



REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE AMAR THELIDJI- LAGHOUAT

FACULTÉ : GÉNIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT : GÉNIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIÈRE : GENIE CIVIL

OPTION : STRUCTURE

Intitulé :

TECHNIQUES DE REHABILITATION ET DE RENFORCEMENT DES STRUCTURES EN BETON ARME

Présenté par :

BENYAHIA LATIFA & RAAD MALIKA

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
<i>Mr. Akram Belaidi</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>
<i>Mr. Ahmed boukhalkhel</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>
<i>Mr. Amar Benguit</i>	<i>MAA</i>	<i>Promoteur</i>

Promotion Septembre - 2021 -

Remerciements

Nous commençons par remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements vont à monsieur **BEN GUIT. AMAR** pour avoir accepté de nous encadrer et nous diriger tout ou long de la réalisation de ce projet de fin d'étude, qui nous a soutenus moralement et cognitivement et a tenu à notre réussite tout au long du projet. On le remercie infiniment pour tous les conseils instructifs et judicieux. Nous tenons sincèrement à le remercier pour sa disponibilité toute au long de la période de réalisation de notre projet de fin d'étude.

Je remercie les institutions et services qui ont contribué à ce projet, qui sont représentés au sein de
centre diagnostic et expertise de Laghouat.

Nous tenons à remercier également les membres de jury : **Pr Akram BELAIDI** et **MCA Ahmed. BOUKHALKHEL** pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail afin d'achever à bien de ce
mémoire et le rendre à la disponibilité des promotions futures

Nous exprimons nos sincères remerciements à tous les enseignants du département de Génie-Civil qui, grâce à leurs conseils et à leurs efforts pendant toutes ces années de formations, nous ont permis de mener à bien la Formation pour l'obtention du Diplôme de Master 2 en Structures et nous ont permis de nous accomplir comme étant cadre toute en gardant des souvenirs inoubliable au sein du département de Génie-Civil, Faculté de Génie-Civil et d'Architecture Université Amar Thelidji.

Un grand merci pour les bons moments de fraternité, de complicité ainsi que de compétitivité au
sein de la Promotion Master 2 Structures 2021

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Ma très chère mère **M.brahimi**, et Mon Très Cher père **A.benyahia**
Et Ma deuxième Mère **k .soukhal** , et mon deuxième père **A.bouakkaz**
Mon mari **A.bouakkaz**

Mes frère **Maamar, Fayçal, Fathi**, Ma sœur **Hanane**,
Mon deuxième frère **billal**, et mes sœurs **Sarah, Amina**
Et mon fils **Ali**
Et Toute ma famille,

Et à Toutes mes amies **M.Raad, Z.Sehairi**

Benyahia

Latifa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Ma très chère mère **k .foudil**, et mon chère père **R.Raad**, Et ma deuxième mère **g.chenikher**,
T.Raad

Mes frères, Aissa, Mohammed, Mes sœurs Houda, Khaira, Fatima, Dounia, Hassna, Ikhlas,
et deux fils de mes sœurs **Illyés** et **Ali**

Toute ma famille,

Et à Toutes mes amies N.snousi, N.Akrouit, Z.Shairi, L .Benyahia, S.et K.Akrouit

Raad

Malika

المخلص

غالبًا ما تكون الاضطرابات التي تحدث على مستوى الهياكل ناتجة عن تدهور المواد المستخدمة ، أو إلى تغيير الوظيفة (مثل زيادة أحمال). عدم وجود صيانة يتطلب إنشاء تشخيص جيد معرفة محددة بسلوك الخرسانة تحت تأثير العوامل العدوانية التي تتعرض لها، وسلوكها بعد التشخيص، ومن أجل معالجة هذه المشكلة، من الضروري المضي قدمًا في طرق، إما: إعادة التأهيل، الإصلاح؛ أو التعزيز. الهدف من هذا العمل هو التركيز على الأسباب الرئيسية للتدهور وأصولها (الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية) ، وكذلك إجراءات التشخيص وطرق إصلاح وتقوية الهياكل التالفة. بشكل عام، ليس من الممكن تقييم الحاجة إلى اختيار طريقة (طرق) إعادة التأهيل دون تحديد مصدر الضرر أولاً. حيث تم دراسة الحالة للعيادة 8 ماي 1945 لاكتساب الخبرة والجمع بين العوامل المؤثرة على تدهور الهياكل الخرسانية المسلحة ووضع خطة إعادة التأهيل والتعزيز العيادة .

الكلمات المفتاحية : تقنيات إعادة تأهيل، إصلاح، تعزيز، تشخيص، تدهور، هياكل خرسانية.

Résumé

Les désordres survenus au niveau des structures sont souvent dus aux dégradations des matériaux employés, ou au changement de fonctionnalité (exemple l'accroissement de surcharges d'exploitation). le manque d'entretien Établir un bon diagnostic impose des connaissances particulières du comportement des bétons sous l'influences des agents agressifs aux quels il est exposé, de son comportement

Après un diagnostic, et afin d'y remédier à cette problématique, il est impérativement indispensable de procéder à méthodes soit de : réhabilitation, de réparation ; ou bien le renforcement.

L'objectif de ce travail est de s'intéresser a aux principales causes des dégradations et leurs origines (physiques, mécaniques et chimiques).

Et aussi les procédures de diagnostic et les méthodes de réparation et renforcement des structures endommagées.

Il n'est généralement pas possible d'évaluer la nécessité de choisir la ou les méthodes de réhabilitation sans avoir, au préalable, bien identifier l'origine des dégradations.

D'où le cas a été étudié pour la clinique le 8 mai 1945 pour acquérir de l'expérience et combiner les facteurs affectant la détérioration des structures en béton armé et élaborer un plan de réhabilitation et de renforcement de la clinique.

Mots-clés : les techniques de réhabilitation, réparation, renforcement, diagnostic, dégradation, structures en béton.

Abstract:

Disruptions at the structural level are often due to deterioration of the materials used, or to a change in functionality (eg increased live load). No maintenance

Establishing a good diagnosis requires specific knowledge of the behavior of concrete under the influence of aggressive factors to which it is exposed, and its behavior

After the diagnosis, in order to treat this problem, it is necessary to proceed with methods, either: rehabilitation, repair; or reinforcement.

The aim of this work is to focus on the main causes of deterioration and their origins (physical, mechanical and chemical), as well as diagnostic procedures and methods for repair and strengthening of damaged structures.

In general, it is not possible to assess the need for the choice of rehabilitation method(s) without first identifying the source of the damage.

Where the case was studied for the clinic May 8, 1945 to gain experience and combine the factors affecting the deterioration of reinforced concrete structures and develop a plan for rehabilitation and reinforcement of the clinic.

Keywords: rehabilitation techniques, repair, reinforcement, diagnosis, degradation, concrete structures.

Table des matières

Introduction Générale	1
Introduction Générale	4
I. Chapitre I : Notions et généralités sur les causes générales du dégradations des structures ..	5
Introduction :	6
I.1 notions de réhabilitation :	6
I.2 notions de réparation et renforcement :	6
I.2.1 définitions :	6
1. Réparation:	6
2. Renforcement :	7
I.3 facteurs et origines des dégradations :	7
I.3.1 Actions liés à l'environnement de béton :	8
I.3.1.1 Action climatique de l'ouvrage :	8
I.3.1.2 Milieu extérieur agressif :	8
I.3.1.3 L'environnement marin :	8
I.3.1.4 Milieux sulfatiques :	8
I.3.1.5 Attaque du béton	9
I.4 Différentes Actions Et Attaques Chimiques:	9
I.4.1 Carbonation :	9
I.4.2 Action Chlorures :	10
I.4.3 Corrosion :	12
I.4.4 Alkali – Réaction :	13
I.4.5 Action Sulfates :	13
I.5 Actions Physique :	16
I.5.1 Retrait :	16
I.5.2 Actions Thermiques :	16
I.5.3 Gel- Dégel :	16
I.5.4 Erosion :	17
I.5.5 ressuage :	17
I.6 Actions mécaniques :	18
I.6.1.Choc :	18
I.6.2.Incendie :	18
I.6.3 Surcharge :	19
I.6.4 tassement :	19

Table des matières

I.6.4.1 Tassement uniforme :.....	19
I.6.4.2 Tassements différentiels :.....	19
Conclusion :	20
II. Chapitre II : Méthode de diagnostic et d'évaluation des structures	21
Introduction :	22
II.1 Définitions les termes (auscultation, évaluation et diagnostic)	22
II.1.1 Auscultation	22
II.1.2 Diagnostic :	22
II.1.3 Evaluation :	23
II.2 Diagnostic :	24
II.2.1 Diagnostic d'un ouvrage :	24
II.2.2 Réalisation d'un diagnostic :	24
II.2.3 Rapport d'un diagnostic :	24
II.2.4 les principales étapes d'un diagnostic :	26
II.2.5 Méthodes de CND appliquées en génie civil :	26
II.2.5.1 Diagnostic visuel :	27
II.2.5.2 choix d'investigations :	28
II.2.5.3 Types d'investigations :	29
Conclusion :	34
III. Chapitre III La réparation et renforcement des structures	35
Introduction :	36
III.1 étapes clés pour la réhabilitation et le renforcement d'ouvrages en béton :	36
III.2 Les différentes méthodes de réparation et renforcement :	36
III.2.1 Ragréage :	36
III.2.1.1 Mode opératoire :	37
III.2.2 béton projeté:	37
III.2.2.1 Mode opératoire :	38
III.2.2.2 Les avantages et les inconvénients des deux méthodes :	40
III.2.3 Tissus de fibres de carbone :	40
III.2.3.1 Les avantages et les inconvénients de tissu de fibre de carbone :	41
III.2.3.2 Mode opératoire :	41
III.2.4 Adjonction d'armatures complémentaires :	42
III.2.4.1 Mode opératoire :	42

Table des matières

III.2.4.2 Protection des armatures:.....	42
III.2.5 chemisage:	43
III.2.5.1 Mode opératoire :	43
III.2.5.2 Avantages et inconvénients du chemisage en béton armé:.....	44
III.2.6 : Précontrainte additionnelle :.....	44
III.2.6.1 Mode opératoire :	45
III.2.7 Tôles d'acier collées :.....	45
III.2.7.1 Les avantages et les inconvénients des tôles d'acier collés :.....	46
III.2.8 Réparation des fissures des structures :.....	47
III.2.8.1 Pontage et protection localisés:	47
III.2.8.2 Evidage et calfeutrement:	48
III.2.8.3 Injection :	49
III.2.8.4 Traitement généralisé:	49
III.2.9 matériaux composites :.....	49
III.2.9.1 les avantages et les inconvénients de matériaux composites :.....	50
III.2.10 Gainage :.....	51
Conclusion :	51
IV. Chapitre IV : Réhabilitation de la polyclinique 08 Mai 1945 - Laghouat -.....	53
IV. Réhabilitation de la polyclinique 08 Mai 1945 - Laghouat -.....	54
IV.1 Description sommaire de l'ouvrage :.....	54
IV.1.1 Présentation du projet :	56
IV.1.2 typologie du système structurel :	56
IV.1.3 Désordres constatés :.....	57
IV.1.4 Évaluation des dommages et ses causes:	60
IV.1.4.1 Niveau générale des dommages :.....	60
IV.1.4.2 causes probables :.....	60
IV.1.4.3 les solutions de dégradation de structures:	62
Conclusion :	67
Conclusion générale	68
Références bibliographiques.....	71

Listes des tableaux et figures

Liste des Tableaux

Table III-1 : les avantages et inconvénients des méthodes de projection	40
Table III-2 : les avantages et inconvénients de tissu de fibre de carbone	41
Table III-3 avantages et inconvénients de chemisage	44
Table III-4: les avantages et les inconvénients	46
Table III-5 : les avantages et les inconvénients de matériaux composites	50

Liste des figures

Figure I-1: réparation d'un poteau [17].....	6
Figure I-2 : renforcement d'une poutre [17].....	7
Figure I-3: Dégradation du béton armé	7
Figure I-4: Exemple de béton dégradé	10
Figure I-5: Modèle de [Tuutti (K.),1982][3]	11
Figure I-6: Processus de corrosion.....	12
Figure I-7: Déformation du béton autour de l'acier, après formation de fissures internes.	13
Figure I-8 : Avancement du front de dépassivations en fonction du temps	13
Figure I-9: schéma représenté les réactions de sources extérieur et intérieur au béton [6].....	14
Figure I-10: étapes de l'action de l'attaque sulfatiques externe [6].....	14
Figure I-11: sulfate externe d'un poteau [6].....	15
Figure I-12 : schéma représenté les trois conditions pour déclencher la pathologie (F).....	15
Figure I-13 : Action du gel dans les fissures du béton [15].....	17
Figure I-14 : (a) béton sans érosion, (b) béton avec érosion	17
Figure I-15 : ressuage de béton.....	18
Figure I-16 : l'incendie d'un béton	18
Figure II-1: Schéma des étapes de diagnostic d'un ouvrage en béton armé	26
Figure II-2: Les outils indispensables pour le relevé visuel	28
Figure II-3: le choix d'investigations. [1].....	28
Figure II-4 : essais non destructifs	29
Figure II-5 : JAUGE –GINGER CEBTP (Fissuromètre digital).....	30

Listes des tableaux et figures

Figure II-6 : Ferroskan ou Pachomètre.....	30
Figure II-7 : l'auscultation sonique	31
Figure II-8 : test sclérométrique.....	31
Figure II-9 : Essais destructifs	32
Figure II-10 : carottage.....	32
Figure II-11 : capteur pour mesurer le potentiel de corrosion	33
Figure II-12 : prélèvement d'acier	33
Figure II-13 : test de risque de carbonation.....	34
Figure III-1 : (a)Aciers dégagés, (b) Application du mortier, (c)Finissage par taloche.....	37
Figure III-2 : béton projeté	38
Figure III-3 : projection par voie sèche	39
Figure III-4 : projection par voie mouillée	39
Figure III-5 : renforcement avec tissu de carbone	42
Figure III-6 : chemisage d'un poteau	43
Figure III-7 : chemisage d'une poutre.....	43
Figure III-8 : la méthode précontrainte additionnelle	45
Figure III-9 : Renforcement d'un poteau carré à état de cisaillements dominant.....	47
Figure III-10 : (a)traitement d'une fissure, (b) pontage d'une fissure	48
Figure III-11 : le traitement d'une fissure	48
Figure III-12 : élargissement et calfeutrement des fissures.....	48
Figure III-13 : injection d'une fissure	49
Figure III-14 : renforcement un structure avec un matériau composite.....	51
Figure IV-1 : Site de la polyclinique.....	54
Figure IV-2 : Polyclinique 08 Mai 1945 LAGHOUAT	56
Figure IV-3 : Type d'étanchéité terrasse.....	57
Figure IV-4 : fissure incliné sur les murs (cloisons) de la clinique.	57
Figure IV-5 : Dégradation du béton.....	58
Figure IV-6 : la zone sondage et l'état de l'amorce poteau.....	58
Figure IV-7: tassement	59
Figure IV-8 : cisaillement.....	59
Figure IV-9 : fissure au niveau de l'acrotère.....	60
Figure IV-10 : représente l'assainissement et le sondage	61

Listes des tableaux et figures

Figure IV-11 : L'état global de l'étanchéité terrasse	62
Figure IV-12: sondage effectuée.....	62
Figure IV-13: constitutions des éléments constructifs	63
Figure IV-14 : la réhabilitation de la polyclinique.....	63
Figure IV-15 : utilisant l'adjuvant pour accélérer la durcissement de béton armée	64
Figure IV-16 : ciment utilisé.....	64
Figure IV-17 : construire semelle filante	65
Figure IV-18 : les semelles dégradées.....	65
Figure IV-19 : nettoyage l'espace des semelles dégradées	66
Figure IV-20 : exécution des semelles	66

Introduction Générale

Introduction Générale

La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, des matériaux utilisés, de sa réalisation ainsi que des diverses conditions d'usage / d'exploitation et de maintenance. Mais les ouvrages en béton peuvent nécessiter des opérations de réparation ou de renforcement pour augmenter leur durée d'utilisation ou offrir de nouvelles fonctionnalités.

De nombreuses solutions techniques sont disponibles et maîtrisées, elles ont fait la preuve de leur efficacité et répondent à l'ensemble des problèmes potentiels rencontrés sur les matériaux ou sur les structures. Il convient de choisir la solution technique adaptée à la pathologie à traiter, après un diagnostic complet et précis des désordres, de leurs causes et de leurs évolutions.

Cette mémoire comporte deux grands axes. Le premier axe sera consacré à une recherche bibliographique avec une revue des dégradations des structures en béton armé et leurs facteurs d'influence, ainsi que les causes des différents types de dégradations des structures en général.

Le deuxième axe portera sur les procédures de diagnostic et les méthodes de réparation et renforcement des structures.

Enfin, étude d'un cas réel par visite à l'ouvrage attaqué par les différentes pathologies.

Dans le premier chapitre a présenté les différentes terminologies existantes dans le domaine de réhabilitation, de réparation et de renforcement des ouvrages existants.

Et on a vu les notions et généralités sur les causes générales de la dégradation.

Dans le deuxième chapitre nous avons vu l'intérêt du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pendant le réaliser. et les étape clé qui permet de définir les types de pathologies dont souffre l'ouvrage aussi que leur ampleur. Et des prévisions et l'évolution de ces troubles. Aussi Les étapes clés pour la réparation et le renforcement d'ouvrages en béton et les techniques de réhabilitation

Et terminer par une étude de cas c'est une réhabilitation du la polyclinique **08 MAI**

1945 -LAGHOUAT-

Et finalement on termine mon travail avec conclusion générale.

Étude théorique



Chapitre I :

Notions et généralités sur les causes générales du dégradations des structures

Introduction :

De nombreuses agressions de différents natures sont susceptibles de dégradé le béton avec pour effet l'altération de ses caractéristiques. Enfin, n'importe quelle structure en béton se trouve confrontée durant sa vie à ces agressions qui peuvent être chimiques, physiques et mécaniques. Ces plusieurs causes seront définies dans ce chapitre.

Notions et généralités sur les causes de dégradations :

I.1 notions de réhabilitation :

Englobe l'ensemble des actions en vue de récupérer et d'améliorer un édifice en l'adaptant à un usage de confort moderne.

L'objectif fondamental consiste à éliminer les anomalies constructives ou fonctionnelles accumulées au cours du temps, à moderniser installations, équipements et organisation des espaces, améliorant ainsi son fonctionnement et le préparant à une utilisation actuelle [35].

I.2 notions de réparation et renforcement :

I.2.1 définitions :

1. Réparation:

La réparation d'une structure est une opération qui consiste à lui restituer, par des travaux appropriés, un niveau de service perdu, la baisse du niveau de service peut résulter de toutes sortes de causes ; les plus fréquentes sont la dégradation progressive des matériaux (agressions atmosphériques, modification des propriétés des matériaux), l'utilisation intensive (effet de répétition des charges) voire abusive (utilisation au-delà des charges prévues), les accidents et sinistres (incendies, choc , séisme, ...) [36] , [34].



Figure I-1: réparation d'un poteau [17]

2. Renforcement :

Le renforcement est une opération qui consiste à augmenter le niveau de service et en particulier (augmentation de la ductilité, de la résistance) d'une construction pour en permettre l'utilisation dans des conditions non prévues à l'origine ou de lui procurer une protection suffisante contre des sollicitations dont il n'a pas été tenu compte dans les calculs [34],[36].

Un renforcement peut être associé à une réparation.



Figure I-2 : renforcement d'une poutre [17]

I.3 facteurs et origines des dégradations :

Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques mécaniques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent aussi provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

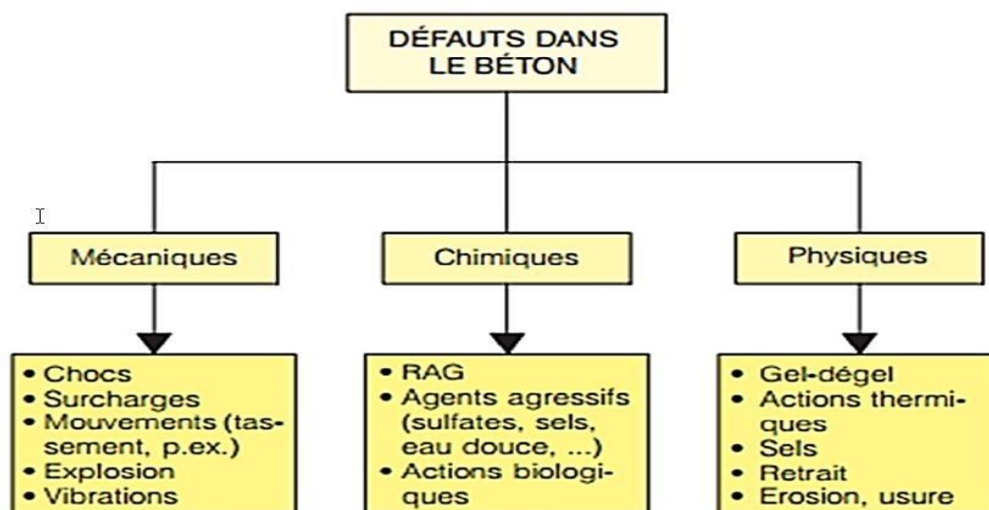


Figure I-3: Dégradation du béton armé

I.3.1 Actions liés à l'environnement de béton :

Les facteurs et origines des désordres et dégradations du béton (béton et/ou acier des armatures) et des ouvrages en béton sont très divers, et peuvent être liés à l'environnement de l'ouvrage. C'est l'environnement dans lequel va se trouver le béton frais ou le béton durci tout au long de sa durée de vie. La notion d'environnement englobe l'ambiance climatique et atmosphérique, ou le milieu extérieur particulièrement agressif dans lequel va se trouver l'ouvrage [37].

I.3.1.1 Action climatique de l'ouvrage :

Concerne surtout le béton frais au cours de son durcissement et le béton durci. Ainsi, la durabilité et les propriétés du béton peuvent être grandement affectées par :

- la température ambiante, les cycles thermiques et l'écart de température
- l'hygrométrie ambiante (humide ou sèche), la pluviométrie, la vitesse du vent et les cycles humidité/sécheresse ou humidité/vent
- les cycles du gel/dégel, surtout si le gel est sévère.

I.3.1.2 Milieu extérieur agressif :

Les ouvrages en béton peuvent se trouver dans des milieux, industriels ou naturels, agressifs pour le béton et/ou l'acier des armatures, dont on peut citer les plus courants

I.3.1.3 L'environnement marin :

(eau de mer ou embruns marins sur une bande littorale)

L'eau de mer contient des éléments chimiques (sulfates, chlorures, magnésium, CO₂...), L'attaque de ces éléments se fait d'abord en surface puis pénètre au cœur du matériau, qui peuvent dégrader le béton mais surtout causer un gonflement du matériau puis une fissuration, et la corrosion des aciers par l'action des chlorures, ou par la carbonatation du béton.

I.3.1.4 Milieux sulfatiques :

Eaux superficielles ou souterraines, sols et terrains chargés, eau de mer, milieux industriels..., Les sulfates ont la possibilité de dégrader le béton (ils peuvent provoquer la fissuration du béton)

Milieux contenant des chlorures :

Milieux marins ou industriels, Les chlorures ont surtout la particularité de causer la corrosion de l'acier des armatures, en dé passivant leur couche superficielle protectrice, par baisse du pH du béton.

Milieux acides, eaux pures et douces :

Ont une action d'érosion et de dissolution des constituants du béton, surtout la portlandite, et causent ainsi la réduction de la compacité du béton, la chute de sa résistance mécanique..., avec comme conséquence la mise en péril de la santé des armatures.

I.3.1.5 Attaque du béton

Par des agents chimiques et organiques dans des milieux industriels (Huiles, graisses, pétrole, solvants, eaux résiduaires, gaz...).

I.4 Différentes Actions Et Attaques Chimiques:

Les armatures en acier sont naturellement protégées par le béton qui libère une solution basique (PH>13).

L'acier des bétons armés est passif, Cependant plusieurs agents peuvent s'attaquer à cette protection de fait et provoquer des fissurations du béton et un risque potentiel de détérioration des armatures.

I.4.1 Carbonation :

La cohabitation des matériaux présentent des lois de comportement différentes et sont capables de Altérer les uns les autres en causant certains désordres.

La carbonatation dans le béton armé correspond à un phénomène chimique. Le CO₂ contenu dans l'air réagit avec l'hydrate de chaux présent dans le béton. Cette réaction forme du carbonate de calcium et de l'eau. L'écriture simplifiée de cette réaction est la donnée par l'équation [I.1]

Cette réaction a pour conséquence que les deux bases alcalines présentes dans le béton sont consommées, il y a donc une diminution du pH du béton.

La valeur initiale du pH du béton de jeune âge est aux environs de 13 à 13,5. Après carbonatation il est autour de 9.

La carbonatation génère une modification lente de la structure du matériau et un changement de son comportement. Certes elle a un effet néfaste en réduisant la protection chimique des armatures, mais elle est aussi bénéfique agressive en améliorant la résistance mécanique et la résistance aux eaux.



Equation (I.1)



Figure I-4: Exemple de béton dégradé

I.4.2 Action Chlorures :

Les chlorures pénètrent généralement par diffusion due au fait que la teneur en chlorure est plus forte dans le milieu environnant que dans le béton (gradient de concentration). Mais ils peuvent aussi réagir avec certains constituants du matériau (réaction chimique ou adsorption)

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

La figure I.5 (Tuutti, 1982) est un schéma décrivant les différentes étapes du processus de corrosion en fonction de la concentration en chlorures au niveau de l'armature. L'ion chlorure, peut aussi réagir avec le matériau en profondeur.

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

Le chlorure de magnésium $MgCl_2$ réagit avec la portlandite $Ca(OH)_2$ et provoque la dissolution (ou lixiviation) du liant. Le chlorure de calcium $CaCl_2$ réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A (provenant du clinker) et conduit à la formation d'un chloro-aluminate de chaux puis d'ettringite,

Chapitre I : notions et généralités sur les causes générales des dégradations des structures

voire même de thaumasite (en présence de silice dissoute et de carbonates), qui sont des gels expansifs pouvant générer des gonflements, des fissurations et des éclatements du béton.

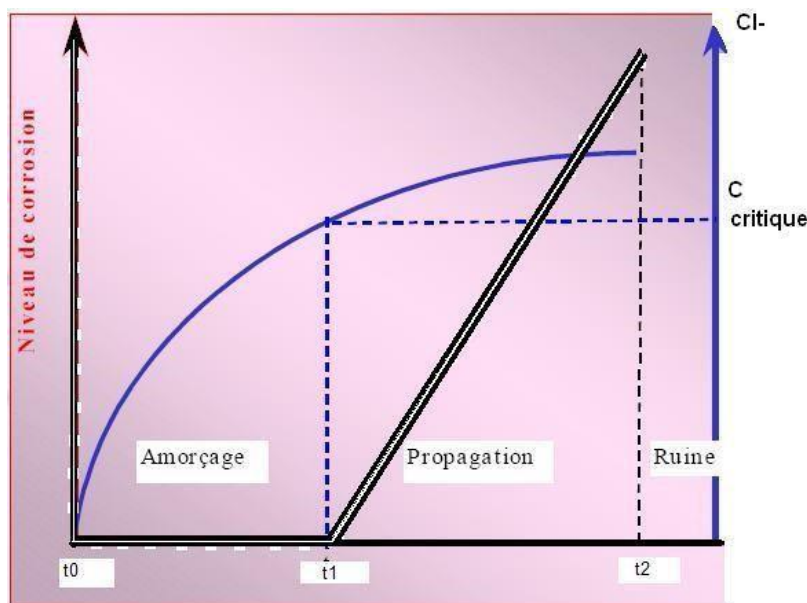


Figure I-5: Modèle de [Tuutti (K.),1982][3]

Ce graphique est paramétrique : le niveau de corrosion (courbe en trait double) est représenté pour une évolution de la concentration en Cl-donnée (courbe en trait simple).

Deux phases sont considérées dans ce modèle, l'amorçage puis la propagation.

La première correspond au temps mis par les chlorures pour pénétrer dans le béton d'enrobage jusqu'aux aciers (de t0 à t1).

Durant cette phase, le film passif protège toujours l'acier, ce qui explique pourquoi le niveau de corrosion reste nul. Lorsque les chlorures sont en concentration suffisante à l'acier (C critique à t1), la couche de passivation est détruite et la corrosion débute. La deuxième phase (de t1 à t2) traduit une propagation de cette corrosion pouvant aboutir dans les cas les plus sévères à la rupture de la structure.

En générale :

- les chlorures agissent par rupture du film passif des aciers qui perd son caractère protecteur
- les chlorures sont rarement distribués de manière homogène à la surface de l'acier et le film passif est lui-même variable selon l'endroit les chlorures en trainent une corrosion qui est, localisée (piques) [3] [Building Code, 1999] international construction code du béton 1999.

I.4.3 Corrosion :

Le mécanisme comprend deux phases :

La première, dite phase d'incubation, dépend en grande partie des processus assurant le transport des éléments agressifs jusqu'à l'armature, mais aussi des réactions chimiques se produisant au sein du béton et des réactions électrochimiques à l'interface [38].

La seconde phase est la période de croissance pendant laquelle la corrosion se produit avec une certaine vitesse, conduisant à la formation de la rouille et aux états ultimes de dégradation.

La pénétration des agents agressifs (**Figure I.6**) s'effectue sous forme gazeuse (molécules d'air ou de CO₂) ou ionique. Les processus de transport font intervenir les phénomènes de diffusion et de convection ou de capillarité.

Les fissures du béton ont un rôle à part (**Figure I.7**). Ce sont en effet les passages préférentiels pour le milieu ambiant. Dans le cas où elles pénètrent jusqu'à l'armature, le temps d'initiation est très court. Il se produit tout d'abord une perte d'adhérence locale, pouvant se propager suivant le profil de l'acier, pour dépasser localement le métal (**Figure II.8**).

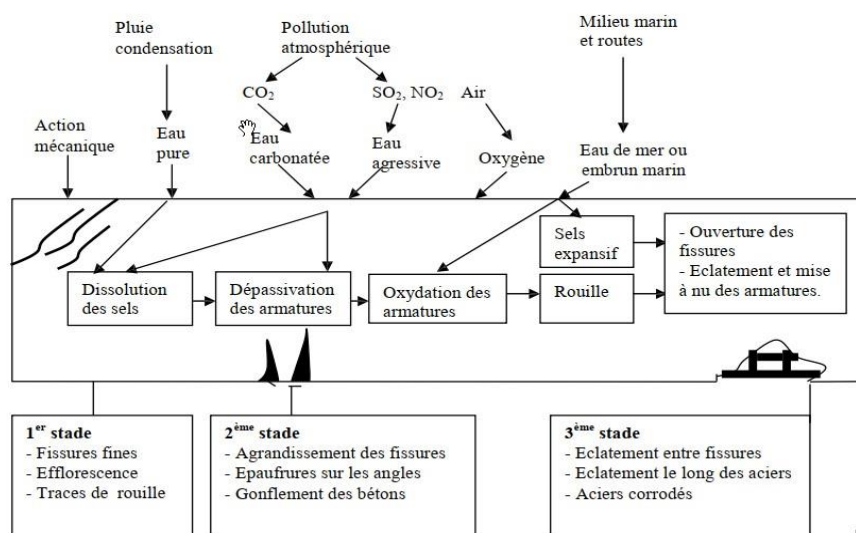


Figure I-6: Processus de corrosion

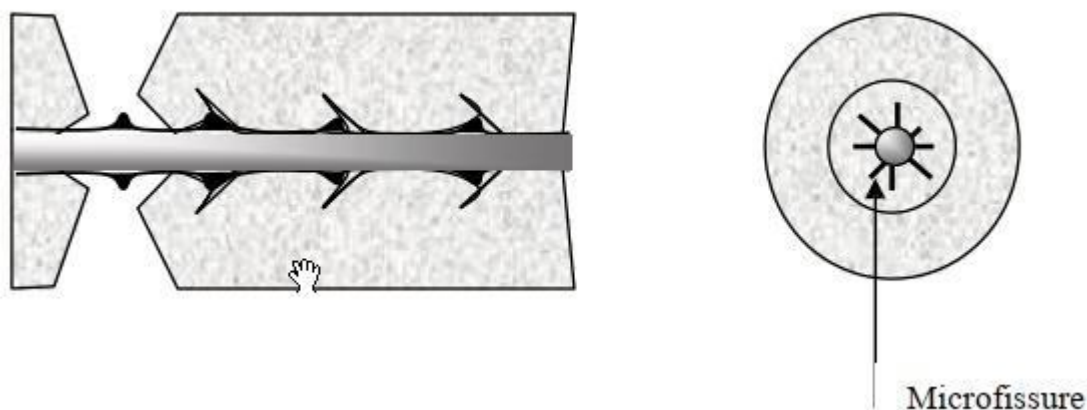


Figure I-7: Déformation du béton autour de l'acier, après formation de fissures internes.

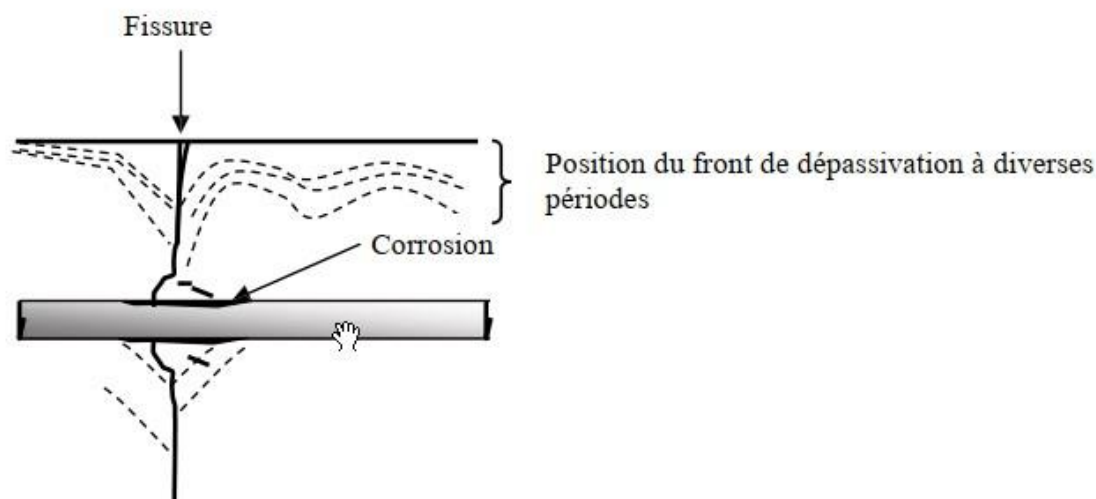


Figure I-8 : Avancement du front de dépassivations en fonction du temps

I.4.4 Alkali – Réaction :

Le phénomène d'alcali-réaction est le résultat des réactions internes au béton, les alcalins solubles dans la solution interstitielle (oxydes de sodium Na_2O et oxyde de potassium K_2O) réagissent avec de la silice généralement présente dans les granulats.

Les ouvrages les plus exposées à l'humidité sont souvent victime de l'alcali-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. [5]

I.4.5 Action Sulfates :

(Les sulfates représentent le 2^{ième} risque majeur d'agression chimique pour le béton)[Enquête OCDE-1989].

Chapitre I : notions et généralités sur les causes générales des dégradations des structures

Les sources de sulfates sont multiples :

- Origine extérieur au béton.
- Origine intérieur au béton.

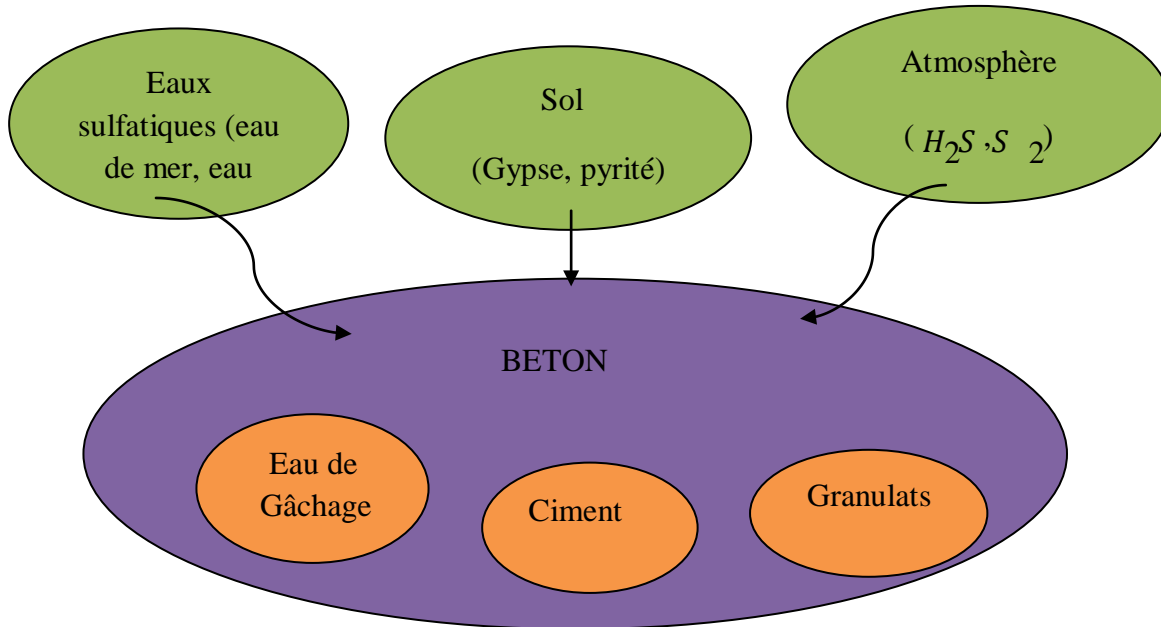
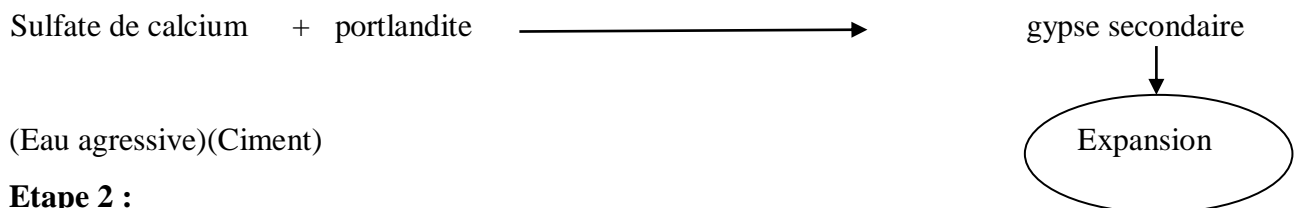


Figure I-9: schéma représenté les réactions de sources extérieur et intérieur au béton [6]

Etape 1 :

A. Attaque sulfatiques externe :



Etape 2 :

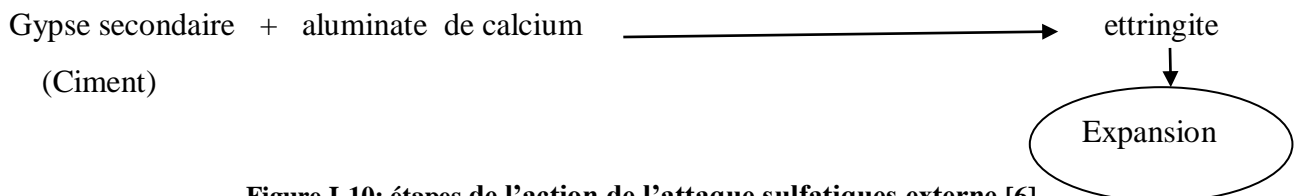


Figure I-10: étapes de l'action de l'attaque sulfatiques externe [6]

- L'expansion est provoquée par la croissance des aiguilles d'ettringite.
- L'expansion se traduit par une fissuration et éclatement superficielle du béton.
- Les fissures facilitent la pénétration des agents agressifs et accélèrent le processus de dégradation.



Figure I-11: sulfate externe d'un poteau [6]

B. Attaque Sulfatiques interne (DEF) :

DEF = formation différée d'ettringite.

L'origine des sulfates est interne au béton (ciment, granulats).

3 conditions doivent être remplies pour déclencher la pathologie :

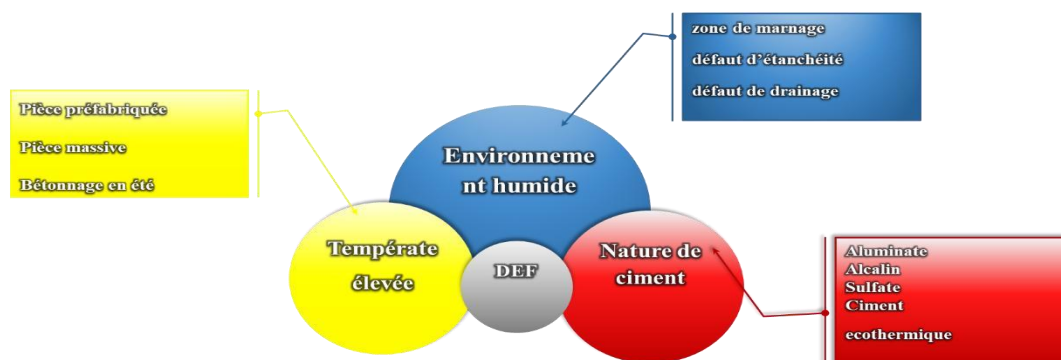


Figure I-12 : schéma représenté les trois conditions pour déclencher la pathologie (F)

Symptôme :

Gonflement du béton à cœur.

Fissurations / faïençage de parement.

I.5 Actions Physique :

Par dégradations physiques, on entend l'ensemble des causes qui peuvent provoquer l'éclatement du béton.

I.5.1 Retrait :

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton et qui se développe sous diverses formes depuis la prise du béton jusqu'à son vieillissement. Il correspond à l'action du départ de l'eau excédentaire du béton vers l'extérieur de l'élément de structure. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle. [2]

I.5.2 Actions Thermiques :

La prise du ciment provoque un dégagement de chaleur. Le béton est mauvais conducteur et dans les pièces massives, cette chaleur s'accumule au cœur, ce qui élève la température et accélère la réaction. De plus, le cœur des pièces refroidit moins vite que la surface. Dans le cas des pièces constituées de parties d'épaisseur différentes, des cisaillements apparaissent dans les zones de transition.

En conséquence, il faut limiter les variations brusques d'épaisseur, les angles vifs. Dans certains cas, le choix d'un ciment à chaleur d'hydratation modérée peut, en outre, s'avérer nécessaire. Très souvent une protection thermique même légère diminue nettement les gradients de température [4]

I.5.3 Gel- Dégel :

Tous les bétons ne sont pas sensibles aux cycles de gel-dégel. Seuls les bétons dits "gélifs" s'altèrent. Après un nombre important de cycles gel/dégel, certains bétons peuvent se déliter en surface et se désagréger. C'est le cas des ouvrages de montagne, des chambres froides.

L'action du gel est une des causes principales de détérioration des ouvrages en béton et des soutènements dans les régions nordiques d'Europe, d'Amérique, d'Asie mais également dans certaines régions algériennes (infrastructures routières, remontées mécaniques, cornières). Les dégradations se manifestent sous forme de fissurations internes ou d'écaillage et concernent essentiellement les structures horizontales (ponts, terrasses...), susceptibles d'être saturées en eau et donc plus sensibles à l'action du gel.[2]



Figure I-13 : Action du gel dans les fissures du béton [15]

I.5.4 Erosion :

Malgré sa résistance mécanique, le béton reste un matériau qui peut être fragilisé par son environnement. Le vent, par son action battante, L'eau de pluie par son écoulement, l'action des cours d'eau et de l'eau de mer conduisent à l'érosion du béton. Ceci réduit l'enrobage des armatures et facilite la pénétration des agents agressifs.

Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement [2]



Figure I-14 : (a) béton sans érosion, (b) béton avec érosion

I.5.5 ressuage :

Le ressuage correspond à l'exsudation superficielle d'une partie de l'eau de gâchage à la face supérieure du béton frais. Il peut aussi se manifester en dessous des barres d'armature horizontales situées au voisinage de la face supérieure.

Ces barres constituent des points fixes qui gênent le tassement, ce qui engendre la création des fissures qui pénètrent jusqu'au lit d'armature.[2]



Figure I-15 : ressuage de béton

I.6 Actions mécaniques :

I.6.1.Choc :

Le béton est susceptible de s'épauprer quand il est soumis à des ondes de choc. Ceci est dû aux différentes vitesses de propagation des ondes dans les différents matériaux (les agrégats, le liant et les armatures).

La résistance aux chocs peut être améliorée par l'emploi pour la confection du béton, d'agrégats anguleux et rugueux et par l'utilisation de sections fortement armées [22]

I.6.2.Incendie :

Le béton est incombustible et conduit relativement mal la chaleur. Il présente donc de bonnes propriétés isolantes pour un sinistre d'importance moyenne.

Toutefois, si l'incendie se prolonge ou si la température est trop élevée, divers phénomènes peuvent se produire:

Pertes des caractéristiques du liant,

Dilatation des agrégats, entraînant la fissuration du béton,

Diminution des caractéristiques des aciers.[8]



Figure I-16 : l'incendie d'un béton

I.6.3 Surcharge :

Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes

Qui peuvent entraîner des fissurations et des éclatements du béton [14]

I.6.4 tassement :

I.6.4.1 Tassement uniforme :

Lorsque les tassements sont uniformes, ils ne provoquent pas de désordres dans les constructions, si ces dernières possèdent une certaine raideur. Ce type de tassements sera contre principalement lorsque les fondations assez rigides reposent sur une importante couche de sol compressible ou une bi – couche. Généralement, dans le cas de sol compressible dont la couche est importante toutes les mesures nécessaires sont prises au moment de la conception. Il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit d'une bi - couche constitué d'une couche très compressible surmontée d'une autre couche relativement résistante mais de faible épaisseur ; la force portante à la partie supérieure de la couche compressible est alors fonction de la valeur du rapport H/B (H étant l'épaisseur de la couche résistante et B étant la largeur de la semelle) qui conditionne la répartition des charges au travers de la couche résistante. Cette répartition des charges peut alors être différente de la répartition à 45° et les tassements uniformes peuvent être plus importants que prévu. Dans les deux cas, si l'amplitude du tassement doit être importante, la seule solution consiste à surélever le plancher du rez de chaussée et de prévoir des canalisations suspendues et très flexibles au moment de la construction.

I.6.4.2 Tassements différentiels :

Lorsqu'un sol tasse d'une façon inégale sous les différents points d'une fondation, on dit qu'il y a tassement différentiel. Il se manifeste soit par un basculement soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle - même si les efforts sont incompatibles avec la sécurité des matériaux. Les causes des tassements différentiels sont multiples, mais les plus fréquemment rencontrés sont :

Les sols compressibles ; les remblais récents ; les remblais d'épaisseurs ; la non homogénéité du sous sol de fondations ; l'emploi des fondations hétérogènes ; les affouillements du sol sous les fondations ; la modification du volume de certains sol se fonction de la teneur en eau...[4]

Conclusion :

Les désordres existants dans le gros œuvre se manifestent généralement par des fissures, des déformations et flèches excessives, des traces d'écrasement ou de cisaillement, de flambement ou de gonflement. Ils peuvent être causés par l'insuffisance de résistance des matériaux, relativement aux charges appliquées, leur mauvaise disposition. Mais ils peuvent être dus à des surcharges excessives, des vibrations ou des changements des sens répétés des efforts, des tassements différentiels, l'attaque des matériaux par l'humidité et les agents extérieurs.

Chapitre II :

Méthode de diagnostic et d'évaluation des structures

Introduction :

Le diagnostic est le passage obligé de toute opération. il permet non seulement le bon choix de la méthode à utiliser mais aussi de fixer le paraphrase des travaux.

Poser un diagnostic, c'est répondre précisément aux questions soulevées par le maître d'ouvrage soit pour confirmer l'état satisfaisant de l'ouvrage, soit, si celui – ci est dégradé, pour fournir toutes les informations utiles pour les décisions ultérieures : nature, étendue et cause des désordres, durée de vie résiduelle présumée et risques encourus, moyen de remédiation et coûts.

II.1 Définitions les termes (auscultation, évaluation et diagnostic)

II.1 .1 Auscultation

L'auscultation (étymologiquement : action d'écouter, examen) regroupe l'ensemble des examens et des mesures spécifiques qui vise à mieux connaître l'état réel d'un ouvrage.

L'auscultation d'un ouvrage existant doit, en premier lieu, déterminer si la sécurité structurale et l'aptitude au service sont assurées et si elles le resteront le futur. La réponse à cette question est difficile à apporter pour deux raisons :

Dans la majorité des cas, il faut d'abord définir les exigences requises d'un ouvrage. Des prescriptions relatives à ce problème, (normes, directives, Etc.) Manquent encore aujourd'hui dans la majorité des cas ;

Dans le cadre de l'auscultation d'un ouvrage on attend généralement implicitement que l'on donne un pronostic sur l'évolution de l'état. Pour ce faire, il faut tenir compte de facteurs tels que l'environnement, l'évolution des dégâts, les influences réciproques des diverses composantes de l'ouvrages, etc. Une évaluation avec une bonne projection dans le futur est naturellement difficile à établir.

Un autre but de l'auscultation est l'établissement d'un document répertoriant les dégâts constatés. Ce document devrait être établi sur la base de visites régulières. Connaissant l'évolution des dégâts entre deux auscultations, il devient plus aisé d'évaluer l'état et de faire une projection dans le futur. Un relevé systématique représente également une base importante pour la recherche et le développement. Ces données permettent en effet de tirer des conclusions sur le comportement général des ouvrages. Ces données peuvent servir de base pour l'élaboration de prescriptions techniques traitant de constructions nouvelles ou de l'entretien.[14]

II.1. 2 Diagnostic :

Le diagnostic est un acte intelligent qui consiste à identifier les anomalies ou dysfonctionnements qui apparaissent dans un ouvrage et à donner leurs causes probables. Habituellement, le terme

diagnostic désigne la réalisation des examens nécessaires à la formulation de conclusions, la définition précise des pathologies ainsi que l'identification des causes probables

Le diagnostic peut être établi par un généraliste ou par un spécialiste de telle ou telle discipline technique en fonction de l'objectif à atteindre.

Après un diagnostic on établit un pronostic sur l'état de l'ouvrage analysé et on se projette dans le futur avec le plus de certitude possible

Généralement on peut décomposer le diagnostic en trois parties :

- Observation des symptômes
- Analyse des données correspondantes.
- Raisonnement et conclusion (partie intelligente du diagnostic).

L'approche du diagnostic est liée aux moyens et outils d'acquisition des données et aussi aux méthodes utilisées dans l'analyse. Il s'agit donc d'une tâche à caractère relatif dans lequel il est rarement possible d'obtenir un recueil exhaustif des données [11]

II.1.3 Evaluation :

Une fois que la cause de la dégradation est connue et que l'évaluation de l'étendue des dommages est effectuée lors de l'inspection, il est nécessaire de prendre une décision quant à la nécessité d'effectuer des travaux sur la structure. En effet, ce n'est pas parce qu'une structure est endommagée qu'elle requiert forcément des travaux de réparation ou d'entretien

Cependant, l'optimisation des interventions nécessite des analyses qui demeurent complexes même pour les ingénieurs expérimentés chargés de l'évaluation de l'état des ouvrages. Au fait, ces spécialistes ne disposent pas actuellement de normes ou de critères précis pour la prise de décision en ce qui concerne la priorisation et l'amélioration des travaux de réparation [12]

Il est alors crucial de développer une méthodologie qui oriente l'ingénieur dans la prise de décision afin d'éliminer sa subjectivité dans la détermination des structures qui requièrent des interventions prioritaires, pour améliorer la distribution et la planification des budgets et des efforts consacrés au maintien de la performance globale d'un ouvrage.

La mise en place d'une approche d'assistance décisionnelle de ce genre cherche à atteindre les objectifs suivants [13]:

- Évaluer objectivement l'importance de la mise en place d'une approche et des déficiences du béton
- Planifier, en ordre d'importance, les campagnes de réparation
- Optimiser le moment et le nombre d'interventions
- Garantir la pertinence des interventions

- Constat l'évolution temporelle de l'état de la structure évaluée

En utilisant les données des inspections visuelles effectuées a priori sur l'ouvrage, il est possible de quantifier le besoin réel d'intervention. Trois paramètres doivent être considérés dans l'estimation de la pertinence d'une intervention :

- L'importance de la structure examinée (type, dimensions et fonctionnalité).
- La pathologie de la dégradation observée (type et dimensions).
- L'impact principal de la dégradation sur le comportement de la structure (stabilité, fonctionnalité, étanchéité, esthétique)

II. 2 Diagnostic :

II.2.1 Diagnostic d'un ouvrage :

C'est une évaluation sommaire basée sur l'examen des documents existants et sur un constat visuel de l'état de l'ouvrage examiné. Ce diagnostic doit être rapide et établi par un ingénieur expérimenté ayant une idée assez précise de l'origine probable des désordres et, sur tout de leurs conséquences possibles.

Ordinairement, ce diagnostic préliminaire aboutira à l'élaboration d'un programme d'essais dont les résultats permettront l'actualisation des dimensions et l'évaluation des propriétés actuelles des matériaux. Ces données déterminées sont nécessaires pour aboutir, au cours de l'étape suivante (le recalcul de l'ouvrage), à un diagnostic précis et à une évaluation quantitative fiable de la sécurité structurale.[15]

II.2.2 Réalisation d'un diagnostic :

Il n'existe pas une démarche tout faite pour mener une opération de diagnostic. :

- Documenter la structure (identification de la structure).
- Analyse des conditions de service.
- Visite de site où "visite préliminaire".
- Visite détaillée.
- Evaluation des données nécessaires au diagnostic. [10]

II.2.3 Rapport d'un diagnostic :

Le rapport de diagnostic présente l'ensemble des résultats et leur interprétation, mais doit être compréhensible par un non initié.

Il comprend:

- L'identification de la structure, le nom du mandeur.

Chapitre II : Méthode de diagnostic et d'évaluation des structures

- L'identification du laboratoire (ou de l'ingénieur) chargé de l'étude, la date.
- Une brève description de la structure.
- Le rappel des objectifs de l'étude.
- La liste des documents consultés.
- Les résultats de l'inspection détaillée.
- Les résultats des essais in situ et de laboratoire.
- Une discussion sur l'origine des désordres, leur étendue, leur évolution probable, et leur incidence sur la sécurité.
- Des conclusions Claires sur les désordres constatés et des propositions éventuelles de complément d'étude.
- Une liste des priorités des réparations set travaux à effectuer.
- Des recommandations relatives aux méthodes de réparation.[14]

II.2.4 les principales étapes d'un diagnostic :

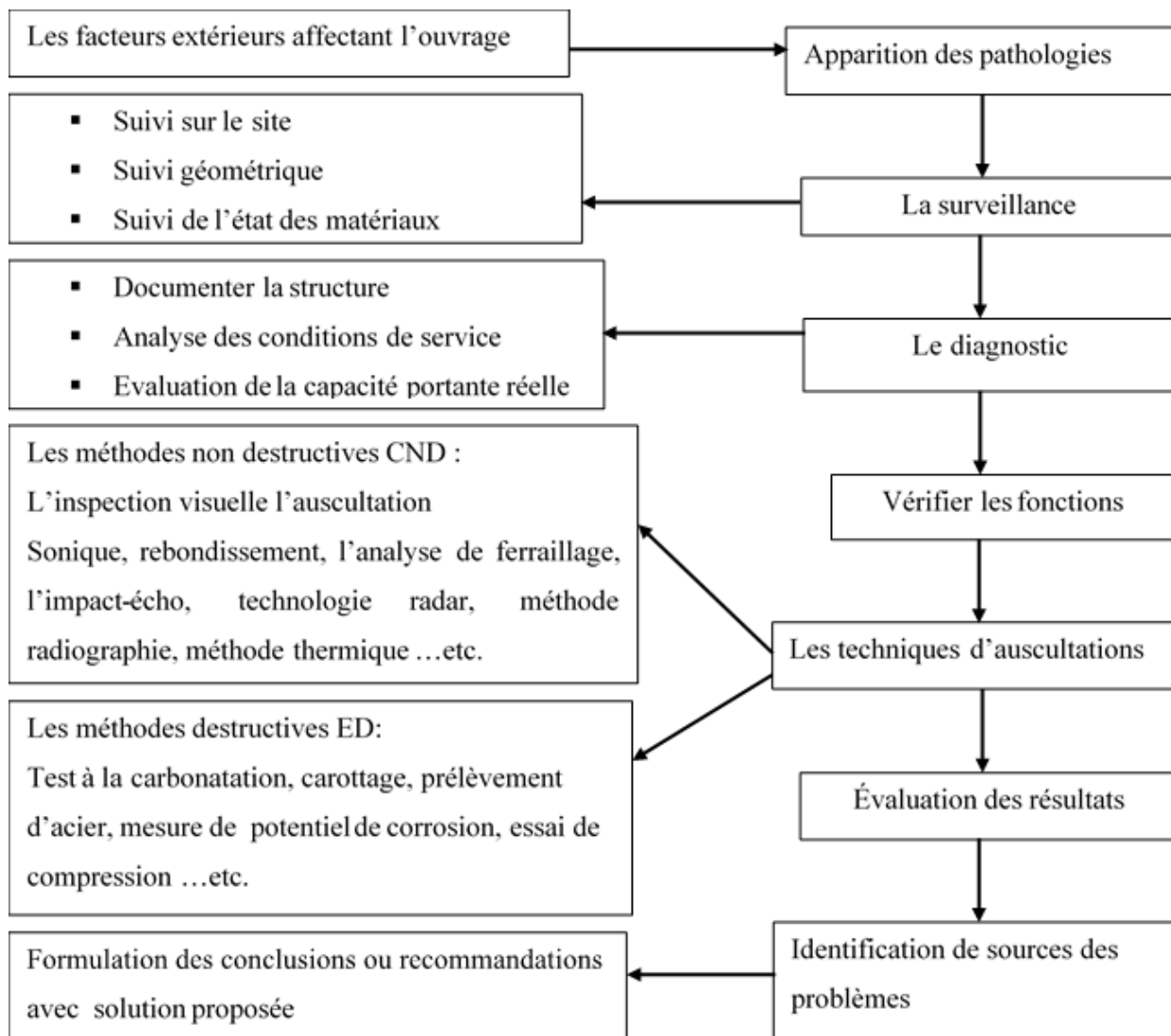


Figure II-1: Schéma des étapes de diagnostic d'un ouvrage en béton armé

II.2.5 Méthodes de CND appliquées en génie civil :

L'intérêt de (CND) et les limites du contrôle destructif (CD) ou (ED):

Les techniques de (CND) constituent l'une des méthodes les plus efficaces pour prévenir aux risques, et de suivre le vieillissement afin d'augmenter la durée de service des structures. En général, les essais destructifs (CD ou ED) sur carottes sont destinés pour évaluer les propriétés réelles des bétons. Toutefois, il existe des obstacles comme la difficulté de réaliser des prélèvements en cas de sensibilité d'ouvrage ou en présence d'un environnement dangereux (radioactivité), les informations obtenues sont à l'échelle locale, en plus le prélèvement peut être réalisé dans des zones non représentatives. Ces limites justifient l'utilité de l'évaluation par essai non destructif réservé à l'étude des propriétés du matériau béton armé surtout.[16]

II.2.5.1 Diagnostic visuel :

Le diagnostic visuel consiste à aller sur site et d'analyser chaque élément de la structure en détail. Ainsi, cela permet dans un premier temps de connaître les caractéristiques géométriques de chaque élément et aussi les matériaux constitutifs. Cela permet d'évaluer le comportement global de l'ouvrage, de connaître les éléments porteurs ainsi que l'acheminement des charges dans la structure. Dans un second temps, il est nécessaire de répertorier les différentes pathologies différents représentés sur la structure. Les principaux désordres rencontrés pour les structures en béton armé sont les suivants:

- Les fissures , avec leur ouverture et leur longueur
- Les fractures , avec leur ouverture , décalage ou rejet
- La présence de coulures de calcite
- Les zones d 'altération superficielles et profondes
- Les zones humides
- Les zones de mousse soude végétation
- Les zones de faïençage
- Les éclats de béton en formation ou profonds
- Les aciers apparents
- Les zones de ségrégation

Il est nécessaire de répertorier tous ces éléments sur des plans, soit existant soit à créer, et de créer un dossier photographique des principaux désordres afin de pouvoir les visualiser au mieux. Dans tous les cas le diagnostic visuel doit permettre de :

- Qualifier les désordres, car chaque type a une origine et des conséquences particulières.
- Déterminer les caractéristiques d'une pathologie permet de savoir quelle sorte de traitement sera nécessaire afin de stopper 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

S'il est seulement prévu de réparer l'élément sans s'attaquer à ce qui engendre la pathologie, la réparation risque de ne pas être pérenne et l'on verra rapidement apparaître de nouvelles pathologies similaires.[14]

Les outils indispensables pour mener à bien une inspection visuelle sont les suivants :

- Un appareil photo.

- Un mètre.
- Une distance mètre.
- Un pied à coulisse.
- Un Fissure mètre (réglette en plastique transparente munie de traits de largeurs calibrées que l'on place successivement sur la fissure à observer pour estimer sa largeur) .
- Le nécessaire pour prendre des notes.[14]



Figure II-2: Les outils indispensables pour le relevé visuel

II.2.5 .2 choix d'investigations :

Le choix des investigations dans un diagnostic d'ouvrage dépend de plusieurs paramètres. Il est primordial de les évaluer afin de mettre en œuvre les moyens adaptés pour répondre pleinement à la mission.

Ces différents paramètres sont les suivants :

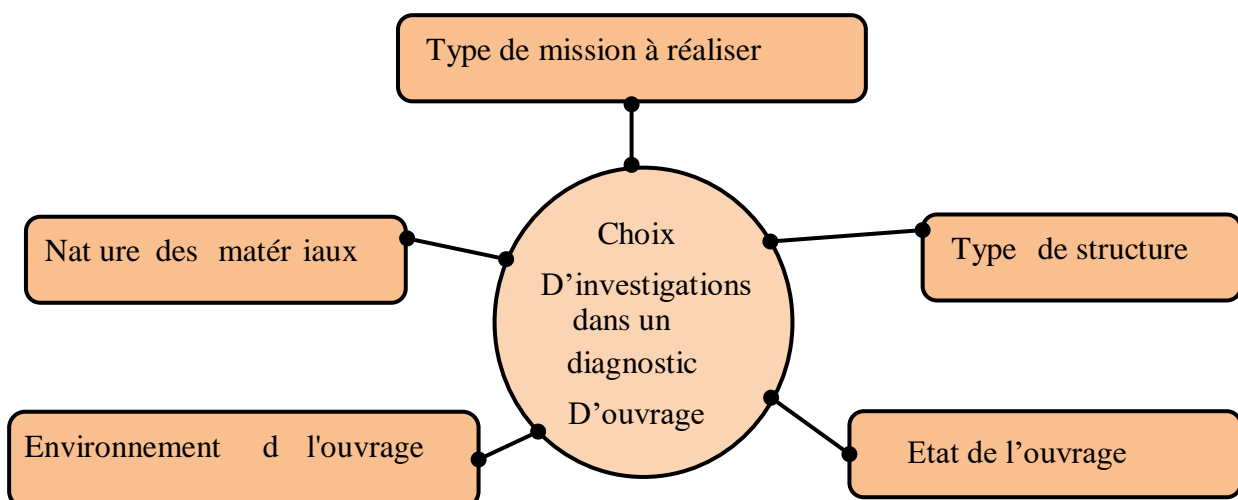


Figure II-3: le choix d'investigations. [1]

II.2.5.3 Types d'investigations :

Il est incertain de classer les plusieurs investigations en deux catégories :

Soit les méthodes non destructives, sinon les méthodes destructives. Les principales méthodes rencontrées lors de Diagnostics sont décrites pour la suite :

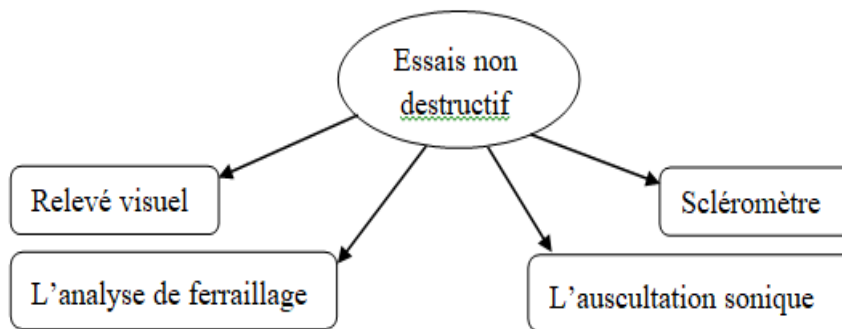


Figure II-4 : essais non destructifs

A. Essais non destructifs :

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. [5]

❖ Relevé visuel :

Le principe du diagnostic visuel est d'aller sur le site et de répertorier les différents défauts que présentent les structures. Ces défauts, pour les ouvrages en béton armé peuvent être très nombreux.

- ✓ Les principaux désordres sont les suivants :
- ✓ Les fissures avec leur ouverture et leur longueur.
- ✓ Les fractures avec leur ouverture, décalage ou rejet.
- ✓ La présence de coulures de calcite.
- ✓ Les zones d'altération superficielles et profondes.
- ✓ Les zones humides ainsi que les zones de mousses ou de végétation.
- ✓ Les zones de faïençage.
- ✓ Les éclats de béton en formation ou profonds ainsi que la présence d'aciers apparents.
- ✓ Les zones de ségrégation.

Tous ces éléments doivent être répertoriés sur des plans ,accompagnés d'un reportage photographique des principaux désordres . Cette première étape permet de définir la gravité des troubles mais aussi de permettre de classer les différents éléments selon leur priorité. [18]



Figure II-5 : JAUGE –GINGER CEBTP (Fissuromètre digital)

❖ L'analyse de ferrailage :

Les mesures de reconnaissance du ferrailage (position et enrobage) peuvent se faire à l'aide d'un Pachomètre. La profondeur d'auscultation de cet appareil est de l'ordre de 10 cm suivant le béton et le réseau d'armature. Il existe deux types de mesures : soit par détection linéaire, consistant à détecter les aciers perpendiculaires à la trajectoire du Pachomètre, soit par imagerie, permettant de détecter les aciers présents dans un carré de soixante centimètres de côté.[19]



Figure II-6 : Ferroskan ou Pachomètre

❖ L'auscultation sonore :

L'auscultation sonore est une méthode utilisée pour caractériser la qualité du béton. Le principe de l'essai repose sur la mesure de la vitesse de propagation du son dans le matériau. On mesure la propagation d'une première impulsion d'un train d'ondes généré par un transducteur, entre deux points déterminés du béton. On peut, à partir du temps de propagation mesuré, exprimer une vitesse conventionnelle de propagation : c'est le quotient de la distance entre les deux transducteurs par le temps mesuré.

Deux méthodes de mesure sont possibles : soit la mesure en transparence, qui fournit une information sur la qualité du béton «à cœur», soit la mesure en surface, qui concerne la couche externe, sur une épaisseur de 6 à 8 cm de béton environ.

Pour les mesures en transparence, le principe est que la vitesse de propagation du son est moindre dans le vide .Si le béton est poreux ou de mauvaise qualité, il y aura plus d'air dans le matériau. Ainsi la vitesse de propagation mesurée sera plus faible. Pour ce qui est des mesures en surface, elles permettent de déterminer la présence d'une bi couche ou bien la profondeur d'une fissure.[20]



Figure II-7 : l'auscultation sonique

❖ 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 ou l'homogénéité du béton. [5]



Figure II-8 : test sclérométrique

B. Essais destructifs :

Lorsque ceci est possible, il peut se vérifier utile d'affairé recours à des essais destructifs. Ces méthodes permettent facilement de faire des prélèvements et de connaître la nature des matériaux présents, leurs caractéristiques mécaniques et chimiques ainsi que leur état d'altération.

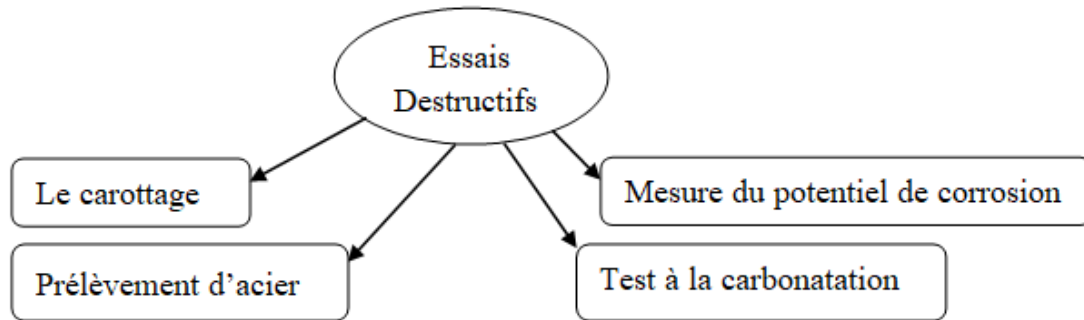


Figure II-9 : Essais destructifs

❖ Le carottage :

Le carottage est une technique de prélèvement d'échantillon qui consiste à forer un substrat à l'aide d'une tarière pour obtenir un cylindre de matière.

L'analyse de la stratification de ce cylindre permet alors de reconstituer la nature d'un sol (carotte de sédiments), une chronologie (carotte de bois) ou encore la compression de l'atmosphère du passé (carotte de glace).

Le but est de déterminer la résistance du béton en place. C'est un essai destructif. Le rebouchage est effectué. Le but premier est de déterminer la résistance du béton. [14]



Figure II-10 : carottage

❖ Mesure du potentiel de corrosion :

La mesure du potentiel de corrosion ne peut se faire que sur des ouvrages ayant un ferrailage continu et n'ayant pas de revêtement de surface pouvant agir comme isolant.

Le principe de l'essai est de mettre à un armature puis la connecter à une borne d'un millivoltmètre à haute impédance. Une électrode de référence est placée sur le parement étant elle-même reliée à une autre borne du millivoltmètre.

Elle est dite de référence car elle a un potentiel constant du à un équilibre électrochimique. Les résultats obtenus permettent de déterminer la probabilité de corrosion des armatures.[1]



Figure II-11 : capteur pour mesurer le potentiel de corrosion

❖ Prélèvement d'acier :

En cas de re-calcul d'une structure, il est important de connaître les aciers présents dans un ouvrage.

Le prélèvement d'acier permet de déterminer le type d'acier (HA , lisse ,TOR ,etc.) ainsi que leurs caractéristiques mécaniques telles que la limite d'élasticité.[19]



Figure II-12 : prélèvement d'acier

❖ Test à la carbonatation :

Le dioxyde de carbone atmosphérique qui pénètre à travers la porosité du béton, depuis la surface du parement, réagit avec les constituants alcalins contenus dans le béton. Au fur et à mesure de sa pénétration, ce processus conduit à une réduction de la valeur du pH d'une valeur de 13 à une valeur inférieure à 9. Ceci a pour effet de diminuer voir supprimer l'effet de passivation de l'acier qui lui assurait une protection naturelle contre la corrosion.

Chapitre II : Méthode de diagnostic et d'évaluation des structures

Le degré d'avancement de la carbonatation (profondeur de carbonatation) de la matrice cimentaire est directement lié aux caractéristiques intrinsèques des matériaux (porosité, âge,...) ainsi qu'aux conditions environnementales (humidité, température,...)

Une des méthodes d'essai existante consiste à pulvériser un colorant sensible au pH (solution de phénolphtaléine) sur une coupe fraîche de béton. La partie non colorée indiquant la zone carbonatée ($\text{pH} < 9$). [18]

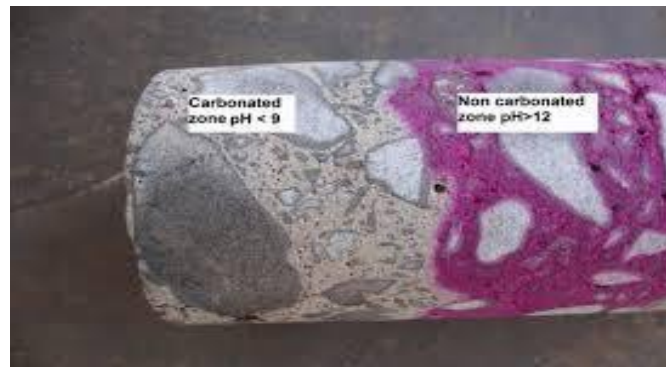


Figure II-13 : test de risque de carbonation

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu l'intérêt du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pendant le réaliser. C'est l'étape clé qui permet de définir les types de pathologies dont souffre l'ouvrage aussi que leur ampleur. Cela permet aussi de réaliser des prévisions quant à l'évolution de ces troubles. Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la procédé de réparation la mieux adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes. Cette cause peut participer tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais ceci peut aussi convenir à cause de l'environnement alentours. Afin de rendre les réparations pérennes, il est essentiel de mettre en œuvre des travaux de réparation et de protection adaptée, seulement aussi de travailler sur l'origine du problème contre d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies semblables. Maintien de l'ouvrage avec ou sans mesures conservatoires pendant lequel une utilisation « normale ».

Déconstruction dans le cas où le coût des réparations ne justifie pas le maintien.

Chapitre III

La réparation et renforcement des structures

Introduction :

Dans ce chapitre des nombreuses solutions techniques sont disponibles et maîtrisées, éprouvées parmi leur efficacité et répondent à tous les problèmes potentiels rencontrés sur les matériaux ou les structures. Il est conseillé d'adopter la solution technique adaptée à la pathologie à traiter, après un diagnostic complet et précis de l'affection. Les troubles, à eux causes et leur évolution.

III.1 étapes clés pour la réhabilitation et le renforcement d'ouvrages en béton :

A. Auscultation et diagnostic précis de l'état de l'ouvrage.

- Observations visuelles
- Analyse des documents

B. Mise en sécurité de l'ouvrage (si nécessaire).

C. Détection, identification et constat des dégradations et de leurs causes.

- Sondages tests.
- Analyses en laboratoire.
- Analyses en situation.
- Inspections visuelles.

D. Estimation et pronostic de l'évolution des dégradations.

- Observations.
- Modèles prédictifs.

E. Détermination des objectifs de la réparation ou du renforcement.

F. Sélection des méthodes et techniques les mieux adaptées.

G. Mise au point du cahier de charges du projet de réparation ou de renforcement.

H. Réalisation des travaux.

I. Contrôle et réception des travaux.

J. Suivi de l'efficacité de la réparation ou du renforcement, gestion, surveillance et maintenance de l'ouvrage. [21]

III.2 Les différentes méthodes de réparation et renforcement :

III.2.1 Ragréage :

Est une méthode de réparation locale, qui consiste à rétablir manuellement l'enrobage des armatures à l'aide d'un mortier de réparation. Afin de limiter la réapparition de corrosion dans les zones réparées il est le préférable de mélanger des inhibiteurs de corrosion dans la formulation de ce mortier.

III.2.1.1 Mode opératoire :

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

Humidifier abondamment les parties à réparer. Laisser ressuyer, le béton doit être humide mais non ruisselant

Pour une bonne adhérence, appliquer le mortier en le serrant fortement sur tout le pourtour de la zone à réparer.

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)

Des raidissements du mortier, réaliser la finition à l'aide d'une taloche polystyrène ou d'une taloche éponge. [5]

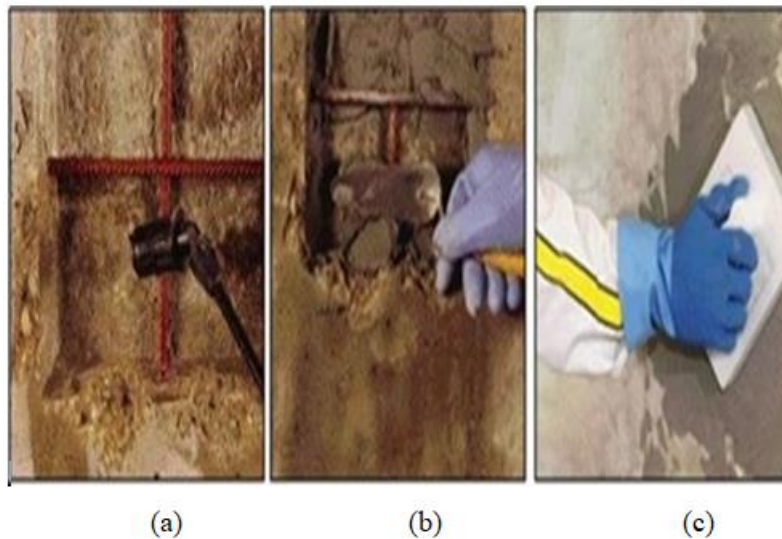


Figure III-1 : (a)Aciers dégagés, (b) Application du mortier, (c)Finissage par taloche

III.2.2 béton projeté:

La réparation à l'aide de béton projeté consiste à piquer les zones dégradées et à projeter sur l'ensemble de l'ouvrage du béton par voie humide. Cette sur épaisseur de béton est moins poreuse, plus durable et peu sensible aux attaques par les chlorures. Le béton projeté n'étant pas encore carbonaté, ils stoppe l'évolution de la carbonatation, le temps d'être lui – même complètement carbonaté . Il empêche également la pénétration d'humidité grâce à son faible Porosité, ce qui protège les armatures de la corrosion.

Il est nécessaire d'appliquer des inhibiteurs de protections sur la structures ou seine d'avoir Une corrosion [26]

Le béton projeté est un béton mis en œuvre à l'aide d'une lance, par projection sur une paroi sous L'impulsion d'un jet d'air comprimé.

III.2.2.1 Mode opératoire :

La technique consiste à :

- Malaxer et homogénéiser les constituants (ciment, granulats, adjuvants, fibres...) à l'état sec ou en incorporant l'eau de gâchage
- Transporter le mélange par des canalisations avec l'aide d'une pompe.
- Projeter le matériau sur le support à revêtir grâce à un jet d'air comprimé. Il existe deux techniques de projection: par voie sèche ou par voie mouillée. La différence entre les deux techniques est liée à la manière dont l'eau de gâchage du béton est introduite (soit lors du malaxage du béton, soit lors de l'application du béton).



Figure III-2 : béton projeté

A . Projection par voie sèche :

La vitesse des éléments du mélange à la sortie de la lance est de l'ordre de 100m/s. elle décroît plus rapidement pour les éléments de faible masse (eau- fines -ciment) que pour les gros granulats. Il se forme alors sur la surface d'application une fine couche de pâte formée par l'eau et le ciment, qui retient instantanément les granulats fins, mais sur laquelle les gros granulats commencent par rebondir, au fur et à mesure de son épaissement, cette couche est «martelée» par les gros granulats quelle finit par retenir, ce qui donne :

- Un serrage énergétique dû à la grande vitesse de projection.
- une bonne adhérence due à la richesse en ciment dans la zone au contact de la surface d'application .

Du fait de l'enrichissement en ciment au voisinage de la surface, le dosage initial en ciment peut être limité. Toutefois les normes préconisent un dosage pas moins de 280 kg/m³ de ciment ayant une résistance à la compression supérieure à 25 MPa. [9]

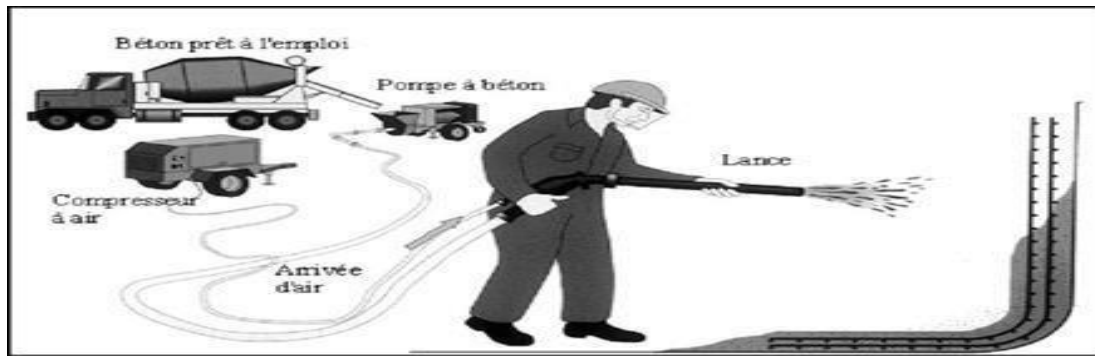


Figure III-3 : projection par voie sèche

B. projection par voie mouillée :

La vitesse de transport et de projection est inférieure à 1m/s, nettement plus faible que dans le cas d'une projection à voie sèche. Le mélange ayant sa composition définitive au passage de la lance, il n'y a pas de surdosage dans la zone de contact avec la surface d'application. Pour obtenir des performances mécaniques équivalentes à celles d'un béton projeté par voie sèche, il est nécessaire d'augmenter le dosage en ciment. L'emploi d'adjuvants permet d'obtenir la maniabilité désirée, avec un dosage en eau aussi faible que possible, une telle consistance du béton exigera un affaissement au cône correspondant, de l'ordre de 12cm. [39]

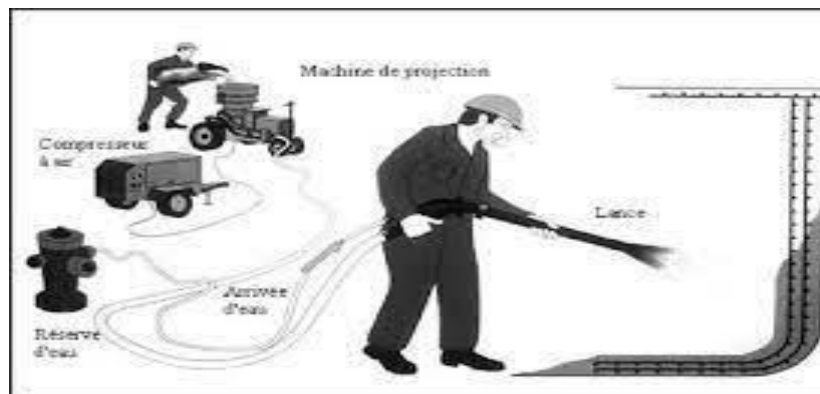


Figure III-4 : projection par voie mouillée

III.2.2.2 Les avantages et les inconvénients des deux méthodes :

Table III-1 : les avantages et inconvénients des méthodes de projection

Les méthodes de projection	Les avantages	Les inconvénients
La projection par voie sèche	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité d'utiliser des granulats de grande dimension(15à20mm) • Un dosage relativement faible en ciment. • Un faible rapport E/C. • Un compactage énergique • Une bonne adhérence sur le support. • Une pénétration en grande profondeur dans les pores. • Une éventuelle projection en plafond sans accélérateur de prise 	<ul style="list-style-type: none"> • Pertes de volume du béton projeté importantes par rebondissement. • Production de poussières.
	<ul style="list-style-type: none"> • Composition uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> • Dosage en eau
La projection par voie mouillée	<ul style="list-style-type: none"> • couche projetée • Pas de rebondissement violent. • Pas de production de poussières. 	<p>ciment plus élevé pour assurer une plasticité nécessaire.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compactage faible. • Nécessité d'accélérateurs de prise.

III.2.3 Tissus de fibres de carbone :

Le renforcement par tissus de fibres de carbone peut se faire sur différents types de structures et sur les différents matériaux usuels de la construction tels que le béton armé ou non, le bois, ou les structures métalliques. Ce matériau est dit composite, car il s'emploie généralement avec une résine.

Il présente beaucoup d'avantages, notamment liés à ses fortes caractéristiques mécaniques pour une masse volumique relativement faible.

Chapitre III : La réparation et renforcement des structures

L'intérêt des utilisations de la fibre de carbone dans le génie civil trouve essentiellement dans le tableau suivant :

III.2.3.1 Les avantages et les inconvénients de tissu de fibre de carbone :

Table III-2 : les avantages et inconvénients de tissu de fibre de carbone

La méthode	Les avantages	Les inconvénients
Tissu de fibre de carbone	<ul style="list-style-type: none">- Sa faible densité.- Ses propriétés mécaniques longitudinales.- L'absence de corrosion.- Sa très bonne tenue à la fatigue.- Sa facilité de manipulation	<ul style="list-style-type: none">- Une anisotropie très marquée.- Un comportement à la rupture de type fragile des composites.- Un prix de matière élevé comparé à celui de l'acier

III.2.3.2 Mode opératoire :

Dans le cadre de la réhabilitation d'ouvrages en béton armé , la qualité du support est primordiale .

Il convient d'effectuer un sablage à sec en vue d'obtenir un état de surface rugueux et uniforme en tous points avec des reliefs d'impact compris entre 0,5 et 1 mm . Les dépôts de poussières et les particules non adhérentes sont éliminés par un brossage énergétique.

Cette technique peut être utilisée dans le renforcement d'un ouvrage, soit dans le cas de perte de section d'acier importante, soit lorsque la structure subit un ajout de charges par rapport à ce qu'elle peut supporter. Ce procédé consisté à placer des bandes de toile de fibres de carbone par collage aux endroits déficients de l'élément concerné . Il est à noter qu'une protection au feu est nécessaire [14]



Figure III-5 : renforcement avec tissu de carbone

III.2.4 Adjonction d'armatures complémentaires :

- Il s'agit là d'enlever le béton dans les zones où les aciers sont corrodés.
- Les armatures existantes, conservées doivent être bien soignées, afin d'éviter une continuité de leurs dégradations.
- Les armatures complémentaires doivent s'opposer à la fissuration et contribuer à la résistance des sections ainsi renforcées.
- La liaison s'effectue par scellement tout en respectant les longueurs de recouvrement et d'ancrage.
- La géométrie d'origine doit être régénérée avec des mortiers riches pour augmenter l'adhérence et la résistance mécanique des sections finales. [40]

III.2.4.1 Mode opératoire :

A cette étape des travaux, un contrôle du diamètre résiduel des armatures les plus fortement attaquées sera effectué (à l'aide d'un pied à coulisse par exemple).

Les armatures supplémentaires de même nature seront mises en place, par scellement, ou des systèmes explicites de fixation (cheville, tiges collées), afin de restituer la section initiale, avec une tolérance de 5%, en tenant compte des longueurs d'ancrage et de recouvrement, et des armatures de couture. Dans le cas de soudure, celle-ci devra être effectuée, selon les normes en vigueur, après que la soudabilité de l'acier ait été vérifiée [9]

III.2.4.2 Protection des armatures:

La protection des armatures consiste à appliquer sur toute la surface de celles qui sont dégagées: un produit assurant une protection vis-à-vis de la corrosion. Ce traitement n'est réellement nécessaire que si, pour des raisons techniques, l'enrobage final ne peut pas avoir la valeur prévue dans les règlements, pour un environnement donné. Il est également fonction de la nature du produit de reconstitution du parement. On devra également s'assurer de la compatibilité avec les traitements ultérieurs (électriques notamment). Cette application doit suivre immédiatement le décapage, car l'oxydation des armatures risque de s'amorcer et de compromettre la bonne tenue de la réparation. [40]

III.2.5 chemisage:

consiste en une augmentation considérable des sections par la mise en œuvre d'un ferrailage additionnel à l'ancien élément et d'un nouveau béton d'enrobage pour favoriser l'accrochage, ce dernier sera mise on œuvre après la confection du coffrage.[41]

III.2.5.1 Mode opératoire :

Pour que le procédé soit efficace, il faut :

- Abattre préalablement les angles du poteau et repiquer ses faces

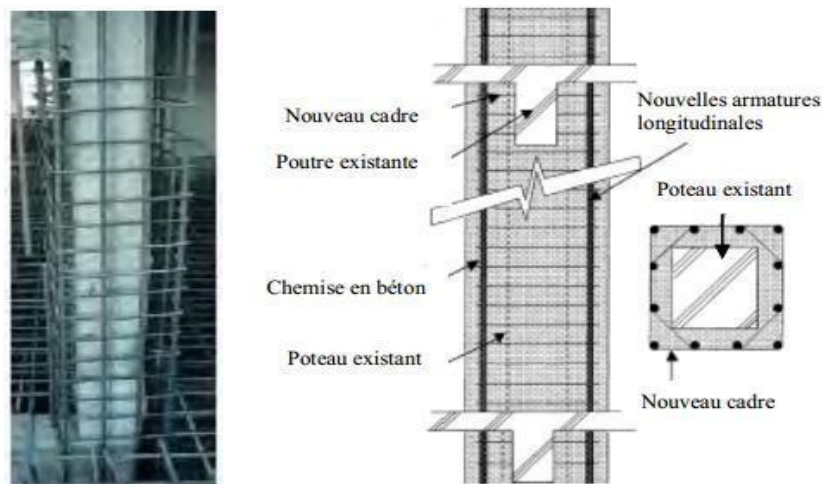


Figure III-6 : chemisage d'un poteau

- Avoir la possibilité de bétonner sur une épaisseur suffisante (6cm paraît un minimum absolu), le coffrage étant établi en montant par tranches de faible hauteur
- Disposer des armatures verticales au moins aux angles du renforcement et surtout des armatures transversales assez resserrées ($st < 10\text{cm}$) de façon à compléter l'effet de frettage résultant du retrait du béton de renforcement par rapport au béton ancien.

Comme il est pratiquement impossible de constituer ces armatures transversales par des cadres complets préalablement façonnés, on est conduit à prévoir des cadres en U dont les branches se recouvrent sur les côtés les plus grands du poteau et comportent un retour de 2 cm environ à leurs extrémités libres.[43]

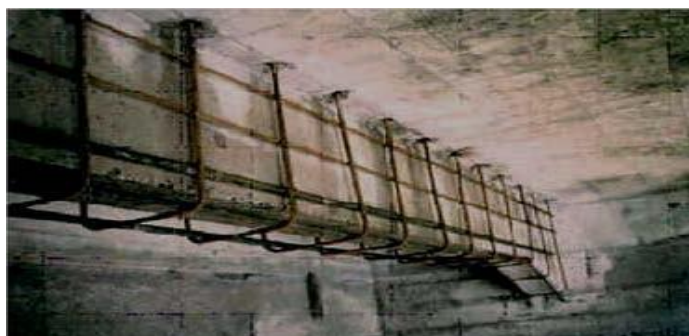


Figure III-7 : chemisage d'une poutre

III.2.5.2 Avantages et inconvénients du chemisage en béton armé:

Table III-3 avantages et inconvénients de chemisage

La méthode	Les avantages	Les inconvénients
Le chemisage	<ul style="list-style-type: none">• Technique peu coûteuse du fait des matériaux utilisés et donc à la portée de tout le monde.• Main d'œuvre peu qualifiée.	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation considérable des sections donc du poids de la structure.• Les éléments sont plus encombrants et moins esthétiques.• Nécessité de mettre hors service l'ouvrage à renforcer pendant la durée des travaux qui est généralement longue.• Transport des matériaux.• Nécessité de coffrages.• Mise en œuvre souvent• Difficile

III.2.6 : Précontrainte additionnelle :

Contrairement aux techniques présentées ci-dessus et qui consiste en l'ajout de matière (béton ou acier), la précontrainte additionnelle consiste en un ajout de force dans des ouvrages existants. Elle permet, en effet, d'appliquer des efforts d'une intensité connue, en des points et suivant des directions bien définies, capables de s'opposer aux efforts générateurs des désordres. Elle est qualifiée d'additionnelle lorsqu'on l'applique à des ouvrages existants pour augmenter leur capacité portante ou prolonger leur durée d'exploitation [44]



Figure III-8 : la méthode précontrainte additionnelle

Le renforcement des poteaux de bâtiment par précontrainte additionnelle est une technique prometteuse. Elle est efficace et peut être nettement plus économique que l'utilisation de chemises d'acier. L'installation d'un tel système occasionne une gêne moindre pour les occupants des bâtiments. Cette technique a été mise au point à la fin des années 1990 et son application potentielle dans le secteur des bâtiments n'a pas encore été réalisée.

L'application de précontrainte externe assure une armature supplémentaire ainsi qu'une pression latérale active.

III.2.6.1 Mode opératoire :

Une nouvelle technique appelée Retro-belt[45], utilise des poteaux en béton précontraint obtenus au moyen de bandes d'acier à haute résistance placées autour des poteaux. Les bandes d'acier, faites de torons en acier à sept fils et d'éléments d'ancrage spécialement conçus, sont placées autour du poteau en respectant des espacements particuliers et sont précontraintes à un niveau de contrainte prédéterminé. Les éléments d'ancrage, placés sur la surface du poteau, assurent un ancrage adéquat des deux extrémités du toron. Bien que le toron en acier agisse comme une armature supplémentaire contre le cisaillement, la pression latérale active améliore le confinement du béton, augmentant aussi la résistance au cisaillement et à la flexion. La précontrainte assure également une force de fermeture adéquate des zones de jointures longitudinales, corrige la déficience des barres de recouvrement inadéquates souvent installées dans des régions d'articulation potentielles des poteaux existants.

III.2.7 Tôles d'acier collées :

Le renforcement de structures en béton par plats métalliques, mieux connue sous le nom de procédé l'Hermite, consiste à pallier les insuffisances locales (renforcer localement une structure présentant des insuffisances de résistance) ou globales (accroître la capacité portante de l'ouvrage) par des tôles d'acier collées sur leurs faces tendues. Ainsi, L'Hermite [46] s'est intéressé dès le début des années soixante, à l'utilisation de composés adhésifs de type époxy polymérisant à froid pour associer béton et acier.

Chapitre III : La réparation et renforcement des structures

Selon Theillout [47] trois problèmes mécaniques se posent lors de l'utilisation de tôles extérieures collées au béton pour le renforcement des structures :

la mise en flexion locale de la tôle au voisinage des fissures qu'elle recouvre,

la répartition des efforts repris par les tôles dans le cas d'utilisation d'empilement,

la répartition des déformations entre les aciers internes au béton et les aciers collés extérieurement.

L'acier de renfort est constitué, dans la plupart des cas, de tôle d'acier de nuance E24, d'épaisseur comprise entre 3 à 5 mm, ayant subi toute leur préparation en usine (découpage, sablage...) pour garantir une bonne adhérence entre l'acier et la colle. La colle utilisée est généralement une résine époxyde dont l'épaisseur est de 0,5 à 1 mm. Le collage impose un dispositif de serrage pouvant être un étaielement, un serrage par serre-joint ou un serrage par vérins plats.

III.2.7.1 Les avantages et les inconvénients des tôles d'acier collés :

Table III-4: les avantages et les inconvénients

La méthode	Avantages	Inconvénients
Tôles d'acier collé	<ul style="list-style-type: none">• il n'exige que des interventions mineures sur la structure• il est d'un emploi souple;• les renforts sont peu encombrants.	<ul style="list-style-type: none">• Sensibilité de l'acier à l'oxydation;• impossibilité de mobilisation de toute la résistance en traction des tôles , même sous faible épaisseur(sollicitation le long d'une face);• nécessité d'une préparation spécifique de la surface à traiter (la raideur des tôles nécessite une surface parfaitement plane pour assurer l'uniformité de l'épaisseur de l'adhésif);• nécessité d'un collage sous pression (vérins), pour assurer une adhésion suffisante et éviter les bulles d'air dans la couche de résine de collage;

		<ul style="list-style-type: none">• impossibilité de généraliser cette technique à des surfaces importantes (masse manipulées trop importantes), ce qui limite d'autant les possibilités de réparation.• Coût relativement élevé.
--	--	--

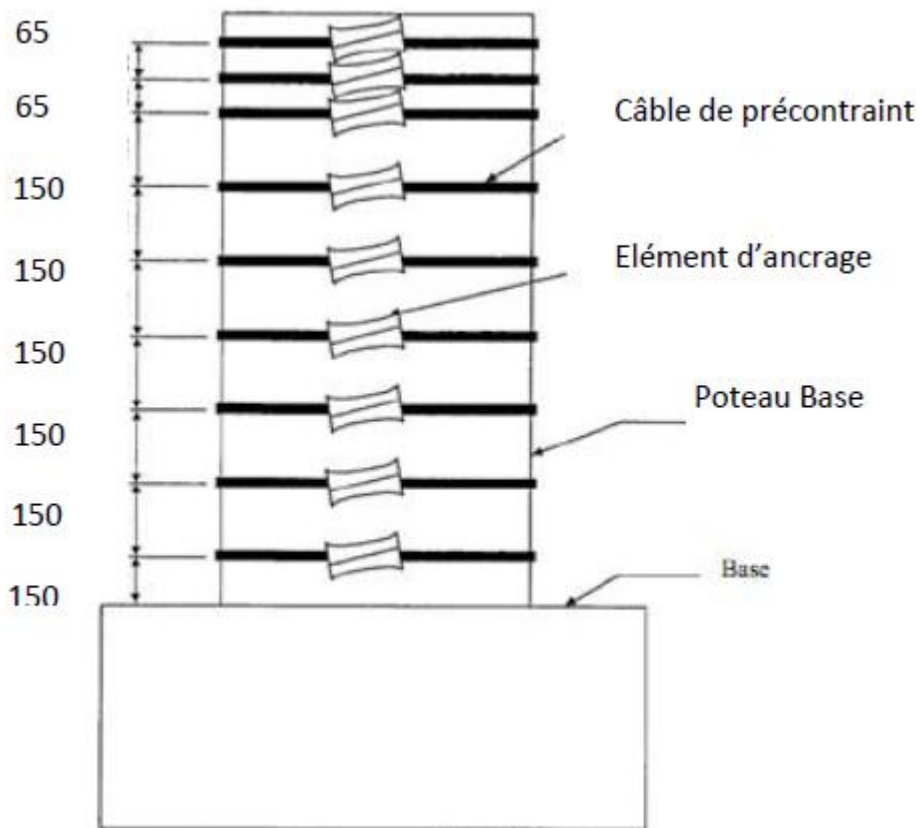


Figure III-9 : Renforcement d'un poteau carré à état de cisaillements dominant

III.2.8 Réparation des fissures des structures :

Il existe plusieurs techniques de réparation des fissures qui doivent être choisies selon les caractéristiques de chaque fissure et de leur milieu. Dans certains cas, il peut même arriver que l'utilisation de plusieurs techniques devienne nécessaire. Ces procédés de réparations sont :

III.2.8.1 Pontage et protection localisés:

Cette technique consiste à recouvrir en surface des fissures, actives ou non, pour assurer l'étanchéité à la structure. Cette intervention permet, si nécessaire, la pose d'un revêtement de finition [48]

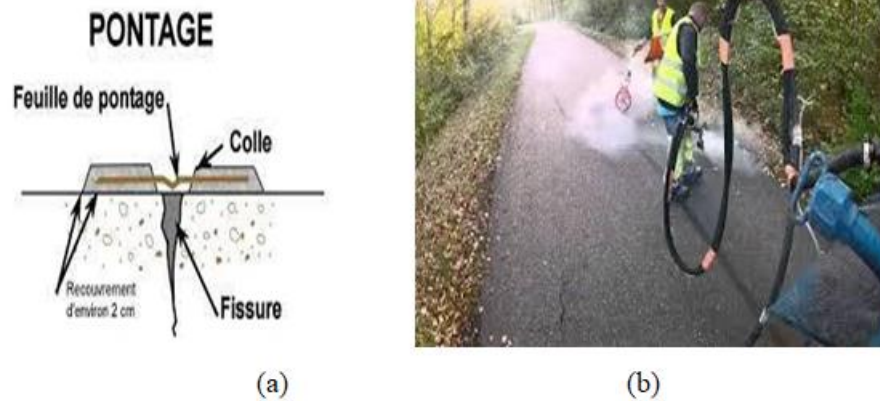


Figure III-10 : (a)traitement d'une fissure, (b) pontage d'une fissure

III.2.8.2 Evidage et calfeutrement:

Cette méthode nécessite l'agrandissement de la fissure dans sa partie visible puis le remplissage et calfeutrement avec un matériau approprié (Figure III. 6). L'évidage peut être évité mais la réparation sera un peu moins durable. En outre la surface du matériau de calfeutrement sera en relief [30], [32]

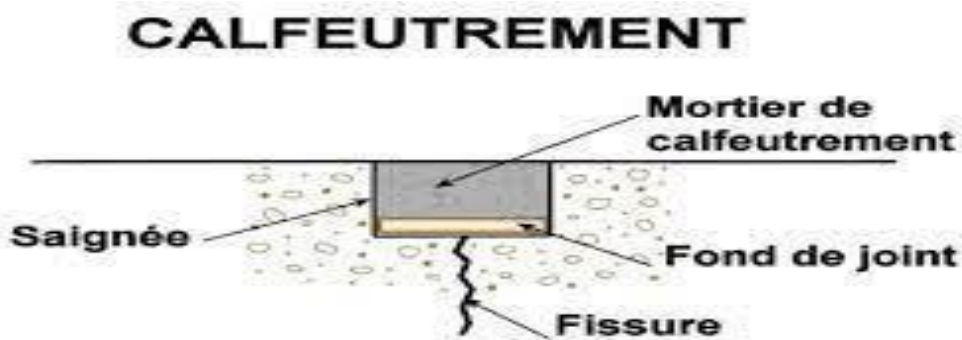


Figure III-11 : le traitement d'une fissure

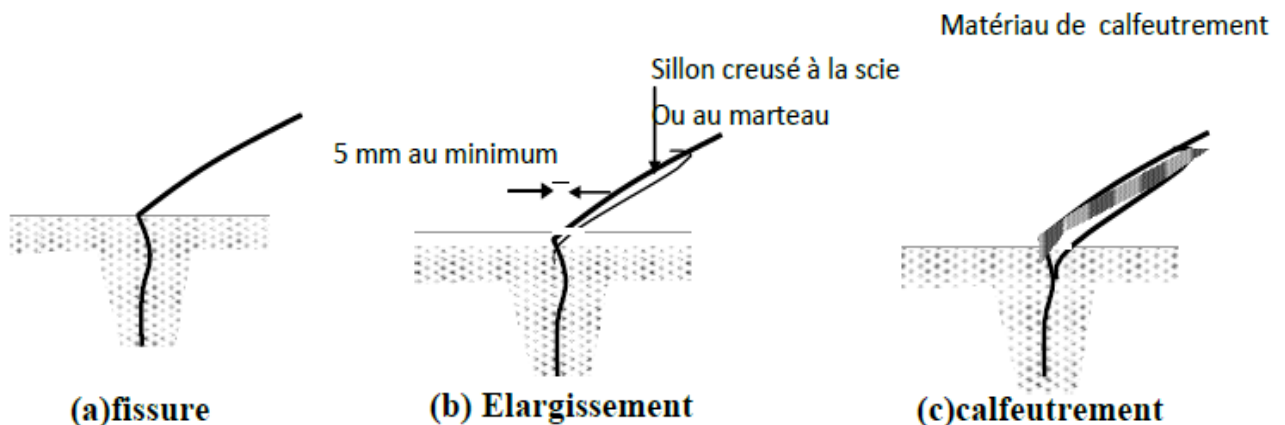


Figure III-12 : élargissement et calfeutrement des fissures

III.2.8.3 Injection :

Les fissures peuvent être calfeutrées par injection sous pression d'un produit susceptible de créer une liaison mécanique et / ou une étanchéité entre les parties disjointes.

La technique habituelle consiste à forer des trous dans les fissures à intervalles réguliers, à injecter de l'eau ou un solvant pour décaper la partie défectueuse, à laisser sécher la surface (en utilisant un jet d'air chaud si nécessaire), à obturer les fissures en surface entre les joints d'injection , et à injecter le produit jusqu'à ce qu'elle coule des sections adjacentes à la fissure [30] , [49].



Figure III-13 : injection d'une fissure

III.2.8.4 Traitement généralisé:

Ce traitement assure une ou plusieurs des fonctions suivantes:

- esthétique
- imperméabilisation
- étanchéité

Il est intéressant, pour traiter d'une façon complète ces quatre procédés de réparation, d'utiliser des produits et de se référer aux fascicules de STRRES (Syndicat National des Entrepreneurs de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures, France) [32]

III.2.9 matériaux composites :

Un matériau composite est l'assemblage de deux matériaux de nature différente , se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément . Les matériaux composites sont composés de fibres noyées dans une matrice.

Une fibre est constituée de plusieurs filaments, élémentaires dont le diamètre est de l'ordre de $5\mu\text{m}$.La fibre au comportement élastique linéaire jusqu'à rupture les lois de comportement sont de type „élastique fragile“.

Le comportement mécanique des matériaux composite dépend du type de fibres et de type des matrices , qui doivent être compatibles entre eux.

Chapitre III : La réparation et renforcement des structures

La matrice est le matériau qui donne le monolithisme à l'ensemble, et permet d'assurer le collage des fibres entre elles et transférer les efforts extérieurs à celles-ci. De plus la matrice joue un rôle très important pour résister aux efforts tranchants Par ailleurs elle protège les fibres en les isolant de l'humidité de l'oxydation et des agents agressifs chimiques.[50].

III.2.9.1 les avantages et les inconvénients de matériaux composites :

Table III-5 : les avantages et les inconvénients de matériaux composites

La méthode	Avantages	Inconvénients
Renforcement avec matériaux composites	<ul style="list-style-type: none">• une légèreté 5fois plus que l'acier.• Une résistance 10 fois plus optimale que les platines.• Une grande flexibilité avec une faible épaisseur.• Une facilité de transport• Un poids de l'ordre de 800 gr le mètre carré (épaisseur d'environ 1 mm)• Une mise en place et un découpage à la forme désirée□ Une mise en œuvre aisée• Adaptation aux supports• Nous sensibilité à la corrosion et d'autres attaques chimiques Meilleure résistance au feu et à la fatigue.	<ul style="list-style-type: none">• un intervalle de température de fonctionnement limité par une limite supérieure donnée par la température de transition vitreuse,• Pauvre ténacité vis-à-vis de la rupture ("comportement fragile"),• Sensibilité à l'humidité



Figure III-14 : renforcement un structure avec un matériau composite

III.2.10 Gainage :

Le procédé consiste à réparer les murs fissurés en utilisant des gaines en béton armé qui permettent d'augmenter la rigidité du système de contreventement de l'ouvrage.

Il est préférable de gainer le mur sur les deux faces avec des liaisons ; un treillis soudé est placé de part et d'autre de la fissure, maintenu par des étriers (tout en exécutant un perçage au niveau des murs afin de placer les étriers)

Le béton de la gaine est mis en œuvre par projection. L'épaisseur de la gaine est de 3 à 4 cm pour la maçonnerie en briques simples et de 8 cm ou plus pour la maçonnerie lourde [34]

Pour les ouvrages relativement petits, il n'est pas nécessaire de gainer le mur sur toute sa surface. Il suffit de gainer certaines parties choisies minutieusement.

Conclusion :

En résumé et d'après les inconvénients des techniques de renforcement traditionnelles qui nécessite souvent de grandes moyens humains et matérielles pour une capacité assez limitée, les techniques de renforcement par matériaux composites offrent des meilleures performances avec moins de moyen et une facilité de mise en œuvre considérable ce qui nous a poussé à opter pour les matériaux composites comme choix de moyen de renfort utilisé dans la présente étude.

Etude de cas



Chapitre IV :
Réhabilitation de la polyclinique
08 Mai 1945
- Laghouat -

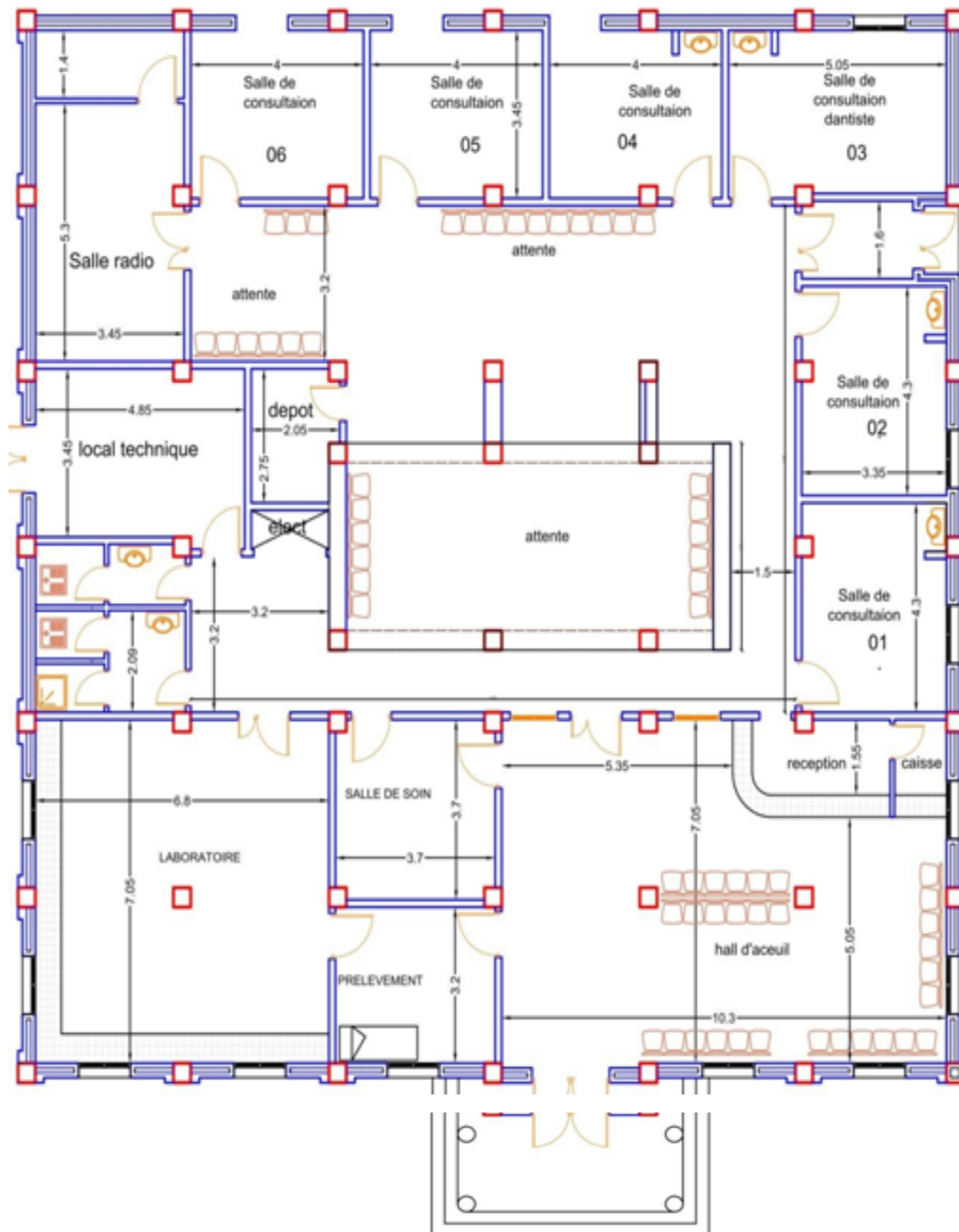




Figure IV-2 : Polyclinique 08 Mai 1945 LAGHOUAT

IV.1.1 Présentation du projet :

- **Nom de projet:** réhabilitation et renforcement de la polyclinique 08 Mai 45.
- **Nom de l'ouvrage :** polyclinique 08 Mai 1945 sis à la cité de 250 logements à Laghouat.
- **Maitre de l'ouvrage :** DSP LAGHOUAT.
- **Particularité du site d'implantation :** terrain végétale.

IV.1.2 typologie du système structurel :

- La structure porteuse de la construction objet de cette expertise est un système auto stable (poteaux - poutres) en béton armé.
- Les planchers à corps creux avec des poutrelles préfabriquées.
- Les maçonneries ont été exécutées en briques creuses et parpaings.
- Les fondations sont des semelles superficielles type isolées.



Figure IV-3 : Type d'étanchéité terrasse

IV.1.3 Désordres constatés :

Suite à l'examen visuel des éléments constitutifs, et suite aux sondages effectués sur quelques éléments structure au niveau de l'infrastructure (semelles, amorces poteaux, longrines) de l'ouvrage objet du présent diagnostic, il nous a été donné de constater certains désordres, les photographies ci-après illustrent les désordres recensés au niveau de différents endroits de la polyclinique sujet de diagnostic technique:

- Fissures inclinées sur le mur en maçonnerie extérieur au niveau d'entrée du Bloc.

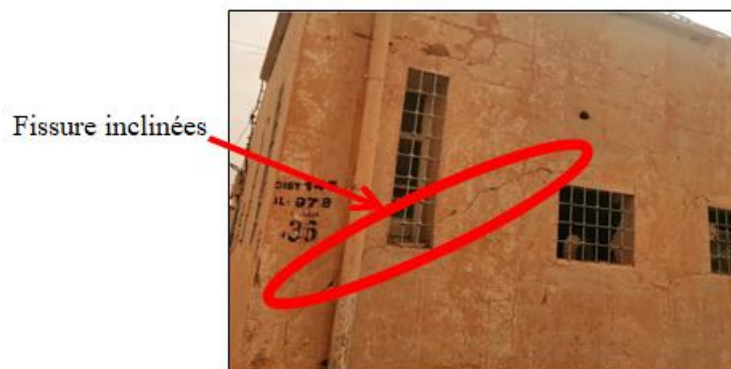


Figure IV-4 : fissure inclinée sur les murs (cloisons) de la clinique.

- Fissures inclinées au niveau des murs cloisons. voir la **figure(IV.4)**.

Dégradation avancée de quelques amorces poteaux suite aux sondages effectués au niveau des fondations.



Figure IV-5 : Dégradation du béton

- Cisaillement de la semelle au niveau de l'entrée principale.



Figure IV-6 : la zone sondage et l'état de l'amorce poteau.



La forme des amorces Poteaux qui Montre Un Tassement de le la structure

Figure IV-7: tassement



Figure IV-8 : cisaillement

Fissure de l'acrotère de la terrasse.



Figure IV-9 : fissure au niveau de l'acrotère.

IV.1.4 Évaluation des dommages et ses causes:

IV.1.4.1 Niveau générale des dommages :

Le niveau de dégradation est très avancé au niveau de la qualité du béton et les armatures.

IV.1.4.2 causes probables :

Tenant compte du diagnostic technique effectué sur l'ensemble de la polyclinique 08 Mai 1945 Laghouat, Les causes des dégradations constatées relèvent essentiellement d'un mouvement des fondations qui se manifeste par un tassement différentiel engendré éventuellement par la dégradation des réseaux des eaux d'assainissement sous le bloc, sachant que ce dernier est implanté dans un terrain constitué un tuf argileux qui est sensible à l'eau.

En outre, nous pouvons citer certaines causes supplémentaires des dégradations de cet ouvrage comme ce suit:

- Le vide sanitaire de cette polyclinique est totalement fermé, (absence de l'aération).
- Vieillesse des matériaux de construction et ce vu l'âge de la bâtisse sous l'effet des eaux infiltrées qui dure longtemps.
- Manque des maintenances périodiques notamment pour les réseaux d'évacuation des eaux d'assainissements ainsi l'étanchéité terrasse.
- la qualité du béton existant pour quelques éléments structuraux est médiocre.
- Une qualité très mauvaise des regards des eaux d'assainissement est observée, ce qui permet l'infiltration des eaux directement dans le sol qui a changé les caractéristiques mécaniques du terrain qu'il se manifeste par un tassement du sol (affaissement).
- L'agressivité des eaux d'assainissement vis-à-vis un béton ordinaire.

Chapitre IV : Réhabilitation de la polyclinique 08 Mai 1945 - Laghouat -

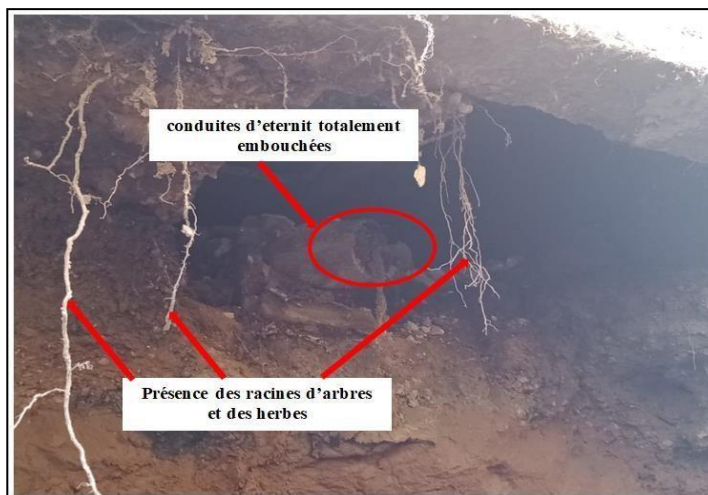
Les photographies ci-après montrent quelques causes de ces désordres constatées au niveau de cette polyclinique :

Un regard d'assainissement
a construit En parpaing



Sol émergé par l'Eau

Existence des conduites d'eternitendomagées



Sondage effectué au niveau de vide sanitaire (coté sanitaires)

Figure IV-10 : représente l'assainissement et le sondage



Figure IV-11 : L'état global de l'étanchéité terrasse

IV.1.4.3 les solutions de dégradation de structures:

Opération du sondage effectuée au niveau des fondations avec un système d'étaieiment recommandé par le CDE :



Figure IV-12: sondage effectuée

Les étapes de réhabilitation et renforcement de la polyclinique voir les photos ci-dessous :



Constitutions des éléments constructifs au Niveau de la Périphériques de L'infrastructure

Figure IV-13: constitutions des éléments constructifs



Figure IV-14 : la réhabilitation de la polyclinique



Figure IV-15 : utilisant l'adjuvant pour accélérer la durcissement de béton armée



Figure IV-16 : ciment utilisé



Figure IV-17 : construire semelle filante



Figure IV-18 : les semelles dégradées



Figure IV-19 : nettoyage l'espace des semelles dégradées



Figure IV-20 : exécution des semelles

Conclusion :

Le constat technique visuel effectué sur les éléments constituant la structure a décelé certains désordres visibles, d'ordre structurel, pouvant compromettre la stabilité de la structure sous charges normales en cas de non prise en charge dans les meilleurs délais.

Toutefois, et vu le contexte évolutif de l'ensemble des désordres relevés et afin d'éviter leur progression, il est fortement recommandé d'engager une opération de réparation et de renforcement dans les meilleurs délais pour la reprise en charge de ces désordres, cela dans le but d'améliorer l'état de conservation actuel de l'ouvrage sous sollicitations normales, en exécutant des travaux de réparation appropriés en éliminant toute source de dégradation.

En outre, et afin de savoir l'état de l'infrastructure, il est fortement recommandé d'effectuer un sondage au niveau des semelles, cette opération doit être effectuée manuellement soigneusement et sous l'orientation du bureau d'étude chargé de suivi.

Il est à noter qu'un système d'étalement convenable doit être effectué avant toute opération de réparation et/ou renforcement sous les poutres porteuses afin d'éviter toute éventuelle surprise.

De ce qui précède, nous recommandons ce qui suit:

La reprise totale des réseaux d'évacuation des eaux usées au niveau de cette polyclinique et de le refaire d'autre conformément aux prescriptions techniques réglementaires.

Une vérification et renforcement, si nécessaire, des fondations probablement tassées ou touchées et ce suite aux sondages qui doivent être effectués au niveau des infrastructures au voisinage des zones endommagées.

Dans le cas échéant, un plan détaillé de renforcement doit être établi par le bureau chargé de cette étude, et approuvé par nos services.

Reprendre les murs gravement fissurés et réparer les murs dont les fissures légères.

Prévoir un aménagement adéquat assuré une bonne circulation des eaux

Pluviales de la bâtisse vers l'extérieure et ce suite à une étude détaillée élaborée par un bureau d'étude spécialisé.

Une vérification totale du réseau d'AEP en assurant leur connexion

Les revêtements muraux détériorés doivent être décapés et repris conformément aux règles de l'art et aux recommandations du D.T.R (E 6.1).

Conclusion générale



Conclusion générale

La durabilité d'un ouvrage est liée à une qualité de construction sans faille. C'est une chaîne qui part du concepteur qui doit connaître les limites du matériau, passe par le calculateur qui doit connaître les règles de dimensionnement et s'intéresser à l'élaboration de plans allant au détail de toutes les opérations de fabrication et de réalisation.

Elle touche ensuite tous les corps de métiers : coffreur, ferrailleur, bétonnier, personnel de chantier qui doivent chacun en prendre soin jusqu'à la réception par l'utilisateur qui doit l'entretenir par des opérations de maintenance.

Si l'un des maillons de la chaîne est défaillant, la chaîne est alors défaillante. Ainsi, l'imperfection de plusieurs maillons a ici un effet cumulatif.

Les sinistres enregistrés montrent qu'ils sont la conséquence de la synergie de plusieurs défaillances (au moins deux) d'origines indépendantes.

La robustesse et l'adaptabilité du béton armé pardonne généralement une à deux défaillances ; il ne cède finalement que sous la gravité ou l'abondance des mauvaises actions que lui font subir ses constructeurs.

Le travail mené dans le cadre de ce Projet de Fin d'Études a permis, dans un premier temps, de recenser les dégradations potentielles qui affectent les structures des ouvrages en béton armé.

Il nous avons ensuite donner l'occasion de présenté les principales techniques d'investigation et les étapes de diagnostic d'ouvrages en béton armé. On a pu voir qu'il existait deux types de diagnostic, l'un en utilisant des méthodes destructives et l'autre avec des méthodes non destructives. Il a été souligné l'importance du diagnostic dans le processus de réhabilitation et de réparation des structures en béton armé. Concernant les différentes techniques de réparation de béton armé, nous nous sommes appuyés sur un état de l'art des travaux relatifs au sujet traité.

L'objectif visé ici était de présenter un travail énumérant les principales pathologies des ouvrages avec leurs origines et particulièrement les dégradations affectant les structures en béton armé ; en traitant avec plus de détails le phénomène de la corrosion affectant les ouvrages en béton armé

Pour y parvenir, nous avons jugé indispensable :

- de présenter le matériau béton armé et les différentes pathologies dont il peut être atteint car on ne peut pas prétendre soigner un mal dans un corps si on ne connaît pas bien le corps en question.
- d'expliquer le mécanisme de la corrosion et les dommages qu'elle peut causer aux structures.
- de donner les étapes à suivre pour pouvoir établir un diagnostic fiable sur un ouvrage

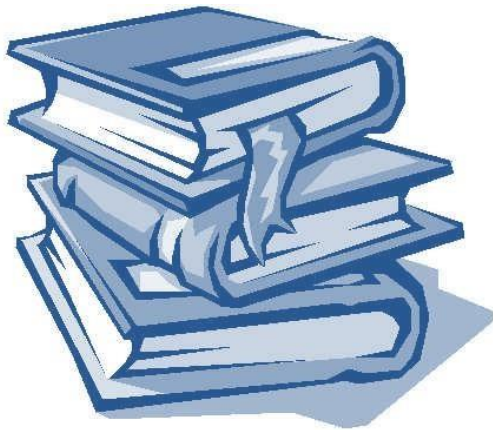
en béton armé.

- de présenter les méthodes de réparation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures, leur mise en œuvre.

Ce document, nous l'espérons, sera un précieux outil pour les techniciens et les ingénieurs chargés du suivi de la maintenance des ouvrages d'art.

Par ailleurs, on constate que la corrosion est la principale cause de dégradation des ouvrages en béton armé et pour cela, elle doit être prise très sérieusement. De nombreux ouvrages nécessitent très souvent de nouvelles interventions contre cette pathologie alors qu'ils venaient d'en être traités. Cette situation peut être imputée soit à une non maîtrise du phénomène de corrosion par les techniciens et les ingénieurs, soit à une mauvaise démarche adoptée lors des réparations ou au choix d'une méthode de réhabilitation inadéquate et inefficace.

Références bibliographiques



Références bibliographiques :

- [1]. mémoire online „ réhabilitation des ouvrages en béton armée „ par Nabila Boualla université des sciences et de la technologie d’armature d’Oran licence 2011.
- [2]. L’impact de la corrosion des armatures sur les dégradations du béton armée soutenu le 11/ 07 / 2019 présenté par ghobrini Mohammed tadjeddine et cheikh Amina master académique structure génie civil université Abdelhamid ibn badis de Mostaganem.
- [3]. dégradations au niveau de l’usine al zinc constats et recommandations par Mohammed salim kaouadji, Présenté le 18/04/ 2013.
- [4]. réhabilitation des structures réhabilitation des structures élaboré par Dr. ouzaa Keira (docteur en génie civil – option : structures, u.s.t.o) faculté d’architecture et de génie civil université des sciences et de la technologie d’oran Mohamed Boudiaf u.s.t.o. 2014-2015.
- [5].Méthodes de réparation et de protection des ouvrages en béton armé Joseph Abou Zeid Numéro du dossier : 8254 f Centre du Liban associé au Conservatoire national des arts et métiers „Information et communication pour l’ingénieur Génie Civil“ –ENG 222.
- [6]. Principale agressions et attaque des bétons Nathalie cordier CETE Méditerrané- labo d’Aix service OAB 28 novembre 2013 centre d’étude technique d’équipement méditerrané concevoir, construire et gérer des structures durables en béton .approche performantelle et évolutions normatives.
- [7].réhabilitation des ouvrages en béton dégradé par la corrosion des armatures par **NDZANA AKONGO GREGOIRE STCHAUMI SAMUEL** université de doualla (école normale supérieure de l’enseignement technique) ENST – **DIPETE** (diplôme des professeurs des lycées d’enseignement technique 2 ième grade) génie civil, option bâtiment. Mémoire on line.
- [8]. la pathologie du béton formation du 07 novembre 2016 compagnie de l’experte CEBTPI (GINGER).
- [9]. J.V.MIRANDA, techniques et systèmes de renfort des structures en béton 2004. [M1]. A.PLUMIER,pathologie et réparations structurelles des constructions, ArGenCo, Édition 2006.
- [10].Mr Mahfoudi Brahim, Système expert pour le diagnostic des structures bâtiment, Mémoire de Magister, École Nationale Polytechnique, décembre 2006.
- [11]. étude diagnostic de la vulnérabilité de bâti face aux inondations KHAT EL OUED LAGHOUAT université Amar Thelidji –Laghouat Génie civil option structure présenté par NANI Oussama et BAROUD – abdessamad.
- [12].diagnostic des dégradations des ouvrages en béton-arme et méthodologie d’intervention

Références bibliographiques

Moulaï Abdellah BOUABDALLAH (1) & Amel BOUABDALLAH (2), Houari ABDELHADI (1), Abdelhafid FERHAOUI (1) & Nabila BOUALLA (1)

(1): Département de Génie Civil / Université des sciences et de la technologie d'Oran U.S.T.O.MB. BP. 1505 El M'Naoeur - Oran, Algérie.

(2): CTC Ouest Organisme National de Contrôle Technique de la Construction

E-mail : Bouabdallah.ma@yahoo.fr .

[13]. : Saleh, K., Mosser, A., Chekired, M., Gagnon, J., Rivest, M., « Indice d'Endommagement: Classification et priorisation des travaux de réfection des barrages en béton », Rapport IREQ-2003-112C, Institut de Recherche d'Hydro-Québec (IREQ), Montréal, Québec, 51 p.2003

[14]. Synthèse bibliographique sur les principales dégradations affectant les constructions en béton armé Présenté par BOUSMAT ABDELKADER et BELHACEN Mohamed Alaà Eddine LEDIPLOMEDEMASTERENGENIECIVILOPTION: STRUCTURE Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem 2019 /2020.

[15].Pathologieset réhabilitation des ponts master travaux publics–spécialité voies et ouvrages d'art réalisé par boutaraa Zohra mcb : faculté de génie civil et d'architecture master travaux publics spécialité: voies et ouvrages d'art 2019 université hassiba benbouali de chlef.

[16]. Pathologies, diagnostic à l'aide de CND et techniques de réparation et protection des ouvrages en béton armé : état de l'art. CHABBI Radhial & FERHOUNE Nouredine1 & BOUABDALLAH Fouzia1 (2)

(1)Faculté des sciences et sciences appliquées, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi.

(2)Laboratoire Sols et Hydraulique – UBMA.

[17].réhabilitation des structures en béton armé juin 2017 présenté par : khobizi sena faculté des sciences et de la technologie département de : génie civil & hydraulique

[18].Maizi Ibtissam, Benjoudi Mouslam , mémoire de master II «réhabilitation de structures en béton armé », université 08 Mai 1945 Guelma, Année2013.

[19]. Documents scientifiques et techniques «Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion», Novembre 2003.

[20]. Etude de la durabilité des bétons par une approche performantielle.

[21]. «Les solutions techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages de génie civil en béton», Année 2011.

[22]. SIDNEY M.JOHNSON, " Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du génie civil", Editions Eyrolles, 1969.

Références bibliographiques

- [23]. BERNARD BLACHE, JEAN-DANIEL MERLET, " Comment réparer le béton armé", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Avril 1993,(25-32).
- [24]. ROLAND CRESSON, " Revêtements organiques de façade", Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et de Travaux Public N° 525, Société d'Editions du Bâtiment et des Travaux Public, Juillet- Août 1994, (13- 32).
- [25]. ROLAND CRESSON, " Peintures et revêtements organiques appliquées en façade", Encyclopédie du bâtiment, Tome 3, Editions WEKA, 1997, (1-3101, 10-3101)
- [26]. Lorry-Alan Moalic, « Réhabilitation d'ouvrages en béton armé Du diagnostic au confortement », Projet de Fin d'Études élève ingénieur de 5^{ème} année.
- [27]. «Les techniques de réhabilitation renforcer les structures ».
- [28].techniques de réhabilitation renforcer structures en béton armé.
- [29]. ROLAND CRESSON, " Peintures et revêtements organiques appliquées en façade", Encyclopédie du bâtiment, Tome 3, Editions WEKA, 1999, (1-3101, 10-3101
- [30]. SIDNEY M.JOHNSON, " Dégradation, entretien et réparation des ouvrages du génie civil", Editions Eyrolles, 1969.
- [31]. MICHEL VENUAT, " Comment réparer les fissures dans les ouvrages en béton", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Décembre 1982,(98-99).
- [32]. JEAN-PIERRE MAGNAN, GEORGES PILOT, "Amélioration des sols", Techniques de l'ingénieur, Tome 2, Editions Eyrolles, 1996, (245-18, 245-19).
- [33]. Kheira OUZAA, "Modélisation et simulation de la fissuration du béton : application aux dallages, aux voiles et aux poutres de ponts en béton armé", *Thèse de Doctorat En Sciences en Génie Civil*, Faculté d'Architecture et de Génie Civil, USTO – M.B.,2011.
- [34]. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique," Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages", Deuxième semestre 1992.
- [35]. Bertrand SCHWARTZ, "Réhabilitation des bâtiments. Structures et enveloppe, solutions techniques", Edition Lavoisier, 2010.
- [36]. Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, " Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages", premier semestre 1992.
- [37]. MEH TA , P.K. Performance of concrete in marine environment, ACISP-65,pp. 120,1980.
- [38]. Association Française du Génie Civil (AFGC), "Conception de bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages – Maîtrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et de l'alcali réaction – État de l'art et guide pour la mise en œuvre d'une

Références bibliographiques

approche performantielle sur la base d'indicateurs de durabilité", Documents scientifiques et techniques. Version 20, Juin 2003.

[39]. A.PLUMER ,pathologie et réparations structurelles des constructions ,ARGENCO edition 2006 .

[40]. rehabilitation et renforcement des poteaux enbéton arme par Hicham BELHANNACHI DiplÖme de Magister en Génie Civil Juillet 2009.

[41]. Fukuyama, H., Sugano S., « Studies Japanese seismic rehabilitation of concrete buildings after the Hyogoken-Nanbu Earthquake »; Cement and Concrete Composites, 2000, Vol. 22, pp: 59-79.

[42]. **Fukuyama, H., Sugano S.**, « Studies Japanese seismic rehabilitation of concrete buildings after the Hyogoken-Nanbu Earthquake »; Cement and Concrete Composites, 2000, Vol. 22, pp: 59-79.

[43]. **Fargeot B.**, « Renforcement des structures par précontrainte additionnelle » ; In: Calgaro, J.A. et Lacroix, R. : Maintenance et Réparation des Ponts, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1997, 666 p.

[44].Fargeot B.,« Renforcement des structures par précontrainte additionnelle » ; In: Calgaro, J.A. et Lacroix, R. : Maintenance et Réparation des Ponts, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1997, 666 p.

[45].Saatcioglu M., Yalcin C., Mes D., Beausejour P., « Seismic retrofit of concrete columns by external prestressing »; Research report of OCEERC, Earthquake Engineering Research Centre d'Ottawa-Carleton, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada, 2000.

[46]. **L'Hermite R.**, « L'application des colles et résines dans la construction » ; Annales de l'ITBTP, série béton et béton armé, N° 239, Novembre 1967.

[47].Theillout J.N., « Renforcement des structures à laide de plats métalliques collés » ; In: Calgaro J.A. et Lacroix R., Maintenance et Réparation des Ponts, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1997, 666 p.

[48]. ROLAND CRESSON, " Peintures et revêtements organiques appliquées en façade", Encyclopédie du bâtiment, Tome 3, Editions WEKA, 1997, (1-3101, 10-3101).

[49]. MICHEL VENUAT, " Comment réparer les fissures dans les ouvrages en béton", Cahiers techniques du bâtiment, Editions du Moniteur, Décembre 1982,(98-99).

[50]. J.V.MIRANDA, techniques et systèmes de renfort des structures en béton 2004.