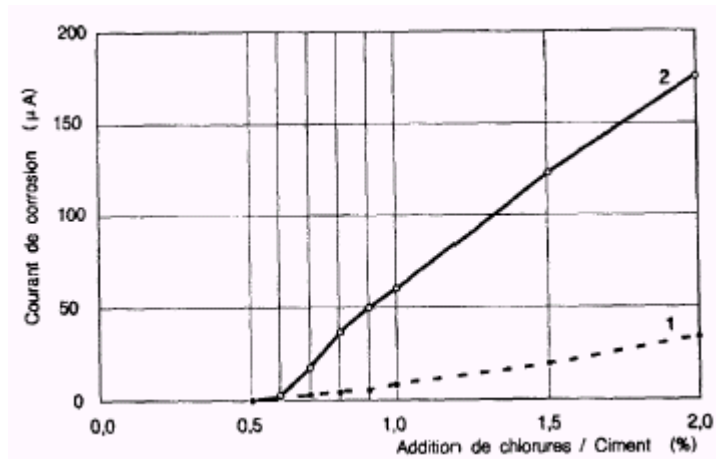
**Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure**



*fig.1.13. Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure*

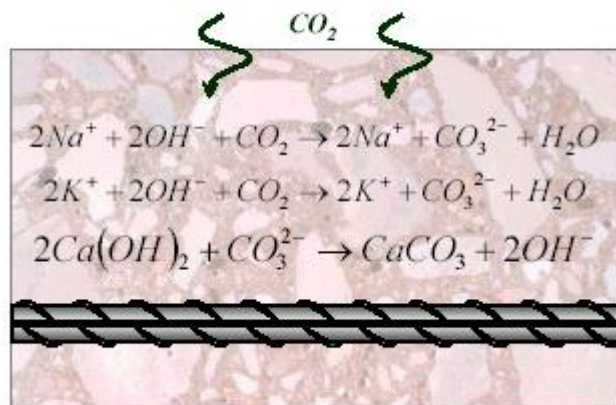
(<http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

• **En pratique, il est important de limiter la quantité de chlorures dans le béton** (pénétration par diffusion ou via les adjuvants, les granulats, l'eau de gâchage).

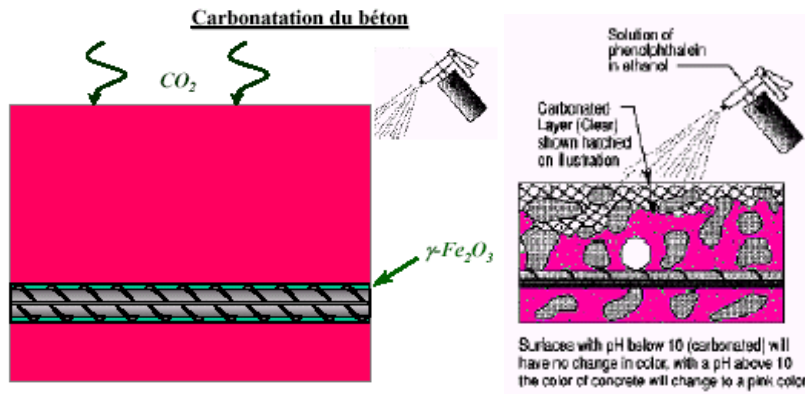


**Fig1.14 - Influence du pourcentage de chlorures introduits dans le béton sur le courant de corrosion ( $E/C = 0,60$  - après 100 jours (courbe 1) - après 1 an (courbe 2)). [tiré de Baron, J. et Ollivier, J.-P. *La durabilité des bétons*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1992, 453 p.]**

#### Carbonatation du béton



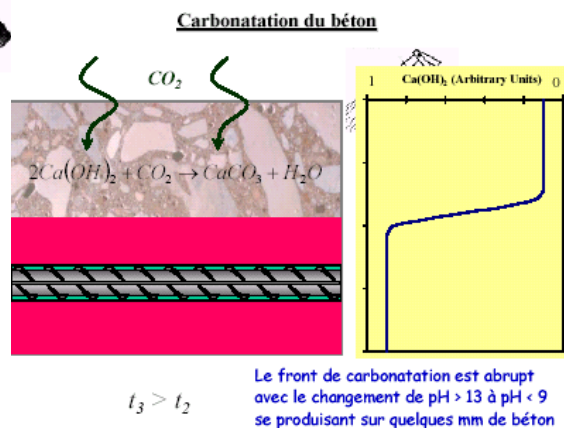
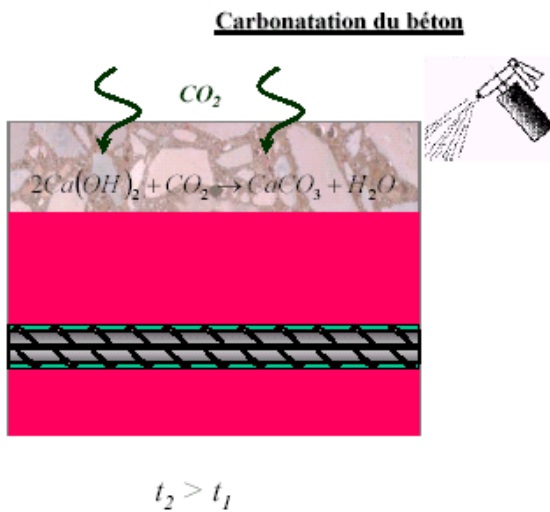
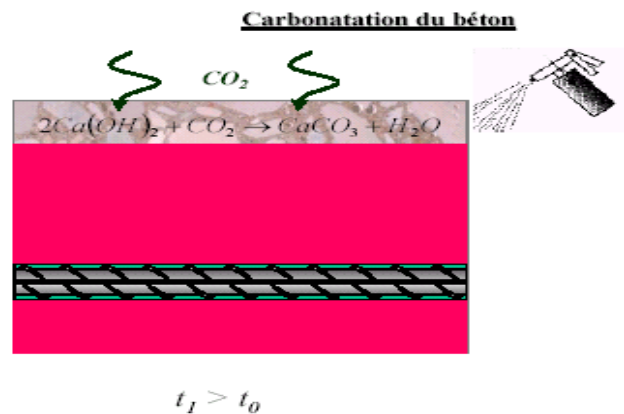
° Le film passif disparaît lorsque le pH devient inférieur à environ 12.

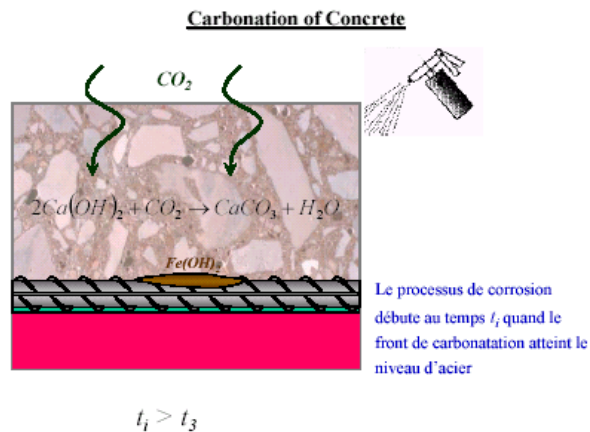


Le béton carbonaté a un pH < 9.0  
(~ 8 selon Bentur *et al.*, 1997)

Indicateur Phenolphthaléine (indicateur de base acide) est un moyen pratique de mesurer la profondeur de la carbonatation lorsqu'elle change de violet → neutre selon figure:

- pH > 9.2 (violet)
- pH < 9.2 (neutre)





**fig.1.15 mécanisme de carbonatation du béton**

- Tous les mécanismes qui peuvent provoquer une **diminution du pH** dans le béton peuvent donc contribuer à **amorcer ou accélérer la corrosion** des aciers d'armature.

- Dans la grande majorité des cas, c'est la **carbonatation** qui est principalement responsable de la baisse du pH dans le béton.

- La carbonatation est engendrée par une **réaction entre le CO<sub>2</sub>** de l'air et **certaines constituants** du béton. Un des produits de la carbonatation est le **CaCO<sub>3</sub> (calcite)**.

- Le dioxyde de carbone gazeux (CO<sub>2</sub>) présent dans l'air peut être dissous et réagir avec la solution interstitielle basique du béton.

- L'attaque commence à la surface et le CO<sub>2</sub> pénètre par diffusion dans la phase liquide.

- La réaction du CO<sub>2</sub> fait intervenir la **chaîne de réactions** suivantes:



- Cette réaction se produit en **milieu aqueux** (les composés doivent être en solution dans l'eau).

° Un des effets de cette réaction est de provoquer **une baisse du pH jusqu'à des valeurs voisines de 9.**

### ➔ Dépassivation de l'acier d'armature

° En présence de **bases alcalines** (NaOH, KOH) la solubilité de la chaux est **relativement faible** et la réaction est ralentie.

° Cependant les **bases alcalines peuvent se carbonater** elles aussi:

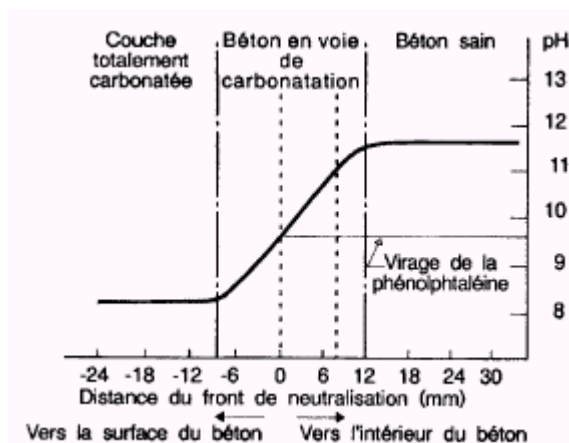


° La carbonatation des bases alcalines **augmente la solubilité** de la chaux qui peut alors se carbonater en plus grande quantité.



• La carbonatation du béton est un **phénomène progressif** qui, avec le temps, atteint des couches de plus en plus profondes.

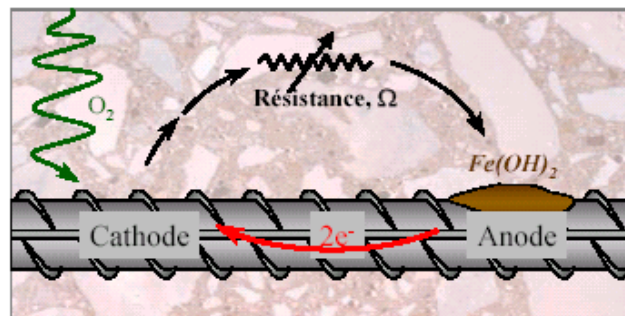
• On peut mesurer la profondeur de carbonatation par un essai de coloration à la **phénolphtaléine** (Fig 2.21).



### Taux de corrosion

- Le taux de corrosion est probablement la meilleure technique pour évaluer l'activité de corrosion dans le béton armé.

- Selon la loi de Faraday, on peut montrer que dans le cas de l'acier, un courant de corrosion de  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  d'acier, correspond à une attaque de **11,6  $\mu\text{m}$  par année.**



Le taux de corrosion, une fois débuté est contrôlé par:

- Le taux de diffusion d'oxygène
- La résistance électrique du béton entre anode & cathode

Le taux de corrosion peut être réduit par l'utilisation de béton à faible diffusion d'oxygène et haute résistance électrique – 2 caractéristiques de béton à faible pourcentage de E/C et contenant des matériaux cimentaires supplémentaires (i.e. Béton haute performance)

*fig. 1.116 Taux de corrosion dans le béton*

### Conséquence de la corrosion



La corrosion des armatures induites des taches de couleur rouille sur le béton adiacent



Fissuration



Spalling

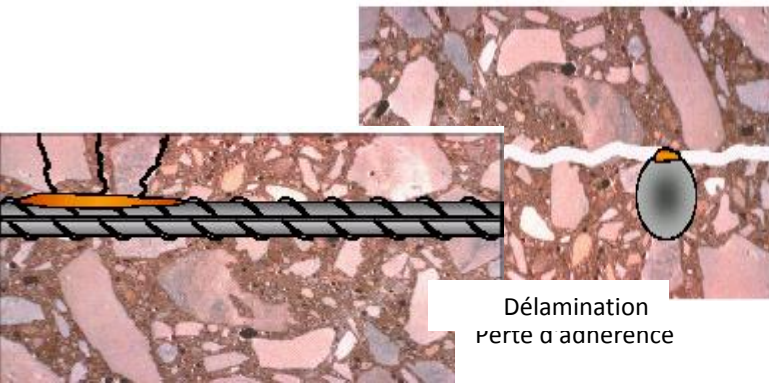


Perte de section



Excentricité





### Prévision de la pénétration

La pénétration des chlorures est un processus de diffusion, lorsque le béton est saturé d'eau et que le ciment ne réagit pas trop avec ces sels. Les armatures sont dans un béton pratiquement saturé d'eau, lorsque leur enrobage est assez épais et se dessèche peu (cas des structures en sites maritimes ou montagneux).

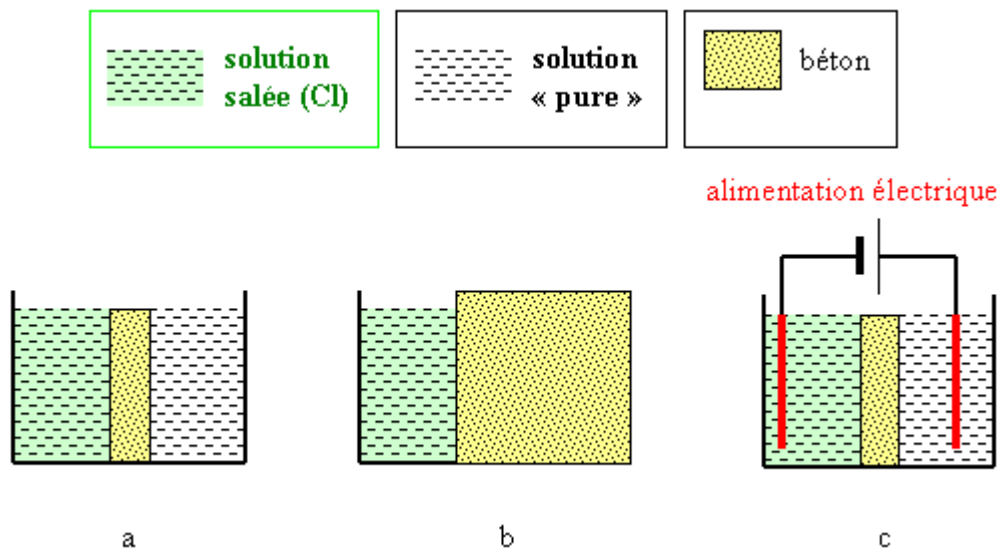
Ainsi, la prévision de la pénétration des chlorures dans le béton, utilise les lois de la diffusion (de FICK) qui nécessite la connaissance de la diffusivité  $D$  (ou coefficient de diffusion).

Ce coefficient de diffusion  $D$  des chlorures dans le béton varie, en toute rigueur, au fur et à mesure que ce matériau vieillit. Mais, du point de vue pratique, cette grandeur peut être considérée comme constante, surtout lorsque le béton est âgé de plus de six mois.

Pour une structure en service, le coefficient  $D$  est déterminé en utilisant le profil expérimental de teneur en chlorure (dans la partie assez éloignée du parement).

Mais il est également possible de prélever des échantillons (carottages) de béton dans de telles structures et, comme pour une structure qui reste à construire, le coefficient  $D$  est déterminé par des essais. Il s'agit d'essais de diffusion, en régime stationnaire (figure a) ou non (figure b) ou d'essais de migration des chlorures sous champ électrique (figure c). En fait, lorsque les chlorures pénètrent dans le béton, sans le traverser, la diffusion est fortement perturbée par leurs fixations (adsorption, réactions chimiques) sur le ciment

durci. Le régime n'est pas stationnaire. Lorsque les chlorures traversent l'éprouvette de béton et que le régime de diffusion est stationnaire, les essais de diffusion (a) et de migration (c) donnent des résultats équivalents. Il est à noter que dans ce cas, le coefficient  $D$  est inversement proportionnel à la résistivité électrique de l'éprouvette de béton.



- Détermination du coefficient de diffusion  $D$  des chlorures dans le béton
- a) diffusion en régime stationnaire,  $D$  est déterminé en dosant les chlorures qui traversent l'éprouvette de béton, jusqu'à la solution initialement " pure "
- b) diffusion en régime non stationnaire,  $D$  est déterminé à partir du profil de teneur en chlorure dans le béton
- c) migration sous champ électrique,  $D$  est déterminé en régime stationnaire, comme pour a)

## 2-Corrosion par carbonatation

(On appelle carbonatation la réaction chimique entre le gaz carbonique  $\text{CO}_2$  contenu dans l'air et l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  contenu dans la



pâte de ciment. La carbonatation commence à la surface du béton et se propage lentement en profondeur. Son influence sur le béton lui-même est favorable car elle le rend plus compact et augmente donc sa durabilité. Elle agit à la manière d'une protection naturelle contre la pénétration des gaz et des liquides. Le béton non armé profite pleinement de l'influence favorable de la carbonatation.

En revanche, cette même carbonatation peut être à l'origine d'importants dommages sur les structures en béton armé. En effet, la carbonatation diminue l'alcalinité élevée de la solution interstitielle des pores de la pâte de ciment, faisant passer le pH de  $\pm 13$  (ce qui protège l'armature) à un pH  $< 9$ . Dès que le "front de carbonatation" atteint la zone de l'armature, ce qui correspond à la fin de la phase 1 (dépassivation), celle-ci peut commencer à s'oxyder. La vitesse à laquelle le front de carbonatation pénètre à l'intérieur du béton est d'autant plus grande que le béton est poreux. Elle ralentit cependant progressivement au cours du temps, car la couche déjà carbonatée freine les échanges avec l'extérieur.

La vitesse et la profondeur de carbonatation sont toutefois influencées par quantité d'autres facteurs comme la teneur en ciment, les variations de température ainsi que la fréquence des alternances entre l'état sec et l'état mouillé à la surface du béton.

**La corrosion de l'armature (phase 2) commence, dès que trois conditions sont remplies :**

- **le front de carbonatation a atteint l'armature (dépassivation)**
- **disponibilité d'humidité**
- **disponibilité d'oxygène.**

Dans les éléments de construction en permanence saturés en eau ou complètement secs, le risque de corrosion est donc faible, puisqu'il manque soit de l'oxygène soit de l'humidité. Par contre, des périodes d'alternance séchage / mouillage augmentent le risque de corrosion. Le choix des classes d'environnement EE (classes d'exposition XC) reflète entre autre ces différences.

### **3-Corrosion par les chlorures**

Suite à l'infiltration de chlorures issus notamment des sels de déverglaçage, de l'eau de mer, d'eau chlorée,... la concentration en chlorures dans la solution interstitielle des pores du béton augmente. L'atteinte d'une "concentration critique" à l'endroit des armatures peut provoquer une dépassement locale de la surface de l'acier, ce qui correspond à la fin de la phase 1

La propagation de la corrosion (phase 2) dépendra de la présence simultanée de chlorures, d'eau et d'oxygène : le choix des classes d'environnement ES (classes

d'exposition XS ou XD) reflète entre autre ces différences).<sup>10</sup>

### **III- Le diagnostic**

#### **III -1- C'est quoi un diagnostic?**

Pour connaître l'état dans lequel est devenu un bâtiment particulier, et afin de connaître le plan et les techniques à prendre pour le traiter, une étape importante doit être franchie avant de prendre des mesures de traitement, qui est le processus de diagnostic par lequel les défauts qui ont affecté le bâtiment deviennent clairs pour nous, comme le médecin le fait avec le

<sup>10</sup><https://www.holcim.be/fr> Causes et préventions des altérations du béton : Corrosion des armatures  
16 Septembre 2019

patient. Il ne peut pas donner de traitement avant de diagnostiquer la maladie ou les maladies qui ont affecté le patient, et la même chose que le mécanicien fait lors de la réparation de la voiture

"Le diagnostic est un ensemble de techniques élaborées dont l'objectif est d'évaluer l'état de matériau dans une structure donnée, tout en évaluant la stabilité globale et partielle de cette structure. Pour pouvoir analyser, déterminer les causes affectant cette conception, et envisager à la fin une intervention et réparation avec succès."<sup>11</sup>

Afin d'éviter ces maladies ou du moins de les réduire au maximum, les dimensions des structures en béton armé sont déterminées par les ingénieurs et les concepteurs pour une durée de vie spécifique, en tenant compte de l'environnement dans lequel elles se trouvent. Pour se conformer à ces exigences, le concepteur doit être pleinement conscient des différentes maladies qui entraînent la détérioration des ouvrages en béton armé afin d'obtenir une bonne estimation de la durée de vie de l'ouvrage, qui varie de 40 à 50 ans en général.

### **III -2- Les pathologies des ouvrages en béton armé:**

Le béton armé est un mélange hétérogène, composé de ciment, de sable, de gravier de toutes sortes et d'acier, il est donc vulnérable à plusieurs maladies du fait de ce mélange et des conditions qui l'entourent. Il existe plusieurs maladies qui affectent le béton armé et provoquent des symptômes visibles qui peuvent être corrigés au début, et d'autres cachés qui ne le sont pas. Ils n'apparaissent qu'après l'apparition du problème et son aggravation. Ces problèmes ont été classés selon leur nature en deux catégories principales : les maladies d'ordre chimique et les maladies d'ordre physique.

---

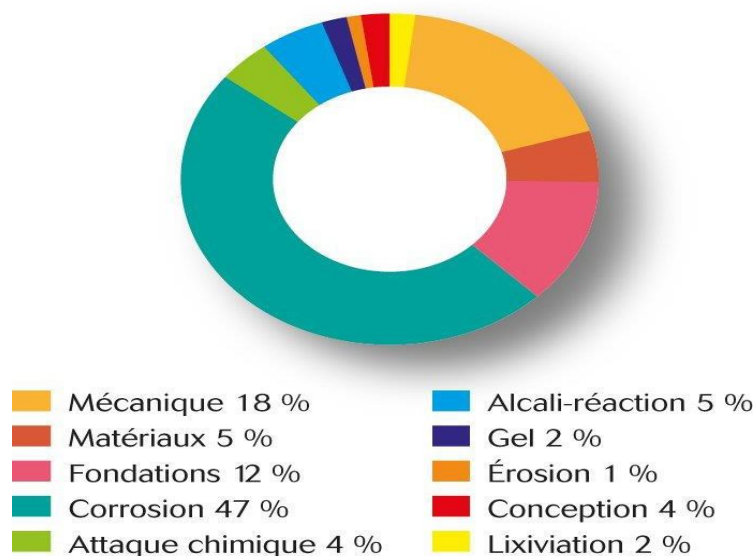
<sup>11</sup>CHABBI Radhia<sup>1</sup> & FERHOUNE Nouredine<sup>1</sup> & BOUABDALLAH Fouzia<sup>1</sup> (2) (1) Faculté des sciences et sciences appliquées, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi.

### III -2.1 Pathologies d'ordre chimiques :

La carbonatation : la carbonatation des composés hydratés du ciment par dioxyde de carbone de l'air ( $\text{CO}_2$ ) diminue le pH de la solution interstitielle d'une valeur de l'ordre du pH 12,6 à une valeur inférieure à pH 9 de telle sorte que la pellicule d'oxyde passif protégeant

SIGC, Oran, le 27 et 28 Novembre 2018 2 l'acier n'est plus stable. En effet, les résistances mécaniques et les modules d'élasticité augmentent, tandis que la perméabilité et la porosité diminuent grâce à la formation des carbonates de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) . La vitesse de carbonatation est liée aux plusieurs facteurs qui dépend soit des caractéristiques des matériaux (la porosité, les hydrates...etc.), soit des conditions thermodynamiques (la saturation, l'humidité ...).

**La figure 01**



**Figure I-17 Pourcentage des facteurs de dégradations des ouvrages**

(<https://www.infociments.fr/genie-civil/les-facteurs-de-degradation-du-beton>)

présente quelques conséquences de la carbonatation sur le matériau béton armé comme la corrosion des armatures, les microfissures et les fissures orientées au niveau des enrobages (au voisinage et le long des aciers), ainsi que les éclatements et les décollements du béton plus particulièrement aux coins

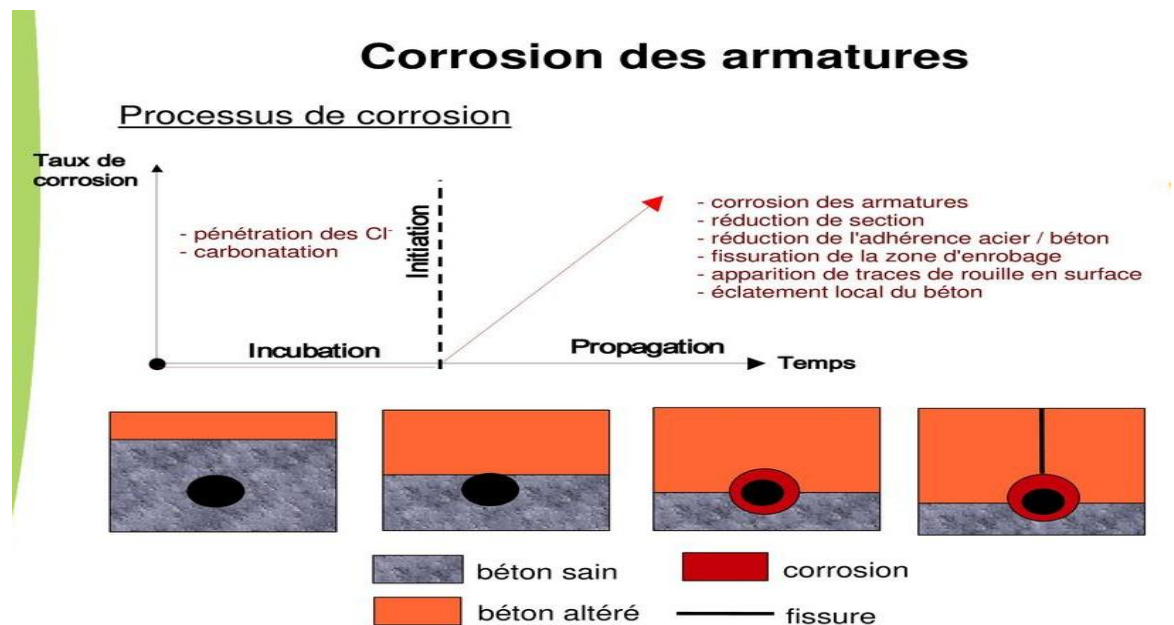
### **III -2.1 -a-La corrosion des armatures :**

en plus de son vieillissement à l'intérieur du béton sous l'action d'agents agressifs tels que l'eau ou de réactifs chimiques, l'acier se corrode. Autrement dit, il se transforme en oxydes, sulfures, carbonates, etc., ou en une autre forme plus stable par rapport au milieu environnant.

Cela entraîne systématiquement aux changements et chutes de la performance mécanique et toutes les caractéristiques se dégradent.

L'origine de ce processus électrochimique est la carbonatation en plus de la pénétration des ions qui fournissent des solutions de faible pH (acides) comme les chlorures. Ce phénomène dépend de la présence simultanée de divers facteurs : les paramètres physiques (la température, la densité, un taux hygrométrique important, l'épaisseur du béton d'enrobage ...etc.) ; les sollicitations mécaniques (les contraintes, les chocs...) ; la microstructure et les compositions chimiques du matériau béton et de l'environnement. Les dégradations se manifestent sur les ouvrages, elles sont très visibles on cite les fissurations, l'éclatement de béton, des taches de rouilles engendrées une perte de section d'acier. Tous ces désordres favorisent la rupture fragile et la perte de capacité portante des structures. La figure (02) montre des exemples réels de la corrosion dans des ouvrages d'art (Ponts) en Algérie, et des symptômes pathologiques inspectés récemment

(2017), elles sont plus aux moins graves et menacent la fonctionnalité de ces structures.<sup>12</sup>



**Fig 1.18 :La corrosion des armatures**

(<https://docplayer.fr/6929759-Principales-agressions-et-attaques-du-beton.html>)

### III -2.1 - b-Réaction par les sulfates:

les sulfates, d'autres éléments chimiques qui présentent des risques d'agression pour le béton, leurs origines sont différentes : interne en dominant dans le béton sain ; ou externe en provenant du milieu extérieur environnant. Effectivement, les sulfates de sodium sont parmi les sels les plus nuisibles qui sont très solubles et qui entraînent la formation de gypse et l'ettringite expansive. Les sulfates de magnésium sont les plus sévères et les responsables de l'attaque sulfatique, et les sulfates de calcium sont également issus de gypse (régularisé de prise) mais ils sont peu

<sup>12</sup>SIGC, Oran, le 27 et 28 Novembre 2018

solubles. L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation des produits sulfatés dits «Secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimico-mécaniques (une modification des propriétés de transport et de la porosité, une création des fissures, des pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine de la matrice cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (la nature, la teneur et la concentration des sulfates en contact) et du ciment utilisé.<sup>13</sup>

### **Phénomène de la réaction alcali granulat RAG:**

C'est une réaction endogène «génère à l'intérieur » qui affecte le béton dans sa masse contrairement aux autres réactions. Les mécanismes des réactions alcali granulat au sein des structures résultent, dans leur principe d'une réaction entre la phase liquide interstitielle contenant des alcalins en quantités importantes, et les particules réactives contenues dans les granulats (silice amorphe ou silicate ou même dolomite). La température et l'humidité créent un environnement propice, la fissuration en réseau est le désordre le plus fréquemment rencontré et même des faiencages avec des mailles de petite dimension (20 à 50 mm) plus au moins grande (30 à 40 cm). Et une profondeur de fissures assez faible (quelques centimètres), plus au moins importante (supérieure à 10 cm)

Trois types de RAG existent sont comme suit « Réaction alcali- silice ; et alcali- silicate RAS » et « Réaction alcali- carbonate RAC ». Ce type de pathologie varie selon : la teneur en granulat et leur nature; l'augmentation de la teneur en alcalis du ciment qui accélère la réaction; l'élévation de la porosité ; la température et le degré d'humidité élevée sont des paramètres qui développent le phénomène. La figure 4 montre les

<sup>13</sup>Ferhatitaieb, mémoire master, Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S ; Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; 2015 2016.

conséquences de réaction alcali – granulats comme les décolorations du béton dues à l'exsudation du laitier, et les fissurations orientées et en réseaux, ainsi que les dilatations du béton, les auréoles, les pustules et d'autres symptômes d'ordre physico-chimique et mécanique.

### III -2-2 Pathologies d'ordre physique :

Le mécanisme développé par cycle gel – dégel dont les dégradations du béton sont liées à l'alternance de cycles répétés de phases de gel et de dégel. Le risque de désordre est d'autant plus élevé que le degré de saturation en eau du béton est important. C'est le cas notamment des parties d'ouvrages non protégées des intempéries et en contact direct avec des eaux saturées en sel. Une formulation mal adaptée et une mise en œuvre incorrecte du béton peuvent amplifier les dégradations. Ce phénomène est aggravé, en surface, par l'application des sels de déverglaçage (ou fondants routiers), qui engendrent un accroissement des gradients de concentration en sels, générant ainsi des pressions osmotiques plus élevées.<sup>14</sup>

Le mécanisme d'action est expliqué comme suit : une formation des cristaux de glace dans les plus gros capillaires déclenche les mouvements d'eau des capillaires les plus fins vers les capillaires d'eau gelée. C'est alors, la naissance des pressions hydrauliques dans les capillaires et aussi les pressions osmotiques résultent par les différences des concentrations en sel dissous entre l'eau gelée et non gelée. Ce, qui est considérées autant que cause principale des dégradations qui sont les résultats des endommagements progressifs qu'elles dépendent de nombre de cycles, de la température et de la durée de gel. Comme une solution et pour empêcher l'effet de gel,

<sup>14</sup>ITMAIZEH Ehab ; mémoire master académique, PATHOLOGIE DE STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ, Université de Larbi Tébessi, 2015 – 2016.



l'utilisation d'un agent d'entraîneur d'air qui peut créer un réseau de bulle de petite dimension et bien répartie. Ce type d'adjuvant a un double rôle qui s'agit de fractionner les gros bulles en d'autres de faibles dimensions d'une part et d'autre part de maintenir le pourcentage d'air de l'ordre 3 à 8 % du volume de béton.

2.3 Pathologies d'ordre mécanique : Ces désordres se manifestent fréquemment par l'apparition de fissures, éventuellement aggravées par une déformation inacceptable de la structure. Lorsque des contraintes brusques, comme un impact ou une explosion, provoquent une dislocation plus ou moins importante du béton, le lien entre les dégâts et leur cause est généralement évident. Avant de procéder à des réparations, on s'assurera toutefois que d'autres mécanismes de dégradation active ne doivent pas être traités au cours des travaux.

Les fissures sont des phénomènes qui affectent la détérioration de béton, leur présence est un signe d'endommagement de la structure. Elle accélère le processus des dégradations des bétons, car elles augmentent la perméabilité et réduisent la compacité de ces matériaux. Elles représentent la trajectoire que prennent des éléments agressifs de l'extérieur vers le cœur de béton ou la trajectoire au sens inverse des résultants des réactions chimiques internes en vers l'extérieur. L'étude et le monitoring des fissures vis-à-vis de ces emplacements, sa forme et ses orientations (la géométrie), ses évolutions en cours du temps sur la surface des bétons et éventuellement en profondeur représentent une mission parfois difficile voire même impossible.<sup>15</sup>.

### **III -3- La classification des ouvrages**

---

<sup>15</sup>ITMAIZEH Ehab ; mémoire master académique, PATHOLOGIE DE STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ, Université de Larbi Tébessi, 2015 – 2016

La classification des ouvrages est destinée à fournir un indicateur de l'état moyen d'un ensemble d'ouvrages à partir d'une évaluation de chaque ouvrage. Plusieurs méthodes de classification sont disponibles tel que la méthode IQOA qui a été mis à jours en 1996 [IQOA, 1996].

La méthodologie IQOA "Image de la Qualité des Ouvrages d'Art" présente des catalogues de désordres destinés à faciliter la cotation des ouvrages notamment les ponts. Cette cotation résulte d'une analyse de l'état d'un ouvrage faite à l'issue d'un diagnostic détaillé.<sup>16</sup>

L'état des ponts est caractérisé par le choix d'une classe d'état parmi cinq (Voir tableau 1.2), complétée éventuellement d'une mention "S" au titre de la sécurité des usagers.

Codification	Identification du dommage	Description	Causes	Données collectées
A1	Fissures	Fissuration superficielle ou profonde du béton	Surcharges ou corrosion	Direction de la fissure, longueur, profondeur
B2	Efflorescence	Couche blanche déposée sur la surface	Lixiviation des hydroxydes avec ou sans formation de carbonates	Définition de la surface affectée et de la quantité de produit (stalactites)
B3	Taches d'oxydes	Taches de couleur marron	Corrosion de l'armature	Localisation, intensité, dommages
B4	Taches d'humidité	Zones superficielles du béton avec des indices d'humidité	Traces d'écoulement et de condensation	Surface affectée
C3	Détachement du béton de l'enrobage	Morceaux de béton détachés	Pression interne provoquée par les produits de la rouille ou par les chocs	Surface affectée et profondeur
C4	Intempérie	Lixiviation de la surface du béton	Action de l'environnement	Surface affectée et profondeur

<sup>16</sup>Chapitre 1 : Évaluation et diagnostic des structures en béton. BENSALÉM Sara

Tableau 1.2 : Classification de l'état des ponts selon la méthodologie IQOA (Chapitre 1 : Évaluation et diagnostic des structures en béton.p5)

### **III -3- 1-Diagnostic-Pronostic**

Le diagnostic est l'étape la plus importante du processus d'entretien et de traitement en raison de sa grande importance dans l'élaboration d'un plan de travail réalisé par l'ingénieur chargé afin de délivrer un rapport détaillé sur l'état (l'état de l'installation ou du bâtiment)

Il doit indiquer dans son rapport :

L'origine probable des désordres, leur étendue, et leur probable évolution

Si la structure garantit toujours la sécurité des personnes et des biens qu'elle abrite (bâtiments) ou qu'elle ne menace pas de s'écrouler.

Les zones à traiter en priorité.

Des conseils sur l'exploitation de l'ouvrage, maintien, renforcement ou suivi, conseil sur des éventuels compléments d'étude.

Des recommandations relatives aux éventuelles méthodes de réparation les mieux adaptées

### **III -3- 2Pré-diagnostic**

le Pré-diagnostic comporte :

#### **III -3- 2-1Une visite préliminaire de l'ouvrage**

afin de mieux comprendre l'état et le fonctionnement de la structure, de préciser les conditions environnementales, les désordres visibles et l'accessibilité des parties dégradées. Elles fournissent des informations de base suffisantes pour qu'un avis préliminaire soit présenté vis-à-vis les conditions de l'élément dégradé.

Une méthode de classification simplifiée basées sur les caractéristiques de ces désordres est proposée par l'ACI [ACI 364, 1999].

C'est une méthode de classification visuelle des dégradations à partir d'une codification attribuée sur l'identification et la description du désordre. Elle fournit aussi les causes probables et suggère les détails qui doivent être collectés pendant l'inspection

### **III -3- 2-2 La collecte des documents**

Une analyse approfondie des archives afin de récolter le maximum d'informations concernant la structure, à savoir :

La date de construction pour connaître le code selon lequel la structure a été calculée et les dispositions constructives de l'époque.

L'historique de la structure

Les plans de coffrage et de ferrailage Les rapports de surveillance.

### **III -3- 2-4. La préparation de l'intervention**

Suite à la visite sur site et l'étude des documents collectés, l'ingénieur chargé d'affaire peut se faire une idée de l'origine des dégradations observées et peut ainsi proposer un programme d'investigations à réaliser, son coût ainsi que sa durée.

Il faut toujours savoir ce que l'on cherche, afin d'éviter de chercher à savoir ce que l'on a trouvé.

### **III -3- 2-Diagnostic détaillé**

C'est une évaluation approfondie de la structure qui comporte :

Une inspection visuelle détaillée de la totalité de la structure est mise en œuvre afin de détecter tous les signes de détérioration et d'identifier toutes les sources potentielles de désordres tels que :

la présence d'anciens revêtements ou de produits d'imprégnation,

l'apparence de la surface du béton, présence de stalactites\*

- p.9, d'efflorescences

- p.9, de traces de rouille\*

- p.9, la présence de fissures\*

- p.10 (avec leurs ouvertures et leurs orientations, réseau), les détériorations de la peau du béton (épaufrures - p.10, feuilletage, éclatements...), la détection des zones sonnantes creux, les zones où le béton et les armatures ont été désorganisés (cas d'un incendie...), la présence d'armatures (passives ou actives) apparentes, corrodées ou non,

le relevé des déformations de la structure, la détection des traces d'humidité,

Généralement il faut aussi relever la géométrie de la structure, l'espacement des éléments porteurs, l'épaisseur de dalle, la géométrie d'un plancher hourdis par exemple. Dans de nombreux cas les structures diagnostiquées sont anciennes, de ce fait on ne dispose plus des plans.

Suite à l'inspection visuelle on choisit des zones représentatives des désordres observés sur lesquelles on va effectuer des mesures. Celles-ci peuvent être de type non destructif par exemple la détection de l'enrobage des armatures par un procédé électromagnétique. Elles peuvent également consister en des prélèvements de carottes et d'échantillons en vue d'analyses en laboratoire [Rincker V, 2009].

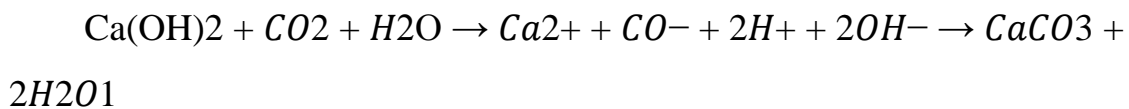
### III -3- 2-1 Nécessité de la réparation des ouvrages

Bien que cette recherche ne porte que sur les points liés aux méthodes de rénovations, il paraît utile de décrire brièvement les mécanismes de dégradation du béton armé, la corrosion de ses armatures et quelques défauts apparents.

#### 1. Pathologie : Altérations du béton armé

##### 1.1 Carbonatation

Ce phénomène correspond à une réaction chimique induite par la pénétration du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> de l'air dans le béton. La réaction chimique établie comprend comme réactifs le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère en faible proportion, qui se dissout dans l'eau et forme l'acide H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. L'acide réagit avec la portlandite (hydroxydes de Calcium) pour former des carbonates de calcium et de l'eau, selon la formule suivante :



La portlandite est essentielle pour maintenir un PH élevé, ce qui protège les armatures du béton armé et empêche la formation de micro-organismes. Et lorsqu'elle n'est plus suffisamment accessible pour réguler le PH, le milieu s'acidifie, permettant ainsi la corrosion des armatures.

#### **a-Pénétration des chlorures**

Les ions chlorures peuvent provenir des constituants du béton: sable, ciment, eau de gâchage. Cependant, l'origine des chlorures est le plus souvent extérieure: l'eau de mer, des sels de gel –di-gel. Dans ce cas-là, les ions chlorures pénètrent dans le béton par diffusion ou par absorption capillaire.

De très faibles concentrations en chlorures forment le composé  $\text{FeOOH}$  sur la couche passive, puis les ions instables de  $\text{FeCl}_3$  consomment les ions hydroxydes présents ce qui conduit à une diminution du PH.

La circulation des électrons libérés par la réaction d'oxydation vers les sites cathodiques engendre des piles électrochimiques sur l'armature conduisant à la décomposition de l'acier dans les zones anodiques. Donc au niveau du béton rien n'est visible, et on ne voit au bout d'un certain temps que les conséquences : corrosion des armatures.

### **b-Corrosions des armatures**

Lors du coulage du béton, l'eau de gâchage réagit avec l'acier et forme une couche protectrice d'hydroxydes de fer  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$  et de calcium  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ . Ainsi, la solution interstitielle du béton aura un PH élevé, de l'ordre de 13.

Si la solution interstitielle ne convient plus à un béton sain, comme dans le cas de la carbonatation et la pénétration des ions chlore, cette couche protectrice disparaît. Les produits, oxydes et hydroxydes, des oxydations au niveau de la surface de l'acier s'accumulent, entraînant un gonflement, par suite la fissuration de l'enrobage.

### **c- Alkali-réactions**

Le phénomène d'alkali-réaction est le résultat des réactions internes au béton, les alcalins solubles dans la solution interstitielle (oxydes de sodium  $\text{Na}_2\text{O}$  et oxyde de potassium  $\text{K}_2\text{O}$ ) réagissent avec de la silice généralement présente dans les granulats.

Les ouvrages les plus exposés à l'humidité sont souvent victime de l'alkali-réaction. La formation d'un gel gonflant provoque, à l'intérieur du béton, des déformations et de microfissures. Les contraintes de ce gonflement

engendrent un décollement entre la pâte et les granulats et donc de microfissures, si elles dépassent la résistance en traction du béton, ce qui se traduit en surface par des fissurations suivant la direction des armatures.

\*Autres défauts apparents

Défauts dès la construction et leurs origines possibles :

- Bullage : Coffrage inadapté, vibration inadaptée.
- Nids de cailloux : Vibration inadaptée, ferrailage dense, hauteur de chute du béton trop élevée.
- Fuites de laitance : Mauvaise étanchéité des coffrages et des joints.
- Variations de teinte : Ragréages, impuretés.
- Pommelages : variation de densité entre gravillons et autre constituants, variations du taux d'hydratation du ciment en surface.
- Fissures de retrait : retrait différentiel, dessiccation en surface. Défauts dus à l'environnement et leurs origines possibles :

- Epaufrures : Choc.

- Recouvrements biologiques : température, humidité, luminosité.

- Aspect grenu : érosion éolienne, pluies.

Défauts de circulation des eaux et leurs origines possibles:

- Efflorescences : béton poreux soumis à l'humidité.

- Suintement : mauvaise évacuation des eaux.

\*Défauts dus aux sollicitations :

**Fissures de flexions :**



Lorsque les armatures sont soumises à des contraintes de tension, elles s'étendent. Le béton autour des barres d'armature est par conséquent soumis à des contraintes de

tension. Lorsque la résistance à la traction du béton est atteinte des fissures transversales peuvent apparaître près des barres d'armature.

•**Fissures de cisaillement :**

1. Les fissures de cisaillement entre poteau-poutre au niveau des connexions peuvent être causées par un mouvement horizontal (variations de volumes, raccourcissement élastique causés par les forces de post-tension...).

2. Un problème commun des structures post-tension, c'est l'absence de considération des changements de volume des membres, causés par le raccourcissement élastique et plastique. Les colonnes courtes dans les structures de stationnement avec coffrages post-tendus opposés sont des endroits idéaux de soulagement de tension.

**III -3-3. Conclusion sur les pathologies**

<b><u>Famille</u></b>	<b><u>Lésions</u></b>	<b><u>Types</u></b>
<b><u>Physique</u></b>	Humidité	Capillaire/Defiltrage/Decondensation/Accidentelle/Detra vaux
	Saleté	Pardépôt/Parnettoyagedifférentiel
	Erosion	Météorologique
	Déformations	Tassement/Effondrement/Flambement/Gauchissement/Fl èche
	Fissures	Parcharge/Par dilatation -contraction

<b>Mécanique</b>	Fissures superficielles	Par support/Par finition
	Détachements	Finitions continues/Finitions par éléments
	Erosion	Coups/Frottements
<b>Chimique</b>	Efflorescence	Sels solubles cristallisés/Réaction chimique avec les sels
	Oxydation	Oxydation superficielle
	Corrosion	Oxydation préalable/Immersion/Aération différentielle/Paire galvanique
	Organismes	Présence et attaque d'animaux/Présence de plante
	Erosion	Pollution

**Tableau 3: Classification générale des pathologies liées au bâtiment**  
(Source J. Monjo- Carrio, 2011)

L'étude de ces pathologies constitue une étape majeure dans le processus de la réhabilitation-que nous aborderons en aval- notamment au stade de l'élaboration du diagnostic, étape déterminante dans la définition des interventions à mener sur le bâtiment.

### **III -4. Evaluation et Diagnostic**

Cette partie présente des renseignements sur le processus d'évaluation de béton dans une structure existante. Une évaluation approfondie et logique de l'état actuel de la structure est la première étape du projet de réparation ou réhabilitation, généralement, à la suite d'un signe visible de détresse.

#### 1. La procédure de l'enquête

Les étapes typiques de l'évaluation d'une structure en béton armé sont :

- 1. Inspection visuelle.**
- 2. Examen des données d'ingénierie :**
  - 2.1 Documents de conception et de construction.**
  - 2.2 Dossier des opérations et d'entretien précédents.**
  - 2.3 Fiche du béton et autres matériaux utilisés.**
  - 2.4 Rapports précédents d'inspections périodiques.**
- 3. Enquête :**
  - 3.1 Mise en correspondance des diverses carences.**
  - 3.2 Suivi.**
  - 3.3 Levé conjoint.**
  - 3.4 Échantillonnages et essais.**
  - 3.5 Essais non destructifs.**
  - 3.6 Analyse structurale.**
- 4. Evaluation Finale.**
- 5. Rapport.**

Les résultats d'une évaluation, en particulier déterminant la cause et l'étendue du problème, sont aussi précis que la compréhension et l'effort appliqué au processus.

Un examen superficiel ou une inspection transversale ne produisent pas une évaluation aussi précise qu'une enquête détaillée et approfondie impliquant la cartographie, l'échantillonnage, les essais et les efforts exploratoires nécessaires.

### **III -4.1. Conditions de service et d'expositions**

L'évaluation du béton n'est pas limitée aux études de son état physique, ses propriétés mécaniques, sa composition chimique, et ses manifestations extérieures. Souvent, l'origine d'un problème de béton est lié à un état de service ou d'exposition.

Le tableau ci-dessous présente certaines des conditions à prendre en considération lors de l'analyse comportement du béton :

### **III -4- 2. Types d'investigations**

Deux catégories d'investigations se présentent : les méthodes non destructives et les méthodes destructives.

### **III -4- 3 Investigations non-destructives**

Ces méthodes permettent d'analyser la structure sans porter atteinte à son intégrité. Ceci est à privilégier dans différentes structures, tels que les monuments ou bâtiments historiques, où il est difficile de pouvoir prendre des échantillons de la structure pour la caractériser. Ces méthodes sont également en faveur dans le cas où la structure est atteinte et affaibli, l'échantillonnage de ce type de structure pourrait l'affaiblir davantage.

### **III -4- 4 Relevé visuel**

Toute enquête approfondie commence par un examen visuel des conditions. Les principaux indices de problèmes à distinguer sont :

- Fissuration et craquelures.
- Détresse de surface : Effritement, désagrégation, surface alvéolaire, écaillage

- Fuite d'eau : Humidité de la surface, infiltration ou fuite à travers les joints et les fissures.

- Mouvements : Déflexion, soulèvement, affaissement.

- Corrosion de l'acier : Taches de rouille, câbles de post-tension exposés, aciers exposés.

- Autres indices: Cloquage des membranes et revêtements, accumulation d'eau, décoloration.

Ce relevé permettra de :

- Qualifier les désordres, car chaque type a une origine et des conséquences particulières.

- Déterminer les caractéristiques d'une pathologie et savoir quelle sorte de traitement sera nécessaire afin d'arrêter le phénomène.

- Quantifier les désordres, car selon son ampleur, des méthodes de réparation plus ou moins lourdes seront à envisager.

- Localiser les désordres afin de pouvoir déterminer son origine et ainsi agir à la source du problème.

Quelques outils à utiliser pour une enquête visuelle :

- Appareil photo

- Mètre

- Distancemètre

- Pied à coulisse

- Fissuromètre



**Figure 1.19: JAUGE GINGER CEBTP - FISSUROMETRE DIGITAL<sup>17</sup>**

### **III -4- 5      Sondage par marteau:**

Marteler le béton offre une méthode précise et moins cher pour identifier les zones de délamination. En frappant des zones de béton délaminé, le son passe de "ping" plein à un son "puck" creux. Les limites des délaminations peuvent alors être facilement déterminées.

Des méthodes de sondage plus productives sont disponibles lorsque vous travaillez avec de grands espaces. Traîner une chaîne réalise le même résultat que le sondage par marteau.

Cependant, ces méthodes ne donnent qu'une idée générale des zones de délamination. Par conséquent, ils doivent être utilisés seulement pour l'évaluation générale, pas pour la mise en page détaillées nécessaires à la reconstruction.

<sup>17</sup><https://www.researchgate.net/figure/JAUGE-GINGER-CEBTP-FISSUROMETRE->

### **III -4- 6 Méthode échos-chocs**

Les développements récents en technologie d'instruments et ordinateur peuvent fournir une méthode fiable pour localiser les vides, les fissures et autres défauts sous la surface du béton.

La technique impact-écho est basée sur l'utilisation des ondes de compression générées par choc qui se déplacent à travers la structure et sont réfléchies par les défauts internes et les limites externes vers un récepteur (transducteur). Les signaux reçus sont convertis en un spectre de fréquence et sont affichés sur un écran d'ordinateur. Un logiciel est utilisé pour analyser ces signaux, et fournir une prédiction de la probabilité et de la profondeur des défauts.

En effet, compte tenu de la vitesse de l'onde et la période d'arrivée (ou fréquence), les profondeurs de défauts internes ou des limites externes sont calculées. Le système fonctionne rapidement, en environ deux secondes pour traiter chaque lecture.

### **III -4- 7Méthode de l'auscultation sonique**

L'auscultation sonique consiste à mesurer le temps de diffusion d'une impulsion ultrasonore entre un émetteur et un récepteur. L'appareil contenant des matériaux piézoélectriques, transforme l'énergie électrique émise en énergie mécanique ultrasonore, puis il mesure la durée nécessaire à l'onde pour atteindre le récepteur qui la reconvertit en signal électrique.

Connaissant la distance entre l'émetteur et le récepteur, la vitesse de l'impulsion peut être déterminée. En général, plus le béton est dense et fort, plus la vitesse de l'impulsion est importante.

Ce procédé permet de vérifier l'homogénéité du béton, de détecter les fissures et les vides dans le béton, de contrôler la qualité du béton en comparant les résultats à un béton similaire, de détecter l'état de détérioration du béton, de détecter la profondeur d'une fissure de surface, et de déterminer la résistance à la compression du béton.

Pour tester le béton, le contact entre le béton et l'émetteur et le récepteur est réalisé avec un agent de couplage tel qu'une gelée de pétrole.

### **III -4- 8Le scléromètre**

L'essai sclérométrique se base sur la proportionnalité entre la dureté et la contrainte de compression du béton. Pour mesurer la dureté du béton, un piston à ressort frappe la surface de la structure, provoquant un rebond du mécanisme, et entraînant un index glissant sur une règle. Plus le rebond est important, plus le matériau est dur.

Selon l'ASTM, Il convient de réaliser dix essais sur l'élément, afin d'obtenir un résultat cohérent. L'indice sclérométrique  $I_s$  de l'élément testé est la médiane des 10 mesures effectuées, par report sur un abaque considéré. À savoir, les résultats peuvent être affectés par différents paramètres, tels que la résistance à la compression estimée de l'élément, l'inclinaison du scléromètre





*Figure 1.20: Scléromètre à béton W-M-250 de James*

### III -4- 9 Le relevé du ferrailage

Le relevé du ferrailage peut se faire à l'aide d'un pachomètre de type Ferro scan. Cet appareil est un système de détection portable pour un examen d'armatures non destructif. Il permet de déterminer le position exact des barres d'armatures, de mesurer l'enrobage et de donner une indication du diamètre de l'armature.

L'appareil émet un flux magnétique, le phacomètre détecte la diffusion de ce champ et la variation électromagnétique qui est causée par la présence des armatures.

Le diamètre des armatures est déterminé par le fait que plus le diamètre d'une armature augmente, plus le signal reçu par l'appareil sera important. Alors que, plus l'épaisseur d'enrobage sera importante, plus le signal s'affaiblit. Pour cela, la profondeur de mesure du phacomètre est limitée (généralement de l'ordre de 10 à 15 centimètres selon le type de bétons et le type d'armatures).



*Figure 1.21 Pachomètre de béton*

### III -4- 10 Investigations des tractives

On a recours aux investigations destructives pour effectuer un prélèvement de matériau pour connaître ses caractéristiques géométriques, mécaniques et chimiques, ou bien pour avoir accès à des éléments internes ou sous-jacents à la structure. Cela permet aussi de connaître leur état altéré en profondeur et l'ampleur des pathologies.

#### 4.11 Le Potentiel de corrosion

Lorsque l'acier se corrode dans le béton, il existe une différence de potentiel entre la zone de demi-pile anode et la zone de demi-pile cathode dans acier. Cette différence peut être détectée en plaçant la demi-pile de sulfate de cuivre et de cuivre sur la surface du béton et mesurer les différences de potentiel entre l'acier d'armature et une éponge mouillée sur la surface du béton.

La cellule de référence relie la surface du béton à un voltmètre à haute impédance, qui est également connecté électriquement à la nappe de renforcement en acier. Le voltmètre lit alors la différence de potentiel à l'emplacement d'essai.

Selon la norme ASTM C876-91 le potentiel mesuré indique une probabilité de corrosion. En utilisant une électrode Cu/CuSO<sub>4</sub> on a:

- Si  $E > -200$  mV (probabilité de corrosion inférieure à 10%)
- Si  $-350 < E < -200$  mV (corrosion possible environ 50%)
- Si  $E < -350$  mV (corrosion très probable, supérieur à 50% peut atteindre 90%)

Cependant, différents paramètres peuvent affecter les résultats obtenus:

- L'hygrométrie de surface, peut diminuer la mesure de 100 mV.
- Les milieux agressifs comme la présence de chlorures, augmente la conductivité, on mesure des potentiels plus négatifs.
- La carbonatation mesure des potentiels plus positifs

Ces méthodes ne peuvent pas détecter la corrosion des tendons de post-tension, ils ne peuvent non plus détecter la corrosion quand l'acier d'armature est discontinu du voltmètre.

Cependant, les mesures de demi-cellule sont souvent utiles car ils sont faciles à réaliser, et les résultats peuvent être livrés rapidement à des coûts relativement faibles.

#### 4.12. Test au contenu de chlorure

L'évaluation de la teneur en ions chlorure est effectuée en prélevant un échantillon de béton de la structure, soit par tirage au béton pulvérisé à l'aide d'un marteau rotatif à percussion (de préférence électrique), ou en prenant des carottes et en pulvérisant ensuite le béton dans le laboratoire. Le matériau pulvérisé est collecté et stocké dans un récipient propre, le trou est nettoyé sous vide, les échantillons pulvérisés sont analysés en utilisant un procédé chimique

La séparation des chlorures, existant dès la coulée, des chlorures qui ont pénétré dans la structure, peut être faite en comparant la teneur en chlorure à

différents niveaux dans le membre suspect. Les chlorures existants dès la coulée auront généralement des teneurs en chlorures similaires à travers le membre, tandis que les chlorures qui sont entrés dans le béton après la coulée auront des concentrations plus élevées à la surface et plus faibles à l'intérieur de l'élément.

#### **4.13. Test à la carbonatation**

Pour déterminer la profondeur de la carbonatation, une surface de béton frais doit être exposée. Cela peut être fait par carottage de la surface et diviser la carotte avec un marteau et un burin. La position de la limite de carbonatation est mesurée par pulvérisation de la surface du béton avec un indicateur à base acide qui change de couleur à un pH d'environ 10, ce qui indique la limite entre la partie carbonatée et la zone non carbonatée. L'indicateur le plus couramment utilisé à cette fin est une **solution de phénolphtaléine**, qui colore le béton d'un rouge intense (rose) à des valeurs de pH supérieur à 10 et incolore à des valeurs de pH inférieur à 10.

Il sera intéressant de comparer les mesures de profondeur de carbonatation avec l'enrobage donné par un pachomètre. Après plusieurs mesures, on obtient une telle courbe:

Le pourcentage des armatures non protégées est l'abscisse du point d'intersection de la courbe d'enrobage avec celle de carbonatation.

#### **5. Conclusion sur le diagnostic**

On se permet de conclure l'importance de l'étape diagnostic grâce à la valeur des données qu'on peut récupérer par les méthodes énumérées ci-dessus.

Mais surtout, c'est l'étape qui permettra l'implémentation des méthodes de réparation les plus convenables et l'évaluation des causes de ces problèmes.

Ces causes peuvent être tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être à cause de l'environnement alentours. Afin de conserver les réparations et les rendre durables, il est nécessaire de réaliser des travaux de protection adaptés, pour d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies semblables.

### **VI-Réparation des ouvrages en béton armé :**

Suite à un propre diagnostic, les procédés de réparation d'un ouvrage ne viennent pas seulement ramener les sections d'origine de l'acier et du béton, mais aussi rétablir les caractéristiques mécaniques des différents éléments concernés. C'est-à-dire remettre la possibilité à la structure de reprendre au mieux les efforts qui lui sont appliqués.

1. Réparation des surfaces
  - 1.1 Dégagement des armatures

La préparation des surfaces à réparer est très importante pour la longueur de vie des réparations. Il convient dans un premier temps de dégager toutes les zones de faible cohésion.

S'il y a corrosion des armatures, il est important de dégager les aciers corrodés pour arriver à une zone saine apparaisse ; plusieurs techniques sont valables pour vérifier qu'on atteint des zones sous corrosion (burinage, repiquage, bouchardage, jet d'eau, sablage).

Pour être sûr d'une bonne réparation, il est d'usage d'obtenir un dégagement comme le montre le schéma suivant selon AFNOR :

Il faut ensuite nettoyer la surface du béton afin d'enlever toute trace de poussière et souillure. Si la perte de section de l'acier est très élevée, il est alors nécessaire de remplacer l'armature ; par scellement ou soudure.

Il est important qu'après cette opération, de respecter la section d'armatures (au moins égale à la section initiale), les longueurs d'ancrage et de recouvrement, et les armatures de couture.

Pour limiter les risques d'apparition de la corrosion, une protection immédiate des armatures, par un produit convenablement choisi, est nécessaire surtout si l'enrobage final ne pourra pas être de la même valeur prévue dans les règlements.

Il est possible, après cette étape, de commencer la réparation.

### **VI -1.Le ragréage :**

Le ragréage est une méthode de réparation locale, qui consiste à rétablir manuellement l'enrobage des armatures à l'aide d'un mortier de réparation possédant des propriétés qu'on verra plus loin.

Afin de limiter la réapparition de corrosion dans les zones réparées on choisit de mélanger des inhibiteurs de corrosion dans la formulation de ce mortier.

### **VI -1-2. Mode opératoire :**

Selon « Weber » (une entreprise de solutions pour la construction et la rénovation)

1. Humidifier abondamment les parties à réparer. Laisser ressuyer, le béton doit être humide mais non ruisselant
2. Pour une bonne adhérence, appliquer le mortier en le serrant fortement sur tout le pourtour de la zone à réparer.

3. L'application se fait par passes de couches successives qui varient d'épaisseurs selon les propriétés du produits choisit entre 2 et 100 mm (indiqués par le fournisseur)

4. Dès raidissement du mortier, réaliser la finition à l'aide d'une taloche polystyrène ou d'une taloche éponge

### 1.2.2 Caractéristiques des matériaux




Le mortier utilisé doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Tenue verticale sans coffrage
- Montée en résistance rapide et de résistance mécanique supérieure au béton support
- Adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support
- Imperméabilité à l'eau et aux agents agressifs
- Coefficient de dilatation thermique et de module d'élasticité équivalente au béton support
- Bonne protection des aciers

Les produits doivent être conformes à la norme NF P 18-840 ou être admis à la marque


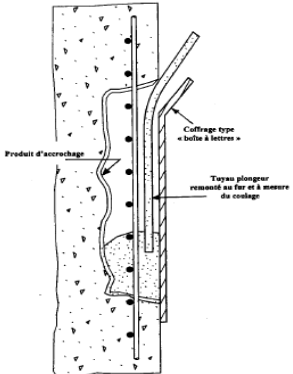
« NF Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique ».

Pour la réparation des de l'ouvrages en va poursuivre le étape suivante:

Type de traitement	Les étapes de réparation	Selon la norme	Images
Traitement curatifs	<p>Etape 1: Préparation de surface: décapage, sciage, élimination du béton dégradé. estimation des zone fragile</p> <p>sonder les surfaces à réparer pour détecter les zone sonnante, peu résistantes ou non adhérente éliminez les parties défectueuses. par la méthode de l'hydrodémolition</p>		
	<p>Étape 2: L'élimination des parties oxydées se fait par brossage métallique, repiquage, sablage.</p>		
	<p>Etape 3: Protection contre la corrosion des armatures.</p>	<p>EN 1504-7</p>	 <p>D102</p>

## VI -2 - Le béton projeté



	<p><b>Etape 4: Remplaçant le béton pollué ou carbonaté par du béton ou du mortier neuf conformément à la norme.</b></p> <p><b>Humidifiez abondamment les parties à réparer</b></p> <p><b>Laissez ressuyer : le béton doit être humide mais non ruisselant</b></p> <p><b>Appliquez le mortier.</b></p> <p><b>Coulage ou injection de béton ou mortier pour des volume de béton importants ou des épaisseurs de béton au moins 5 à 10 cm:</b></p> <p><b>pour le coulage,</b></p> <p><b>possibilité de connexions avec le support</b></p> <p><b>ajustement nécessaire des coffrages.</b></p>	<p><b>EN</b></p> <p><b>1504-9</b></p> <p><b>EN</b></p> <p><b>1504-3</b></p>	 <p><b>OU</b></p>  <p>Produit d'accrochage</p> <p>Coffrage type « lettre à lettres »</p> <p>Tubes plongeur ramené au fer et à mesure de coulage</p>
--	---	---	---

Lorsque les surfaces de béton à réparer sont importantes, la méthode du béton projeté est une option souvent utilisée. Puisque ce type de réparation est relativement rapide à mettre en œuvre, mais nécessite du matériel particulier.

## VI -2.1 Technique de projection

Projeté avec une force assez importante, le béton se place et se compacte au même instant, ce qui le diffère du béton conventionnellement coulé et ensuite vibré. Ce procédé permet de produire un béton plus dense, homogène et imperméable, ayant une surépaisseur moins poreuse, plus durable et peu sensible aux attaques chimiques.

La résistance en compression du béton projeté a, selon la norme NBN EN 14487-1, un minimum de 40 Mpa. Un mélange soigneusement réalisé, permet l'application de ce béton sur toutes les surface même les surfaces verticales et en surplomb.

Il existe principalement deux techniques de projection du béton suivant le moment d'introduction de l'eau de gâchage dans la chaîne. En projetant par voie humide, le béton gâché est pompé jusqu'à la lance, alors que par voie sèche le mélange de ciment et de granulats, sans l'eau, est propulsé par de l'air comprimé, l'eau s'ajoute en bout de lance.

Différentes méthodes vont présenter de différents résultats. Par voie sèche, le rapport E/C est évidemment plus faible, on obtiendra alors une résistance plus élevée que par voie humide. Mais on aura un dégagement de poussière plus important et un risque de détérioration d'un support fragile.

## VI -3 Tissus de fibres de carbone

Les matériaux composites constitués de fibres dans une résine polymère, également connu sous le nom de polymères renforcés de fibres (PRF), ont apparue comme une alternative aux matériaux et techniques traditionnelles.

### 3.1 Conclusion sur la réparation

On a vu les principales méthodes de réparation d'un ouvrage en béton armé, mais n'importe qu'elle méthode est utilisée, le but est de rendre les sections d'acier et de béton initial ou de satisfaire cette condition par l'ajout d'un autre matériau.

On cherche à ce que la structure puisse reprendre les charges qui lui sont appliquées et même un supplément de charge si c'est nécessaire pour que l'ouvrage réponde à l'évolution des besoins des propriétaires.

<b>Classe 1</b>	Ouvrage en bon état apparent relevant de l'entretien courant au sens de l'Instruction Technique sur la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art.
<b>Classe 2</b>	Ouvrage, <ul style="list-style-type: none"> <li>• dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts,</li> <li>• ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.</li> </ul>
<b>Classe 2E</b>	Ouvrage, <ul style="list-style-type: none"> <li>• dont la structure est en bon état apparent mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts,</li> <li>• ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé URGENT, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3.</li> </ul>
<b>Classe 3</b>	Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation Mais sans caractère d'urgence.
<b>Classe 3U</b>	Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation URGENTS liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.

**Tableau 1.1 : Classification visuelle simplifiée de dommages selon ACI.( Chapitre 1 : Évaluation et diagnostic des structures en béton.p86)**

***CHAPITRE II :***  
***ETUDE DE CAS***

Expertise d'ancien siège de Assemble Publique  
Communale (APC) SIDI KHALED

### A- Présentation du projet

Le projet dont nous avons parlé dans cette étude est le projet du l'ancien siège de Assemble Publique Communale ( A P C) de Sidi Khaled, construit en 1982, le projet d'une superficie de  $21.80 \times 24.30 = 529,74\text{m}^2$  et de hauteur de 4.50m.

Situer à : le Nort : terrain vide ,Est : terrain vide ;West : une bâtiment ;

Sud : terrain vide :

Le projet est situé dans l'ancienne ville, à côté du siège actuel de la municipalité et à 7 km du siège de la Wilayat d'Oued Djellal

Cet ouvrage a été construit spécifiquement pour être utilisée comme siège APC, et elle a été utilisée à cette fin.

Il a été abandonné en 2016 après avoir été converti en un nouveau siège, et le conseil municipal a décidé à l'époque de le démolir afin d'exploiter son site pour un autre projet.

**Situation de projet :**



*image 2.00 Situation de projet*

## **I -Étapes de l'étude :**

Pour d'étudier l'expérience de terrain du projet, nous avons dû suivre les étapes nécessaires et dans l'ordre auquel il a été fait référence dans la partie : théorique, qui sont les suivantes

### **1. Inspection visuelle.**

L'inspection visuelle ou bien visite de projet, généralement conseillé de prévoir des schémas ou des plans simplifiés qui pourront être utiliser pour localiser les principaux problèmes observés lors de la visite du projet

Les activités suivantes peuvent être effectuées sur le site :

- Observations visuelles possible
- Prise de plusieurs et différent photos
- Identification et localisation des éléments dégradée
- Observation des zones critiques (appuis, système de drainage, etc.)
- Localisation des gonflement ;des fissures, et des délaminations et des autres

types de dégradations

- Mesures des ouvertures et des longueurs des fissures.

#### **1.1. Une visite préliminaire de l'ouvrage**

Afin de mieux comprendre l'état du bâtiment après 40 ans de sa construction, de l'état et le fonctionnement de la structure, de préciser les conditions environnementales, les désordres visibles et l'accessibilité des parties

dégradées. Elles fournissent des informations de base suffisantes pour qu'un avis préliminaire soit présenté vis-à-vis les conditions de l'élément dégradé.

Une méthode de classification simplifiée basées sur les caractéristiques de ces désordres est proposée par l'ACI [ACI 364, 1999].

C'est une méthode de classification visuelle des dégradations à partir d'une codification attribuée sur l'identification et la description du désordre. Elle fournit aussi les causes probables et suggère les détails qui doivent être collectés pendant l'inspection

Lorsque nous avons visité le projet, nous avons remarqué ce qui suit :

Le bâtiment a une grande surface qui dépasse 500 m<sup>2</sup> .

- Élevé sur des poteaux de petites dimensions qui ne correspondent pas à l'établissement 0,25 \* 0,25 et 0,20\*0,20m
- Murs extérieurs avec doubles blocs creux en béton 0,15 + 0,15 côté sud et à l'est
- Murs extérieurs avec blocs creux en ciment 0,2 côté nord et ouest
- Peu de poteaux avec des dimensions de 0,20\*0,30

Certaines poteaux sont très rapprochées, moins de 1,5 m





*Photo 2. 01 Certaines poteaux sont très rapprochées,*



*Photo. 2.2- absence de quelques colonnes aux endroits nécessaires*



-Absence de quelques colonnes aux endroits nécessaires

- les poutres de dimensions 0,25 \* 0,5

Certaines des poutres n'ont pas de piliers à soutenir et ne sont portées que sur des murs qui ont été enlevés avec une grande distance de 9 m.



*Photo 2. 03 : absence d'appuis à la grande distance de 9 m*

Le bâtiment est symétrique à l'entrée principale

- Il ya des poteaux sont dans un état de fluage en faisant de la corrosion des barres d'armature.



*Photo 2. 4-5-6-7 : état de gonflement en faisant de la corrosion des barres d'armature*



- La présence la corrosion dans l'armature de certains des rayons de nervure dû à l'accumulation d'eau de pluie sur la terrasse dû à la fermeture des gouttières existantes lors de la construction du bâtiment en raison de la construction d'un nouveau bâtiment sur le côté est qui lui est attaché



*Image 2.8 : Une image montrant l'état de la corrosion des barres d'armature de poutrelles*

La hauteur des poteaux est importante par rapport à leurs dimensions de -4m

La présence d'une étanchéité multicouche sur la terrasse.

-La sous-structure externe apparaît longrine dans un état acceptable avec une légère apparition à certains points de la barre d'armature

- La sous-structure externe apparaît longrine dans un état mauvaise avec un fluage de béton malgré la réparation de crépissage ; et existe un vide sous longrine.
- Isolation (pas de liaison) d'une poutre de la partie attachée au la dalle
- une fissuration dans l'axe de quelque poutre
- La sens porteur a l'Est-West



*Image2.9- : fissuration dans l'axe des poutres*

## **2- Examen des données d'ingénierie**

### **2-1 -Collecte de documents.**

Lorsque nous avons recherché des documents de projet tels que étude, plans, fiches techniques, procès-verbaux de visite et fiches de réception, nous n'avons pas pu y assister dans les services techniques de la commune malgré notre recherche approfondie de ceux-ci, et la même chose lorsque nous avons exhorté les études Office et la Achèvement Institution, tout en gardant une promesse ouverte que la possibilité de les trouver était faible.

En conséquence, nous nous sommes appuyés dans notre étude sur l'auto-téléchargement du plan de projet, avec collecte d'informations auprès du Bureau d'Etudes sur la date d'achèvement, les matériaux de construction, les infrastructures, sachant que le projet n'a pas été restauré ou que des travaux d'entretien ont été effectués. dessus pendant 40 ans dans n'importe .quelle partie de celui-ci

- Les matériaux de construction utilisés dans le béton sont : le sable d'oued , la gravie roulée, l'acier d'armature d'un diamètre de 12 mm et 14 mm
- Les solleilles sont réalisées en deux types, des solleilles séparées, et des solleilles fillettes
- la dosse de béton sons 350kg/m3 et 400g/m3
- Les murs intérieurs et extérieurs ont été construits en premier, puis les poteaux ont été coulées



*Image 2. 11 : l'absence des appuis*



*Image 2.12 les murs intérieurs et extérieurs ont été construits en premier, puis les poteaux ont été coulés*

## **2-2 Sondage par marteau**

Marteler le béton offre une méthode précise et moins cher pour identifier les zones de délamination. En frappant des zones de béton délaminé, le son passe de "ping" plein à un son "puck" creux. Les limites des délaminations peuvent alors être facilement déterminées.

Afin d'avoir une première connaissance de l'état du béton du bâtiment avant un test technique précis au scléromètre, nous avons testé au marteau la plupart des poteaux et une partie des solives. aucun changement de son d'un point à un autre.

, ce qui montre que le béton de la plupart des éléments de construction est bon, à l'exception de 4 colonnes, qui seront expliquées en détail plus tard

Afin d'avoir une première connaissance de l'état du béton du bâtiment avant un test technique précis au scléromètre, nous avons testé au marteau la plupart des poteaux et une partie des solives. aucun changement de son d'un point à un autre.

, ce qui montre que le béton de la plupart des éléments de construction est bon, à l'exception de 4 colonnes, qui seront expliquées en détail plus tard

### **2-3 Interventions urgentes:**

Comme nous l'avons mentionné précédemment, il existe des affluents qui n'ont pas de piliers, avec une grande distance de 9 m, ce qui présente un danger pour le bâtiment

En raison de la possibilité d'un effondrement de la poutre, d'une fissure ou d'un isolation (pas de liaison) de la poutre du niveau du plafond, comme cela est arrivé à l'un des affluents du côté qui a été exposé à une charge excessive en raison de l'accumulation d'eau de pluie sur le toit en raison de l'achèvement d'un nouveau bâtiment à proximité Une technique permanente que ce soit des poteaux, ou des murs pleins ou des poteaux métalliques, c'est ce que des calle a été fait.



*Photo 2.13 . la mise en place d'une calle temporaire*

#### **2-4Releviez du bâtiment :**

En raison de l'absence des plans de construction qui devaient être entre nos mains pour l'étude, nous avons dû faire le releviez technique du bâtiment avec les mesures réelles comme indiqué sur la photo.



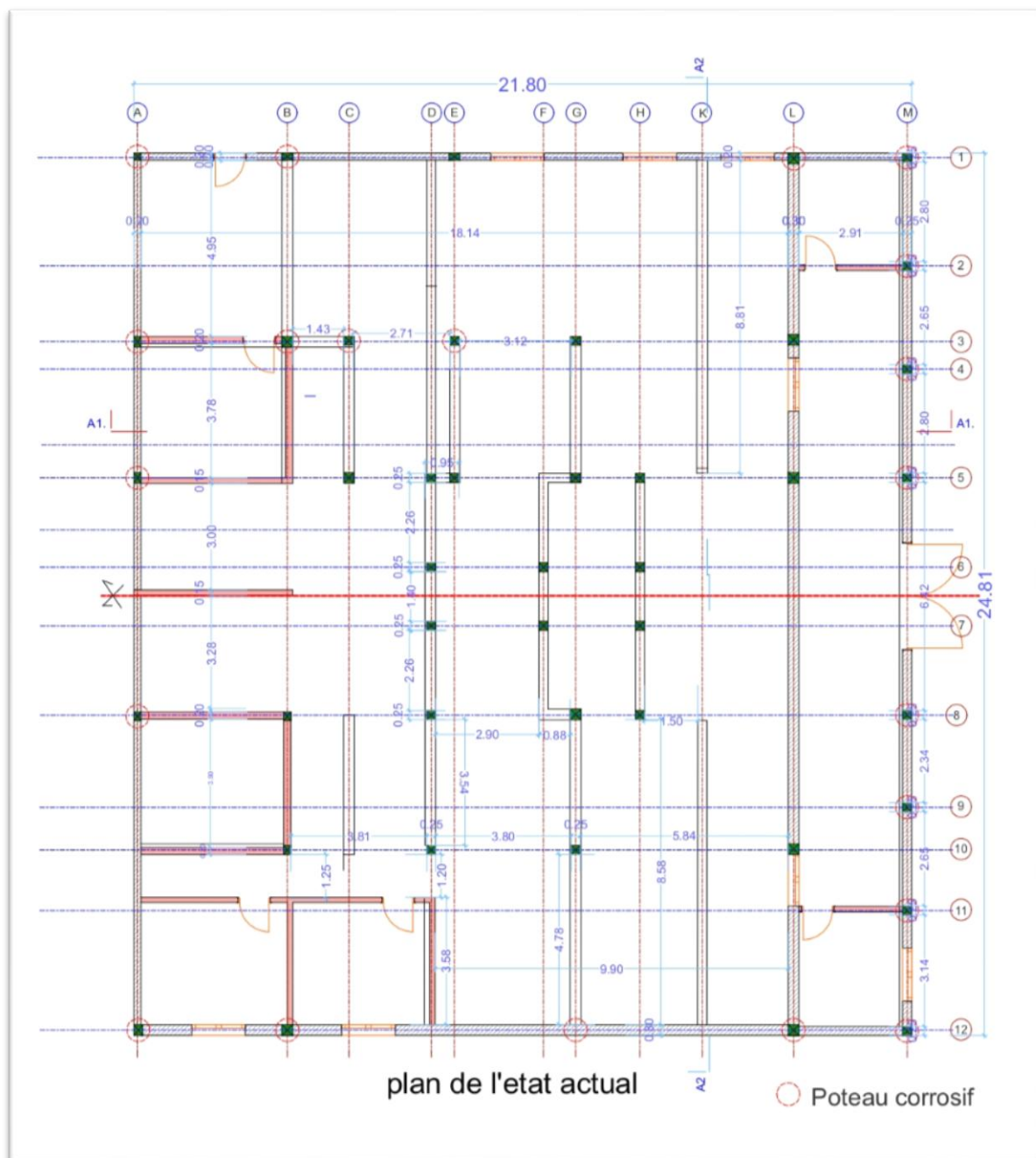


Photo 2.14 : Releviez technique du bâtiment

### **3-Détails diagnostiques du bâtiment sur la base du plan de releviez :**

Pour un diagnostic précis et détaillé de tous les éléments de construction tels que les poteaux, les poutres, la dalle et l'infrastructure, nous expliquerons en détail chacun de ces types comme suit :

#### **3-1-Les poteaux**

Les poteaux sont l'un des éléments les plus importants du bâtiment en général, en raison de leur grand rôle dans le levage des différentes charges et la liaison des éléments des superstructures et des éléments de l'infrastructure. Les poteaux protègent également le bâtiment contre les forces horizontales et verticales .

(Ce sont des éléments porteurs chargés de reprendre les charges et surcharges issues des différents niveaux pour les transmettre au sol par l'intermédiaire des Fondations.

Aussi, le Rôle des poteaux, ne se limite pas d'assurer la reprise des charges verticales, mais également contribuent largement lorsqu'ils sont associés à des poutres pour former des cadres ou des portiques destinés à reprendre les actions horizontales dues aux séismes et aux vents et peuvent aussi être dénommés Piles ou Piliers pour le cas des ponts, colonnes pour)<sup>18</sup>

Dans notre étude de ce bâtiment, nous avons remarqué la présence de deux cas de poteaux en termes de durabilité, des poteaux non touchées par la corrosion et des poteaux touchées par la poteaux et le fluage de béton

---

<sup>18</sup> HAMZA KADRI.<http://coursexosup.blogspot.com/2015/04/les-elements-destructure-poteaux-et.html>

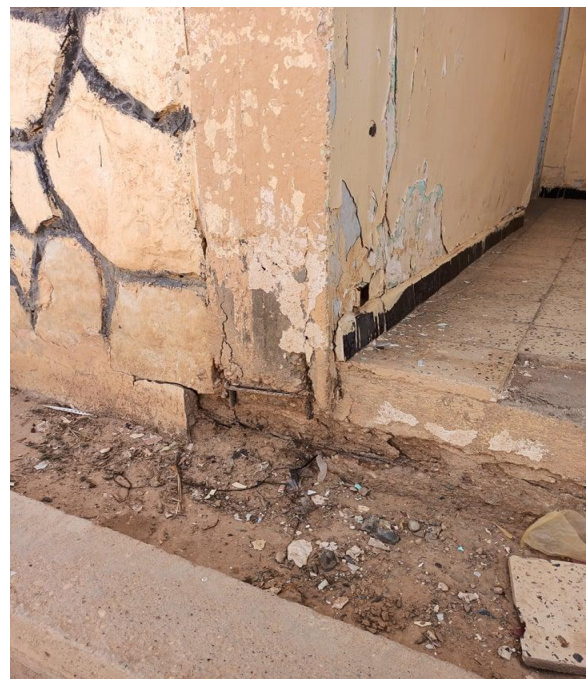
### **3-1-1 Les poteaux à corrosif**

Les poteaux qui souffrent du voilement du béton en raison de la corrosion des armatures de ferrailage par expertise visuel sont :

**B3-E3- M1- M2-M4-M5-M8-M9- M11- M12-E1-L1**

D'après le diagnostic que nous avons effectué pour connaître les causes d'érosion de ces poteaux et pas d'autres, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

**Poteaux M1- M2-M4-M5-M8-M9- M11- M12-E1-L1**







*Photos 2. -15- : . échantillon de poteaux corrosif*

sont des poteaux externes à la périphérie du bâtiment exposées à des facteurs naturels externes tels que la pluie et le vent, en plus de la présence d'un endroit non aménagée qui permet filtration d'eau de pluie en abondance au contact de celui-ci, ce qui facilite la processus de corrosion des barres d'armature.

Ainsi, les trois conditions pour le processus de corrosion ont été remplies, qui sont

- le front de carbonatation a atteint l'armature (dépassivation)
- disponibilité d'humidité
- disponibilité d'oxygène.

Après le processus d'enlèvement du béton mort, le processus de corrosion des barres d'armature est apparu dans un état très dégradé qui dépassait 50% du diamètre des barres.

Et le béton s'est effondré d'une manière très claire







Photo 2. 16- : *échantillon de poteaux corrosif*





Photo 2.17- : échantillon de poteaux

**-Poteau E3:** est une poteau interne, et il n'y a pas de facteurs corrosifs externes apparaissant dans le bâtiment avant la démolition des murs de protection pour celui-ci précédemment



Photo 2. 18- : . Poteaux E3 avant test de marteau







*Photo 2.19- : poteaux E3 après test de marteau*

Les images montrent la corrosion de la barre d'armature et la fragmentation de la première couche de celle-ci, et une grande érosion jusqu'à la fragmentation du ferrailage horizontal

Cette corrosion n'a pas atteint l'étendue qui élimine complètement le rôle des barres d'armature (moins de 30%, du diamètre de la barre), et elle peut être conservée dans le processus d'entretien et de support et ne doit pas être éliminée

Ce poteau a subi un important processus de rouille dans sa partie inférieure à une hauteur de 0,8 m du niveau de 0,00 m, pour les raisons suivantes :

- 1 - De l'eau propre s'y écoule presque toujours
- 2 - La présence d'une pente au niveau des dalles de granit, qui présentaient des fissures permettant à l'eau de s'infiltrer (eau de ménage)-

d'après le l'attestation de quelques employeur de travailler au siège de APC- c'est du côté de la rouille.

3- L'existe d'une humidité dans l'infrastructure

-Pour ce qui est de la grosse bosse dans le béton que montrent les photos, c'est le résultat des petites dimensions de la poteau qui ne s'adaptent pas à la structure, car elle ne dépassait pas 0,20 \* 0,20 m2.



Photo 2. 20 : . le gonflement à plus de 7 cm

**- Poteaux B3-**

-C'est un poteau interne

- démentions de 0.20\*0.25m2

-Exposé au gonflement du béton jusqu'au niveau 0,67 m

-Après enlèvement du béton mort par léger martelage, nous avons constaté la présence de corrosion de l'armature, ce qui était attendu .mais cette corrosion n'a pas atteint l'étendue qui élimine complètement le rôle des barres d'armature (moins de 30%, du diamètre de la barre)

- les ferrailages sont de poteau est4T14 (Selon l'attestation du bureau des études)
- le poteau et la poutre ne pas lier à la dalle (sauf une petite section de l'axe de poteau)



Photo 2.21- : poteaux B3-

### **3-1-2 Les poteaux à non corrosif**

Les poteaux à non corrosif sont

G3-L3

A5-C5-D5-E5-G5-H5-L5-M5

D6-F6-H6

D7-F7-H7

-B8-D8-G8-H8-L8-M8

D10-G10-L10

B12-E12-L12

Avec possibilité de corrosion de certains poteaux mentionnée sa cause des obstacles comme l'existence des murs et de crépissage en plâtre.

### **3-2-Les poutres:**

Les poutres sont l'un des éléments de construction les plus importants dans les bâtiments en béton armé, en particulier dans le système poteau-poutre, en raison de leur rôle dans la répartition des charges et l'équilibre du bâtiment. (La poutre est l'élément du gros œuvre qui entre dans la composition de l'ossature du bâtiment. Elle a pour rôle de reprendre les charges du mobilier, du poids propre des matériaux (hourdis, plancher, revêtements) pour les transmettre aux poteaux ou murs porteurs. De manière générale, la poutre est scellée horizontalement, sous un plancher ou une dalle, à des ceintures périphériques, constituant une assise solide. Une fois la structure des poutres posée, on réalise des poutrelles sur lesquelles seront disposés les panneaux de parquets ou les hourdis pour le coulage de la chape ou la fixation d'un sol flottant)<sup>19</sup>

Afin de diagnostiquer avec précision les affluents, nous ferons un diagnostic détaillé pour chaque cas seul comme suit :

-Les démentions de toutes les poutres ci :  $0.25*0.50m^2$

---

<sup>19</sup><https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/577655/poutre>

### **3-2-1-la poutre à la sens D à niveau 1-2**

La longueur de ce poutre ci 3.80m

-la poutre ne pas liée avec la planché ( voire la photo)

Où nous avons illustré cela en faisant passer une barre de fer et un bac à papier entre la dalle et la poutre à l'extrémité de la poutre où s'est produit l'isolant (là où ils passaient assez facilement)

- En examinant la fente entre la dalle et la poutre, nous avons remarqué que les nervures convergent au niveau de l'imposte, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas la même ligne en continuité.

- la poutre ne travailler pas comme une poutre normal dans la structure mais comme une élément se support de les nervure avec la mur en l'état de réalisation avant 34ans, mais après l'année 2016 c'est un élément supplémentaire et négatif pour la structure, et très dangereux pour les l'hommes traverser les travée voisin.

-Non soutenu par des poteaux sur les deux côtés

-Il a été ancré lors de la construction à un mur de blocs de brique 0.15m

-Il ya une trois fissures verticaux à la phase intermédiaire de la poutre.

-Isolation (pas de liaison) de la partie intérieur attachée au la dalle à une distance de 0.55m





Photo 2.22 : *l'isolation de la poutre (pas d'encastrement)*



Photo 2.23 :. *les fissures dans la poutre*

### **3-2-2-la poutre à la sens B à la travée 1-2**

La longueur de cette poutre ci 5.00m

- Soutenu par des poteaux sur les deux côtés (0.20\*0.25m a la coté de mur extérieure- 0.250\*0.25m) a la coté intermédiaire)
- Il a été ancré PAS de la construction à un mur de blocs de brique come la poutre précédente.

- Il ya une quatre fissures verticales à la phase intermédiaire de la poutre.
- Il ya un couleur marron (résultant du processus de corrosion des barres d'armature pour l'affluent et la nervures qui apparaît par inspection visuelle)



Photo 2.24 : les fissures et humidité

### **3-2-3 la poutre au sens C à travée 8-10**

La longueur de cette poutre ci 4.00m

- Non soutenu par des poteaux sur les deux côtés
- Il a été ancré lors de la construction à un mur de blocs de brique 0.15m avant la démolitions
- Il ya deux fissures verticales à la phase intermédiaire de la poutre.
- La similitude de cette poutre avec la poutre D à travée 1-2 rend très probable la possibilité de ne pas la liaison au la dalle par ferrailages, car l'isolant n'apparaît pas à l'œil nu, et la possibilité d'effectuer un test manuel sur celle-ci peut mettre en danger la poutre et la structure, on la considère donc comme la poutre précédente.



Photo 2.25 : *l'absence des appuis*

### **3-2-4-la poutre à la sens G à la travée 10-12**

La longueur de cet poutre ci 5.00m

- Soutenu par des poteaux sur les deux côtés (0.30\*0.30m a la coté de mur extérieure- 0.250\*0.25m) a la coté intermédiaire)
- Il a été ancré lors de la construction à un mur de blocs de brique 0.15mavant la démolissions
- Il ya une quatre fissures verticaux à la phase intermédiaire de la poutre.



Photo 2.26 : *fissures et humidité dans la poutre*



### 3-2-5-la poutre à la sens K à la travée 1-4

La longueur de cette poutre ci 9.00m

-Non soutenu par des poteaux sur les deux côtés, seul le mur extérieur de 0.20m actuellement et mur de blocs de brique 0.15m avant la démolitions a la distance de 2.8m

- Il a été ancré lors de la construction à un mur de blocs de brique 0.15m avant la démolitions

-Il ya une cinq fissures verticaux la phase intermédiaire de la poutre.

- pas d'un ancrage de la poutre et la dalle. (essai de passe une élément entre la autre et la dalle) voir la photo.

5fissures dans la poutre



Photo 2.27. *Fissures dans la poutre et l'isolation*



Photo 2.28. fissures dans la poutre et l'isolation

### **3-2-6-la poutre à la sens K à la travée 1-4**

La longueur de cette poutre ci 9.00m

-Non soutenu par des poteaux sur les deux côtés, seul le mur extérieur de 0.30m et mur de corps creux la fin de côté intermédiaire avant la démolition

- Il a été ancré lors de la construction à un mur de blocs de brique 0.15m avant la démolitions

- Il ya une cinq fissures verticaux la phase intermédiaire de la poutre.

- pas d'un ancrage de la poutre et la dalle (le même système al poutre k a l travée 1-4)

### **3-3-Les analyses sur les éléments de projet :**

#### **3-3-1 L'auscultation dynamique du béton :**

##### **3-3-1-1Scléromètre**

La détection de la résistance et de la dureté du béton au moyen de l'essai du scléromètre est l'une des expériences les plus importantes et les plus

largement utilisées dans le domaine de l'étude du béton durci et parmi les expériences faciles et peu coûteuses.

(C'est une technique simple, très économique pour le contrôle du béton. Son principe repose sur la corrélation entre la dureté du béton et sa résistance à la compression.

Pour déterminer la dureté du béton, la tige métallique du scléromètre est perpendiculairement appuyée

sur le point de mesure, en comprimant un ressort. Lors de son rebond, le ressort entraîne un index coulissant sur une échelle graduée permettant de déterminer la valeur de rebond appelé indice

sclérométrique « Is » [Nguyen NT, 2014]. Plus le rebond sera important, plus le matériau sera dur.)<sup>20</sup>

### 3-3-1-2 Ultrason

L'essai de ultrasons pour détecter les propriétés du béton est un test non destructif très important qui nous permet de détecter de nombreuses propriétés du béton durci en même temps, telles que : résistance à la compression, le degré de liaison, l'homogénéité, la et le taux d'écrasement, dont nous avons besoin dans l'expertise de notre étude.

(Cet essai non destructif permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) la quelle est d'autant plus élevée que le béton est plus dense donc plus résistant. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance connue.

---

<sup>20</sup>[https://telum.unc.edu.dz/pluginfile.php/81001/mod\\_resource/content/1/Chapitre\\_3.pdf](https://telum.unc.edu.dz/pluginfile.php/81001/mod_resource/content/1/Chapitre_3.pdf);p06

L'appareil comprend avec capteurs mis en contact avec le béton, un générateur d'ondes, un amplificateur, un circuit de mesure du temps et un affichage digitale du temps mis par les ondes longitudinales pour traverser le béton entre les transducteurs, la vitesse d'onde,  $V$ , dans un milieu homogène, isotrope et élastique)<sup>21</sup>

Avec la couche de plâtre de crépissage sur les 3 cotés de poutres, nous n'avons pas pu mener l'expérience sur tous les poutres, nous avons donc dû mener l'essai sur une traverse qui avait une partie non revêtue, qui est la poutre K 1-3. En collectant des données, conditions d'achèvement et maladies, les résultats peuvent être généralisés grossièrement au reste des affluents (les mêmes raisons conduisent aux mêmes résultats)



Photo 2.29. *l' Ultrason*

---

<sup>21</sup> <https://www.scribd.com/document/252862862/Tp-n-5-Analyse-Par-Ultrasons-de-Beton-Durci>  
Département Génie Civil TP Matériaux De Construction Université de Bouira 2013-2014

LABORATOIRE DE CONTRÔLE DE QUALITE						L.S.H
SEGHIER HAMZA INGENIEUR AGREE RC/ N° : 10 A 4875585-16/00						
<u>AUSCULTATION DYNAMIQUE</u>						
Normes Algeriennes: NA 5027- NA 2786 - NA 17006						
Matérielles:Aultra-son (model 58-E0048 )						
Client	:					
N° Essai	:	01/2022				
Date d'essai	:	25-05-2022				
Projet	:	DIAGNOSTIC ET REPARATION DU BATIMENT APC SIDI KHALED WILAYA OULED DJELLAL				
Age de béton	:	PLUS DE 28 J				
Dosage	:	350 kg/m <sup>3</sup>				
<b>Objet : POTEAU+POUTRE</b>						
AXE	FILLE	INDICE SCLEROMETRIQUE	LECTURE A L'AUSCULTATEUR VALEUR TEMPS EN US	VITESSE MS	LANGUEURE	RESISTANCE DONNEE EN CORRELATION AVEC I.S
B	3	34	34	3824	13,00	142
E	3	34	74,8	3342	25,00	#N/A
H	5	38	67	3731	25,00	95
F	7	40	60,8	4112	25,00	247
D	8	29	60,8	3289	20,00	#N/A
K	1--5	30	80	3125	25,00	#N/A
Observation: Le laboratoire est responsable de la fiabilité des resultats issus dans le tableau						
Le Responsable du laboratoire:						

### 3-3-1-3 Teste de plâtre :

L'essai du plâtre est considéré comme l'une des essais les plus importantes dans le domaine du diagnostic en génie civil, malgré la simplicité de ce qu'elle donne des résultats pour l'état du béton et les fissures qu'il subit en raison de plusieurs facteurs différents.

Afin de connaître l'ampleur du mouvement des fissures dans les poutres, nous avons expérimenté le gypse, en plaçant le mélange de plâtre sur les fissures dont nous voulions connaître le mouvement ou la stabilité avec la numérotation des fissures, et en prenant des photos des fissures immédiatement après l'expérience, puis surveillez le potier après plusieurs jours et notez vos notes

- Si le plâtre reste dans son état et qu'aucune fissure n'y apparaît, l'état du poutre est stable.

- Après une période de réalisation de l'essai sur les deux poutres qui étaient soutenus par des supports comme deux échantillons C à la travée 1-3 et K à la travée 1-3 ,

Cette essai nécessite beaucoup de temps pour connaître le résultat (au moins 3 mois), nous n'avons donc pas le temps d'évoquer son résultat dans cette recherche, mais nous continuerons à la suivre plus tard pour connaître le résultat.



Photo 2.30 fissures avant le teste de plâtre



Photo 2.31 fissures après le teste de plâtre

### **3-3-1-4 Essai de Phénolphtaléine**

On peut mesurer la profondeur de carbonatation par un essai de coloration à la phénolphtaléine de concentration de 0.1%

La phénolphtaléine, dont la formule chimique est  $C_{20}H_{14}O_4$ , est une épreuve incolore en milieu acide, rose en milieu neutre et rouge en milieu basique.

(La mesure de la profondeur de carbonatation du béton s'effectue en laboratoire sur les cas sur es fraîches des carottes prélevées sur l'ouvrage (fendage suivant une génératrice). Immédiatement après fendage, pour éviter la carbonatation de surface, on pulvérise une faible quantité d'eau distillée ou déminéralisée sur la tranche pour l'humidifier.



Puis après absorption de l'eau par le béton on pulvérise l'indicateur coloré de pH (de préférence la phénolphtaléine, mais on peut aussi utiliser la phénolphtaléine).

Mesure de la zone décolorée où le pH passe de 13 (initialement) à environ 9 (avec la phénolphtaléine) ou environ 10 (avec la phénolphtaléine).

De manière plus précise, la phénolphtaléine est incolore

pour un pH inférieur à 8,2 et rose soutenu pour un pH supérieur à 9,9, et la phénolphtaléine est incolore pour un pH inférieur à 9,3 et bleu pour un pH supérieur à 10,5.

Pour la mesure :

– Le fendage libérant les deux faces, il peut être intéressant d'utiliser deux indicateurs colorés différents, l'un à base de phénolphtaléine (virage pH~9), l'autre à base de phénolphtaléine

(virage pH~10))<sup>22</sup>.

Ce test permet de déterminer la profondeur de béton carbonaté par dispersion d'une solution de phénolphtaléine (indicateur coloré) sur un échantillon en béton.

Où l'on perfore le béton avec une perceuse à phénolphtaléine et on laisse tomber ce qui sort de l'échantillon de béton sur du papier humide tout en déplaçant le papier à la même vitesse de perceuse, et lorsque la couleur passe au violet, on arrête de forer et on mesure la profondeur du trou percé

---

<sup>22</sup>[https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/pdfs/FicheB2-2-Guide\\_Auscultation\\_Ouvrage\\_Art-Cahier\\_Interactif\\_Ifsttar.pdf](https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CII1/pdfs/FicheB2-2-Guide_Auscultation_Ouvrage_Art-Cahier_Interactif_Ifsttar.pdf)



La zone carbonatée reste incolore tandis que celles qui ne sont pas carbonatées se colorent en violet.

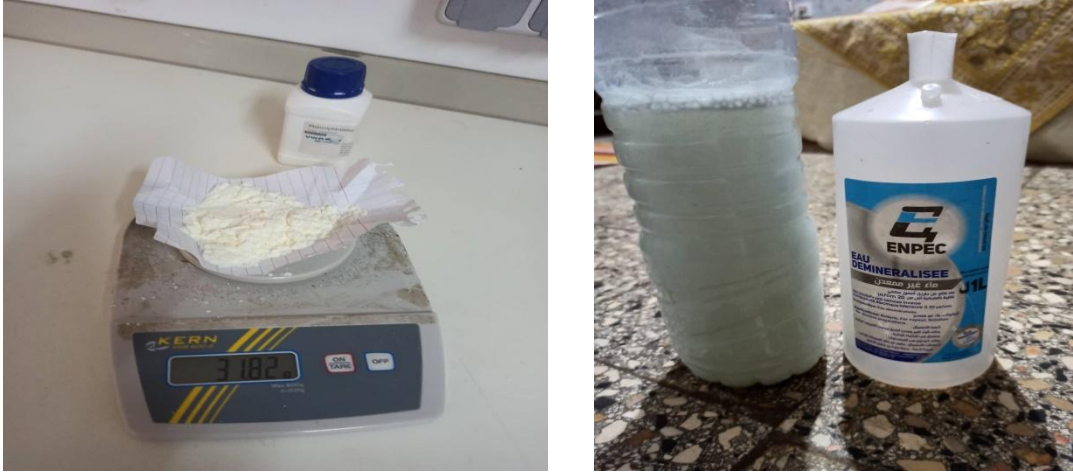


Photo 2.32. *le préparation la solution phénolphtaléine*



Photo 2.33. *l'essai de phénolphtaléine*

### 3-3-2- Conclusion pour les poutres

- Toute les poutres à dimension de 25cm\* 30cm
- Toute les poutres collée avant la dalle
- La plupart des poutres a carbonatée et fissurée
- La plupart des poutres a appuyé aux murs de brique
- les poutres qui ont été mentionnés sont dans la zone de danger
- Toute les poutres isolée à la dalle a cause de existe les poutrelles préfabriqués
- Toute les poutres liée à la dalle a des points d'appui (poteaux)
- La dimension de zone d'encrage environ de 0,15 \* 0,15, qui est la zone entre les barres d'armature, Comme le montre l'image, où nous avons fait l'essai, où nous avons inséré un boulonne métallique et un câble électrique entre la poutre et la dalle, ce qui montre qu'il y a un espace d'environ 5 cm



Isolation entre les poutres et les poutrelles

Photo 2.34 **l'isolation** entre les poutres et les poutrelles

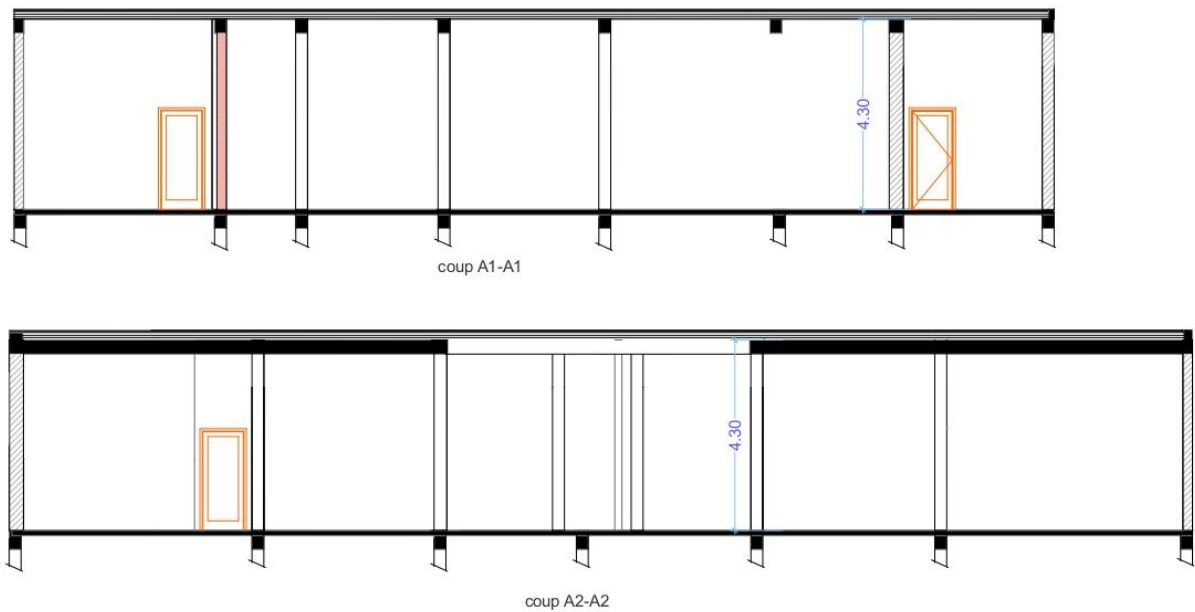


Photo 2.35 : Coup montant l'isolation entre les poutres et les poutrelles

#### 4- Les poutrelles

les poutrelles de notre projet sont en béton armé préfabriqué sur chantier (manuelle), sont composées en granula de : sable+ gravier roulée+ ciment+ eau de gâchage à dosée de 350kg/m<sup>3</sup>(Selon l'attestation du Bureau des Études et des Entreprises) ; et ferrailer a 3T12

##### 4-1 Définition

(Les planchers à corps creux sont composés de 3 éléments principaux (Figure):

- les corps creux ou "entrevous" qui servent de coffrage perdu (ressemblent à des parpaings),

- les poutrelles en béton armé ou précontraint qui assurent la tenue de l'ensemble et reprennent les

efforts de traction grâce à leurs armatures,

- une dalle de compression armée ou "hourdis" coulée sur les entrevous qui reprend les efforts de compression.

Le plancher est entouré par un chaînage horizontal)<sup>23</sup>

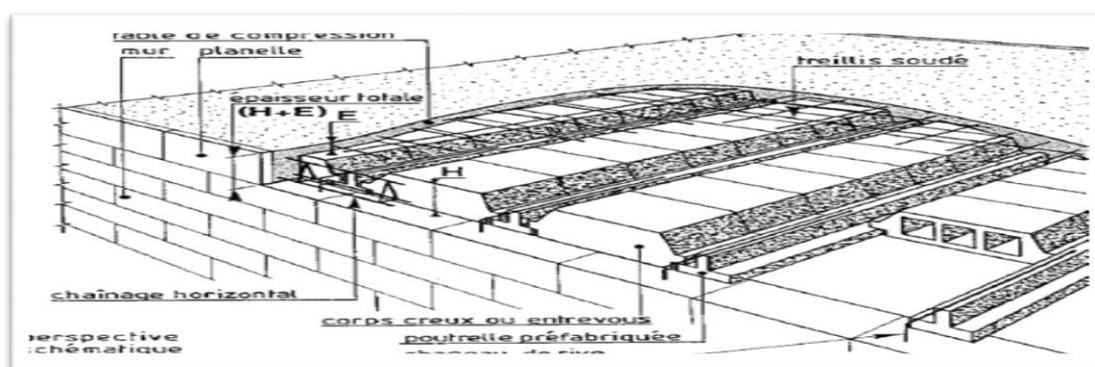


Figure 2.23 les éléments principaux d'un plancher à corps creux

### 4-2 Dimensions

La hauteur de l'entrevous et du plancher dépendent de la portée des poutrelles. Par contre, l'entraxe entre ces poutrelles est de 60 cm.)

hauteur en cm	portée pour un plancher isolé	portée pour un plancher continu
12 + 4	4,30	4,70
16 + 4	5,40	5,80
18 + 4	6,00	6,40
20 + 4	6,50	7,00
25 + 4	7,70	8,50

<sup>23</sup><https://www.univ-chlef.dz/fgca/chapitre1-planchers.pdf>. Bâtiment 2 (12/13) – S6 LICENCE Génie Civil – Option : Construction Bâtiment - Prof. Amar KASSOUL - UHBChlef

Tableau 1 : portée indicative du plancher en fonction de sa hauteur

(Elles sont réalisées en béton armé ou précontraint, partiellement ou entièrement préfabriqués. Elles permettent de tenir les entrevous et de répartir les charges sur les appuis extrêmes. Elles sont dotées de ferrailles que l'on appelle les cheveux qui vont être connectés au chaînage de la maison et/ou au mur. L'entraxe entre des poutrelles voisines ne doit pas dépasser plus de 75 cm sauf dans des cas particuliers. La portée maximale est de 7 m avec une épaisseur de 12 à 20 cm.

Dans certain cas, il peut être nécessaire d'assurer leur stabilité avec des étais provisoirement avant le coulage du béton)<sup>24</sup>

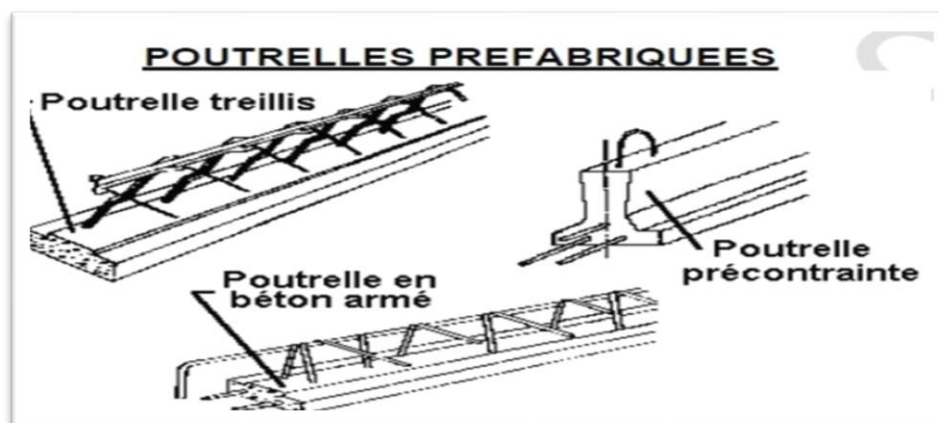


Figure 2.24 les différents types de poutrelles

### 4-3- Mise en œuvre des planchers avec poutrelles préfabriquées (Figure)

Pour le placement correct et correct de cet élément important dans le bâtiment, qui est l'élément le plus important du toit, il y a des étapes

<sup>24</sup> <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/plancher-poutrelles-entrevous>

nécessaires qui doivent être suivies de manière appropriée afin d'obtenir une bonne réalisation.

(Les poutrelles sont tout d'abord posées sur les porteurs. Leur bon écartement est assuré par la mise en place d'entre vous à chaque extrémité.

Ensuite, on pose des bastaings soutenus par des étais sous les poutrelles afin de leur permettre de supporter la mise en œuvre du hourdis.

Les files d'étais sont posées au  $1/3$  de la portée pour les poutrelles BA et au  $2/5$  pour les poutrelles.

BP. Puis, on pose les autres entrevous, le treillis et on coule le hourdis.

La pose s'effectue à partir du plan fourni par le constructeur :  
Préconisations de certains constructeurs.

- pose d'une poutrelle d'extrémité,
- pose d'une seconde poutrelle d'entraxe 60 cm,
- pose des 2 entrevous d'extrémité de poutrelles,
- pose de toutes les poutrelles + 2 entrevous,
- étaielement (ou non) des poutrelles en  $L/2$ , - pose des entrevous)<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> <https://www.univ-chlef.dz/fgca/chapitre1-planchers.pdf>. Bâtiment 2 (12/13) – S6 LICENCE Génie Civil – Option : Construction Bâtiment - Prof. Amar KASSOUL - UHBChlef





Figure 2.25 Mise en œuvre des planchers avec poutrelles préfabriquées

#### 4-4 L'état de poutrelles:

L'expertise a donné les résultats suivants :

- 1-Corrasion des barres de ferrailage des poutrelles (cas de l'appui C1 et les travées A3-A3 et D1-D3 )
- 2- Éclatement de béton (mauvaise béton de poutrelles)



Photo.2.36. Corrasion des barres de ferrailage de poutrelles et le humidité

### 5- Les longrines :

Les poutres sont considérées comme l'un des éléments les plus importants de la construction en raison du rôle qu'elles jouent dans l'équilibre et la cohésion de la structure et pour offrir à la construction une résistance à la contrainte de traction

( Les longrines intègrent un nombre important d'aciers, puisqu'elles reprennent la charge des murs porteurs. De ce fait, des aciers sont disposés pour offrir à la construction une résistance à la contrainte de traction. À cela s'ajoutent des armatures transversales pour renforcer leur résistance dans le but d'empêcher l'apparition de fissures. On utilise les longrines pour réaliser des fondations semi-profondes ou profondes. Ces poutres de béton peuvent être conçues sur place ou préfabriquées en usine)<sup>26</sup>.

Les poutres jouent un rôle important dans la partie inférieure du bâtiment, très similaire au rôle des solives dans la partie supérieure du bâtiment ;(Une longrine est un élément structurel disposé à l'horizontale. Dans le bâtiment, le mot désigne aussi bien une poutre en béton utilisée en fondation que l'armature servant à la réaliser. Une longrine assure la répartition des charges qu'elle supporte (soubassement, mur de façade...) et/ou leur report vers des appuis ponctuels (micropieux, semelles isolées...). Située en périphérie d'un bâtiment, elle est souvent associée à la dalle de plancher bas)<sup>27</sup>

-Longrines de notre projet a de mentionner de 25\*40 cm et ferrailer par 6T14 (a l'attestation de BET)

---

<sup>26</sup> <https://www.travaux-maconnerie.fr/longrine-beton-conseils>

<sup>27</sup> <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/construction-maison-longrine-18185/>



- l' état de longrines (longrine périphérique que nous avons pu détecter manuellement en démolissant avec un marteau ) Dans un état très avancé de 50 à 100% corrosion des armatures.

-Gonflement et détérioration du béton jusqu'au l'état d'effritement à la main, malgré son enrobage de mortier.

- par expertise visuelle il y a un bassin d'eau qui permet aux eaux de pluie de s'accumuler pendant de longues périodes, permettant au carbone de se filtrée à l'intérieur des poteaux et des infrastructures (longrines et amorce poteaux)

-3-Manque d'aménagement extérieur pour éviter la filtration d'eau dans l'infrastructure du bâtiment. Ce qui a conduit à l'érosion des armatures vers le haut (de l'infrastructure aux poteaux)

On peut en déduire les causes qui ont conduit à la détérioration de cet élément dans cet état de détérioration, qui n'a pas besoin d'auscultation de scléromètre ou d'ultrason pour connaître l'état de sa résistance.

Et à travers l'état des poutres extérieures environnantes sur lesquelles nous avons pu travailler, et en reliant les causes et les effets, nous pouvons extrapoler l'état des poutres intérieures, des éléments de poteaux et des fondations, dont nous pouvons être certains qu'ils sont dans l'état même état que les poutres extérieures, et dans le meilleur des cas, le moindre degré de corrosion des barres d'armature et des fluage de béton



Image2.37. Corrosion total de ferrailage de longrine

d'aciers, puisqu'elles reprennent la charge des murs porteurs. De ce fait, des aciers sont disposés pour offrir à la construction une résistance à la contrainte de traction. À cela s'ajoutent des armatures transversales pour renforcer leur résistance dans le but d'empêcher l'apparition de fissures. On utilise les longrines pour réaliser des fondations semi-profondes ou profondes de béton peuvent être conçues sur place ou préfabriquées en usine

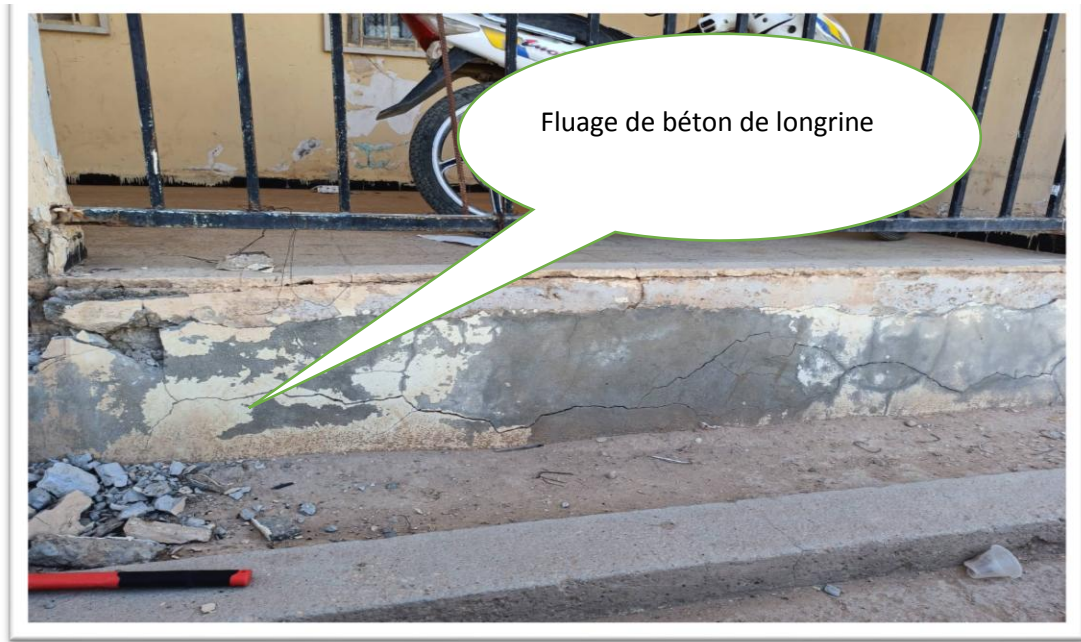


Photo 2.38. *gonflement de béton de longrine*

## **6-Analyse de résultats des essais**

1-résultats de l'essai d'auscultations dynamiques (ultrason et scléromètres) :

- Mauvaise béton de la structure (poteau, poutre) inférieure à la valeur limite acceptable dans quelque points.

2-résultats de l'essai de phénolphthaléine :

Les échantillons qui ont été inspectés et l'expérience a été menée sur eux entre les colonnes et les affluents et longrine, il a été constaté qu'ils partagent la présence de carbonatation avec une profondeur de 1,0 à 1,7 cm, c'est-à-dire que le carbone a atteint l'acier d'armature ou est très à proximité, ce qui confirme la présence de corrosion dans les barres de ferrailage de béton.

## **7-CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

Sur la base des observations faites lors des inspections effectuées sur la structure en béton armé, le résumé et les conclusions suivants sont présentés.

-1-La cause principale qui a engendré les dégradations est le problème de condensation d'eau sur la terrasse à long terme et dégradation de la chape.

En raison de la fermeture des évacuations des eaux pluviales lors de la construction d'un nouveau bâtiment adjacent au bâtiment étudié (photos suivantes) ; qui provoque une augmentation des charges temporaires pendant longtemps sur la terrasse, ce qui entraîne une infiltration d'humidité (carbonatation et corrosion d'armatures) dans les superstructures du bâtiment et Il a provoqué des fissures sur les poutres, surtout après la démolition des murs porteurs.(état de flèche)







Photo 2.39 . fermeture des évacuations des eaux pluviales



Photo 1.40. montant la façade latéral



Photo 1.41. résidus  
d'eau de pluie sur la terrasse

2- La présence d'un bassin d'eau qui permet aux eaux de pluie de s'accumuler pendant de longues périodes, permettant au carbone de se filtrée à l'intérieur des poteaux et des infrastructures (longrines et amorce poteaux)

-3-Manque d'aménagement extérieur pour éviter la filtration d'eau dans l'infrastructure du bâtiment. Ce qui a conduit à l'érosion des armatures vers le haut (de l'infrastructure aux poteaux)

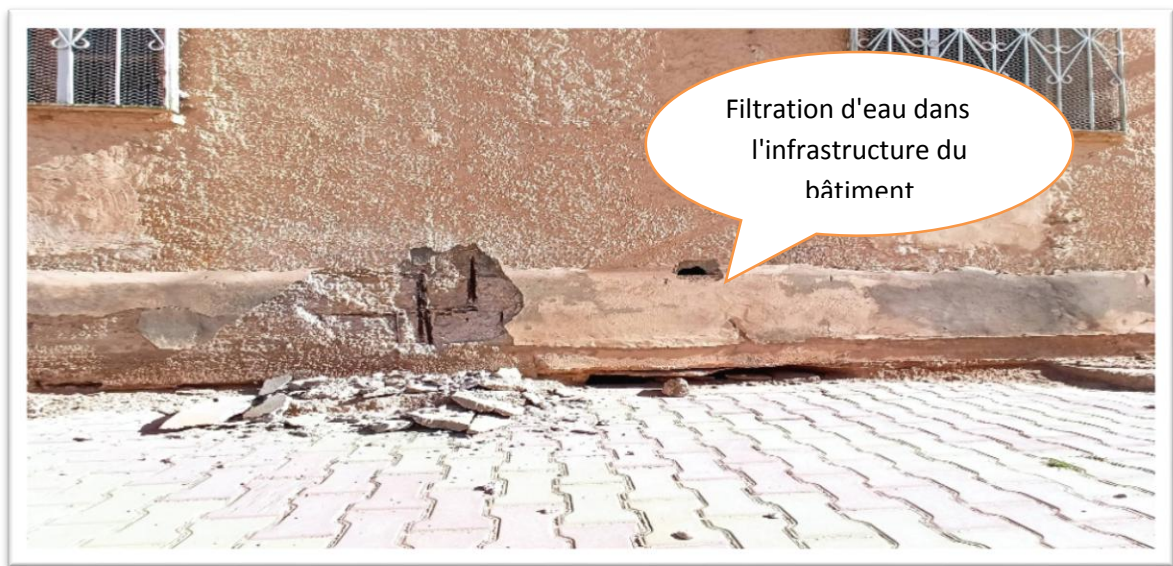


Photo 2.42. la filtration d'eau dans l'infrastructure du bâtiment

4- L'utilisation de ciment CPA dans les éléments de l'infrastructure (ne pas utiliser le ciment résistant aux sulfates CRS).

5 - Inconvénients des études et de réalisation:

- Petites dimensions de poteau (0,25 \* 0,25) avec une grande hauteur de 4,00 m
- Défaut de raccorder correctement le béton des poutres au la dalle (isolation quasi-totale)
- Mauvais liée des barres d'armatures de poteaux avec le ferrailage de l'amorce poteaux

- L'absence des appuis (colonnes) dans certaines travées importantes et le recours à des murs de brique creux pour équilibrer l'ouvrage.

Présence de la pathologie liée à la corrosion des armatures qui est caractérisé par :

Gonflements provoqués par la formation d'oxydes et hydroxydes de fer sur les armatures.

Réduction de la section des armatures; 20% à 80% de la section initial

Réduction de l'adhérence acier/béton;

Fissuration de la zone d'enrobage;

Apparition de trace de rouille en surface; (poutres – poteaux-longrine-poutrelles)

Éclatement local du béton;

Apparition des fissures.

### **7.1 Conclusion:**

Au terme de cette étude dans le domaine de l'expertise et du diagnostic pour le projet de l'ancien siège de la commune de Sidi Khaled, sous le titre, diagnostic et réparation de bâtiment à sidi khaled wilaya d'Ouled djellal, il a été conclu :



## **7.2 Rapport final de l'expertise :**

À travers toutes les inspections visuelles, les expériences mécaniques, les expériences chimiques et dynamiques précédentes, et en reliant les causes et les maladies qui ont affligé le constructeur, et à travers la période de 40 ans au cours de laquelle le bâtiment a été établi, les matériaux de construction utilisés et la méthode de sa mise en œuvre, et à travers les travaux qui y ont été exposés, nous arrivons à la décision suivante :

1- La première décision que nous conseillons au maître d'ouvrage de prendre

### **-Démolir complètement le bâtiment**

en tenant compte des conditions de sécurité, étant donné que le bâtiment a atteint sa durée de vie 40 ans, d'autant plus qu'il n'a pas été achevé conformément aux études récentes et aux conditions nécessaires

Notamment en ce qui concerne la dalle, qui ne peut être entièrement restaurée et stopper le processus d'érosion qui l'affectait.

2-- La deuxième décision que nous conseillons pas au maître d'ouvrage:

### **La rénovation urgente à l'ouvrage :**

En faisant le travail suivant

-Réalisation de nouvelles poteaux avec des normes corrects en les points suivant

C8-C10- D1-D2-K1-K3-K5-K6-K7-K8-K10

-1 - Chemiser les poteaux endommagés en enlevant l'ancien béton et en créant de nouvelles barres d'armature (6T12) avec la possibilité de conserver

les anciennes barres qui n'ont pas été érodées de plus de 30% de leur taille d'origine, en les reliant aux nouvelles barres pour augmenter l'adurante liéesage, et couler du béton avec une dose de 350 kg / m<sup>3</sup>, en tenant compte de toutes les conditions de réalisation connues dans de tels cas avec l'utilisation des calles métallique forcée pour la sécurité.

-2- Réalisation de murs en brique plain de béton de bonne qualité pour supporter les poutres avec de bonnes performances de 20 ou 25cm, notamment dans la partie directe de la poutre.

3- Chemiser les longrines et amorce poteaux et semelles endommagés en enlevant l'ancien béton et en créant de nouvelles barres d'armature (6T12 ou 14) avec la possibilité de conserver les anciennes barres qui n'ont pas été érodées de plus de 30% de leur taille d'origine, en les reliant aux nouvelles barres pour augmenter l'adurante entre les ferrailages, et couler du béton avec une dose de 370 kg / m<sup>3</sup> en ciment CRS, en tenant compte de toutes les conditions de réalisation connues dans de tels cas.

-4- Enlever l'ancienne chape et en construire de nouvelle chape en carrelage légère avec un changement la pente vers trois nouvelles directions pour l'évacuation rapide de l'eau de pluie.

-5- réalisée une aménagement pour protéger l'ouvrage.

**7.3.NB :**

1- Ces travaux sont des rénovations temporaires qui ne nous donnent pas la durabilité requise du bâtiment en raison de grande diffusion du phénomène d'érosion en surface, qui ne peut être arrêté

2 - Le coût financier important des travaux est incompatible avec le grand objectif du génie civil qui stipule (bonne résistance à moindre coût).

Et en fin, Nous espérons que nous avons réussi cette étude pour le bénéfice de nous, les connaisseurs et le maître d'ouvrage.

\*\*\*\*\*

# ***CONCLUSION GÉNÉRALE***

### **B.1 Conclusion :**

Au terme de cette étude dans le domaine de l'expertise et du diagnostic pour le projet de l'ancien siège de la commune de Sidi Khaled, sous le titre, diagnostic et réparation de bâtiment à sidi khaled wilaya d'Ouled djellal, il a été conclu :

#### **Rapport final de l'expertise :**

À travers toutes les inspections visuelles, les expériences mécaniques, les expériences chimiques et dynamiques précédentes, et en reliant les causes et les maladies qui ont affligé le constructeur, et à travers la période de 40 ans au cours de laquelle le bâtiment a été établi, les matériaux de construction utilisés et la méthode de sa mise en œuvre, et à travers les travaux qui y ont été exposés, nous arrivons à la décision suivante :

1- La première décision que nous conseillons au maître d'ouvrage de prendre

#### **-Démolir complètement le bâtiment**

en tenant compte des conditions de sécurité, étant donné que le bâtiment a atteint sa durée de vie 40 ans, d'autant plus qu'il n'a pas été achevé conformément aux études récentes et aux conditions nécessaires

Notamment en ce qui concerne la dalle, qui ne peut être entièrement restaurée et stopper le processus d'érosion qui l'affectait.

2-- La deuxième décision que nous conseillons pas au maître d'ouvrage :

#### **Le rénovation urgente à l'ouvrage :**

En faisant le travail suivant

-Réalisation de nouvelles poteaux avec des normes corrects en les points suivant

C8-C10- D1-D2-K1-K3-K5-K6-K7-K8-K10

-1 - Chemiser les poteaux endommagés en enlevant l'ancien béton et en créant de nouvelles barres d'armature (6T12) avec la possibilité de conserver les anciennes barres qui n'ont pas été érodées de plus de 30% de leur taille d'origine, en les reliant aux nouvelles barres pour augmenter l'aduranceliéesage, et couler du béton avec une dosse de 350 kg / m<sup>3</sup>, en tenant compte de toutes les conditions de réalisation connues dans de tels cas. avec l'utilisation des calles métallique forcée pour la sécurité.

-2- Réalisation de murs en brique plain de béton de bonne qualité pour supporter les poutres avec de bonnes performances de 20 ou 25cm, notamment dans la partie directe de la poutre.

-3- Chemiser les longrines et amorce poteaux et semelles endommagés en enlevant l'ancien béton et en créant de nouvelles barres d'armature (6T12ou 14) avec la possibilité de conserver les anciennes barres qui n'ont pas été érodées de plus de 30% de leur taille d'origine, en les reliant aux nouvelles barres pour augmenter l'adurante entre les ferrailages, et couler du béton avec une dosse de 370 kg / m<sup>3</sup>en ciment CRS, en tenant compte de toutes les conditions de réalisation connues dans de tels cas.

-4- Enlever l'ancienne chape et en construire de nouvelle chape en carrelage légère avec un changement la pente vers trois nouvelles directions pour l'évacuation rapide de l'eau de pluie.

-5- réalisée une aménagent pour protéger l'ouvrage

### **B.2 NB :**

1- Ces travaux sont des rénovations temporaires qui ne nous donnent pas la durabilité requise du bâtiment en raison de grande diffusion du phénomène d'érosion en surface, qui ne peut être arrêté

2 - Le coût financier important des travaux est incompatible avec le grand objectif du génie civil qui stipule (bonne résistance à moindre coût).

Et en fin, Nous espérons que nous avons réussi cette étude pour le bénéfice de nous, les connaisseurs et le maître d'ouvrage.

\*\*\*\*\*



## **RÉSUMÉ :**

*Le monde est confronté à de graves problèmes de durabilité qui ont affecté un très grand nombre d'ouvrages en béton armé. Les perturbations des structures sont souvent dues à la détérioration des matériaux de construction utilisés, ou à des changements de fonctionnalité et à un manque d'entretien nécessaire.*

*L'identification des causes de détérioration est l'une des étapes les plus importantes et les plus difficiles dans le processus de réparation des structures complètement ou partiellement endommagées, il est donc nécessaire de procéder à un bon diagnostic des travaux, ce qui permet d'évaluer le degré de gravité de maladies et prendre la bonne décision quant à la réparation la plus appropriée des ouvrages en question.*

*Le but de notre étude est de faire un diagnostic de la structure vieille de 40 ans qui a été exposée à de nombreuses pannes et détériorations qui menacent son bon fonctionnement et sa pérennité. L'ancien siège de la commune de Sidi Khaled, Les résultats du diagnostic ont révélé que la fuite continue d'eau dans le sol des fondations, et l'accumulation d'eau de pluie sur le toit pendant une longue période, et une mauvaise réalisation et étude, qui ont provoqué l'apparition d'un grand nombre de corrosion des barres d'armature et l'apparition de fissures de nature inquiétante. Dans la plupart des éléments de construction. Enfin, des solutions appropriées ont été proposées pour résoudre ce problème.*

*Les mots clés : Durabilité, corrosion des armatures, carbonatation, diagnostic, réparation, démolition*

## **ملخص:**

يواجه العالم مشاكل متانة خطيرة أثرت سلباً على عدد كبير جداً من الهياكل الخرسانية المسلحة. غالباً ما تكون الاضطرابات التي تحدث في الهياكل بسبب تدهور مواد البناء المستخدمة، أو إلى تغيرات في الوظائف ونقص الصيانة اللازمة. يعد تحديد أسباب التدهور من أهم وأصعب الخطوات في عملية إصلاح الهياكل التالفة بالكامل أو جزئياً، لذلك من الضروري إجراء تشخيص جيد للأعمال، مما يجعل من الممكن تقييم درجة خطورة الأمراض واتخاذ القرار الصحيح بشأن الإصلاح الأنسب للأعمال المعنية.

الغرض من دراستنا هو إجراء تشخيص للهيكल المنجز منذ 40 سنة والذي تعرض للعديد من الأعطال والتدهورات التي تهدد الأداء السليم والمتانة. المقر القديم لبلدية سيدي خالد، حيث كشفت نتائج التشخيص أن التسرب المستمر للمياه إلى تربة الأساسات، وتجمع مياه الأمطار على السقف لمدة طويلة و سوء الإنجاز والدراسة، مما تسبب في ظهور عدد كبير من تآكل حديد التسليح وظهور تشققات ذات الطبيعة المزعجة. في أغلب عناصر البناية. وأخيراً تم اقتراح الحلول المناسبة لمعالجة هذا المشكل المطروح.

الكلمات المفتاحية: ديمومة، تآكل التسليح، كرينة، تشخيص، إصلاح، هدم

## Références bibliographiques

- 1- Bachir Kerboua ,Project: Maintenance et Fiabilité des équipements dans les ateliers de tissage. univ Tlemcen
- 2- Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal, 474 p.
- 3- Carpio Perez, J. J. 1991 Étude de la dépassivation et de la repassivation des armatures métalliques dans les bétons, Document OA9, Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris, France.
- 3 -Mailvaganam, N. P. 1992 Repair and protection of concrete structures, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 473 p,16 Septembre 2019
- 4-CHABBI Radhia1 & FERHOUNE Nouredine1 & BOUABDALLAH Fouzia1 (2) (1), Faculté des sciences et sciences appliquées, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi.
- 5- SIGC, Oran, le 27 et 28 Novembre 2018
- 6 - D.ABDELHAMID GHETTAL Cour d'étude,. Université Biskra.2021-2022
- 7-Chapitre 1 : Évaluation et diagnostic des structures en béton. BENSALEM Sara
- 8-Département Génie Civil TP Matériaux  
DeConstructionUniversitédeBouira2013-2014

### Web site

- 1 [https://www.eyrolles.com/Omrane Benjeddou, Mehrez Khemakem](https://www.eyrolles.com/Omrane%20Benjeddou,%20Mehrez%20Khemakem) -  
Collection Expertise technique
- 2 - <https://smartcitiesmag.lu/web/pour-une-definition-de-la-durabilite/> Le 09  
décembre 2020
- 3 - <https://www.researchgate.net/figure> Publisher: Editions universitaires  
européennes ISBN: 978-620-3-42842-1

- 4 - <https://www.holcim.be/fr> Causes et préventions des altérations du béton : Corrosion des armatures 16 Septembre 2019
- 5- Palissy, B. 1980 Des matériaux, Édition de l'École polytechnique de Montréal,
- 6 -<https://www.infociments.fr/> PATRICK GUIRAUD, Novembre 2016
- 7-Chapitre 1 : Évaluation et diagnostic des structures en béton. BENSALÉM Sara
- 8- <https://www.researchgate.net/figure/JAUGE-GINGER-CEBTP-FISSUROMETRE->
- 9- <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/577655/poutre>
- 10-[https://telum.umc.edu.dz/pluginfile.php/81001/mod\\_resource/content/1/Chapitre3.pdf](https://telum.umc.edu.dz/pluginfile.php/81001/mod_resource/content/1/Chapitre3.pdf)
- 11- <https://www.scribd.com/document/252862862/Tp-n-5-Analyse-Par-Ultrasons-de-Beton-Durci>
- 12-[https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CI11/pdfs/FicheB2-2-Guide\\_Auscultation\\_Ouvrage\\_Art-Cahier\\_Interactif>Ifsttar.pdf](https://www.ifsttar.fr/collections/CahiersInteractifs/CI11/pdfs/FicheB2-2-Guide_Auscultation_Ouvrage_Art-Cahier_Interactif>Ifsttar.pdf)
- 13-<https://www.univ-chlef.dz/fgca/chapitre1-planchers.pdf>. Bâtiment 2 (12/13) – S6 LICENCE Génie Civil – Option : Construction Bâtiment - Prof. Amar KASSOUL - UHBChlef
- 14- <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/plancher-poutrelles-entrevous>
- 15-<https://www.travaux-maconnerie.fr/longrine-beton-conseils>
- 16- <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/construction-maison-longrine-18185/>