



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCA/2022

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème

**PATHOLOGIES ET REHABILITATIONS DES OUVRAGES EN
GENIE CIVIL : CAS DE L'INSTITUT DE TECHNOLOGIE
AGRICOLE (I.T.A), MOSTAGANEM**

Présenté par :

- Mlle REZALI Zohra
- Mlle BENCHAA Aouicha Ikram

Soutenu le 07 / 07/ 2022 devant le jury composé de :

President: Mr. BENSOUA Mohamed

Examinatrice: Mme. DJILALI Nassira

Encadrant : Mr. BESSAIM Mohammed Mustapha

Année Universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Remerciements

Au terme de ce précieux travail nous tenons en premier lieu à rendre une profonde
Gratitude à « DIEU » qui nous a donné la force et la patience pour terminer ce modeste travail
dans de bonnes conditions morales et matérielles.

Nous remercions aussi les membres de nos familles qui nous ont soutenus tout au long de
notre vie.

Nous tenons à remercier vivement mon encadrant Mr. Bessaim d'avoir pris en charge la
direction scientifique pendant le déroulement et la réalisation de notre travail.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des professeurs de Génie Civil qui ont contribué à
notre formation.

A notre gentille et sympathique promotion et à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou
de loin, notamment à l'ensemble des enseignants du département de Génie Civil de
l'université de Mostaganem, qui n'ont ménagé aucun effort pour la transmission du savoir
nécessaire à une entrée pleine et entière dans la vie active et professionnelle.

Nous tenons tout particulièrement à adresser mes remerciements à Messieurs LABDAOUI
Djamel, le bureau d'étude BAGHDOUD Nessreddine, aussi l'ingénieur BENMAMAR
Mohammed et à tout le groupe de LTPO.

Également, nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin avec
leurs conseils pour l'élaboration de ce projet de fin d'étude.

Dédicaces

DEDICACE

Tout d'abord je remercie Allah qui m'a donné le courage pour arriver en de ce projet.

Je dédie ce travail à :

- Mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis .et ma mère qui a été à mes cotés et m'a soutenue durant toute ma vie.
- Mes chers frères : Med Amine, Brahim, Hocine, Sofiane et ma chère sœur Amina pour leurs encouragements.
- Mon binôme **Benchaa Ikram** avec laquelle on a formé bonne équipe vous présente ce projet.
- Et sans oublier mes meilleures amies Housna, Fouzia, Sabrin et Zouleykha et Fatiha y pour l'aide et le soutien moral. Et à mes amies et collègues de promotion, pour leur collaboration et pour les bons moments partagés tout au long de notre formation.
- Merci à tous les professeurs qui nous ont aidés et qui nous ont appris le métier.

Rezali Zohra

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à ceux qui, quel que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

- A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père El Hadj
- A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Rabiaa
- A mon cher frère Abderrahmane qui m'a encouragé et soutenu tout au long de mes études. Que dieu le protège et lui offre la chance et le bonheur
- A mes grands-mères MEDJAD Halima et KABACHA Zoulikha, mes oncles et ma chère tante Fatima Zohra. Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.
- Mon binôme **Rezali Zohra** avec laquelle on a formé une bonne équipe vous présente ce projet.
- Et sans oublier mes meilleures amies Housna, Fouzia, Sabrin et Zouleykha et Fatiha pour l'aide et leur soutien moral. Et à mes amies et collègues de promotion, pour leur collaboration et pour les bons moments partagés tout au long de notre formation.
- Tous mon remerciement à mes professeurs qui nous ont aidés et appris le métier

Benchaa Ikram

Résumé

RESUME

Les structures en génie civil pendant leur fonctionnement sont exposées à des conditions environnementales et opérationnelles qui peuvent leur causer certains dommages.

L'établissement d'un bon diagnostic nécessite une connaissance précise du comportement du béton sous l'influence des agressions auxquelles il est exposé.

La détermination des causes de détérioration est un sujet complexe et l'interaction entre différentes pathologies rend parfois le jugement plus difficile. Le choix des matériaux et des techniques de réparation est également une malédiction essentielle pour mener à bien la tâche d'intervention.

Notre objectif principal est d'investiguer réellement ces pathologies, de les diagnostiquer et de voir les réparations possibles.

A cet effet, notre travail s'est centré sur un des blocs de biologie de l'Université de Mostaganem, implanté exactement à l'ITA, où des travaux de restauration/réhabilitation étaient en cours.

La première étape avait pour but de voir et de détecter les différentes pathologies existantes, à l'instar des fissures, qui étaient de nature verticale, horizontale et en escalier présents dans les murs.

Par la suite, une seconde étape était de collecter les diverses informations vis-à-vis du traitement des fissures, des moisissures ainsi que la réparation du plancher et de la terrasse.

Ce travail servira comme une modeste synthèse bibliographique pour les futurs ingénieurs, ayant pour objectif de comprendre les différentes pathologies rencontrées dans les structures en Génie Civil, et par la même de palier à ces désordres.

Mots clés : Pathologies ; Réhabilitation ; I.T.A ; Ouvrages en Génie Civil.

Abstract

Abstract

Buildings in Civil Engineering during their lifespan are exposed to environmental and operational conditions that can cause certain damage to them.

Establishing a good diagnosis requires precise knowledge of the behavior of concrete under the influence of the attacks to which it is exposed.

Determining the causes of deterioration is a complex subject and the interaction between different diseases sometimes makes judgment more difficult. The choice of materials and repair techniques is also an essential course to carry out the intervention task.

Our main objective is to investigate these pathologies, to diagnose them and to see the possible repairs.

In this regard, our work focused on a building located in the biology department at the University of Mostaganem, located exactly at the Technological Institute of Agriculture, known as I.T.A, where restoration/rehabilitation works were in progress.

The first step is to see and detect the various existing pathologies, such as cracks, which were of a vertical, horizontal and staircase nature present in the walls.

Furthermore, the second step was to collect the various information aiming the treatment of these cracks, reparation of the floor and the terrace as well as treatment of present mold.

This work will serve as a modest bibliographical synthesis for future engineers, aiming to understand the different pathologies encountered in Civil Engineering Structures.

Key words: Pathologies; Rehabilitation; I.T.A; Structures in Civil Engineering.

ملخص

ملخص

في الهندسة المدنية، تتعرض الهياكل لعوامل بيئية وخارجية التي من الممكن أن تسبب أضرارًا وتدهور لها. يتطلب إنشاء تشخيص جيد معرفة دقيقة عن سلوك الخرسانة، تحت تأثير هذه العوامل. يعد تحديد أسباب التدهور موضوعاً معقداً والتفاعل بين الأمراض المختلفة التي تصيب الهياكل يجعل المهمة أكثر تعقيداً. يعد اختيار المواد ونسبها والإصلاح أيضاً مهمة شائكة.

هدفنا الرئيسي هو التحسين النوعي لهذه الأمراض، تشخيصها ومعرفة الإصلاحات الممكنة. نحققاً لهذه الغاية، ركز عملنا على إحدى المباني الواقعة في جامعة مسغانم، بالتحديد في معهد التكنولوجيا الزراعية (I.T.A)، حيث كانت أعمال الترميم / إعادة التأهيل جارية.

تهدف الخطوة الأولى إلى رؤية واكتشاف الأمراض المختلفة الموجودة، مثل الشقوق، والتي كانت ذات طبيعة عمودية، أفقية ومندرجة موجودة في الجدران. بعد ذلك، الخطوة الثانية تمثلت في جمع المعلومات المختلفة المتعلقة بمعالجة التشققات، إصلاح الرضبة، الشرفة ومعالجة العفن.

سيكون هذا العمل بمثابة موجه متواضع للمهندسين الذين يطمحون لفهم الأمراض المختلفة التي تصادف الهياكل في الهندسة المدنية، وبالمثل للتغلب هذه الأضرار

الكلمات المفتاحية: علم أمراض البناء، إعادة تهيئة، معهد التكنولوجيا الزراعية؛ هياكل الهندسة المدنية

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Résultats d'essais d'auscultation sonore des bétons-(CEBTP).....	47
Tableau III.1 : Etude comparative (Ragréage avec passivant v/s Béton projeté).....	66
Tableau III.2 : Comparatif de la fibre de carbone avec l'acier	68

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Faiençage dans un enduit de façade	5
Figure I.2 : Fissure en moustache particulièrement grave	6
Figure I.3 : Fissure verticale dans un crépi de façade	6
Figure I.4 : Fissure horizontale	7
Figure I.5 : Fissure en escalier assez profonde	7
Figure I.6 : exemple de fissure traversante	8
Figure I.7 : exemple fissure lézarde	8
Figure I.8 : L'humidité ascensionnelle	10
Figure I.9 : L'infiltration d'eau	10
Figure I.10 : L'humidité de condensation	11
Figure I.11 : L'humidité des fuites	11
Figure I.12 : Désordre de carrelage	13
Figure I.13 : Corrosion des armatures par carbonatation	17
Figure I.14 : Corrosion par piqûres liées aux chlorures	17
Figure I.15 : Pathologie des pieux due à l'attaque surfacique (eaux agressives)	18
Figure I.16 : Exemples des structures dégradées attaquées par les sulfates	20
Figure I.17 : Érosion du béton	21
Figure I.18 : exemple de béton soumis à une attaque acide	23
Figure I.19 : Éclatement du béton d'enrobage à cause de la carbonatation	23
Figure I.20 : effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO ₂	24
Figure I.21 : Conséquences de la carbonatation	25
Figure I.22 : mesurer la carbonatation	26
Figure I.23 : Probabilité d'amorçage de corrosion suite à la carbonatation en fonction de E/C	27
Figure I.24 : Représentation schématique du retrait de ressuage	28
Figure I.25 : Retrait plastique à la surface d'une dalle en béton armé	29
Figure I.26 : Ouverture importante des fissures de retrait	29
Figure I.27 : profondeur de carbonations hors fissures	30
Figure I.28 : carbonations de le long des fissures avec armature corrodés (soulignées par les flèches vertes)	30
Figure I.29 : Phénomène d'alcali réaction RAG rencontré	32
Figure I.30 : Les causes des dégradations	34
Figure I.31 : Les facteurs des dégradations	34

Figure I.32 : Les type des dégradations.....	35
Figure II.1 : Famille de dégradation.....	43
Figure II.2 : Schéma des investigations non destructives.....	44
Figure II.3 : Scléromètre à béton W-M-250 de James.....	45
Figure II.4 : jauge Ginger CEBTP - Fissuromètre digital.....	46
Figure II.5 : détection par fenêtres et résultats.....	48
Figure II.6 : Test Choc-Echo avec appareil OLSON'S NDE 360.....	49
Figure II.7 : Schéma des investigations destructives.....	50
Figure II.8 : Graphique enrobage-carbonatation.....	50
Figure II.9 : La Carotteuse.....	52
Figure II.10 : Mesure du potentiel de corrosion.....	53
Figure II.11 : Prélèvement d'aciers.....	54
Figure II.12 : Appareil d'auscultation par ultrasons.....	55
Figure II.13 : Le pachomètre.....	55
Figure II.14 : Le profomètre.....	56
Figure II.15 : Le corrosimètre.....	56
Figure II.16 : L'extensomètre.....	57
Figure II.17 : L'hygromètre.....	57
Figure III.1 : Schéma de la réparation d'ouvrages en béton armé.....	58
Figure III.2 : Dégagement des armatures.....	59
Figure III.3 : Gauche à droite ; Aciers dégagés, Application du mortier, Finissage par taloche.....	60
Figure III.4 : Réparation de poutre par béton projeté.....	62
Figure III.5 : Renforcement d'une poutre au moyen de béton projeté.....	62
Figure III.6 : Principe de la voie sèche.....	63
Figure III.7 : Principe de la voie mouillée.....	64
Figure III.8 : Tissus de fibre de carbone.....	67
Figure III.9 : Feuille de polymère renforcé de fibre de carbone.....	68
Figure III.10 : Réparation de poutre par adjonction d'armature.....	69
Figure III.11 : Réfection des bétons et protection des armatures.....	71
Figure III.12 : Renforcement d'une poutre par chemisage.....	72
Figure III.13 : Renforcement d'une poutre avec chemisage en béton armé.....	72
Figure III.14 : Renfort de poutres par enrobage.....	73
Figure III.15 : Organigramme de processus de chemisage en béton armé.....	73

Figure III.16 : Renfort par plaque d'acier.....	75
Figure III.17 : le tracé rectiligne.....	78
Figure III.18 : Le tracé polygonal.....	79
Figure III.19 : Collage en résine.....	81
Figure III.20 : Renforcement d'une poutre au moyen de matériaux composites.....	82
Figure III.21 : Technique de réparation (carbonatation).....	84
Figure III.22 : Traitement des armatures.....	84
Figure III.23 : Réparation du béton.....	85
Figure III.24 : Finition.....	85
Figure III.25 : Traitement de fissure par injection.....	87
Figure III.26 : Traitement de fissure par pontage.....	87
Figure III.27 : Inhibiteur de corrosion.....	90
Figure III.28 : La Déchloruration.....	91
Figure III.29 : La Réalcalinisation.....	92
Figure III.30 : Mise en place d'un revêtement de surface.....	93
Figure III.31 : Reconstruction de la partie dégradée d'un mur.....	94
Figure III.32 : Reconstruction d'un pilier dégradé en briques pleines traditionnelles.....	94
Figure III.33 : Deux exemples de cicatrisation de fissures sur façades d'édifices traditionnels.....	95
Figure III.34 : Méthode des agrafes.....	95
Figure III.35 : Méthode le re jointement.....	96
Figure III.36 : Les tirants.....	96
Figure III.37 : Méthode de Taxidermies avec des armatures en acier.....	97
Figure III.38 : Méthode de contrefort.....	97
Figure III.39 : Remplacement du bout pourri d'une solive en bois malade avec un morceau de bois neuf.....	98
Figure III.40 : Les solives dont les bouts sont pourris reposent sur de nouveaux appuis en madriers de bois.....	98
Figure III.41 : Exemple des sabots.....	99
Figure III.42 : Renforcement des poutres et solives en bois.....	100
Figure III.43 : Division de la portée des poutres et solives d'un plancher soumis à une tension de flexion excessive.....	100
Figure III.44 : Intervention sur les arcs, les voûtes et les coupes.....	101

Figure IV.1 : Vue de façade de la structure à l'époque.....	103
Figure IV.2 : Vue en plan de la structure.....	104
Figure IV.3 : Implantation de la structure (GOOGLE EARTH).....	104
Figure IV .4 : Type de fissure en escalier.....	106
Figure IV.5 : Type de fissure verticale.....	106
Figure IV.6 : Corp mentant.....	107
Figure IV.7 : Traitement de corp mentant.....	109
Figure IV .8 : Les tirants.....	110
Figure IV.9 : Les moisissures.....	110
Figure IV.10 : BIOCIDA.....	111
Figure IV .11 : Réparation de la dalle.....	112
Figure IV.12 : Les étapes de réparation des ouvertures.....	113
Figure IV .13 : Plancher en forme I.....	113
Figure IV.14 : Réparation de la dalle en forme I.....	115
Figure IV.15 : Terrasse.....	116
Figure IV.16 : Traitement des fissures en terrasse.....	117
Figure IV.17 : les couloirs d'air.....	117
Figure IV.18 : Traitement des couloirs d'air.....	118
Figure IV .19 : Avant la modification de la porte.....	118
Figure IV .20 : Après la modification de la porte.....	119
Figure IV.21 : Installation d'électricité.....	120
Figure IV.22 : Etape de réparation des fenêtres.....	121
Figure IV.23 : Avant la réparation des fenêtres.....	121
Figure IV 24 : Après la réparation des fenêtres.....	121
Figure IV.25 : Les étapes de réparation des enduits.....	122

Table des matières

Table de matière :

Remercîment.	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Listes des tableaux	
Liste des figures	
Table de matière	
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Les différents types de pathologie des ouvrages en Génie Civil

I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition de la pathologie.....	3
I.3. Les différents types de pathologie des ouvrages en béton armé.....	3
I.3.1. Une malfaçon	4
I.3.1.1. Définition	4
I.3.1.2. La responsabilité	4
I.3.1.3. Les causes de malfaçon	4
I.3.1.4. Les conséquences de malfaçon	4
I.3.2. Les fissures	4
I.3.2.1. Définition	4
I.3.2.2. Le différent type de fissures	5
I.3.2.3. Les causes des fissures	9
I.3.2.4. La solution	9
I.3.3. L'humidité.....	9
I.3.3.1. Définition	9
I.3.3.2. Manifestations de l'humidité.....	9
I.3.3.3. Les différents types de l'humidité	10
I.3.3.4. Les causes d'humidité.....	12
I.3.3.5. Les conséquences de l'humidité peuvent être graves.....	12
I.3.3.6 La solution	13
I.3.4. Désordre de carrelage	13
I.3.4.1. Définition	13
I.3.4.2. L'origine des désordres	13
I.3.4.3. Conséquence de désordre	14

I.3.4.4. La solution.....	15
I.3.5. La corrosion.....	15
I.3.5.1. Définition	15
I.3.5.2. Origine et classification de la corrosion	15
I.3.5.3. Causes de la corrosion	15
I.3.5.4. Les facteurs de la corrosion.....	16
I.3.5.5. Les conséquences de la corrosion	16
I.3.5.6. La lutte contre la corrosion	17
I.3.5.7. Les étapes de réparation du béton armé dégradé par la corrosion.....	17
I.3.6. Le sulfate	18
I.3.6.1. Définition	18
I.3.6.2. Réaction par les sulfates	18
I.3.6.3. L'origine des Sulfates	19
I.3.6.4. Les Produits Résultants de l'attaque	19
I.3.6.5. Les conséquences des réactions Sulfatiques	20
I.3.7. Érosion du béton	21
I.3.7.1. Définition	21
I.3.7.2. Les deux types d'agression par les produits chimiques.....	22
I.3.7.3. Mesures préventives	22
I.3.8. La carbonatation du béton	23
I.3.8.1. Définition	23
I.3.8.2. Facteurs influents sur la carbonatation	24
I.3.8.3. Conséquences de la carbonatation	25
I.3.8.4. Comment mesurer la carbonatation de façon simple ?.....	25
I.3.8.5. Comment s'en prémunir et comment la prévoir ?	26
I.3.9. Retrait.....	27
I.3.9.1. Définition	27
I.3.9.2. Les types de retrait	28
I.3.9.3. Les conséquences du retrait	30
I.3.9.4. Comment éviter, réduire ou contrôler le retrait ?.....	30
I.3.10. Alkali-réactions	31
I.3.10.1. Définition	31
I.3.10.2. Les différents types de réactions	32
I.3.10.3. Typologie des désordres	32
I.3.11. Fluage.....	33
I.3.11.1. Définition	33
I.3.11.2. Le fluage dépend	33

I.3.11.3. Facteurs aggravants	33
I.3.11.4. Principe de prévention	33
I.4. Les causes et les types de dégradation des bâtiments anciens traditionnels	34
I.4.1. Les causes de dégradation	34
I.4.1.1. Causes de dégradation liées au bâtiment lui-même, à son mode de construction, aux matériaux utilisés, à la nature du sol de fondation.....	35
I.4.1.2. Des causes de dégradation sous l'effet de facteurs extérieurs.....	35
I.4.2. Les types de dégradations dans les bâtiments traditionnels.....	35
I.4.2.1. Les dégradations qui prennent la forme de mouvements d'ensemble, généralement dues aux causes suivantes	36
I.4.2.2. Les dégradations localisées, généralement dues aux causes suivantes.....	36
I.4.2.3. Les dégradations sous l'effet de l'humidité.....	36
I.5. Conclusion	37

Chapitre II : Les différents outils de diagnostic des pathologies

II.1. Introduction.....	38
II.2. Le diagnostic	38
II.2.1. Définition.....	38
II.2.2. Réalisation d'un diagnostic	38
II.2.3. Les objectifs du diagnostic	39
II.2.4. Etablir le diagnostic	39
II.2.5. Rapport d'un diagnostic	40
II.2.6. Les principales étapes d'un diagnostic	40
II.3. Choix des investigations	43
II.4. Types d'investigations	44
II.4.1. Investigations non-destructives.....	44
II.4.1.1. Le scléromètre	44
II.4.1.2. Relevé visuel	45
II.4.1.3. Méthode de l'auscultation sonique	46
II.4.1.4. Le relevé du ferrailage	47
II.4.1.5. Sondage par marteau	48
II.4.1.6. Méthode échos-chocs	48
II.4.2. Investigations destructives	49
II.4.2.1. Test à la carbonatation	50
II.4.2.2. Carottage d'éléments en béton armé	51
II.4.2.3. Le Potentiel de corrosion	52
II.4.2.4. Prélèvements D'aciers	53

II.4.2.5. Test au contenu de chlorure	54
II.5. Autre outil d'investigation	54
II.5.1. L'auscultation par ultrasons	54
II.5.2. Les détecteurs d'armatures	55
II.6. Conclusion	57

Chapitre III : Les différentes méthodes de réparation et de renforcement

III.1 Introduction	58
III.2. Réparation	58
III.3. Les différentes méthodes de réparation	59
III.3.1. Le Ragréage	59
III.3.1.1. Définition.....	59
III.3.1.2. Mode opératoire	60
III.3.1.3. Caractéristiques des matériaux	60
III.3.2. Béton Projeté	61
III.3.2.1. Introduction	61
III.3.2.2. Projection d'un béton avec un ajout d'armatures.....	62
III. 3.2.3. Description des deux méthodes	63
a) Projection par voie sèche	63
b) Projection par voie mouillée	64
III.3.2.4. Avantages des deux méthodes	64
III.3.2.5. Inconvénients des deux méthodes	64
III.3.2.6. Mode opératoire.....	65
III.3.2.7. Matériaux utilisés	65
III.3.2.8. Etude comparative (Ragréage avec passivant v/s Béton projeté)	66
III.3.3. Tissus de fibres de carbone.....	66
III. 3.3.1. Définition.....	66
III.3.3.2. Mode opératoire	67
III.3.3.3. Matériaux.....	68
III.3.4. Adjonction d'armatures d'aciers	69
III.3.4.1. Introduction	69
III.3.4.2. Mise en place des armatures complémentaires.....	69
III.3.4.3. Protection des armatures	70
III.3.4.4. Réfection des bétons	70
III.4. Techniques de renforcement des éléments structuraux en béton armé.....	71
III.4.1. Renforcement par chemisage	71
III.4.1.1. Introduction	71

III.4.1.2. Adhérence entre les deux bétons	72
III.4.1.3 Les inconvénients de chemisage	73
III.4.1.4 Conclusion	74
III.4.2. Renforcement par platines métalliques	74
III.4.2.1. Introduction	74
III.4.2.2. Les matériaux utilisés	74
a) La colle	74
b) La tôle	74
III.4.2.3. La mise en œuvre des plats collés	75
III.4.2.4. Avantages et inconvénients de Bandes d'acier collées.....	76
III.4.2.5. Conclusion	76
III.4.3. Réparation ou renforcement par précontrainte additionnelle	77
III.4.3.1. Introduction	77
III.4.3.2. Conception d'une précontrainte additionnelle	77
III.4.3.3. Les différents tracés de la précontrainte additionnelle	78
III.4.3.4. Avantages et inconvénients de la précontrainte additionnelle.....	79
III.4.3.5. Conclusion	79
III.4.4. Adjonction de matériaux composites (Polymères Renforcés en Fibres).....	80
III.4.4.1. Introduction	80
III.4.4.2. Définition et avantages	80
III.4.4.3. Propriétés du tissu et de la résine de collage.....	80
III.4.4.4. Procédures de la mise en œuvre	81
III.4.4.5. Conclusion	82
III.5. Travaux de réparation des éléments de structures	82
III.6. CAS DE REPARATION	83
III.6.1. Réparation du béton due à la carbonatation	83
III.6.1.1. Introduction	83
III.6.1.2. Technique de réparation (carbonatation)	83
III.6.1.3. Le Traitement des armatures	84
III.6.1.4 La Réparation du béton	84
III.6.1.5. La finition	85
III.6.2. Réparation des désordres superficiels	86
III.6.2.1. Traitement des fissures	86
III.6.3. Inhibiteur de corrosion	88
III.6.4. La Déchloration	90
III.6.5. La Réalcalinisation	91
III.7. Les revêtements	92

III.7.1. Le revêtement imperméabilisant	92
III.7.1.1. La peinture	92
III.7.1.2. Les lasures	93
III.7.1.3. Les revêtements minces	93
III.7.1.4. Les enduits de façade	93
III.8. Les différentes méthodes de réparations des bâtiments ancienne traditionnels	94
III.8.1. Réparation des murs et des piliers en maçonnerie traditionnelle.....	94
III.8.1.1. Substitution partielle (remplacement de la partie dégradée).....	94
III.8.1.2. Réparation des fissures	94
III.8.2. Réparation des planchers et des couvertures	98
III.8.2.1. Remplacement des appuis des poutres et solives en bois.....	98
III.8.2.2. Renforcement des poutres et solives en bois	99
III.8.2.3. Division de la portée des poutres et solives d'un plancher soumis à une tension de flexion excessive 100	
III.8.2.4. Intervention sur les arcs, les voûtes et les coupoles	101
III.8. Conclusion et choix de la méthode de renforcement.....	101

Chapitre 4 : Etude de la réhabilitation d'un bloc de biologie à l'Université de Mostaganem

IV.1. Introduction	102
IV.2. Aperçu historique	102
IV.3. Présentation de l'ouvrage	104
IV.4. Implantation du projet	104
IV.5. Caractéristiques géométriques.....	105
IV.6. Désordres constatés	105
IV.6.1. La fissuration du béton	105
IV.6.2. Les fissures constatées	105
IV.6.3. Cas de fissures de corp mentant	107
IV.6.4. Traitement des fissures	107
IV.6.4.1. Traitement des fissures dans les murs	107
IV.6.4.2. Traitement des fissures de corp mentant.....	109
IV.6.5. Les tirants	110
IV.6.6. Moisissures.....	110
IV.6.6.1. Traitement de moisissures	111
IV.6.7. Réparation de la dalle	112
IV.6.7.1. Réparation des ouvertures de plancher	112
IV.6.8. Plancher En Forme I.....	113
IV.6.8.1. Réparation du plancher	114
IV.6.9. Terrasse	115

IV.6.9.1. Réalisation de l'étanchéité de la terrasse	115
IV.6.9.2. Traitement de la terrasse	116
IV.6.10. Les couloirs d'air	117
IV.6.10.1. Traitement des couloirs d'air	118
IV.6.11. Pour la modification de la porte	118
IV.6.12. Le traitement des façades	119
IV.6.12.1. Réparation des équipements	119
IV.6.13. Traitement des enduits	121
Conclusion générale	123
Références bibliographiques.....	124
Annexes	

Introduction générale

Introduction générale :

Le béton est un matériau utilisé depuis des milliers d'années, mais qui ne s'est vraiment répandu qu'au XIXe siècle, grâce notamment au ciment Portland et à Louis Vicat. Ce n'est qu'à la fin de ce siècle que les premières structures en béton armé sont apparues.

Depuis, il est devenu un matériau composite incontournable. Les éléments en béton armé sont très présents dans notre vie. Qu'il s'agisse d'un pont pour traverser une route, d'un bâtiment pour loger des personnes, d'activités ou d'autres ouvrages en béton armé, ils remplissent tous une ou plusieurs fonctions précises.

Ces actions sont essentielles au bon fonctionnement de notre société, car ce sont des éléments qui facilitent ou améliorent la vie des utilisateurs. Pour leur permettre de remplir leur rôle, il faut veiller à leur bonne santé et, si ce n'est pas le cas, les réformer. De ce point de vue, le pronostic de la structure est favorable.

Mais avec le temps il y aura toujours l'apparition d'une pathologie, même si cela ne remet pas en cause la stabilité de la structure, il est important de la diagnostiquer d'une part, et d'y remédier d'autre part.

En effet, si la source du problème est mal diagnostiquée, les réparations préconisées ne correspondront pas à ce qui est nécessaire et la structure sera toujours vulnérable aux mêmes attaques. Pour poser un diagnostic, différentes méthodes d'investigation sont disponibles. D'autre part, il existe des méthodes destructives pour les ouvrages pouvant se détériorer localement, et des méthodes non destructives pour les ouvrages qui doivent être préservés, comme les édifices classés monuments historiques.

Il est nécessaire de prévoir des travaux de réhabilitation afin de redonner à la structure ses propriétés physiques et mécaniques initiales.

Afin de retarder ou de réduire de nouvelles maladies similaires, il est possible de protéger la structure. Il existe un grand nombre de moyens de protection, sélectionnés en fonction des différentes maladies, mais aussi en fonction de la durée de pérennité attendue. Ils vont d'un simple revêtement appliqué sur la surface à des traitements électrochimiques.

Il est également possible de ne pas planifier le travail, mais de ne prêter attention qu'au développement des maladies. C'est le cas par exemple pour les fissures, il peut être utile de vérifier si leur ouverture perdure dans le temps, auquel cas il faudra prévoir des travaux de renforcement [1].

Les problématiques de la pathologie :

Au regard des travaux d'investigations auxquels nous succédons, notre intérêt se porte sur la phase de réhabilitation des ouvrages en Génie Civil

A cet effet, le problème fondamental que nous soulevons repose sur les causes de ces pathologies ? Et comment peuvent on les traiter ?

D'un point de vue plus opérationnel, nous nous intéressons à la nature des différentes pathologies, leur nature, leur ententes et leur potentialité d'évolution ?

Avec une vision future, nous aimerions tirer des conclusions pour savoir pourquoi et quand est-ce on fait la réhabilitation des ouvrages en Génie Civil ?

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres.

Le premier chapitre, traitera les différents types de pathologie des ouvrages en Génie Civil.

Le deuxième chapitre s'étale sur le diagnostic des différentes pathologies des constructions.

Le chapitre trois détaille les différentes méthodes de réparation et de renforcement des travaux antérieurs.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de la réparation d'un bloc implanté au niveau de l'Institut de Technologie Agricole (I.T.A), en l'occurrence le département de biologie, de l'Université de Mostaganem. Les différentes méthodes de réhabilitation des diverses pathologies rencontrées sont présentées en détail en premier lieu en passant par les fissures des murs, des escaliers ainsi que le traitement des moisissures.

Une conclusion générale donnant une idée globale sur la réhabilitation des Ouvrages en Génie Civil. Ce modeste travail servira comme une bibliographie pour pallier aux pathologies similaires présentes dans le bloc étudié. De même, ce travail incite d'autres étudiants à s'intéresser à rendre vie aux différents bâtis détériorés en Algérie.

Chapitre I

Les différents types de pathologies des ouvrages en Génie Civil

I.1. Introduction :

Avant, pendant et après la mise en place du béton, de nombreux phénomènes se produisent et les conditions dans lesquelles il se déroule affectent directement la durabilité du béton.

Le système chimique qui caractérise le béton donne un milieu fortement basique avec un pH de 12,5 à 13,5. Ce système est en déséquilibre avec le milieu environnant, où le pH est généralement beaucoup plus bas. Ce déséquilibre favorise de multiples formes d'agressions chimiques. L'eau est le premier vecteur d'agression : pluie, neige, eaux souterraines, eau de mer. Cette eau chargée de produits chimiques agressifs (chlorures, sulfates, gaz carbonique...) pénètre dans le béton au moyen de réseaux de minuscules capillaires qu'ils traversent dans la masse ou par des fissures. Il y a donc un facteur qui joue un rôle majeur dans la durabilité : c'est la porosité capillaire du béton durci.

Plus le béton est poreux, plus il est sensible aux agressions extérieures, synonymes d'altération et donc de dégradation de la durabilité, mais le béton possède aussi des mécanismes de défense, à travers ses couches protectrices, si les doses sont suffisantes et la compacité élevée, les risques d'altération sont relativement faibles [2].

I.2. Définition de la pathologie :

Science objective et systématique des maladies en vue d'en trouver le traitement. Elle formule les lois, désigne la terminologie, identifie et classe les causes, Retraced le processus, énumère les symptômes. C'est l'établissement d'un dictionnaire des maladies.

Pathologie des ouvrages en Génie Civil : problèmes liés aux matériaux, à la conception, à l'exécution etc. ...

I.3. Les différents types de pathologie des ouvrages en Génie Civil :

Dans cette partie on se concentre sur les principales pathologies du Génie Civil. Ces pathologies ont des causes et des conséquences différentes. Elles sont énumérées ci-dessous

I.3.1. Une malfaçon :**I.3.1.1. Définition :**

Une malfaçon en particulier, c'est un défaut d'exécution des travaux dus à un manque d'expérience ou à la négligence de l'entrepreneur.

Qu'il s'agisse d'une construction neuve, d'une rénovation, d'une extension, d'une maison unifamiliale, ou d'un appartement, les professionnels du bâtiment sont tenus de donner une garantie pour les travaux qu'ils ont exécutés directement ou fait exécuter [3].

I.3.1.2. La responsabilité :

La responsabilité incombe à la personne ou l'entreprise qui accepte la commande. Les constructeurs des bâtiments sont responsables de sa solidité et faites-le correspondre à son utilisation prévue de 10 ans.

Dans le cadre de la construction d'une maison individuelle, le client final doit bénéficier d'une assurance "dommages aux travaux", qui s'appliquera en cas de malfaçon [3].

I.3.1.3. Les causes de malfaçon :

- Erreur d'exécution de réalisation par rapport au plan.
- Erreur de métrage.
- Mauvaise installation des ouvertures ou des évacuations.
- Mauvais dimensionnement des fouilles,
- Non-respect des profondeurs pour les VRD, montage maçonnerie inégal.
- Mauvaise Installation des cadres de porte, dalles de béton fissurées, etc... [4].

I.3.1.4. Les conséquences de malfaçon :

- L'apparition d'humidité résultant d'une mauvaise exécution de la construction.
- Danger pour la sécurité des personnes.
- Risque d'effondrement du bâtiment [5].

I.3.2. Les fissures :**I.3.2.1. Définition :**

La fissuration, qu'elle soit à l'intérieur ou à l'extérieur du mur porteur, est encore fréquente et demeure un phénomène courant et particulièrement grave dans les bâtiments. Les fissures sont souvent progressives et peuvent nécessiter une réparation. Dans ce cas, l'expert

immobilier est le mieux placé pour définir l'origine réelle et déterminer le résultat qui en résulte [3].

I.3.2.2. Les différents types de fissures :

a) Les microfissures :

Les microfissures ce sont des petites fissures inférieures à 0,2 mm. On peut distinguer les microfissures de retrait, qu'on retrouve surtout au niveau des articulations. Mais encore les microfissures horizontales ou verticales, qui révèlent davantage un problème d'humidité. Généralement bénignes, il est recommandé de mesurer l'évolution avant l'occlusion [6].

b) Faïençage :

Le faïençage c'est une fissure superficielle. Comme son nom l'indique, il est présent dans les revêtements muraux et forme de petites fissures inférieures à 1 mm. Cette petite fissure n'existe qu'en surface et ne présente aucun danger pour le bâtiment [6].



Figure I.1 : Faïençage dans un enduit de façade, avec un réseau de microfissures [7].

c) Fissures en moustache :

Les fissures en moustache sont des fines fissures linéaires de 0,2 à 2 mm qui naissent des angles des ouvertures telles que les fenêtres et les portes, révélant les faiblesses de la maçonnerie dans la position du support [6].



Figure I.2 : Fissure en moustache particulièrement grave. Ce type de fissure est clairement la preuve d'une maçonnerie pas adaptée à la menuiserie. La présence d'une fissure horizontale (sur la gauche de l'image) laisse à penser à de graves malfaçons [7].

d) Fissures verticales :

Les fissures verticales, même fines et linéaires, se trouvent souvent aux angles du bâtiment. Leurs causes peuvent être différentes, même si on relève souvent un problème de fondations [6].



Figure I.3 : Fissure verticale dans un crépi de façade. L'épaisseur de la fissure peut laisser penser à un problème structurel [7].

e) Fissures horizontales :

Les fissures horizontales retrouvent au niveau du sol ou sur le plancher. Elles trouvent généralement leur origine dans le phénomène de retrait-gonflement des matériaux utilisés [6].



Figure I.4 : Fissure horizontale, rebouchée à l'aide d'enduit de réparation, suite à la correction de défauts de maçonnerie [7].

f) Fissures en escalier :

Les fissures supérieures à 2 mm doivent être prises au sérieux. Ils sont accompagnés de joints de pose qui élargissent le mouvement des briques, créant un « escalier ». Ils sont généralement un signe d'un tassement du sol d'assise des fondations d'une maison [6].



Figure I.5 : Fissure en escalier assez profonde, sur la façade d'une maison. La fissure suit clairement le joint des briques [7].

g) Fissures traversantes :

Les fissures traversantes ont pour la propriété de traverser à la fois le revêtement extérieur d'une maison, que le matériau de construction. De par leur gravité, elles sont souvent dues à des défauts structurels [6].



Figure I.6 : Exemple de fissure traversante. L'enduit est tombé autour de la fissure, laissant voir que cette dernière traverse également la brique. La présence d'humidité laisse comprendre que le mur souffre de capillarité [7].

h) Fissures lézarde :

Les lézardes sont les fissures les plus graves. Véritables fissures, elles font plusieurs millimètres de large. Leur apparence est le plus souvent due à un sol instable, un choc comme un tremblement de terre, ou une malfaçon lors la construction d'une maison [6].



Figure I.7 : La lézarde est une fissure profonde et visible de loin. Ici, on aperçoit une lézarde de plusieurs centimètres de largeur [7].

I.3.2.3. Les causes des fissures :

Les causes des fissures dans les murs d'un bâtiment sont différentes. Le sol de fondation peut, au cours du temps, subir un tassement relié à un agrandissement de la charge structurelle (hausse des étages, concentration de charges ou de machines lourdes sur des points spécifiques à l'intérieur du bâtiment). De plus, la détérioration des caractéristiques géotechniques du sous-sol à cause d'une sécheresse.

Tous ces phénomènes entraînent un tassement du sous-sol et par conséquent, un affaissement des murs du bâtiment. Les fissures sur les murs à l'intérieur ou à l'extérieur des ouvrages sont directement liées aux tassements des murs [3].

I.3.2.4. La solution :

L'intégration des fondations et du sous-sol est d'une importance fondamentale pour la solution finale de l'affaissement du bâtiment qui provoque la fissuration des murs. En solidifiant le sol sous-jacent, la zone de charge statique peut être renforcée. Cette mesure intervient directement sur la cause du problème et évite les problèmes ultérieurs [3].

I.3.3. L'humidité :**I.3.3.1. Définition :**

L'humidité peut se former sur tous composants d'une structure, allant du sol au plafond, comme par exemple une cloison intérieure. L'humidité implique la survenue d'autres désordres, qu'il est possible d'éviter, grâce à l'application de quelques conseils pratiques [3].

I.3.3.2. Manifestations de l'humidité :

L'humidité, lorsqu'elle se forme sur la cloison intérieure d'une maison où d'un appartement, peut revêtir différentes formes :

- Taches d'humidité.
- Champignons.
- Moisissures.
- Salpêtre.
- Décollement des revêtements muraux.

La formation d'humidité sur la partie intérieure de l'habitation est synonyme de danger pour le bâtiment, ainsi que pour la santé des habitants. Tout problème d'humidité, quelle qu'en soit la

forme ou l'origine, entraîne des maladies respiratoires chez les habitants concernés (allergie respiratoire) [3].

I.3.3.3. Les différents types de l'humidité :

a) L'humidité ascensionnelle :

Elle est située au niveau du sol et peut être identifiée par des taches, des planches écaillées ou de la peinture fraîche. Une humidité élevée résulte souvent d'une vieille fondation qui absorbe l'eau du sol et n'a pas de barrière contre l'humidité. Elle est traitée en injectant des murs ou en réalisant des rainures pour appliquer une nouvelle membrane étanche [8].



Figure I.8 : L'humidité ascensionnelle [9].

b) L'infiltration d'eau :

Les fuites d'eau sont faciles à repérer : les points humides sont clairement visibles sur les murs. Les infiltrations se retrouvent souvent dans les bâtiments anciens où le revêtement mural est devenu poreux au fil des ans. Pour résoudre ce problème, soit vous imperméabilisez les murs, soit vous posez un nouveau revêtement de façade [8].



Figure I.9 : L'infiltration d'eau [10].

c) L'humidité de condensation :

L'humidité de condensation est principalement due au manque de ventilation. Il peut être identifié par des taches de moisissure et d'humidité dans la salle de bain, la cuisine ou la chambre. La vapeur d'eau est mal évacuée puis se dépose sur les parois, ce qui entraîne de la condensation. Pour résoudre ce problème, il vous suffit de bien ventiler votre logement. Cela peut se faire naturellement ou mécaniquement [8].



Figure I.10 : L'humidité de condensation [11].

d) L'humidité des fuites :

La détection des fuites n'est pas toujours facile et les résultats ne sont pas souvent immédiatement visibles. Si vous ne trouvez pas la cause de la fuite, veuillez contacter un spécialiste qui saura vous aider et vous proposer la solution adaptée. Il identifie les problèmes d'humidité à l'aide d'un humidimètre spécifique [8].



Figure I.11 : L'humidité des fuites [12].

e) L'humidité de construction :

Cela peut prendre un an ou plus pour qu'une maison sèche complètement et peut avoir de graves conséquences si elle n'est pas traitée. Elle peut être identifiée par le plâtre qui sort ou par la moisissure qui apparaît. Pour résoudre ce problème, vous pouvez utiliser un déshumidificateur et ventiler votre maison autant que possible [8].

I.3.3.4. Les causes d'humidité :

- **Mauvaise ventilation** : L'humidité n'est pas évacuée correctement, ce qui entraîne, entre autres, de la condensation, de la moisissure, etc.
- **Infiltration d'eau** : L'eau pénètre par une fissure dans le mur ou par la pression hydrostatique dans les fondations.
- **Les remontées capillaires** : L'eau dans le sol monte à travers les capillaires du mur.
- **Les causes accidentelles** :
 - Dégât des eaux suite à un problème de plomberie.
 - L'inondation a une cause naturelle [3].

I.3.3.5. Les conséquences de l'humidité :**Dégradations de matériaux :**

La déformation et la diminution de la résistance mécanique des matériaux sont subit par l'humidité.

La rouille :

Sous l'influence de l'humidité, les métaux rouillent, gonflent et cassent. La rouille provoque une grave diminution de la résistance, un découlement du béton et des marques disgracieuses.

Cassure des matériaux :

Le matériau est chargé d'eau. Sous l'action du gel, l'eau se transforme en glace et gonfle lorsqu'elle gèle et provoque explosion des matériaux.

Apparition de végétaux :

Les végétaux apparaissent à la surface du matériau sous forme de lichens, de moisissures ou encore d'algues [13].

I.3.3.6 La solution :

- Pour lutter contre la condensation et améliorer votre système de ventilation on installe le VMS simple flux ou double flux.
- Une seringue de résine dans le mur pour lutter contre les remontées capillaires et les fuites d'eau.
- Système de drainage pour nettoyer votre fondation en permettant à l'eau de pluie de s'écouler.
- Installation de traitement de surface hydrofuge [3].

I.3.4. Désordre de carrelage :**I.3.4.1. Définition :**

Fissures, pelage, étirement, etc. Les carreaux peuvent causer beaucoup de désagréments. Ils ont souvent des qualités purement esthétiques. Cependant, ces pépins sont également le signe de problèmes plus graves pouvant affecter la durabilité de la structure [3].



Figure I.12 : Désordre de carrelage [14].

I.3.4.2. L'origine des désordres :

- Mauvaise exécution.
- Déformation de la dalle ou de la chape.
- Mauvaise préparation de la colle.
- Manque de joints de dilatation, selon les régions, ou par joints de souple [3].

I.3.4.3. Conséquence de désordre :

- **L'aspect de l'ouvrage :**

Les efflorescences et les taches de rouille résultant de la pénétration d'agents agressifs dans le revêtement de béton modifient l'aspect de l'ouvrage. Le chef d'entreprise considère parfois ce point comme peu important. En revanche, c'est la fissuration du béton qui commencent à inquiéter le gestionnaire, car des éclats de béton peuvent se produire.

- **La sécurité vis-à-vis des usagers :**

Les blocs de béton représentent un danger pour les personnes marchant à proximité de la structure. Par conséquent, sa prévention et son élimination doivent être abordées avec prudence.

- **La stabilité de la construction :**

Les essais effectués sur les échantillons ont permis d'estimer les valeurs des forces d'adhérence des éléments en béton dont l'armature est érodée.

Il apparaît que ni la qualité du béton ni le rapport enrobage/diamètre d'armature n'ont d'effet sur la résistance résiduelle de l'adhérence, même si l'enrobage est fissuré par corrosion de l'armature sans être détruite par sautage.

Concernant les moments fléchissant et les efforts tranchants, les recherches expérimentales se sont concentrées sur l'effet de la corrosion sur ces grandeurs mécaniques. Il a montré que pour prédire de manière conservatrice le comportement des éléments en béton armé, il suffit d'appliquer des modèles de calcul classique, prenant en compte la section miniature de l'armature ainsi que la section miniature du béton.

Ainsi, tant que les réductions de section des armatures restent faibles et que le revêtement reste homogène, l'érosion de ces armatures ne modifie pas significativement la résistance au couple de flexion ou aux efforts tranchants.

Mais lorsque la corrosion atteint un stade avancé, des calculs plus précis doivent être effectués pour évaluer la résistance résiduelle de la structure [1].

I.3.4.4. La solution :

- Appliquer de l'enduit : résultat rapide et efficace.
- Remplacement de carrelage.
- Pour une mise en œuvre parfaite on fait appelle une main d'œuvre compétent [15].

I.3.5. La corrosion :**I.3.5.1. Définition :**

C'est une dégradation chimique ou électrochimique entraînant la dégradation du matériau. On distingue trois types de corrosion : la corrosion corrosive, électrochimique et microbienne [16].

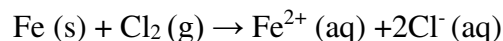
I.3.5.2. Origine et classification de la corrosion :

Le comportement à la corrosion d'un matériau dépend de plusieurs paramètres. :

- Composition chimique et microstructure du métal.
- La composition chimique de l'environnement.
- Paramètres physiques (température, convection, rayonnement, etc.)
- Charge mécanique [17].

I.3.5.3. Causes de la corrosion :

Il existe deux facteurs principaux dans l'apparition de la corrosion du béton armé. Premièrement, il y a la carbonatation du béton. Lorsque le pH du béton descend en dessous de 9, l'armature n'est plus passivée.



Un autre facteur est le chlorure, donc la passivation se produit lorsque la teneur en chlorure au niveau des armatures dépasse un certain seuil. Ce seuil s'est avéré correspondre à une teneur en ciment de 0,4 % en poids [1].

I.3.5.4. Les facteurs de la corrosion :

- **La corrosion par les eaux :**

Déterminer la nature de l'eau en contact avec les métaux peut être très utile pour les raisons suivantes : Les eaux agressives, sa faible teneur en minéraux ; elles sont donc plus corrosives que les eaux incrustantes, elles ne favorisent pas la formation d'un dépôt protecteur.

- **La corrosion atmosphérique :**

Lorsque l'humidité dépasse 30%, l'atmosphère devient corrosif. La corrosion dépend également fortement des atmosphères rurales, industrielles ou marines agressives.

- **La corrosion par les sols :**

Les sols sont loin d'être des milieux homogènes, ils présentent en effet d'un site à l'autre des propriétés très diverses [17].

I.3.5.5. Les conséquences de la corrosion :

La formation d'oxydes et d'hydroxydes de fer, communément appelée rouille, augmente considérablement le volume aux dépens du métal d'origine. Les produits de corrosion de l'armature abondent, provoquant une dépression dans l'enrobage de béton, qui se délaminent ensuite le long de l'armature (comme c'est le cas avec le béton carbonisé), ou pire, la corrosion par solvant ou par piqûres élimine l'armature, avec peu ou pas de performance apparente de finition (dans le cas du béton chloré). La rouille due à la corrosion des barres d'acier peut endommager le béton car il s'agit d'un produit très expansif. Selon l'état d'oxydation, le fer métallique peut former des oxydes jusqu'à 6 fois le volume d'origine [7].



Figure I.13 : Corrosion des armatures par carbonatation [18].



Figure I.14: Corrosion par piques liées aux chlorures [18].

I.3.5.6. La lutte contre la corrosion :

La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements à leur maintenance quotidienne. Bien que les moyens à mettre en œuvre soient variés et dépendants des cas d'utilisation particuliers, le but recherché est d'arrêter la dégradation des équipements afin d'augmenter leur durée de vie. Les différents moyens d'anti-corrosion sont :

- La protection électrochimique.
- Protection par revêtements.
- Protection par des inhibiteurs.
- Prévention par une forme adaptée des pièces.
- Prévention par le choix du matériau [17].

I.3.5.7. Les étapes de réparation du béton armé dégradé par la corrosion :

1. Eliminer des zones dégradées.
2. Traiter les armatures corrodées (sablage, brossage et soufflage).
3. Remplacer des armatures fortement corrodées.
4. Protection des armatures.
5. Renforcer les armatures dont la section à diminuer par le rajout de nouvelles barres.
6. Coffrage, Reconstitution de l'enrobage et une bonne cure après le décoffrage de la réparation [19].

I.3.6. Le sulfate :

I.3.6.1. Définition :

Le sulfate est l'un des principaux composants des composés qui se dissolvent dans l'eau de pluie. Des concentrations élevées de sulfate dans l'eau potable, en combinaison avec les deux principaux composants de la dureté de l'eau, le calcium et le magnésium, peuvent fournir un puissant effet laxatif. Les sulfates peuvent être attaqués par des bactéries, qui sont réduites en sulfure d'hydrogène (H₂S) [20].

I.3.6.2. Réaction par les sulfates :

Les sulfates sont des éléments chimiques qui peut attaquer le béton, leurs origines sont diverses : interne en dominant dans le béton sain ; ou externe en venant du milieu extérieur environnant. En effet, les sulfates de sodium est l'un des sels les plus nuisibles qui sont très solubles et qui entraînent la formation de gypse et l'étrangéité expansive. Le sulfate de magnésium est le plus dangereux et responsable des attaques sulfatées, et les sulfates de calcium sont également issus de gypse (régularisé de prise) mais ils sont peu solubles. L'attaque de surface s'accompagne du dépôt de produits sulfatés dits « secondaires », dont la formation se fait après hydratation du ciment, dilatation importante et dégradation mécano-chimique (modification des propriétés de transport et de porosité, création de fissures, perte de résistance et cohésion). Ceci conduit à la destruction de la matrice cimentaire, à terme dans une certaine mesure selon l'attaque (nature, teneur et concentration de sulfate en contact) et le ciment utilisé [21].



Figure I.15 : Pathologie des pieux due à l'attaque surfacique (eaux agressives) [22].

I.3.6.3. L'origine des Sulfates :

Les sulfates peuvent provenir de différentes sources :

a) Sources intérieures :

- Ils peuvent provenir de modificateurs de prise ajoutés au ciment (gypse, hémihydrate, anhydrite) dans des proportions variables.
- Sulfates contenus dans le clinker lui-même : sulfates alcalins (Austénite K_2SO_4 , hémite Na_2SO_4) et solutions solides dans le silicate de calcium [23].
- Ils peuvent également résulter de l'utilisation d'eau agrégée ou mélangée contaminée par des sulfates naturels ou artificiels [24].

b) Sources externes :

- Action des eaux souterraines sulfatées, les concentrations les plus élevées sont généralement dues à la présence de sulfate de magnésium ($MgSO_4$) ou de sulfates alcalins (K_2SO_4 ; Na_2SO_4).
- Influence de l'eau de mer (contenant 2,2 g/l de $MgSO_4$);
- Action de remblais ou de sol contenant des sulfates (ex : remblais composés de schiste houiller) ;
- L'effet des pluies acides transportant le dioxyde de soufre contenu dans l'atmosphère.
- En milieu industriel et urbain, l'atmosphère peut contenir du dioxyde de soufre SO_2 issu des gaz de combustion (carbone, combustibles divers). En présence d'humidité ces gaz sont susceptibles de s'oxyder pour donner de l'acide sulfurique très agressif [25].

I.3.6.4. Les Produits Résultants de l'attaque :

Selon la concentration de sulfate dans l'eau, le pH ambiant et la température, trois types de composés peuvent se former : l'ettringite, le gypse et La THAUMASITE.



L'effritement et l'efflorescence



Dommages causés par la thaumasite

Figure I.16 : Exemples des structures dégradées attaquées par les sulfates [26].

I.3.6.5. Les conséquences des réactions Sulfatiques :

Les mécanismes complexes d'attaque des sulfates peuvent conduire aux différents modifications chimiques et physiques dans le béton.

a) Les modifications chimiques :

Ils peuvent inclure les éléments suivants :

- Élimination du Ca^{2+} dans certains produits d'hydratation (ex : décomposition de l'hydroxyde de calcium et du C-S-H ou des deux);
- Changements anormaux de la composition de la solution interstitielle ;
- Formation de silice hydratée (gel de silice);
- Dissolution des minéraux non hydratés dans le clinker ;
- Décomposition des produits d'hydratation préalablement formés ;
- Formation d'ettringite (supérieure à celle formée à partir du sulfate d'origine ciment), plâtre et traumatologie.
- Formation des composés contenant du magnésium tels que des hydroxydes Magnésium (brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$) et silicate de magnésium hydraté ;
- Recristallisation répétée à partir de sulfate de sodium anhydrite (sel de Glauber- Na_2SO_4) en / à partir de sulfate de sodium déca-hydraté (mirabilite $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
- Les espèces ioniques pénètrent dans le béton et forment ensuite et
- Cristallisation de sels tels que NaCl , K_2SO_4 et MgSO_4 [25].

b) Les modifications physiques :

Les changements physiques visibles sont le résultat des changements chimiques décrits ci-dessus et peuvent inclure :

- Réorganisation complète de la structure des pores et de la microstructure solide entraînant une augmentation de la porosité et de la perméabilité ;
- Expansion volumique et génération de microfissures ;
- Formation de tout ou partie d'arêtes ou d'interstices autour des particules de granulats (fissures de dilatation collées) ;
- Décollement de surface, délaminage, fissuration et altération ;
- La pâte devient molle entraînant une diminution de la dureté ;
- Dépôt de sel en surface et fissures d'écaillage ;
- Perte de résistance mécanique, ce qui signifie une diminution du module élastique [26].

I.3.7. Érosion du béton :**I.3.7.1. Définition :**

Le béton reste un matériau qui peut être fragilisé par l'environnement malgré sa résistance mécanique. 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 simplifie la pénétration des agents agressifs.

Perte de matière due au frottement entre solides et liquides contenant des particules solides en suspension et en mouvement [27].

**a) Béton sans érosion****b) Béton avec érosion****Figure I.17 : Érosion du béton [27].**

I.3.7.2. Les deux types d'agression par les produits chimiques :

Face à l'agression de produits chimiques le béton peut être résistant ou se dégrader plus ou moins rapidement. S'il y a des dommages, il existe essentiellement deux types :

a) L'érosion chimique :

La déformation du béton due à la corrosion chimique se produit lorsque l'un des composants de la pâte ou du granulats de ciment est dissous par un produit chimique externe. Cela lixiviera le composant fondu. Le béton devient de plus en plus poreux et perd de la matière, mais il a aussi un effet protecteur et renforçant. Ce processus commence à la surface, qui est toujours en contact avec des produits chimiques, puis pénètre (généralement lentement) dans le béton.

b) Le gonflement :

L'altération du béton par gonflement fait suite à la combinaison, à l'intérieur du béton qui pénètrent depuis la surface, la composition du coulis et l'eau dans les capillaires. Lorsque cette combinaison produit un composé solide avec un volume plus important que les composants de départ, une pression interne se développe, ce qui provoque l'expansion du bloc avec une fissuration lente mais importante.

I.3.7.3. Mesures préventives :

La protection spécifique contre l'agression extérieure nécessite dans un premier temps les mesures suivantes :

- Sélection correcte du ciment et dosage approprié.
- Mettre en œuvre un béton dense, à faible porosité, à faible rapport eau-ciment $\leq 0,50$.
- Revêtement de renfort suffisant (peut fournir une épaisseur supplémentaire appelée "couche sacrificielle").
- Guérir soigneusement le béton.
- Application des textes normatifs et recommandations [28].



Tenue correcte

Mauvaise tenue-granulat
siliceux

Mauvaise tenue-granulat
calcaire

Figure I.18 : exemple de béton soumis à une attaque acide [28].

I.3.8. La carbonatation du béton :

I.3.8.1. Définition :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel impliqué dans tout béton. Elle correspond à un composé de béton durci, LA PORTLANDITE, qui se transforme progressivement en calcite au contact du gaz carbonique contenu dans l'air et en présence d'humidité. Cette transition s'accompagne d'une diminution du pH (pH du béton sain Autour de 13), il constitue un milieu protecteur du renfort et permet la formation d'une couche d'oxyde passivant. L'une des majeures conséquences de la carbonisation est de favoriser la corrosion des matériaux de renfort, lorsque les fronts de carbonisation les atteignent [23].



Figure I.19 : Éclatement du béton d'enrobage à cause de la carbonatation [29].

I.3.8.2. Facteurs influents sur la carbonatation :

La réaction de carbonatation se produit à une vitesse décroissante de l'extérieur vers l'intérieur du béton, en fonction des caractéristiques du béton (porosité, type de ciment, etc.) et de l'humidité liée de l'environnement. La teneur en dioxyde de carbone atteint son maximum à une humidité de 40% à 80%, 60% étant la valeur la plus importante.

Teneurs élevées, en cendres volantes (>30%) et en laitiers (>50%) dans un béton. Peut accélérer considérablement son taux de carbonatation. Après environ 30 ans, la profondeur de carbonatation du béton peut généralement varier de 1 mm à 30 mm, selon le béton et son environnement. Effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO₂ pour différents rapports C/E comme le montre la figure I.20.

- Diffusion rapide du CO₂ dans le béton.
- Rapport eau-ciment très élevé, ce qui signifie que la porosité du matériau de surface est trop élevée.
- Conditions de cure : étudier l'effet de la cure du béton sous l'eau. Les résultats de leurs tests de carbonatation accélérée ont montré que le béton laissé sous l'eau pendant 1, 3, 5, 7 et 28 jours avait un taux de carbonatation de 66, 53, 42, 39 et 17 %, respectivement, par rapport au durcissement à l'air.
- Passage des fissures : Elles accélèrent également le transport du dioxyde de carbone.

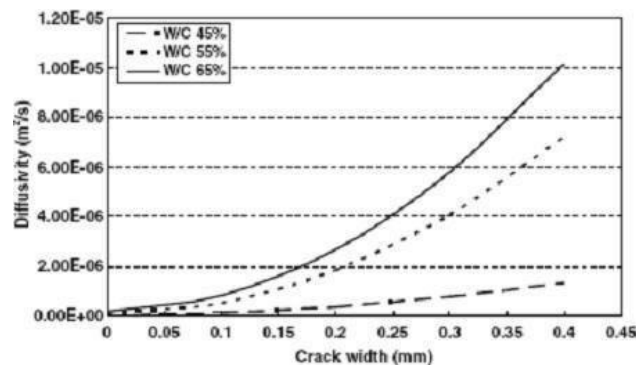


Figure I.20 : effet de l'ouverture moyenne de fissure sur la diffusion de CO₂ pour différents rapports C/E [23].

- Un enrobage insuffisant.
- Une humidité relative suffisante [30].

I.3.8.3. Conséquences de la carbonatation :

La principale conséquence de la carbonisation est l'apparition du phénomène de corrosion des armatures dans l'acier ou le béton précontraint lorsque les fronts de carbonisation sont au moins égaux à leur profondeur de recouvrement. Le désordre associé correspond alors essentiellement à la fissuration et à l'écaillage (décollement du béton de couverture) après dilatation due à la formation d'oxydes et d'hydroxydes de fer sur l'armature. Celle-ci peut alors présenter une réduction importante de section, voire une rupture en phase finale, avec des conséquences graves sur la capacité portante de l'élément de structure.

Une conséquence secondaire du phénomène de carbonatation correspond à une densification de la zone carbonatée par rapport au béton sain. Cette densification, qui ne revêt aucun caractère pathologique, peut, dans certaines conditions, conduire à une diminution relative de 10 à 15 % de la porosité de la zone carbonatée, formant ainsi une barrière diffusion elle limitant les phénomènes de transfert [31].



Figure I.21 : Conséquences de la carbonatation [31].

I.3.8.4. Comment mesurer la carbonatation de façon simple ? :

Cette mesure de profondeur de carbonatation a été réalisée sur du béton fraîchement coupé. Après dépoussiérage, pulvériser le colorant sensible au pH phénolphtaléine. Il vire au rouge violacé au contact de matériaux dont le pH est supérieur à 9,2 et reste incolore à pH bas (c'est-à-dire dans la zone de carbonatation).

L'essai doit être réalisé à l'échelle de la structure, en plusieurs points de mesure représentatifs, en tenant compte des conditions locales d'exposition et de l'éventuelle hétérogénéité des matériaux. Ce test permet une mesure fiable et rapide de la profondeur de

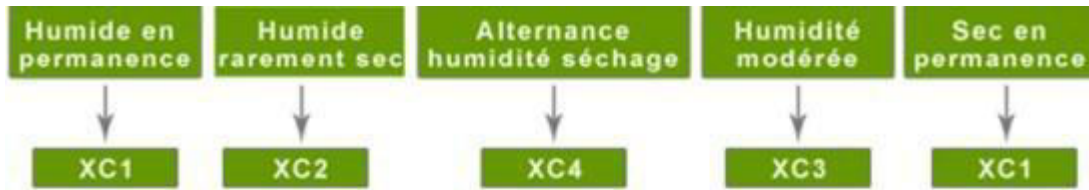
carbonatation dans le cadre de diagnostics structurel. Il s'agit d'autres techniques de mesure de la profondeur de carbonatation plus précises mais plus lourdes à mettre en œuvre. Par exemple, la microscopie optique en coupe mince, les méthodes isotopiques et même la microscopie électronique à balayage [31].



Figure I.22 : mesurer la carbonatation [31].

I.3.8.5. Comment s'en prémunir et comment la prévoir ?

Pour une condition d'exposition donnée, la cinétique de carbonatation du béton est liée à sa porosité et donc à ses propriétés mécaniques, ces deux paramètres étant étroitement liés. Ainsi, pour les bétons de résistance en compression supérieure ou égale à 50 MPa à 28 jours, comme notamment le BHP, les cinétiques de carbonatation sont très faibles. Dans cette optique, la norme européenne EN 206-1 fixe des paramètres de formulation (quantité de liant, rapport eau/liant) et des classes de résistance minimales pour que le béton se comporte de manière durable vis-à-vis de la corrosion par carbonatation des bétons d'armature. La norme définit quatre classes d'exposition, notées XC1 à XC4, dont l'agressivité dépend de l'humidité et de la présence de cycles d'humidification/séchage [31].



Classe d'exposition	Carbonatation			
	XC1	XC2	XC3	XC4
E/C maxi	0.65	0.60	0.55	0.50
Classe de résistance minimale	20/25	30/37	30/37	35/45
Dosage mini en ciment (kg/m ³)	260	280	280	300

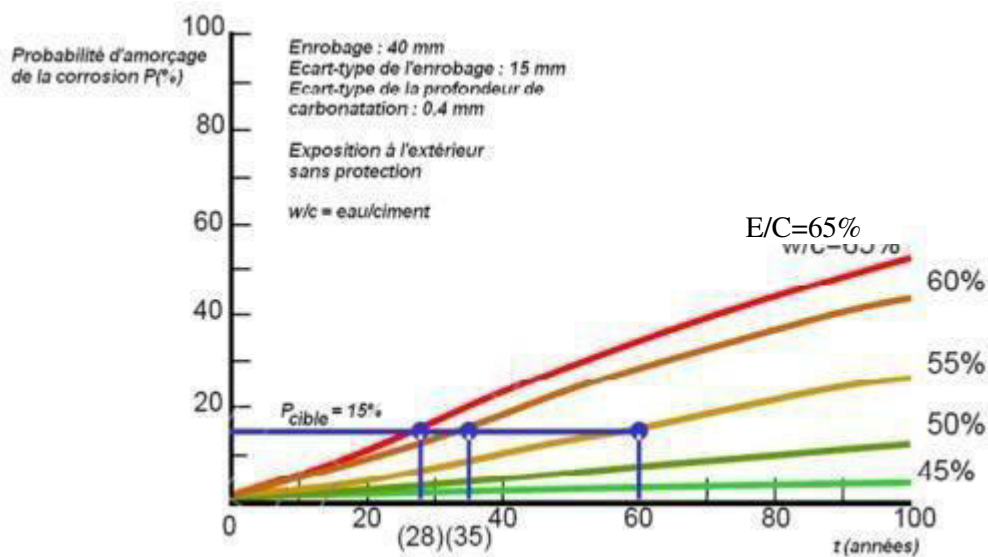


Figure I.23: Probabilité d’amorçage de corrosion suite à la carbonatation en fonction de E/C [32].

I.3.9. Retrait :

I.3.9.1. Définition :

Le retrait correspond à des changements dimensionnels, incluant des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise du béton. S'ils ne sont pas maîtrisés par la présence de renforts ou de joints, ces changements dimensionnels entraînent l'apparition de fissures précoces et les ouvertures qui en résultent. Les fissures de retrait doivent être distinguées du phénomène des fissures fonctionnelles dans les structures. Cette dernière est généralement

maîtrisée par des règles de calcul et reste compatible avec le bon fonctionnement de l'ouvrage dans le temps, notamment du fait des faibles ouvertures dans les fissures. Il existe quatre types de fissures à la surface de la feuille supérieure : le retrait plastique, le retrait à sec, le retrait thermique et le retrait par dessiccation [3].

I.3.9.2. Les types de retrait :

a) Le retrait plastique :

Le retrait plastique est associé aux déformations provoquées par le dépôt généralisé de béton frais, déformations qui peuvent être obstruées et créer des fissures superficielles au droit des obstructions telles que les armatures par exemple (Figure suivante.). Ce retrait est limité à la période précédant la prise des bétons, lorsque le béton est encore suffisamment déformable pour se tasser [31].

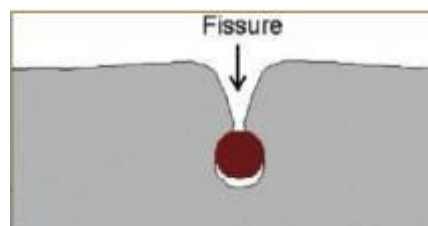


Figure I.24 : Représentation schématique du retrait de ressuage [31].

b) Le retrait de dessiccation :

Le retrait de dessiccation est lié au séchage qui se produit avant, pendant et après la prise du béton. Dans les conditions actuelles, elle est de l'ordre de 1 mm/m. Les fissures qui en résultent (figures 1-25) sont dues à la dépression capillaire qui se produit lorsqu'un ménisque d'eau se forme dans les pores capillaires du béton frais. Ce retrait, qui se produit de manière continue avec l'évaporation de l'eau, peut apparaître quelques minutes après la construction du béton et se poursuivre après plusieurs semaines, ce qui est régi par la cinétique de dessiccation. [31].



Figure I.25 : Retrait plastique à la surface d'une dalle en béton armé [31].



Figure I.26 : Ouverture importante des fissures de retrait [31].

c) Le retrait thermique :

Le retrait thermique est associé au retour à température ambiante d'une pièce en béton préalablement élevée en température du fait de la réaction exothermique d'hydratation du ciment. Ce retour à température ambiante s'accompagne d'un retrait qui crée une déformation préventive tendant à conduire à des phénomènes de fissuration. Ce type de retrait, qui ne concerne que les pièces d'épaisseur supérieure à 60 à 80 cm, se produit de quelques dizaines d'heures à plusieurs semaines après la mise en œuvre, et sa durée dépend des propriétés des éléments. Plus la pièce est grande, plus la thermo-rétraction est lente) [31].

d) Le retrait d'auto-dessiccation :

Le retrait d'auto-dessiccation est associé au retrait du béton lors de l'hydratation et empêche tout échange d'eau avec le milieu environnant. Il provient en fait du phénomène d'auto-dessiccation de la pâte de ciment après retrait Le Chamelier (le volume d'hydrate formé est inférieur au volume d'eau et de ciment anhydre initial). Le phénomène qui provoque le retrait est dû à des tensions capillaires internes, similaires à celles responsables du retrait plastique. Le dernier type de retrait concerne surtout les bétons à hautes performances (BHP) ou à ultra hautes performances (BTHP). Peut être ignoré avec du béton normal.

Ces quatre types de retrait peuvent être combinés à l'échelle d'un même béton (on parle alors de retrait total comme la somme des différents retraits).

Enfin, le retrait d'auto-séchage et le retrait thermique sont liés à la qualité du béton, tandis que les deux autres sont liés au périmètre de l'élément en béton. Il existe également un cinquième retrait, le retrait de carbonisation, pour lequel il n'y a pas encore beaucoup de données

expérimentales. Ce retrait est lié à la réaction de carbonatation des composants du ciment [31].

I.3.9.3. Les conséquences du retrait :

Dans tous les cas, la conséquence essentielle du retrait est l'apparition de phénomènes de fissuration (Figure 27 et 28), qui diminuent la durabilité des ouvrages en béton armé ou précontraint et limitent leur capacité portante, notamment dans le cas des performances de masse. Une telle fissuration peut avoir pour conséquence de limiter l'adhérence entre les matériaux apportés en surface (par exemple les enduits) et le support en béton. L'effet de la fissuration sur la durabilité des ouvrages en béton en raison de la cinétique de pénétration accrue des agents érosifs présents aux alentours, par les fissures ouvertes dans les panneaux. Ainsi, la figure 3 montre l'effet d'une fissuration à surface ouverte sur un mur en béton armé affecté par le phénomène de retrait plastique. En dehors des fissures, la profondeur de carbonatation liée à la diffusion du dioxyde de carbone atmosphérique dans le béton est limitée à quelques millimètres de part et d'autre et aucun désordre n'est observé. D'autre part, le phénomène de carbonisation est accéléré le long des fissures sécantes, entraînant une corrosion des barres d'acier coupant les fissures [31].



Figure I.27 : profondeur de carbonatation hors fissures [31].

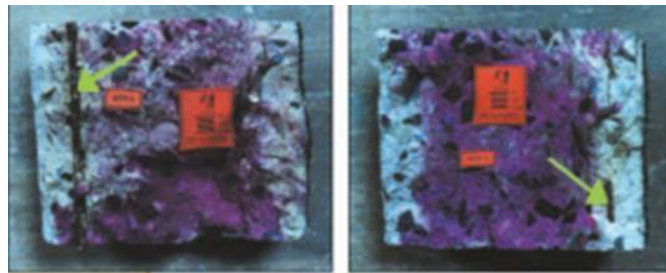


Figure I.28 : carbonatations de la longueur des fissures avec armature corrodée (soulignées par les flèches vertes) [31].

I.3.9.4. Comment éviter, réduire ou contrôler le retrait ?

Étant donné que la fissuration par retrait est causée par différents types de retrait, diverses précautions doivent être prises en compte. Par conséquent, il est d'abord nécessaire d'identifier un ou plusieurs types de contractions pouvant survenir avec une structure donnée. En optimisant la formulation du béton, les effets liés au retrait de ressuage peuvent être limités en termes de dosage de ciment, de dosage d'éléments fins et de taille maximale des granulats, ainsi qu'en maîtrisant la quantité d'eau de gâchage. Limitez les saignements. Dans

cette optique, l'utilisation de superplastifiants, associée à une étude approfondie des options de renforcement et de la géométrie des pièces, constitue la solution préventive de base.

Prévient les effets liés au retrait plastique du béton en limitant le séchage, c'est-à-dire l'évaporation de l'eau avant et pendant le durcissement.

Dans cette optique, la mise en place d'un durcisseur pour béton là où le risque d'évaporation est optimal (température ambiante élevée, vent) peut réduire le séchage. Le processus de durcissement peut correspondre au mouillage classique de la couche de finition, à la mise en place de la feuille de polyalkylène, voire à l'utilisation du produit durci. Le contrôle de la teneur en humidité des agrégats et des coffrages, l'utilisation de fibres et l'utilisation de petites quantités d'eau mélangée (à l'aide d'un réducteur d'eau) peuvent également réduire la fissuration associée au retrait plastique. La limitation des effets liés au retrait thermique peut être obtenue en utilisant des ciments à faible chaleur d'hydratation, tels que définis dans le critère NF EN 197-3. Protéger la surface de finition pour limiter le risque d'assèchement accentué par la qualité du béton à température élevée constitue une mesure préventive complémentaire efficace.

Enfin, la fissuration due au retrait d'auto-dessiccation peut être limitée en prenant en compte, dans le calcul, les contraintes engendrées, et en les maîtrisant par l'ajout d'armatures passives ou de précontrainte [31].

I.3.10. Alkali-réactions :

I.3.10.1. Définition :

Le phénomène de réaction alcaline est le résultat d'une réaction interne dans le béton, où les alcalis solubles (oxyde de sodium Na_2O et oxyde de potassium K_2O) dans les solutions invasives réagissent avec la silice, qui est couramment présente dans les granulats.

Les structures les plus exposées à l'humidité sont souvent en proie à des réactions alcalines. La formation de gel gonflant provoque des déformations et des microfissures à l'intérieur du béton.

La contrainte de ce gonflement provoque un délaminage entre la pâte et le granulat, et des microfissures apparaissent lorsque la résistance à la traction du béton est dépassée. Celle-ci se répercute en surface par les fissures vers l'armature [33].



Figure I.29 : Phénomène d'alcali réaction RAG rencontré [21].

I.3.10.2. Les différents types de réactions :

- Réaction Alkali-silice (ASR) (la plus fréquente).
- Réaction alcali-silicate.
- Réaction alcali-carbonate [30].

I.3.10.3. Typologie des désordres :

Plus précisément, les symptômes visuellement visibles ou mesurables de la réaction alcaline sont :

- Fissuration dans le sens des contraintes avant et après la mise en charge ou dans une partie de la structure fortement renforcée.
- Formation de cônes rompus lors du traitement de certaines essences à vitesse de réaction très rapide contenues dans des granulats à proximité du carénage.
- Macro-fissures dans les murs aux contours polygonaux.
- Exsudat gélatineux blanc (à ne pas confondre avec l'efflorescence calcaire).
- Réduction de la compression et de la résistance à la traction indirecte grâce à l'expansion -ASR.
- Rupture d'acier de passivation [30].

I.3.11. Fluage :**I.3.11.1. Définition :**

Déformation immédiate sous charge

Déformation retardée (progressive dans le temps).

Cette déformation retardée est appelée fluage [34].

I.3.11.2. Le fluage dépend :

- De la valeur de la force appliquée.
- Propriétés mécaniques du béton : notamment son module d'élasticité.
- Des conditions environnantes.
- Âge de chargement : plus le béton est chargé lentement, moins il aura de fluage [34].

I.3.11.3. Facteurs aggravants :

Le fluage du béton dépend fortement de sa composition.

- Teneur en humidité : le rapport E/C affecte l'amplitude de fluage.
- Granulats : Le béton à faible concentration de granulats est plus sensible au fluage.

En effet, seules les matrices à base de ciment provoquent une déformation retardée du béton (le granulats présente un comportement élastique et ne coule pas). C'est le cas, par exemple, du béton auto plaçant [34].

I.3.11.4. Principe de prévention :

La norme de conception Euro code NF EN 1992 définit la loi de déformation par fluage en fonction du temps et propose un abaque qui détermine le coefficient de fluage pour un temps infini en fonction des propriétés du ciment et du béton et de l'humidité ambiante.

Par conséquent, les effets possibles du fluage sont pris en compte lors de la conception de la structure. Cela signifie que vous pouvez prévoir et corriger la déformation résultante.

Certaines structures complexes (tels que des ponts de grande portée) nécessitent que le fluage soit limité et parfaitement maîtrisé [34].

I.4. Les causes et les types de dégradation des bâtiments anciens traditionnels :

I.4.1. Les causes de dégradation :

Les dégradations du bâtiment résultent d'un ensemble de causes qui peuvent être mécaniques ou physico-chimiques. Ils sont souvent le résultat d'actions considérées comme secondaires ou négligées, telles que :



Figure I.30 : Les causes des dégradations

Les causes de la dégradation des bâtiments traditionnels anciens sont de deux types :

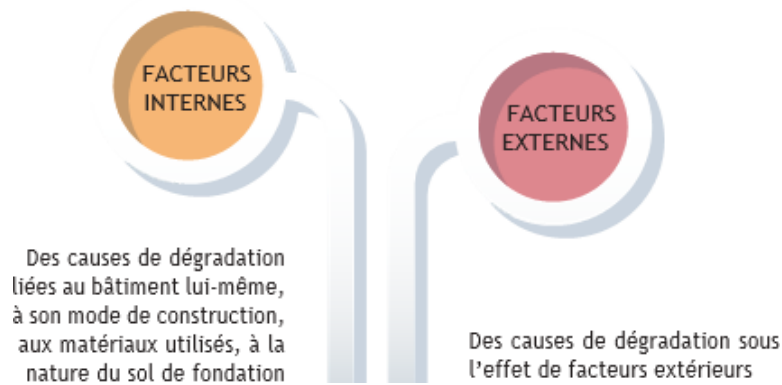


Figure I.31 : Les facteurs des dégradations

I.4.1.1. Causes de dégradation liées au bâtiment lui-même, à son mode de construction, aux matériaux utilisés, à la nature du sol de fondation

Au niveau des fondations :

- Instabilité du sol de fondations, affaissement et gonflement du sol, etc.
- Fondation superficielle faible du bâtiment.
- Niveau de la nappe phréatique.
- Vieillesse naturelle des matériaux.

Au niveau des murs :

- Poussées latérales sur les murs d'appuis (caves, ruines mitoyennes, etc.).
- Charges par les poids propres.
- Poussées des arcs et des planchers en voûtes.
- Mauvaise qualité des matériaux et/ou de la mise en œuvre (mauvaise protection contre l'humidité, mauvaise isolation des constructions qui se trouvent dans des zones d'humidité, etc.).

I.4.1.2. Des causes de dégradation sous l'effet de facteurs extérieurs :

- Travaux de rénovation du bâtiment.
- Modification des conditions hydrogéologiques du sol de base.
- Un déséquilibre du système thermique avec la température et l'humidité du bâtiment.
- Déchets industriels, déchets chimiques et pollution de l'air.
- Construire des sous-sols.
- Travaux d'excavation (pour câbles, tuyaux, etc.) [35].

I.4.2. Les types de dégradations dans les bâtiments traditionnels :

Les types de dégradations des bâtiments anciens traditionnels peuvent être classés en trois groupes :



Figure I.32 : Les type des dégradations

I.4.2.1. Les dégradations qui prennent la forme de mouvements d'ensemble, généralement dues aux causes suivantes :

- Les déformations résultant de sols inefficaces qui prennent la forme d'un tassement uniforme ou d'un tassement différentiel.
- Dégradations des fondations.
- Glissements de terrain.
- Effets du vent.
- Les sollicitations dues aux séismes, etc.

I.4.2.2. Les dégradations localisées, généralement dues aux causes suivantes :

- Facteurs humains (action humain).
- Réparations précédentes maladroites.
- Vieillessement des matériaux de construction.
- Utiliser des matériaux de mauvaise qualité.
- Défauts et malfaçons au moment de la construction.
- Attaques vitales, etc [35].

I.4.2.3. Les dégradations sous l'effet de l'humidité :

- Eau provenant du ciel (pluie, neige, gel..).
- Eau provenant du sol sous forme d'infiltrations, de remontées par capillarité, de poussée hydrostatique, d'affouillements (variation du niveau phréatique, variation du taux d'humidité pouvant provoquer l'expansion ou la rétraction des argiles, ou la diminution des résistances, ...).
- Eau provenant de l'air ambiant (condensation sur les parois du bâtiment).
- Eau provenant de fuites des ouvrages de collecte d'eau (réseaux d'assainissement et d'eau potable, descentes d'eau pluviale, ...).

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu les différentes dégradations affectant sur les ouvrages en génie civil, ainsi que les pathologies manifestant la fissuration. Comme on a constaté à travers tous les mécanismes de dégradation de béton qui mène à la perte de performance ou de comportement sont dues par plusieurs facteurs, donc la notion de la structure parfaitement durable c'est une notion irréalisable. Donc L'étude de ces pathologies constitue une étape majeure contribuant au l'élaboration d'un diagnostic bien réalisé [36].

Chapitre II

Les différents outils de diagnostic des pathologies

II.1. Introduction :

Ce travail porte sur les méthodes de diagnostic et d'évaluation des ouvrages en Génie Civil, notamment l'auscultation destructive et non destructive.

Sur la structure, des techniques de surveillance non destructives (qui n'entraînent aucune détérioration) ou destructives peuvent être appliquées.

Ces méthodes voient de nouvelles applications dans le génie civil. De ce fait, ils sont encore en cours de validation de développement, et même si leur sensibilité comporte de nombreux paramètres et est meilleure et mieux maîtrisée, il est encore très difficile de qualifier les résultats de manière exploitable par les bureaux d'études [37].

II.2. Le diagnostic :**II.2.1. Définition :**

Le diagnostic est un ensemble de stratégies élaborées pour évaluer l'état de la matière dans une structure particulière, tout en évaluant la stabilité globale et partielle de cette structure. Pour pouvoir analyser et identifier les causes qui influencent cette conception, et finalement envisager une intervention et une réparation réussies [38].

II.2.2. Réalisation d'un diagnostic :

Le diagnostic d'un ouvrage est une étape importante dans le processus de réparation. Il vous permet surtout de déterminer l'état de santé du bâtiment et de savoir quelles sont les éventuelles pathologies et leur ampleur. C'est l'étape de base qui permet de déterminer les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur ampleur. Cela permet également de faire des prévisions sur le développement de ces troubles. Mais surtout, l'étape qui vous permettra de mettre en place la méthode de réparation la plus adaptée. Il permet également d'évaluer la cause de ces problèmes. Cette raison peut simplement être le vieillissement naturel de la structure, mais elle peut aussi être cause de l'environnement alentours. Afin de pérenniser les réparations, il est nécessaire d'effectuer des travaux de réparation et de protection appropriés, mais aussi de rechercher l'origine du problème afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies similaires.

Le diagnostic est donc l'outil d'aide à la décision de l'entrepreneur pour pérenniser son activité. Il y a deux options possibles :

- Entretien de l'ouvrage avec ou sans mesures de protection pour une utilisation "normale".
- Démonter dans le cas où le coût des réparations ne justifierait pas l'entretien [39].

Requis dans le cadre :

- A partir d'une étude spécifique,
- Travaux de réparation ou de rénovation, renforcement,
- D'une inspection régulière mettant en évidence des désordres,
- Compétence,
- Ou d'une démarche préventive [40].

II.2.3. Les objectifs du diagnostic :

- Identification de l'origine des désordres.
- Évaluer l'étendue de sa propagation dans l'espace.
- Prédire son développement potentiel dans l'espace et dans le temps d'absence d'intervention.
- Estimation des conséquences des désordres sur la capacité portante et l'intégrité de l'ouvrage et les personnes.
- Détection de produits nocifs pouvant être présents dans la structure : amiante, plomb, etc.
- Définition des suites à donner et des solutions possibles de réparation ou de renforcement [41].

II.2.4. Etablir le diagnostic :

Lorsque la fissuration de la façade atteint une certaine ampleur et qu'un mouvement de fondation est perçu, le technicien ou l'expert responsable de la gestion des sinistres dispose de plusieurs moyens pour établir son diagnostic. Il pourra :

- Examiner les plans de fondation ou effectuer des fouilles exploratoires,
- Prendre connaissance de l'étude de sol s'il y en a une ou faire appel à un géotechnicien,
- Interrogation des passagers : l'historique d'apparition de fissures peut être associé ou non à une période sèche ou au contraire très pluvieuse,

- Lire la carte géologique,
- Vérifier si le bâtiment est situé dans une zone sensible au risque de retrait et de gonflement et cartographiée [42].

II.2.5. Rapport d'un diagnostic :

Le rapport de diagnostic présente tous les résultats et leurs interprétations, mais doit être compréhensible par un non initié.

Il comprend :

- Identification de la structure, le nom du demandeur,
- Identification du laboratoire (ou de l'ingénieur) responsable de la recherche, la date,
- Une brève description de la structure,
- Rappel sur les objectifs de l'étude,
- Liste des documents référencés,
- Suite à des vérifications détaillées,
- Résultats des essais in situ et de laboratoire,
- Discuter de la cause des désordres, leur étendue, leur évolution probable, et leur impact sur la sécurité,
- Des conclusions claires sur les problèmes constatés et des propositions éventuelles de complément d'étude,
- Liste prioritaire des réparations et travaux à effectuer,
- Recommandations de méthode de réparation [37].

II.2.6. Les principales étapes d'un diagnostic :

Le diagnostic structurel comprend plusieurs étapes importantes décrites ci-dessous :

a) Visite préliminaire :

- Son objectif est de mieux comprendre l'état et la fonction de l'ouvrage et d'identifier les conditions environnementales, les désordres visibles, l'accessibilité des parties dégradées.
- A l'issue de cette visite, l'ingénieur de projet peut déjà se faire une idée de l'origine du dommage constaté et ainsi proposer un programme d'investigations à réaliser, son coût et sa durée.
- L'identification des surfaces à examiner plus en détail et les techniques d'auscultation utilisées tiendront compte de l'accessibilité, de l'environnement ainsi que des contraintes de fonctionnement de l'ouvrage [37].

b) Collecte des documents :

Collecterions le plus d'informations possible concernant la structure, à savoir :

- Date de construction pour connaître le code selon lequel la structure a été calculée et les dispositions constructives de l'époque.
- L'historique de la structure
- Plans de coffrage et de ferrailage
- Rapport des recherches précédentes
- Orientation structurelle [37].

c) Préparation de l'intervention :

Grâce à une visite sur le terrain et à l'étude des documents collectés, il est possible de déterminer avec précision le nombre et le type d'actions à mener pour répondre au mieux à la demande du client.

Avant l'intervention, vous devez déjà avoir identifié quelles informations sont essentielles à la réalisation de la tâche, et quelles dégradations vous souhaitez mettre en évidence [37].

d) Inspection détaillée :

Une inspection visuelle de l'ensemble de la structure est effectuée afin de détecter tout signe de détérioration et d'identifier toutes les sources possibles de dommages telles que :

- La présence d'anciens revêtements ou de produits d'imprégnation,
- L'aspect de la surface du béton, présence de stalactites, d'efflorescences, de traces de rouille,
- La présence de fissures (avec ses ouvertures et ses directions, son maillage),
- L'endommagement de la peau du béton (épaufrures, feuilletage, éclatements...),
- Détecter les zones qui apparaissent en creux,
- Les zones où le béton et les armatures ont été désorganisés (cas d'un incendie...),
- La présence d'armatures (passives ou actives) visibles, corrodées ou non,
- Spécifications de déformation structurelle,
- Détection de traces d'humidité...etc.

De manière générale, il faut également noter la géométrie de la structure, l'écartement entre les éléments porteurs, l'épaisseur de la dalle, la géométrie du plancher de dalle par exemple. Dans de nombreux cas les structures diagnostiquées sont anciennes, de ce fait on ne dispose plus des plans.

Après l'inspection visuelle, les zones représentatives des perturbations observées sont sélectionnées sur les mesures à effectuer. Ils peuvent être de type non destructif par exemple la détection de l'enrobage des armatures par un procédé électromagnétique. Il peut également s'agir d'échantillons de base et d'échantillons pour analyse en laboratoire.

Les investigations destructives seront limitées au maximum pour ne pas endommager la structure [37].

e) Essais en laboratoire :

Lorsque des échantillons sont prélevés dans des zones représentatives d'états de dégradation, ils sont envoyés au laboratoire pour analyse chimique ou microstructurale afin de certifier le béton.

Lorsque des carottes sont extraites de la structure, elles sont broyées afin de connaître la résistance à la compression du béton [37].

f) Traitement des résultats :

Tous les résultats d'analyse et relevés d'erreurs sont résumés dans des tableaux ou dans des plans contenus dans le rapport de diagnostic. Si l'inspection de la structure est terminée, il sera nécessaire pour chaque type de perturbation de faire un linéaire pour une éventuelle réparation [37].

g) Commentaires et avis de réparation :

Sur la base de tous les éléments dont il dispose, l'ingénieur de projet doit indiquer dans son rapport :

- Les sources possibles de perturbation, leur ampleur et leur évolution possible
- Si l'ouvrage assure encore la sécurité des personnes et des biens alors il abrite (les bâtiments) ou s'il n'est pas en danger d'effondrement.
- Les zones à traiter en priorité.
- Donner un avis sur l'exploitation de l'ouvrage, l'entretien, le renforcement ou le suivi, et conseiller sur d'éventuelles études complémentaires
- Recommandations concernant les méthodes de réparation possibles les plus appropriées. Il faut se rappeler que le rapport de diagnostic doit être compréhensible pour un non initié [37].

II.3. Choix des investigations :

Le choix des investigations pour le diagnostic de structure dépend de plusieurs critères. Il est nécessaire de l'évaluer pour mener à bien la tâche. Ces différents paramètres ce qui suit :[43]

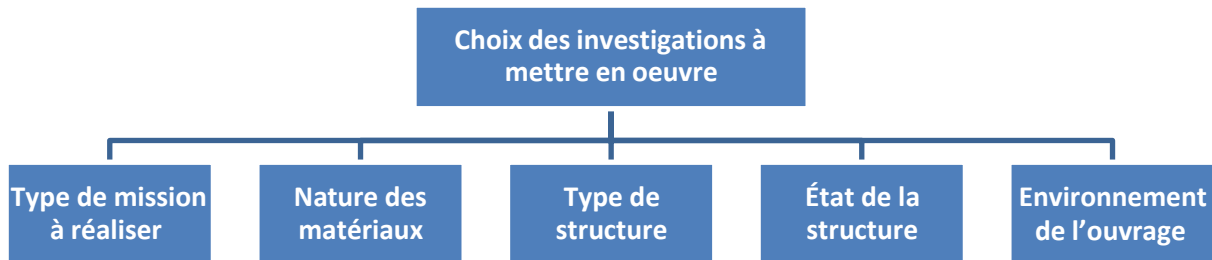


Figure II.1 : Famille de dégradation.

En effet, le choix des investigations dans un diagnostic d'ouvrage dépend :

✓ **Type de mission à réaliser :**

Vous pouvez effectuer différents types de missions selon les souhaits de votre client.

- Aperçu du travail.
- Diagnostic.
- Diagnostic complet.
- Un suivi d'ouvrage.

Chacune de ces missions met en œuvre différentes méthodes de diagnostic, de plus ou moins grande ampleur, mais aussi une interprétation plus ou moins poussée des résultats [43].

✓ **Nature des matériaux :**

Que la structure soit en béton armé, en bois ou en métal en plus, chacun de ces matériaux a ses propres pathologies typiques [44].

✓ **Type de structure :**

S'il s'agit d'une œuvre d'art ou d'un bâtiment ou d'autres structures, la géométrie et le volume de l'œuvre sont également pris en compte lors le choix des investigations [44].

✓ **État de la structure :**

Les investigations sont basées sur les perturbations affectant la structure. Par exemple, des équipements spéciaux seront utilisés en présence de fissures ou d'armatures corrodées dans le béton [46].

✓ Environnement de l'ouvrage :

Il est important de tenir en compte l'environnement dans lequel se trouve la structure, car il peut être à l'origine de ces pathologies. C'est notamment le cas pour les ouvrages en milieu chimique ou pour le bâtiment « La Saline » dont la structure est située dans un milieu riche en éléments chlorurés, directement liés à l'activité qui se déroule dans le bâtiment [43].

II. 4. Types d'investigations :

Il s'agit de deux catégories d'investigations : les méthodes non destructives et les méthodes destructives.

II.4.1. Investigations non-destructives :

Ces méthodes permettent d'analyser la structure sans porter atteinte à son intégrité. Ceci est préféré dans diverses structures, telles que des monuments ou des bâtiments historiques, où l'échantillonnage de la structure est difficile à caractériser. Ces méthodes sont également préférées si la structure est endommagée et fragilisée, l'échantillonnage de ce type de structure peut la fragiliser davantage [33].

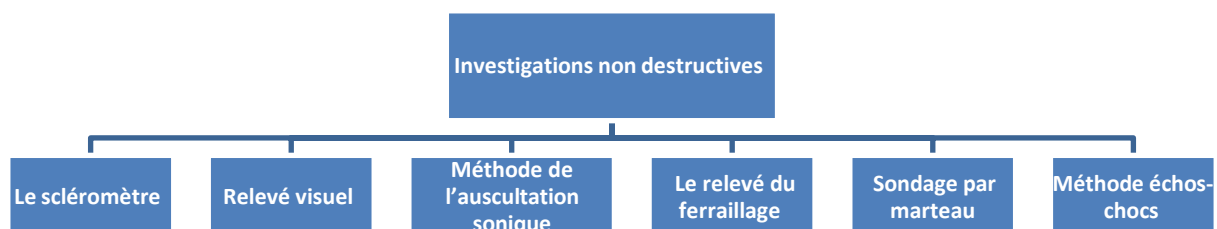


Figure II.2 : Schéma des investigations non destructives.

II.4.1.1. Le scléromètre :

Le principe de l'essai sclérométrique repose sur la relation entre la dureté d'un matériau et sa résistance à la compression.

Pour déterminer la dureté du béton, une bille d'acier est lâchée sur une sonde en contact avec la structure à examiner. Lorsque la balle rebondit, déplacez un pointeur coulissant sur la règle de mesure. Plus le rebond est élevé, plus la rigidité du matériau est élevée.

Pour obtenir des résultats cohérents, vous devez exécuter un certain nombre de tests sur l'élément testé. La norme actuelle est de 27 fois.

L'indice sclérométrique IS de l'élément diagnostiqué est la moyenne de 27 mesures effectuées dans la région de la structure testée. En déplaçant le pointeur sclérométrique sur un abaque. Il est important de savoir que différents paramètres peuvent influencer sur les résultats, tels que la résistance nominale à la compression de l'élément, l'inclinaison du marteau ou encore l'uniformité du béton.

Il peut être intéressant de relier ces résultats aux essais de résistance à la compression sur des échantillons de la zone étudiée [1].



Figure II.3 : Scléromètre à béton W-M-250 de James [33].

II.4.1.2. Relevé visuel :

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

- Fissuration et rayures.
- Détresse superficielle : Effritement, désagrégation, surface alvéolaire, écaillage
- Fuite d'eau : humidité de surface, suintement ou fuite à travers les joints et les fissures.
- Mouvements : déviation, montée et affaissement.
- Corrosion de l'acier : points de rouille, câbles de post-tension exposés, acier exposé.
- Autres signes : cloquage des membranes et du revêtement, accumulation d'eau, décoloration.

Cette déclaration va :

- Rééducation des troubles, car chaque type a son origine et ses conséquences.
- Déterminer les caractéristiques de la pathologie et connaître le type de traitement nécessaire pour arrêter ce phénomène.
- Déterminer quantité des désordres, car selon leur ampleur, des méthodes de réparation plus ou moins lourdes doivent être envisagées.
- Localiser les désordres afin de pouvoir déterminer leur origine et ainsi agir à la source du problème.

Quelques outils à utiliser pour le scan optique :

- Appareil photo,
- Mètre,
- Distance mètre,
- Pied à coulisse,
- Fissuromètre [33].



Figure II.4 : jauge Ginger CEBTP - Fissuromètre digital [33].

II.4.1.3. Méthode de l'auscultation sonique :

L'auscultation consiste à mesurer le temps de propagation de l'impulsion ultrasonore entre l'émetteur et le récepteur. L'appareil, qui contient des matériaux piézoélectriques, convertit l'énergie électrique émise en énergie mécanique ultrasonore, puis mesure le temps nécessaire à l'onde pour atteindre le récepteur, qui la reconvertit en un signal électrique.

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

Ce processus permet de vérifier l'homogénéité du béton, de détecter les fissures et les vides dans le béton, de contrôler la qualité du béton en comparant les résultats avec un béton similaire, de détecter l'état de détérioration du béton, de détecter la profondeur des fissures de surface et de déterminer la résistance à la compression du béton. Pour tester le béton, le contact entre le béton et l'émetteur-récepteur est réalisé à l'aide d'un agent de couplage tel qu'une gelée de pétrole [33].

Le tableau suivant présente les résultats d'essais obtenus par le CEBTP pour la surveillance acoustique du béton :

Vitesse de propagation du son	Qualité estimée du béton
$V > 4000$ m/s	le béton est de bonne qualité et homogène
$3500 < V < 4000$ m/s	le béton est de qualité moyenne
$3000 < V < 3500$ m/s	le béton est de qualité médiocre
$V < 3000$ m/s	le béton est de mauvaise qualité

Tableau II.1 : Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) [33].

Une autre utilisation importante de cette technique est l'évaluation non destructive des fissures remplies d'époxy. Les lectures prises le long de la fissure réparée sont comparées avec la section non fissurée. Une fissure bien réparée présente une vitesse de traversée égale à celle de la section non fissurée. De plus, selon l'ASTM, il existe une relation entre la vitesse de pulsation et la résistance à la compression du béton, généralement ± 20 % [33].

II.4.1.4. Le relevé du ferrailage :

Le relevé du ferrailage peut être effectuée à l'aide d'un phacomètre de type Ferro scan. Cet appareil est un système de détection portable pour l'inspection non destructive des barres d'armature.

Il permet de déterminer le position exact des barres d'armatures, de mesurer l'enrobage et de donner une indication sur le diamètre de l'armature.

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

Le diamètre de l'armature est déterminé par le fait que plus le diamètre de l'armature est grand, plus le signal reçu par l'appareil est important. Cependant, plus le revêtement est épais, plus le signal est faible. Pour cette raison, la profondeur de mesure du phacomètre est limitée (généralement autour de 10 à 15 cm, selon le type de béton et d'armature) [33].

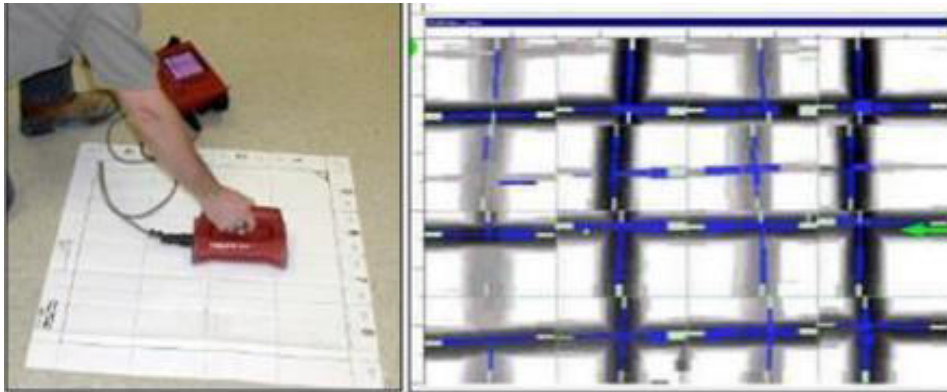


Figure II.5 : détection par fenêtres et résultats [33].

II.4.1.5. Sondage par marteau :

Les méthodes concrètes offrent une méthode précise et moins cher pour localiser les zones de délaminations. Frapper des zones de béton délaminés change le son d'un son « Ping » à un son creux « Puck ». Les limites des délaminations peuvent alors être facilement déterminées.

Des méthodes de sondage plus productives sont disponibles lorsque vous travaillez avec de grandes surfaces. Traîner une chaîne produit le même résultat que faire par le sondage par marteau.

Cependant, ces méthodes ne donnent qu'une idée générale des zones de délaminations. Par conséquent, ils ne doivent être utilisés que pour une évaluation générale et non pour une planification détaillée de la reconstruction [33].

II.4.1.6. Méthode échos-chocs :

Les progrès récents de la technologie matérielle et informatique peuvent fournir une méthode fiable pour identifier les vides, les fissures et autres défauts sous la surface du béton.

La technologie à effet d'écho est basée sur l'utilisation d'ondes de pression à ondes de choc qui sont transmises à travers la structure et réfléchies par les défauts internes et les limites externes vers le récepteur (transducteur). Les signaux reçus sont convertis en un spectre de fréquences et affichés sur un écran d'ordinateur. Le logiciel est utilisé pour analyser ces signaux, fournissant une prédiction de la probabilité et de la profondeur des défauts.

En effet, en tenant compte de la vitesse de l'onde et de la période d'arrivée (ou fréquence), on calcule les profondeurs internes des défauts ou limites externes. Le système fonctionne rapidement, prenant environ deux secondes pour traiter chaque lecture [33].



Figure II.6 : Test Choc-Echo avec appareil OLSON'S NDE 360 [33].

II.4.2. Investigations destructives :

Les investigations destructives sont utilisées pour prélever un échantillon de matériaux pour leurs propriétés techniques, mécaniques et chimiques, ou pour accéder aux éléments internes ou essentiels d'une structure. Cela permet également de connaître son état profondément altéré et l'ampleur de la pathologie [33].

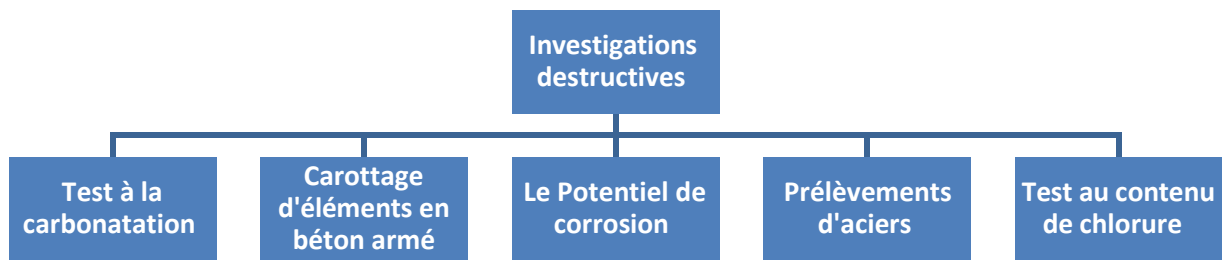


Figure II.7 : Schéma des investigations destructives.

II.4.2.1. Test à la carbonatation :

Pour déterminer la profondeur de carbonatation, une surface de béton frais doit être exposée. Cela peut être fait en perçant la surface et en fendant le noyau avec un marteau et un burin. La position de la limite de carbonatation est mesurée en pulvérisant sur la surface du béton un indicateur à base d'acide qui change de couleur à un pH d'environ 10, indiquant la limite entre la partie carbonisée et la zone non carbonisée. L'indicateur le plus couramment utilisé à cet effet est une solution de phénolphtaléine, qui colore intensément le béton en rouge (rose) à des valeurs de pH supérieures à 10 et incolore à des valeurs de pH inférieures à 10.

Il serait intéressant de comparer les mesures de profondeur de carbonisation avec l'enrobage donné par le phacomètre. Après plusieurs mesures on obtient cette courbe :

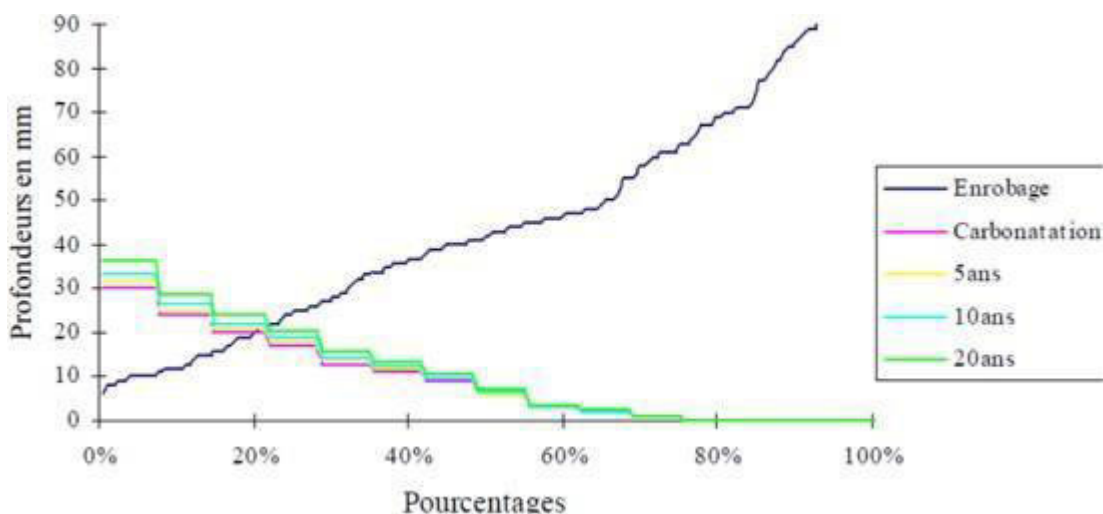


Figure II.8 : Graphique enrobage-carbonatation [33].

Le pourcentage d'armatures non protégées est la limite du point d'intersection de la courbe d'enrobage avec la carbonisation [33].

II.4.2.2. Carottage d'éléments en béton armé :

Le carottage d'éléments en béton armé peut avoir différentes utilisations. Il est principalement utilisé pour effectuer des essais de résistance à la compression sur des carottes, afin de déterminer les propriétés mécaniques des éléments. Il est également possible d'analyser chimiquement l'échantillon pour les composants du béton tels que le type de ciment utilisé, le rapport E/C estimé et la taille des granulats. Concernant les dalles, il est parfois nécessaire de carotter l'élément afin de réaliser des essais géotechniques tels qu'un pénétromètre dynamique ou un prélèvement de sol afin de déterminer les propriétés mécaniques du sol en place. Cela a lieu généralement lorsque l'ouvrage change de destination, lorsque les charges d'exploitation changent ou si une restructuration du bâtiment est envisagée.

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

Par la suite, l'analyse par stratification de ce cylindre permet de reconstituer la nature du sol (carotte sédimentaire), la chronologie (carotte bois) ou encore la compression de l'atmosphère du passé (carotte de glace).

Son but est de déterminer la résistance du béton en place. C'est un essai destructif. Le rebouchage est effectué par notre équipe.

Le carottage est réalisé selon les procédés suivants :

- Localiser préalablement les armatures métalliques internes du béton pour l'implantation des carottages et éviter les armatures.
- Fixer la carotteuse sur la partie de l'ouvrage d'où sera extraite la carotte ;
- Carotter à l'aide d'un carottier de diamètre adapté pour l'examen ou l'essai à réaliser ;
- Extraire la carotte et l'ajuster en fonction de l'essai à réaliser ; Reboucher à l'aide d'un produit adapté (béton ou mortier sans retrait) [37].



Figure II.9 : La Carotteuse [2].

II.4.2.3. Le Potentiel de corrosion :

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

La cellule de référence relie la surface du béton au voltmètre à haute résistance, qui est également relié électriquement à la nappe de renforcement en acier. Ensuite, le voltmètre lit la différence de potentiel sur le site de test. Selon la norme ASTM C876-91, le potentiel mesuré indique une probabilité de corrosion. En utilisant une électrode Cu/CuSO₄ nous avons :

- Si $E > -200$ millivolts (potentiel de corrosion inférieur à 10 %).
- Si $-350 < E < -200$ mV (corrosion possible environ 50%).
- Si $E < -350$ mV (la corrosion est très possible, supérieure à 50% peut atteindre 90%).

Cependant, divers facteurs peuvent influencer les résultats obtenus :

- La mesure de l'humidité de surface peut réduire la mesure de 100 mV.
- Les environnements agressifs comme la présence de chlorures augmentent la conductivité, on mesure plus de potentiel négatif.
- Le carbone mesure le potentiel le plus positif

Ces méthodes ne peuvent pas détecter la corrosion des tendons de post-tension, ni détecter la corrosion lorsque l'armature n'est pas connectée au voltmètre.

Cependant, les mesures en demi-cellule sont souvent utiles car elles sont faciles à réaliser et les résultats peuvent être fournis rapidement à des coûts relativement faibles [33].



Figure II.10 : Mesure du potentiel de corrosion [46].

II.4.2.4. Prélèvements D'aciers :

L'enlèvement d'acier peut être particulièrement utile lorsque le recalcul de la structure est nécessaire.

Dans ce cas, il est important de savoir quels types d'acier se trouvent dans la structure. Ainsi, par prélèvement d'acier, cela permet de déterminer son type qu'il s'agisse d'acier : aciers haute adhérence, lisse, TOR, etc. Mais aussi ses propriétés mécaniques tel que la limite d'élasticité de l'armature.

Tous ces éléments sont nécessaires pour pouvoir déterminer les charges pouvant être appliquées à l'élément et s'il faut prévoir de renforcer la structure soit avec des tissus en fibres de carbone soit en ajoutant des d'armatures afin de pouvoir répondre aux besoins du client ou de l'utilisateur.

L'armature peut être retirée en tronçonnage de l'armature après l'avoir préalablement libérée du béton adjacent. Il vaut mieux le faire dans des zones saines pour ne pas risquer de fragiliser la structure à cet endroit.

Parfois, il peut être utile de prélever localement l'armature dans des zones touchées par des pathologies, telles que la corrosion de l'armature afin de déterminer son évolution ainsi que le reste de l'acier pouvant être exploité afin de déterminer les quantités nécessaires d'armatures à ajouter pour ramener l'élément à au moins sa section d'acier initiale [47].



Figure II.11 : Prélèvement d'aciers [37].

II.4.2.5. Test au contenu de chlorure :

La teneur en ions chlorure est appréciée en prélevant un échantillon de béton de l'ouvrage, soit en concassant le béton avec un marteau à percussion rotatif (de préférence électrique), soit en prélevant une carotte puis en pulvérisant le béton en laboratoire. Le matériau broyé est collecté et stocké dans un conteneur propre, le trou est nettoyé sous vide, les échantillons broyés sont analysés à l'aide d'un procédé chimique.

Les chlorures présents dans le plâtre peuvent être séparés des chlorures qui ont pénétré la structure en comparant la teneur en chlorure à différents niveaux dans l'organe suspect. Les chlorures provenant de la coulée ont généralement des teneurs en chlorure similaires dans tout l'élément, tandis que les chlorures qui pénètrent dans le béton après la coulée ont des concentrations plus élevées à la surface et des concentrations plus faibles à l'intérieur de l'élément [33].

II.5. Autre outil d'investigation :

II.5.1. L'auscultation par ultrasons :

Cette méthode permet d'estimer la résistance du béton ou de détecter la présence de microfissures internes.

C'est une corrélation entre la résistance, la vitesse du son, V_L , la pression R_c et le module d'élasticité [2].

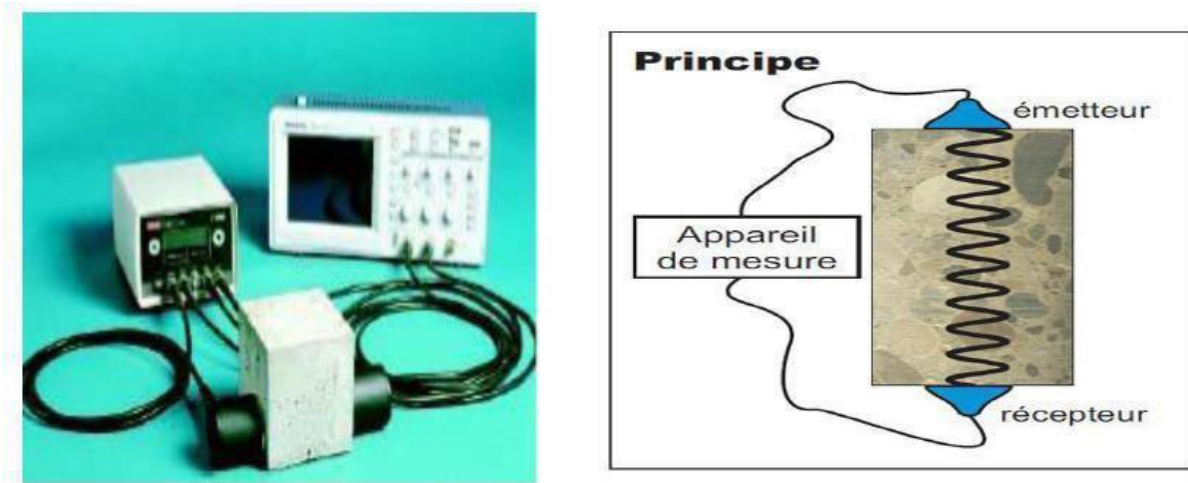


Figure II.12 : Appareil d'auscultation par ultrasons [2].

II.5.2. Les détecteurs d'armatures :

Ils fonctionnent par effets magnétiques ou électromagnétiques, mais la profondeur de la recherche est encore limitée à une dizaine de centimètres.

Il existe trois types de détecteurs :

- **Le pachomètre :**

Utilisé pour déterminer la position des armatures dans le béton



Figure : II.13 : Le pachomètre [2].

- **Le profomètre :**

Utilisé pour déterminer avec précision la position et le diamètre des armatures dans le béton.



Figure : II.14 : Le profomètre [2].

- **Le corrosimètre :**

Il est utilisé pour détecter la corrosion des armatures et des structures en béton avant que des dommages visibles ne se produisent en mesurant le potentiel de la surface en béton.



Figure II.15: Le corrosimètre [2].

- **Extensomètre**

Mesure de la déformation linéaire d'un élément structurel.



Figure II.16 : L'extensomètre [2].

- **Hygromètre**

Pour évaluer l'humidité sur la surface et la profondeur des murs du bâtiment. Cet hygromètre mesure la teneur en humidité en profondeur de manière non destructive en utilisant une méthode basée sur la radiofréquence.



Figure II.17 : L'hygromètre [2].

II.6. Conclusion :

On se permet de déduire l'importance de l'étape de diagnostic grâce à la valeur des données qui peuvent être récupérées par les méthodes ci-dessus.

Mais avant tout, c'est cette étape qui permettra de mettre en place les méthodes de réparation les plus adaptées et d'évaluer les causes de ces problèmes.

Ces raisons peuvent être simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être dû au milieu environnant. Afin de préserver et de rendre les réparations permanentes, il est nécessaire d'effectuer des travaux de protection appropriés, afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies similaires [33].

Chapitre III

Les différentes méthodes de réparation et de renforcement

III.1 Introduction :

Dans la construction, tous les matériaux sans exception ont une durée de vie limitée. Au fil du temps, les structures subissent une ou plusieurs modifications rapides. Tout ouvrage exposé aux intempéries doit être entretenu, réparé ou même reconstruit [37].

III.2. Réparation :

Il s'agit d'une réhabilitation de l'ouvrage lorsque les dégâts sont visibles au niveau des éléments structuraux ; La structure devrait retrouver approximativement son apparence initiale et sa solidité de conception initiale.

La réparation de la structure est la deuxième étape du processus de réhabilitation des structures en Génie Civil. C'est l'étape nécessaire pour restaurer les sections d'origine en acier et en béton d'une part, mais aussi pour restaurer les propriétés mécaniques des différents composants impliqués. C'est-à-dire donner à la structure la possibilité de reprendre les efforts qui lui sont le mieux appliqués.

Il existe deux principales méthodes de réparation du béton armé. Il existe la méthode traditionnelle du ragréage en plus de la technique du béton projeté. Cependant, il existe une troisième méthode, plus récente, qui commence à se développer : l'utilisation de tissus en fibres de carbone (CFT) pour les grandes structures [25] [47].

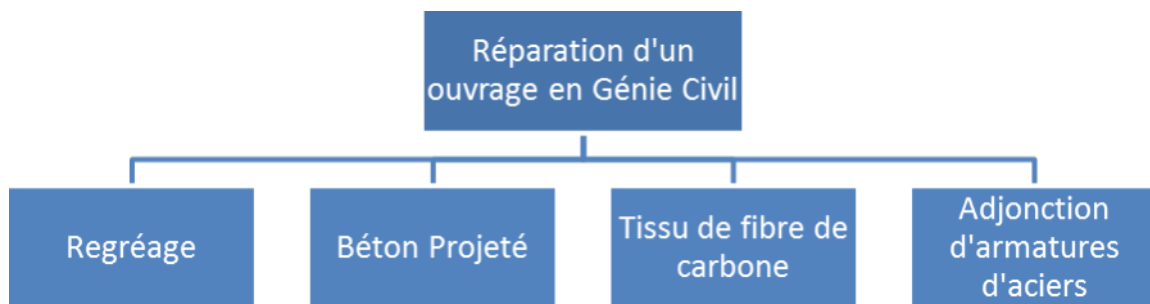


Figure III.1 : Schéma de la réparation d'ouvrages en Génie Civil [33].

III.3. Les différentes méthodes de réparation :

III.3.1. Le Ragréage :

III.3.1.1. Définition :

La méthode de ragréage est la méthode traditionnelle de réparation du béton. Il est généralement utilisé lorsque les surfaces de béton à réparer sont relativement fragiles. En effet, ce type de réparation nécessite très peu de matériel, mais prend beaucoup de temps et de main-d'œuvre. Lorsque les surfaces à réparer sont plus importantes, on privilégiera le béton projeté, plus rapide, mais nécessitant une part d'équipement plus importante.

La préparation de surface est une étape très importante pour la continuité des réparations, et elle doit être faite avec soin. La première étape consiste à éliminer toutes les zones de mauvaise adhérence sur l'élément à réparer. Cela signifie que chaque zone doit être vérifiée pour voir s'il y a un décollement du béton, une fissuration visible, une épaufrure, etc. Les zones de défaut individuelles doivent également être éliminées.

S'il y a un phénomène de corrosion dans l'armature, il est nécessaire de nettoyer l'acier corrodé jusqu'à l'apparition d'une zone saine. Pour vous assurer de pouvoir faire une bonne réparation, il est habituel d'obtenir un permis tel qu'illustré dans le schéma suivant :

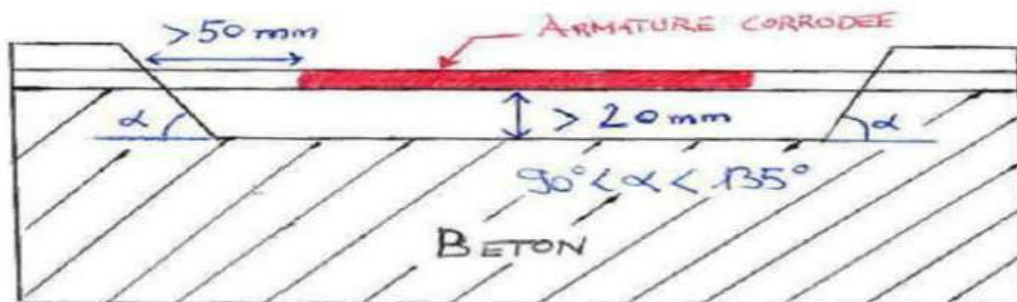


Figure III.2 : Dégagement des armatures [37].

Une fois les armatures corrodées enlevées, il faut les nettoyer pour en enlever toute trace de corrosion. Dans certains cas, la perte d'une partie de l'acier peut être très importante, et il est alors nécessaire de remplacer l'armature, soit en coupant la zone affectée et en soudant une armature équivalente, soit en scellant une nouvelle section. Il est important qu'après cette opération, la section de renfort soit au moins égale à celle initialement située dans l'élément structurel respectif.

Afin de réduire le risque d'apparition de corrosion, l'armature doit être passivée par l'application d'un produit convenablement choisi. Cette application peut se faire de différentes manières (brossage, application au pinceau, etc).

Une fois les étapes précédentes terminées, il est possible de commencer le ragréage. Il s'agit de remettre en forme manuellement l'enrobage béton à l'aide d'un mortier de réparation convenablement sélectionné par une entreprise ayant les compétences nécessaires. Il peut être intéressant de choisir de mettre des inhibiteurs de corrosion directement dans la formulation de ce mortier afin de réduire au maximum l'apparition de corrosion dans les zones réparées [37].

III.3.1.2. Mode opératoire :

D'après "Weber" (Société de solutions de construction et de rénovation)

- Mouiller abondamment les pièces à réparer. Laissez sécher, le béton doit être humide mais pas dégoulinant,
- Pour une bonne adhérence, appliquer le mortier en appuyant fermement sur le périmètre de la zone à réparer,
- L'application s'effectue par passage de couches successives dont l'épaisseur varie selon les caractéristiques du produit sélectionné entre 2 et 100 mm (à déterminer par le fournisseur),
- Une fois le mortier durci, appliquer la finition à l'aide d'une truelle polystyrène ou d'une truelle éponge [33].



Figure III.3 : Gauche à droite ; Aciers dégagés, Application du mortier, Finissage par taloche [33].

III.3.1.3. Caractéristiques des matériaux :

Le mortier utilisé doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Pose verticale sans coffrage,

- Augmentation rapide de la résistance et résistance mécanique supérieure à celle d'un support en béton,
- Adhérence supérieure ou égale à l'adhérence du support,
- Imperméabilité à l'eau et aux facteurs agressifs,
- Coefficient de dilatation thermique et module d'élasticité équivalent pour support en béton,
- Bonne protection de l'acier.

Les produits doivent être conformes à la norme NF P 18-840 ou être éligibles au marquage « NF Produits Spéciaux pour Ouvrages Hydrauliques en Béton » [33].

III.3.2. Béton Projeté

III.3.2.1. Introduction :

La projection de béton a d'abord été utilisée pour réparer les structures endommagées et renforcer les tunnels.

Cette technique a ensuite profité de plusieurs avancées qui seraient désormais couramment utilisées dans la réparation et le renforcement des structures, afin de maintenir les matériaux en place lorsque les moyens de mise en œuvre traditionnels seraient moins pratiques ou plus coûteux.

Il existe deux principaux modes de projection du béton dont la principale différence réside dans la chronologie des opérations initiales : la projection sèche (avec ou sans pré-humidification) et la projection mouillée (flux dilué ou flux dense).

La plupart des adjuvants et additifs utilisés dans la fabrication du béton coulé peuvent être incorporés au béton projeté.

La nature de ces ajouts doit être adaptée au mode de projection utilisé. En effet, la plupart des matériaux entrant dans la fabrication des bétons spéciaux réalisés par coulée peuvent être utilisés pour réaliser des bétons projetés spécifiques :

- Béton léger projeté à base de granulats légers (argile ou schiste).
- Béton projeté avec des fibres à base de fibres métalliques, mais aussi à base de fibre de verre.
- Bétons projetés avec incorporation de silice pyrogène.

Une distinction doit être faite entre le béton et le mortier de béton projeté utilisé dans la réparation structurelle. La taille maximale des granulats utilisés permet de distinguer le mortier du béton.

- Le mortier contient des agrégats d'une taille inférieure ou égale à 5 mm.

- Le béton contient des granulats pouvant atteindre 16 mm de granulométrie en voie sèche et 12 mm en voie humide, ces valeurs sont actuellement cohérentes avec les équipements couramment utilisés et sont cohérentes avec le mélange avant chute.
- Le terme « béton projeté » peut alors être complètement exagéré, lorsque la valeur des dimensions du granulat de béton est de l'ordre de 6 à 8 mm, car il s'agit en fait de « Béton fin » [2].

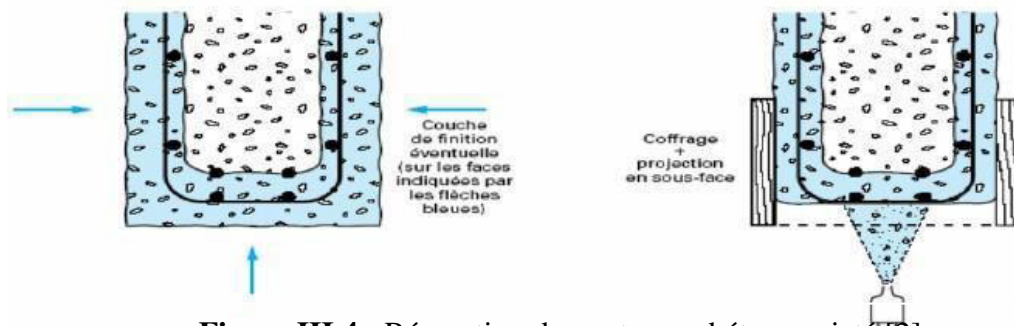


Figure III.4 : Réparation de poutre par béton projeté [2].



Figure III.5 : Renforcement d'une poutre au moyen de béton projeté [59].

III.3.2.2. Projection d'un béton avec un ajout d'armatures :

Dans le cas de réparations structurales ou de renforcement, l'étude doit comprendre l'étude du fonctionnement de la structure et des conditions de reprise des efforts, tant au vide qu'en charges d'exploitation, pendant et après les travaux.

Dans le cas d'un renforcement avec ajout de ferrailage, les conditions de chargement de l'élément à renforcer doivent être déterminées, soit sous l'influence des seules charges d'exploitation, soit sous l'influence des charges permanentes. Si on prend l'exemple d'une colonne en détérioration qui nécessite un renforcement, il peut être intéressant de faire

intervenir du béton projeté dans la restauration des charges permanentes, il faut donc précéder le support de colonne accompagné d'un treuil actif, placer la barre d'armature pour marquer le béton puis le réduire.

Pour reconfigurer des sections spécifiques de béton ou dessiner des bordures, il est souvent nécessaire d'utiliser des coffrages, cependant ils créent des obstructions de chute qui peuvent entraîner la formation de zones mal compactées, en raison du piégeage de l'angle de rebond. Il est donc préférable de procéder d'abord à l'enrobage des aciers, puis de ne mettre en place les coffrages que pour la projection de la couche de finition.

Il a été vérifié que dans le respect des règles de l'art concernant la mise en œuvre du béton projeté, le niveau de contact entre le béton projeté et le support en béton ne constitue pas systématiquement un niveau de dégradation. Dans la grande majorité des cas, la rupture se produit soit dans le béton support, ou dans le béton projeté. Cet essai permet de déterminer les conditions d'acceptation de la réparation par du béton projeté du point de vue de son adhérence au support, et donc cette adhérence est considérée comme satisfaisante [50].

III. 3.2.3. Description des deux méthodes

a) Projection par voie sèche :

La vitesse des éléments du mélange en sortie de puits est de 100 m/s.

Elle diminue plus rapidement pour les éléments de faible masse (eau- fines -ciment) que pour les gros granulats. Une fine couche de pâte eau-ciment se forme sur la surface d'application, qui retient immédiatement le granulat fin, mais le granulat grossier commence à rebondir, en s'épaississant, cette couche est " martelée" par le gros granulat qui finit par retenir, donnant :

- Forte résistance à la traction grâce à une vitesse de chute élevée.
- Bonne adhérence grâce à la teneur élevée en ciment dans la zone en contact avec la surface d'application.

Comme le ciment est fertilisé près de la surface, le dosage initial de ciment peut être limité. Cependant, les normes recommandent un dosage d'au moins 280 kg/m³ de ciment ayant une résistance à la compression supérieure à 25 MPa [2].

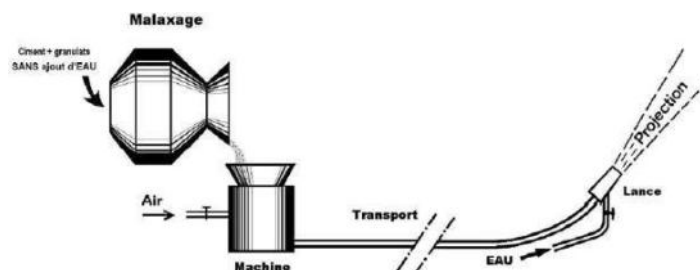


Figure III.6 : Principe de la voie sèche [2].

b) Projection par voie mouillée :

La vitesse de transport et de pulvérisation est inférieure à 1 m/s, ce qui est bien inférieur à celui d'une projection à voie sèche. Le mélange ayant sa texture définitive au passage de la buse, 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 du béton projeté à sec, il est nécessaire d'augmenter la dose de ciment. L'utilisation d'additifs permet d'obtenir Ouvrabilité souhaitable, avec une dose d'eau aussi faible que possible, une telle consistance de béton nécessitera un atterrissage au cône correspondant, de l'ordre de 12 cm [2].

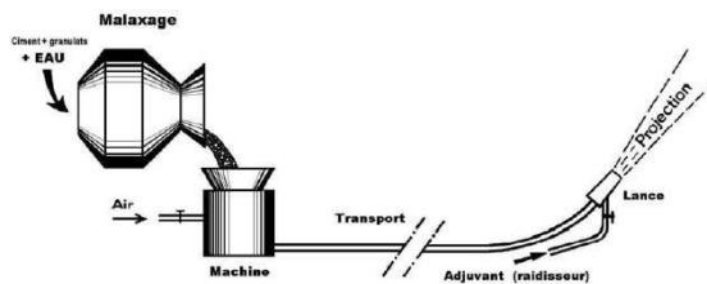


Figure III.7 : Principe de la voie mouillée [2].

III.3.2.4. Avantages des deux méthodes

a) Par voie sèche :

- La possibilité d'utiliser de gros granulats (15 à 20 mm).
- Dose relativement faible de ciment.
- Faible rapport E/C.
- Compression efficace, réduisant ainsi le rétrécissement.
- Bonne adhérence au support.
- Pénétration profonde dans les pores.
- Possibilité de saillie au plafond sans régler l'accélérateur ou le booster [2].

b) Par voie mouillée :

- Composition uniforme de la couche de gouttes.
- Pas de menteur violent.
- Ne résulte pas de poussière [2].

III.3.2.5. Inconvénients des deux méthodes :

a) Par voie sèche :

- Perte volumique importante de béton projeté par reflux.

- Résulte de poussière [2].

b) Par voie mouillée :

- Une dose plus élevée d'eau et de ciment pour assurer la plasticité nécessaire.
- Basse pression.
- Besoin d'ajuster les accélérateurs [2].

III.3.2.6. Mode opératoire :

La procédure doit être conforme aux normes (NF P 95102, NF EN 934-2) et recommandations du Fascicule n°3 du STRRES et de l'ASQUAPRO.

Elle s'effectue à l'aide d'une machine à pulvériser véhiculée par un tuyau et pulvérisée à l'air comprimé à très grande vitesse sur la surface. L'air expulsé et le béton sous pression, par la force de la chute et de l'impact sur la surface, permettent au matériau de s'appuyer sans s'affaisser, même sur des surfaces en surplomb. Comme pour la méthode de réparation par rapiéçage, il est nécessaire de dégager les renforts en suivant les descriptions de la partie 1 de ce chapitre.

Il est possible d'appliquer un outil de passivation (brossage, application au pinceau, etc.) sur l'armature réparée pour réduire le risque de réapparition de la corrosion. Cette application peut se faire dans le cas d'un béton projeté humide, mais elle ne peut pas se faire lors d'une projection à sec, car la protection risque d'être endommagée [33].

III.3.2.7. Matériaux utilisés :

En ce sens, les propriétés des matériaux de cette technologie sont similaires à celles du mortier de ragréage. Les produits doivent être conformes à la norme NF P 18-840 ou être éligibles au marquage « NF Produits Spéciaux pour Ouvrages Hydrauliques en Béton » [33].

III.3.2.8. Etude comparative (Ragréage avec passivant v/s Béton projeté) : [33].

	<u>Remplacement du béton par ragréage avec passivant</u>	<u>Remplacement du béton par béton projeté</u>
<u>Avantages</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Petites destructions localisées de béton, pas de risque de déstabilisation de la structure. • Adapté aux petites surfaces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place du mortier de réparation plus rapide. • Béton moins poreux, donc moins sensible aux chlorures. • Adapté aux grandes surfaces.
<u>Inconvénients</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Beaucoup de main d'œuvre nécessaire. • Délais plus long. • Nécessite un revêtement imperméabilisant. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de déstabilisation suite à une enlèvement importante du béton. • Surcharges possibles => recalcul de la structure. • Pas adapté aux petites surfaces.
<u>Contraintes phase travaux</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Bien éliminer toutes les traces de corrosion des aciers et bien les passiver sur l'ensemble de la zone de désordre et non pas seulement au droit de l'épaufrure sous peine de corrosion accentuée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bien éliminer toutes les traces de corrosion des aciers et bien les passiver sur l'ensemble de la zone de désordre et non pas seulement au droit de l'épaufrure sous peine de corrosion accentuée.
<u>Durée de vie estimée</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de carbonatation/détérioration du nouveau béton. • Limité par rapport à la présence de chlorures. • Améliorée si protection complémentaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de carbonatation/détérioration du nouveau béton. • Limité par rapport à la présence de chlorures. • Améliorée si protection complémentaire.

Tableau III.1 : Etude comparative (Ragréage avec passivant v/s Béton projeté)

III. 3.3. Tissus de fibres de carbone :

III. 3.3.1. Définition :

Les renforts en tissu de fibres de carbone peuvent être réalisés sur différents types de structures et sur différents matériaux de construction usuels tels que béton armé ou non, structures bois ou métalliques. Ce matériau est appelé composite car il est généralement utilisé avec de la résine. Il présente de nombreux avantages, notamment en ce qui concerne ses fortes propriétés mécaniques de densité relativement faible.

Dans la réhabilitation d'ouvrages en béton armé, la qualité du support est primordiale. Un ponçage à sec doit être effectué afin d'obtenir une finition de surface rugueuse et uniforme en tous points avec un relief d'impact compris entre 0,5 et 1 mm. Les dépôts de poussière et les particules libres sont éliminés par un brossage énergétique.

Cette technique peut être utilisée pour renforcer la structure, soit lorsqu'une grande partie de l'acier est perdue, soit lorsque la structure est soumise à des charges supplémentaires par rapport à ce qu'elle peut supporter. Ce processus consiste à appliquer des bandes de tissu en fibre de carbone en collant les zones manquantes de l'élément respectif. Il est à noter que la protection incendie est essentielle [37].

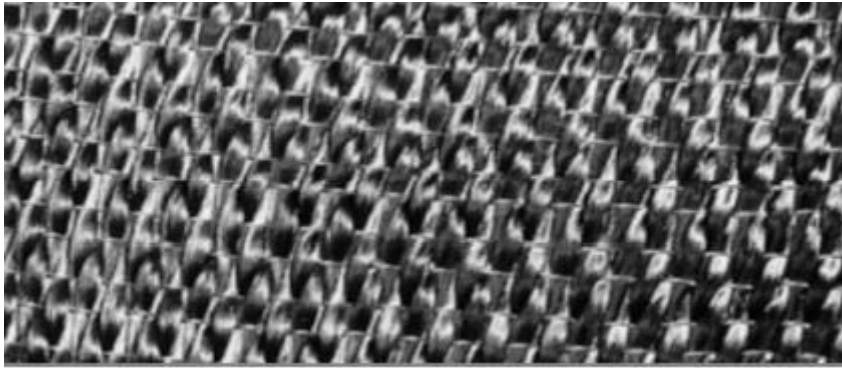


Figure III.8 : Tissus de fibre de carbone [37].

III.3.3.2. Mode opératoire :

Cette technique est intéressante dans le cas de perte importante d'une section en acier, et lorsque la structure est soumise à l'ajout de charges par rapport à ce qu'elle peut supporter.

Cette méthode consiste à coller des bandes de tissu en fibre de carbone sur les surfaces défectueuses. Les étapes d'application suivantes, selon "ASLAN FRP i", sont nécessaires :

1. Les surfaces doivent être préparées par sablage ou soufflage d'eau pour exposer les surfaces d'accrétion fines. Il existe des normes et des recommandations pour la préparation de surface telles que : ACI 546R et ICRI 0370.
2. Effectuez des tests d'arrachements (un processus, près de la surface, dans lequel un disque circulaire en acier est fixé à la surface du béton à l'aide de résine époxy ou polyester. La force nécessaire pour retirer ce disque de la surface, à l'aide d'une couche de stabilisateur de béton, est mesurée).
3. Mesurez le lissé ou la planéité de la surface préparée. Une surface inégale entraînera un décollement prématuré des plaques. Ceci est mesuré en plaçant une règle droite sur la surface préparée. Les zones inégales doivent être nivelées avec un mortier ou du mastic.
4. Avant d'appliquer l'adhésif structurel sur la toile CFRP, le côté poncé ou rugueux de la plaque est essuyé avec de l'acétone ou un autre solvant jusqu'à ce que tout résidu en excès soit éliminé de la plaque de carbone.
5. Un adhésif structurel est appliqué sur la surface en carbone et en béton.
6. Le tissu est soigneusement appliqué et pressé en place avec un rouleau en caoutchouc rigide pour obtenir une épaisseur de ligne de cerclage de 2 mm à 3 mm. L'excès d'adhésif est ensuite essuyé sur les côtés avant qu'il ne durcisse.
7. Pour faciliter l'inspection de contrôle de la qualité, des panneaux d'essai adjacents à la zone à renforcer doivent être préparés simultanément avec chacune des opérations ci-dessus. Un test de traction peut ensuite être effectué pour valider l'installation [33].



Figure III.9 : Feuille de polymère renforcé de fibre de carbone [33].

III.3.3.3. Matériaux :

Le renforcement en carbone renforcé de fibre de carbone (FRP) peut être appliqué à différents types de structures telles que les structures en béton armé, en bois et en métal [33].

Propriétés	Unité	Fibre de Carbone		Aciers	
		Torayca H.R. T 300/T 300J/T 700SC	Composites carbone	E 235	HR
Densité	-	1.75 à 1.80	1.53	7.85	7.85
Propriétés mécaniques (sens longitudinal)					
<u>Traction</u>					
Contrainte de rupture	Mpa	3530 à 4900	1760 à >2500	315	1860
Module	Gpa	230	125 à 165	210	210
Limite d'élasticité	Mpa	3530 à 4900	1760 à >2500	235	1600
Allongement à la rupture	%	1.5 à 2.1	1.1 à 1.9	23	3 à 7
<u>Compression</u>					
Contrainte de rupture	Mpa	-	1370 à 1570	315	1860
Module	Gpa	-	125 à 165	210	210
Propriétés mécaniques (sens transversal)					
<u>Traction</u>					
Contrainte de rupture	Mpa	-	80	315	-
Module	Gpa	-	7.8 à 8.8	210	-
Limite d'élasticité	Mpa	-	65 à 80	235	-
Allongement à la rupture	%	-	0.9 à 1.1	23	-

Tableau III.2 : Comparatif de la fibre de carbone avec l'acier

Le tableau suivant présente les différentes propriétés mécaniques et physiques des fibres de carbone et des aciers courants.

Les FRP sont légers, non corrosifs et présentent une résistance à la traction élevée.

L'avantage de l'utiliser dans :

- Sa faible densité.
- Ses propriétés mécaniques longitudinales.
- Pas d'érosion.
- Bonne résistance à la fatigue.
- Facilité de prise en main.
- Cependant, comme tout matériau, il a ses inconvénients. Les plus importants :

- Différence très sensible.
- La fragilité du comportement à la rupture des composés.
- Le prix d'un matériau est élevé par rapport au prix de l'acier [33].

III.3.4. Adjonction d'armatures d'aciers :

III.3.4.1. Introduction :

Il s'agit d'enlever le béton dans les zones où l'acier est corrodé. Les renforts conservés existants doivent être bien entretenus pour éviter toute détérioration supplémentaire.

Des armatures supplémentaires doivent contrecarrer la fissuration et contribuer à la résistance des profilés ainsi renforcés.

La connexion est réalisée par étanchéité par rapport aux longueurs du capuchon et fixation.

La géométrie d'origine doit être renouvelée avec un mortier riche pour augmenter l'adhérence et la résistance mécanique des profilés finis [2].

III.3.4.2. Mise en place des armatures complémentaires :

Durant cette étape, le diamètre restant des renforts les plus expose aux agressions (à l'aide d'un pied à coulisse par exemple) sera maîtrisé.

Des armatures complémentaires de même nature, par scellement, ou des systèmes de fixation express (chevilles, tiges adhérentes), seront posées afin de restituer la section initiale, avec une tolérance de 5%, compte tenu des longueurs d'ancrage et d'enrobage, et renforts de couture. Dans le cas du soudage, celui-ci doit être effectué, conformément aux normes établies, après vérification de la soudabilité de l'acier [2].

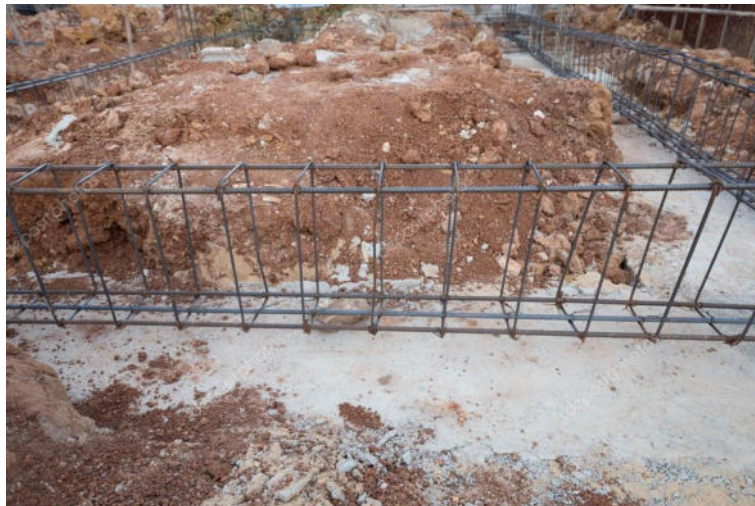


Figure III.10 : Réparation de poutre par adjonction d'armature [51].

III.3.4.3. Protection des armatures :

La protection de l'armature consiste à l'appliquer sur toute la surface de celle exposée : un produit qui assure une protection contre la corrosion. Ce traitement n'est vraiment nécessaire que si, pour des raisons techniques, l'enrobage final ne peut pas avoir la valeur prévue par la réglementation, pour un environnement particulier. Elle dépend aussi de la nature du produit de reconstitution du parement.

Il faut aussi s'assurer de la compatibilité avec les traitements ultérieurs (électriques notamment). Cette application doit suivre immédiatement le processus de décapage, car l'oxydation des renforts peut commencer et compromettre la bonne tenue de la réparation [52].

III.3.4.4. Réfection des bétons :

La réparation du béton consiste à repeindre l'armature avec la mise en œuvre d'un mortier riche. Vous devez répondre aux critères suivants :

- De la tenue d'aplomb de l'élément.
- Il a une résistance mécanique supérieure ou égale au béton support.
- Adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support.
- Perméabilité à l'eau et facteurs agressifs.
- Coefficient de dilatation thermique équivalent au support béton.
- Bonne protection en acier.

Ces paramètres sont assurés par l'utilisation de mortiers à base de résine pour améliorer les propriétés de l'apport, notamment lorsqu'il réagit dans la partie de façade où se manifestent plusieurs phénomènes tels que : l'effet du retrait en conditions de glissement sur l'interface du béton initial et du béton neuf

En général, pour être efficace, ce type de réparation nécessite une augmentation assez importante des dimensions des éléments de structure et l'utilisation d'un volume de matière relativement constant, ce qui n'est pas très agréable tant d'un point de vue économique que d'un point de vue esthétique de vue (figure suivante) [53].



Figure III.11 : Réfection des bétons et protection des armatures [53].

III.4. Techniques de renforcement des éléments structuraux en Génie Civil :

Le renforcement est un processus consistant à augmenter le niveau de service et, en particulier, à augmenter la ductilité et la résistance d'un élément de structure pour permettre son utilisation dans des conditions imprévues lors de la phase de conception et de calcul. Parmi les nombreuses techniques de renforcement [54] :

III. 4.1. Renforcement par chemisage :

III.4.1.1. Introduction :

Le procédé classique, dont l'efficacité a été largement vérifiée par l'expérience, consiste à revêtir l'élément en augmentant sa section par la pose d'une épaisseur de béton sur tout le périmètre de l'élément primitif. L'utilisation de béton de précision et d'auto compactage pour combler les interstices sans mise en vibration peut être indispensable.

La préparation du support est très importante, il est donc nécessaire de faire des poussées dans le béton pour améliorer la transmission des efforts, et de traiter les surfaces avec un apprêt à base de résine époxy. Ces versements seront remplis de béton avant que les résines ne sèchent. S'il s'agit d'un renforcement avec armatures, il faudra mettre cette armature en place et réaliser le bétonnage par coulage ou pompage.

Le béton doit être traité avec des additifs pour éviter les vibrations et le compactage. Lorsqu'il n'est pas possible de réaliser un chemisage complet des éléments dans le cas des façades, il faut recourir à d'autres opérations : renforcement avec des plaques métalliques ou épaissement de l'élément en béton sur deux faces opposées.

Les éléments d'armature doivent être fixés dans le béton primitif : soit par boulonnage dans le cas de panneaux métalliques, soit par ancrage dans le cas de béton rapporté [2].

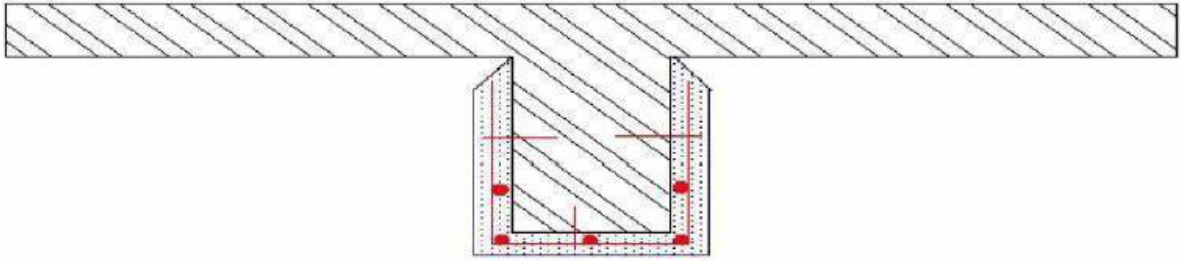


Figure III.12 : Renforcement d'une poutre par chemisage [2].

III.4.1.2. Adhérence entre les deux bétons :

L'adhérence représente la résistance au cisaillement, en l'absence d'effort normal de compression sur cette interface et pour le renfort de la couture qui peut la traverser.

Cette adhérence est principalement due à la liaison chimique entre le béton existant et le nouveau béton. La valeur d'adhérence maximale est atteinte pour des valeurs de glissement de l'ordre de 0,01 à 0,02 mm et est maintenue pratiquement constante jusqu'à des valeurs de glissement de l'ordre de 0,05 mm [55].



Figure III.13 : Renforcement d'une poutre avec chemisage en béton armé [2].

Le principal problème est que les dimensions sont considérablement augmentées, la raison étant qu'il est impossible de l'implémenter dans certains éléments. De plus, ce qui est lesté de béton dans le coffrage est compliqué non seulement pour la technique mais aussi pour la composition de ce dernier, puisqu'il doit assurer une bonne adhérence avec le béton de la poutre. Parfois, un prétraitement est effectué pour aider à créer l'assemblage optimal. Ce système permet jusqu'à 60% d'augmentation de la capacité de flexion [2].

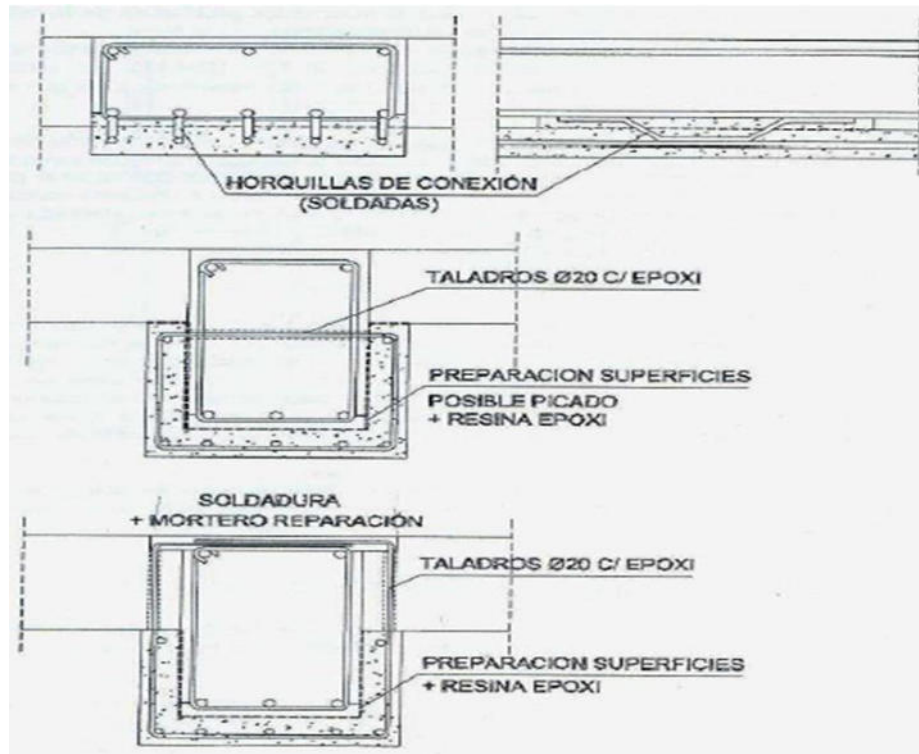


Figure III.14 : Renfort de poutres par enrobage [2].

III.4.1.3 Les inconvénients de chemisage :

Les inconvénients du renforcement avec du béton supplémentaire sont résumés dans l'organigramme ci-dessous comme suit : [2].

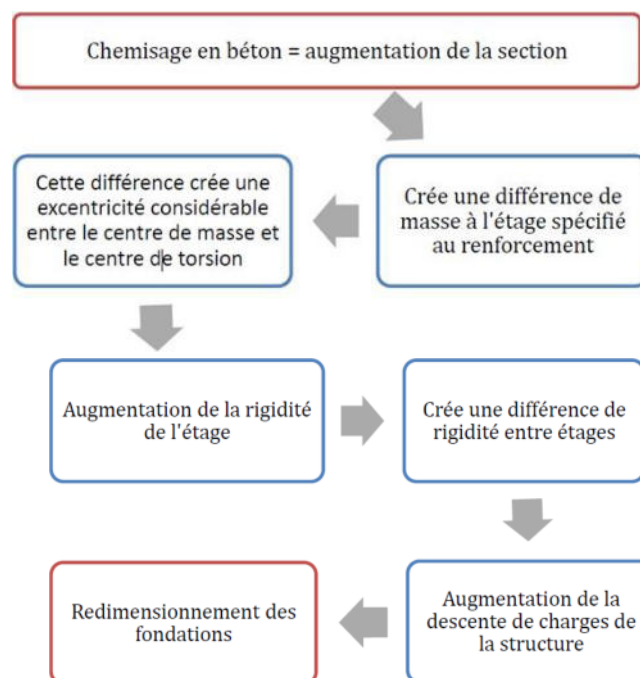


Figure III.15: Organigramme de processus de chemisage en béton armé [2].

III.4.1.4 Conclusion :

Renforcer un élément en augmentant sa section a un effet direct sur la masse de l'ensemble de la structure, en revanche, l'utilisation de matériaux métalliques ou composites permet de renforcer les éléments en question, du fait de leur relative légèreté [2].

III.4.2. Renforcement par platines métalliques :**III.4.2.1. Introduction :**

Ce type de renforcement consiste à pallier les insuffisances locales ou globales des structures en béton avec des plaques d'acier collées à la surface du béton.

Cette surface de béton doit d'abord subir une préparation minutieuse visant à éliminer toutes les parties faiblement adhérentes de la surface et à éliminer les défauts locaux afin de la rendre la plus plane possible [2].

III.4.2.2. Les matériaux utilisés :**a) La colle :**

C'est une résine époxy choisie pour ses propriétés d'adhérence aussi bien sur l'acier que sur le béton.

Le film adhésif restant doit être mince et d'une rigidité suffisante pour transférer entièrement les forces à la tôle par adhésion. Cette rigidité étant réduite par l'augmentation de la température, des précautions particulières doivent être prises dans le cas de structures exposées à des températures élevées.

La colle n'offre pas de résistance mécanique, mais elle doit transmettre des efforts [2].

b) La tôle :

La tôle d'acier est généralement de qualité standard, et son épaisseur est limitée à 3mm afin de lui permettre de suivre la courbure du support.

Si des sections d'acier plus importantes sont nécessaires, il est préférable d'installer les panneaux plutôt que d'augmenter l'épaisseur pour correspondre à la forme de déformation de la section en béton armé (ex. : camions à ressort à lames) [56].

Plusieurs expériences ont montré que ce système permet d'augmenter la résistance à la flexion entre 30 et 50 % [57].

La figure suivante présente les détails du ferrailage de manière simple :

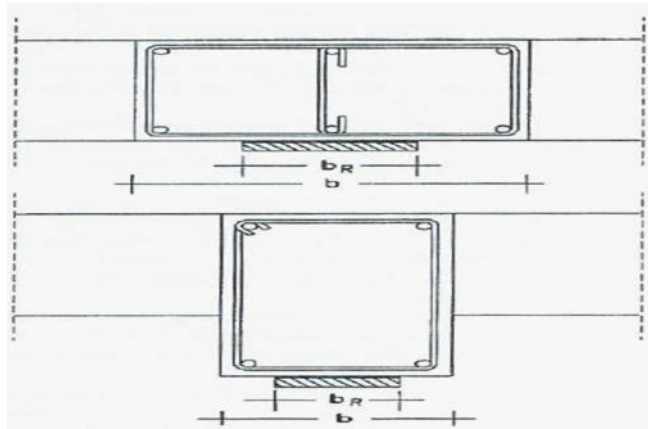


Figure III.16 : Renfort par plaque d'acier [2].

III.4.2.3. La mise en œuvre des plats collés :

- Pour parvenir à une mise en œuvre correcte, il est tout à fait souhaitable de procéder au processus de sablage, qui permettra de préparer une grande surface de collage, sans attaquer les surfaces en profondeur.
- Le mortier de ragréage est destiné à compenser, à certains endroits, le manque d'enduit d'armature interne ou à déniveler les surfaces, sans dépasser 20% des surfaces destinées au jointoiement.
- La colle est généralement considérée comme une résine époxyde de choix pour ses propriétés d'adhérence à l'acier et au béton. Une attention particulière devra être portée aux conditions climatiques environnant le chantier lors de la mise en place des panneaux.
- La colle n'offre pas de résistance mécanique mais transmet fortement les efforts.
- Plaques de renforcement ou plaques constituées, dans la plupart des cas, de plaques de fer. Ces tôles présentent une épaisseur de 3 à 5 mm et doivent subir toute leur préparation en usine (découpage- Pré assemblage si besoin, abattage des arrêtes ainsi qu'un éventuel sablage) pour avoir une bonne tenue de l'adhérence entre l'acier et la colle.
- Les panneaux doivent être protégés par un film du même type qui doit être appliqué avant le collage.
- L'acier doit être protégé contre la corrosion sur sa face visible. A la fin des travaux, l'acier doit être protégé de la corrosion.

- Après avoir retiré le vernis de protection ou le primaire de protection, la colle est étalée sur la plaque métallique et sur la surface du béton, l'épaisseur minimale de chaque face est d'environ un millimètre.
- Le dispositif de fixation, selon les cas, peut être constitué de pinces, de tiges filetées transportant l'élément à renforcer, et doit permettre d'appliquer une pression voisine de 4 N/mm^2 sur l'ensemble de la plaque pendant toute la durée de la polymérisation de la plaque avec de la colle [2].

III.4.2.4. Avantages et inconvénients de Bandes d'acier collées :

a) Avantage :

- Ne nécessite que des interventions mineures sur le châssis.
- Les renforts ne sont pas de grande taille.
- C'est souple [2].

b) Inconvénients :

- L'impossibilité de généraliser cette technique sur de grandes surfaces (très grosses manutentions), ce qui limite les possibilités de réparation.
- La durabilité contre la corrosion et la fatigue est un problème.
- La nécessité d'une préparation spécifique de la surface à traiter (la rigidité des plaques nécessite une surface parfaitement plane pour assurer une épaisseur uniforme de l'adhésif).
- Longueurs limitées.
- Le transport n'est pas toujours facile [2].

III.4.2.5. Conclusion :

La technologie de la plaque collée, qui a d'abord été utilisée dans le domaine des bâtiments industriels, s'est répandue très rapidement dans le domaine du génie civil où, dans de nombreux cas, elle a permis soit d'augmenter la capacité portante de la structure, ce qui entraîne l'apparition de défauts de résistance.

L'utilisation de ce type de cavité devrait accroître son utilisation au fur et à mesure que des recherches sont menées sur d'autres nouveaux matériaux pour remplacer l'acier [2].

III.4.3. Réparation ou renforcement par précontrainte additionnelle :**III.4.3.1. Introduction :**

La précontrainte additionnelle s'est imposée dans le renforcement ou la réparation, aussi bien des ouvrages d'art que des bâtiments, et mieux encore, les progrès technologiques de la réparation ont fait évoluer la conception des câbles puisqu'ils sont conçus, à l'heure actuelle, avec une précontrainte extérieure partielle ou totale.

D'un point de vue mécanique, la précontrainte externe additionnelle se caractérise par une faible perte de tension par frottement, et la possibilité de modifier assez facilement le tracé des câbles en fonction des effets recherchés.

D'un point de vue pratique, il offre une grande facilité d'installation et une contrôlabilité efficace de l'exécution, en ce qui concerne les connexions des gaines de contrainte, et cela est particulièrement vrai pour l'incorporation de câbles qui, lorsqu'elle est recommandée, a été simplifiée car elle facilite l'accès aux hautes et basses points bas du chemin.

De par son efficacité et sa souplesse de mise en œuvre, la précontrainte complémentaire permet de renforcer et/ou de réparer divers ouvrages (ponts, barrages, réservoirs, silos, etc.) ou éléments de structure tels que : dalles de plancher ou poutres [2].

III.4.3.2. Conception d'une précontrainte additionnelle :**a) Aspect général :**

La conception des câblages complémentaires, lorsqu'aucune disposition particulière n'est prévue lors du projet initial, doit être étudiée en intégrant trois aspects essentiels dans la conception de l'étude :

- Injection et comblement de fissures.
- Considérez tout changement dans le schéma statique de la structure ou de l'élément structurel en question.
- Recommandation que la précontrainte peut être démontrée [2].

b) L'injection des fissures :

Les ouvrages à réparer présentent généralement des fissures d'ouvertures variables.

Il convient donc, dans tous les cas, de pré-injecter les incisions, même si ce processus est long, pour réduire les effets de non linéarité et reconstituer au maximum un solide souple et homogène.

La précontrainte, à elle seule, ne peut colmater les fissures car, d'une part, les grains de béton ont pu s'ouvrir lors de l'ouverture des fissures et le raccord à bride modifié.

Ces grains, sous l'effet d'une contrainte supplémentaire, peuvent créer des points durs et perturber le passage des efforts en l'absence de pré-injection de fissures [2].

c) Changement du schéma statique :

Il est rare que l'on cherche à modifier le schéma statique théorique initial d'une structure, en le renforçant ou en le réparant, même s'il est vrai que le schéma statique peut se développer du fait de l'erreur de réglage [2].

d) Démontage de la précontrainte :

Dans tous les cas, la précontrainte additionnelle doit être démontable afin de pouvoir être facilement remplacée en cas de défaillance. Il peut être souhaitable qu'elle soit réglable afin de contrôler dans le temps l'intensité de la contrainte supplémentaire appliquée et d'améliorer l'efficacité de la réparation.

La démontrabilité est faisable et faisable, tous les points individuels des câbles supplémentaires doivent être étudiés dans cette perspective telle que les zones d'installation, les jonctions d'espacement, les en-têtes ainsi que les réflecteurs de câbles, etc. [25].

III.4.3.3. Les différents tracés de la précontrainte additionnelle :

La disposition supplémentaire des armatures précontraintes peut être rectiligne ou polygonale. Les câbles droits sont plus pratiques et faciles à mettre en œuvre et les pertes de résistance par effet de frottement sont localisées près des zones d'installation, qui sont sous-estimées [56].

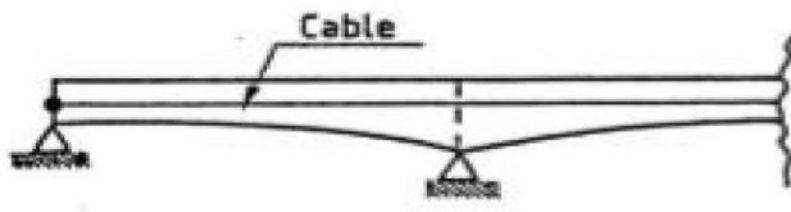


Figure III.17: le tracé rectiligne [2].

D'autre part, le tracé polygonal formée par la déflexion du câble, de manière à améliorer l'effet de la précontrainte en termes de résistance à la flexion et de résistance au cisaillement. Les pertes par frottement sont légèrement plus élevées que dans le cas d'une voie droite, bien qu'elles restent modérées, la mise en œuvre est plus compliquée, du fait de la composition des réflecteurs, mais c'est la conception la plus courante [58].

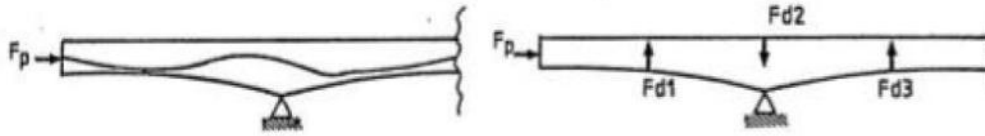


Figure III.18 : Le tracé polygonal [2].

III.4.3.4. Avantages et inconvénients de la précontrainte additionnelle :

a) Avantages :

- Compensation partielle ou totale pour les actions des charges.
- Importantes économies de matière.
- Les grands ascenseurs sont réparables.
- Réduire le risque de corrosion [2].

b) Inconvénients :

- Le besoin de certains matériaux (comme les cylindres).
- Le besoin de main-d'œuvre qualifiée.
- Le besoin d'équipements spéciaux.
- Risque de rupture du vide dû à une pression excessive.
- Processus de calcul relativement complexe [2].

III.4.3.5. Conclusion :

Étant donné que les matériaux composites ont une grande souplesse pour s'adapter à des géométries plus complexes d'éléments renforcés, leur légèreté par rapport à l'acier, leur facilité de manutention, de transport et de mise en œuvre sur site, ainsi que leur résistance mécanique relativement élevée par rapport aux autres moyens de renforcement.

Ces multiples avantages mécaniques et physico-chimiques permettent l'utilisation des matériaux composites comme moyen de renforcement et de réhabilitation des structures en Génie Civil et l'utilisation de tissus ou stratifiés en CFRP (polymère renforcé de fibres de carbone) est une alternative intéressante aux méthodes de réparation traditionnelles.

Pour cette raison, le choix d'un renforcement avec des composites (polymère renforcé de fibres de carbone) pour l'élément à renforcer qui a fait l'objet de cette étude est jugé approprié [2].

III.4.4. Adjonction de matériaux composites (Polymères Renforcés en Fibres) :**III.4.4.1. Introduction :**

Le renforcement des structures par assemblage de tôles d'acier, qui est resté un favori dans la construction, n'a connu qu'un développement limité dans le domaine du génie civil. Afin de pallier ce type de renforcement, des groupes de recherche ont pris d'autres mesures en utilisant d'autres matériaux appelés : composites.

Cette voie est plus prometteuse et consiste en la mise au point d'une technologie permettant de renforcer les structures en béton et en acier par imprégnation et collage de tissu à base de fibres sèches ; (polymère renforcé de fibre de carbone PRFC) [2].

III.4.4.2. Définition et avantages :

Les fibres généralement utilisées en génie civil sont les fibres de carbone. Ces fibres sont obtenues par pyrolyse de fibres organiques, réticulées et orientées en atmosphère contrôlée. Ils sont principalement utilisés sous forme de matériaux composites pour conférer au produit final les meilleures propriétés physiques, statiques et dynamiques. Ces matériaux présentent des pressions d'écrasement très élevées pour une densité cinq fois inférieure à celle de l'acier. Les composites en fibre de carbone sans égaliseur bénéficient de propriétés physiques très larges :

- Haute résistance à la traction (avec module d'élasticité élevé).
- Haute résistance à la fatigue.
- Légèreté.
- Haute résistance à l'usure.
- Absorption des vibrations.
- Possède une excellente résistance à l'usure [2].

III.4.4.3. Propriétés du tissu et de la résine de collage :

Facile à transporter et à manipuler, la toile ne pèse que 0,8kg/m², la toile en fibre de carbone peut être facilement découpée sur place à la forme souhaitée, et seul un échafaudage léger est nécessaire à sa mise en place.

Contrairement à la plaque d'acier, le TFC (tissu en fibre de carbone) ne nécessite aucune pression de contact pendant le durcissement de la résine.



Figure III.19: Collage en résine [2].

Sa faible épaisseur, 1 mm, lui permet d'être entraîné par traction par résine durcie, sans flexion parasite.

La résine est utilisée à deux fins, elle réalise à la fois l'imprégnation du tissu et sa fixation au support. Il en résulte, d'une part, une grande simplicité d'exécution, et, d'autre part, un usinage amélioré, dans lequel le renfort ne présente qu'une seule surface de contact.

La résine peut être appliquée sur une surface humide, après mélange de deux composants, le temps de prise et de durcissement est de quelques heures ; Ce temps varie légèrement en fonction de la température [56].

III.4.4.4. Procédures de la mise en œuvre :

Dans le cas du béton, un ponçage à sec doit être effectué afin d'obtenir une surface rugueuse et uniforme en tous points avec un amortissement compris entre 0,5 et 1 mm, en éliminant les dépôts de poussière et les particules antiadhésives à la brosse, ainsi que le chanfreinage de bouts pointus.

La couche de résine est appliquée avec un rouleau à poils lorsqu'un dépôt moyen de 0,7 kg/m² est atteint, la toile est alors posée, si nécessaire, il est possible de poser plusieurs lés côte à côte bord à bord. Puis une couche d'imprégnation de la même résine. Si nécessaire, ce processus peut être répété avec une deuxième couche de TFC [2].



Figure III.20 : Renforcement d'une poutre au moyen de matériaux composites [2].

III.4.4.5. Conclusion :

Analyse du renforcement avec TFC, pour montrer que le coût des matériaux, supérieur à celui de la tôle, est largement compensé par l'économie mise en œuvre sur les temps de main d'œuvre et le conditionnement des équipements [2].

III.5. Travaux de réparation des éléments de structures :

a) Poteaux : Deux technologies principales conviennent à la réparation des poteaux. C'est la technique d'injection si le béton n'est pas dégradé et le gainage s'il s'agit du cas contraire.

b) Poutres : Pour fixer les poutres, plusieurs techniques sont utilisées parmi lesquelles on peut citer le gainage en béton armé et la précontrainte externe.

c) Murs en béton armé :

Les murs en béton armé, en raison de leur dureté et de leur haute résistance aux forces de cisaillement, résistent bien aux forces sismiques qui se produisent dans le bâtiment. Ainsi, une paroi endommagée ou mal dimensionnée peut être réparée et/ou renforcée selon que la résistance de l'ouvrage aux forces sismiques est améliorée ou non.

d) Planchers :

Le revêtement de sol est principalement conçu pour supporter des charges verticales. Cependant, ils jouent un rôle très important dans la structure en tant qu'élément de renforcement. Pour cela, ils doivent avoir la force et la rigidité nécessaires. Les dommages à la terre sont généralement déterminés au niveau des événements où il y a des concentrations de forces sismiques. La réparation intervient après des dommages subis lors de la procédure de

renforcement lorsqu'il s'avère que le plancher est mal dimensionné ou surtendu dans les zones où il y a un couloir de murs neufs.

Pour les réparations ponctuelles, une injection de résine époxy ou un mortier de ciment peut être utilisé pour sceller les fissures. L'acier cassé ou déformé et le béton concassé peuvent également être remplacés dans les zones endommagées.

Un renforcement du sol peut être envisagé si sa dureté s'avère insuffisante. La couche de béton armé peut être appliquée au-dessus ou au-dessous. Dans le premier cas le béton est réalisé par coulage, tandis que dans le second cas le béton est réalisé par coulage.

e) Murs en maçonnerie :

Les murs de maçonnerie sont souvent susceptibles de se fissurer en raison des forces de cisaillement et de traction excessives présentes à leurs jonctions.

Selon l'épaisseur des trous de fissures, différentes méthodes de réparation peuvent être utilisées. Ces méthodes peuvent aller du simple jointoiment au remplacement de tout le mur en passant par le remplacement de briques ou de gravats le long de la fissure [58].

III.6. CAS DE REPARATION :

III.6.1. Réparation du béton due à la carbonatation :

III.6.1.1. Introduction :

L'armature c'est le point faible du béton armé. En fait, cela met en péril sa pérennité. La corrosion des pièces métalliques présente un risque potentiel pour la stabilité et la préservation des bâtiments. Ce phénomène entraîne l'apparition de diverses modifications de la surface extérieure (fissures, taches de rouille, éclats, etc.) [37].

III.6.1.2. Technique de réparation (carbonatation) :

Après un bon diagnostic, la réparation peut commencer. Le contour de la surface à réparer doit avoir des arêtes vives (meule) pour la propreté de la réparation. Les zones dégradées de béton doivent être enlevées pour restaurer une surface de béton saine. Un marteau-piqueur et/ou une démolition à l'eau sont généralement utilisés [37].



Figure III.21: Technique de réparation (carbonatation) [37].

III.6.1 3. Le Traitement des armatures :

Après enlèvement et démontage (manuel ou mécanique) des parties friables (toutes les parties antiadhésives), des opérations de brossage et de grattage peuvent être effectuées pour éliminer la rouille. La rouille est possible et peut être utilisée. En cas de diminution importante de la section acier, il sera nécessaire de la renforcer ou de la remplacer. L'épaisseur minimale de la couverture de renfort doit être respectée dans tous les cas car c'est un facteur important pour sa protection [37].



Figure III.22 : Traitement des armatures [37].

III.6.1.4 La Réparation du béton :

Après avoir traité les armatures, nous pouvons appliquer le béton de réparation. Le type de béton requis est soigneusement sélectionné en fonction de la nature de la réparation requise. Le produit de réparation sélectionné sera appliqué une fois les surfaces complètement propres. Le mortier doit être appliqué en couches successives de 5 à 50 mm maximum, bien

compactées à la truelle. Il est important de bien compacter le mortier autour des armatures pour éviter les impuretés de l'air [37].



Figure III.23 : Réparation du béton [37].

III.6.1.5. La finition :

Possibilité de peinture finale ayant la propriété de protéger le béton de la cémentation et/ou du ragréage conventionnel des pièces réparées.

La qualité finale et la pérennité des travaux de réparation sont conditionnées par le soin apporté à la réparation des culées ainsi que la qualité d'exécution des produits.

De manière générale, il est nécessaire de se référer aux réglementations et normes applicables, ainsi qu'aux spécifications techniques contenues dans les fiches techniques [37].



Figure III.24 : Finition [37].

III.6.2. Réparation des désordres superficiels :

Si l'endommagement d'une partie de la structure en béton est superficiel et si l'armature ne s'est pas érodée, alors le processus de réparation comprend :

- Préparation de surface avec élimination du béton détérioré et de toute trace de pollution.
- Traitement éventuel du fer contre les risques de corrosion.
- Remodelage du revêtement de l'armature et de la géométrie de la pièce par nivellement manuel ou mécanique au béton, mortier de réparation technique adapté ou projection de béton.
- Application d'un revêtement protecteur ou esthétique sur les surfaces traitées.
- Les produits utilisés pour réparer le béton détérioré sont classés en 3 catégories :
- Produits et systèmes basés sur des liaisons hydrauliques conventionnelles ou modifiées avec ajout de polymères.
- Produits et systèmes à base de résines synthétiques.
- Produits et systèmes mixtes dont le liant actif est constitué de liants hydrauliques et de résines synthétiques.

Il doit être compatible avec le béton de l'ouvrage et s'adapter aux conditions environnementales [37].

III.6.2.1. Traitement des fissures :

Il existe 5 techniques principales pour traiter les fissures. Le choix de la technologie appropriée dépend des caractéristiques du concassage :

Ouverture (micro fissures, micro fissures, fissures moyennes...), profondeur, activité (fissures Ouvert, fermé, mort, actif, etc.), planification, ingénierie, exposition aux intempéries (fissures sèches, humides, saturées, ruisselantes, etc.), présence d'eau libre ou sous pression, etc., état et type de support et les délais imposés pour la remise en service de l'ouvrage [38].

a) Injection :

Il consiste à pénétrer la fissure avec un produit qui crée une continuité mécanique et /ou joint entre les pièces séparées. Appliquer sur des fissures avec une ouverture minimale de 0,1 à 0,2 mm.

L'injection permet à un produit souple de s'adapter aux mouvements provoqués par les variations thermiques et humides.

L'injection d'un produit solide assure la continuité du matériau [37].

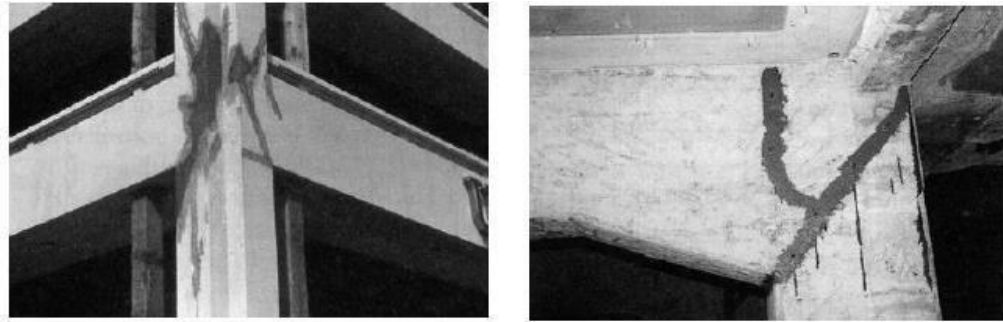


Figure III.25 : Traitement de fissure par injection [37].

b) Cachetage :

Son but est de sceller temporairement la fissure lors de l'injection afin de contenir le fluide injecté dans la fissure jusqu'à ce qu'il se solidifie [37].

c) Calfeutrement :

Son but est de sceller définitivement la fissure en profondeur avec un produit souple (mastic ou coulis placé dans une rainure créée le long de la fissure) afin de rétablir ou colmater l'étanchéité à l'air ou à l'eau. Empêcher la pénétration de solides, mais sans bloquer les mouvements de la fissure [37].

d) Pontage :

Il est destiné à recouvrir la fissure au moyen d'un produit souple qui adhère à la surface de la culée (enduit, tôle préfabriquée...) afin de rétablir l'étanchéité à l'air, l'absence d'infiltration d'eau ou d'empêcher la pénétration de solides en laissant des mouvements de fissure [37].

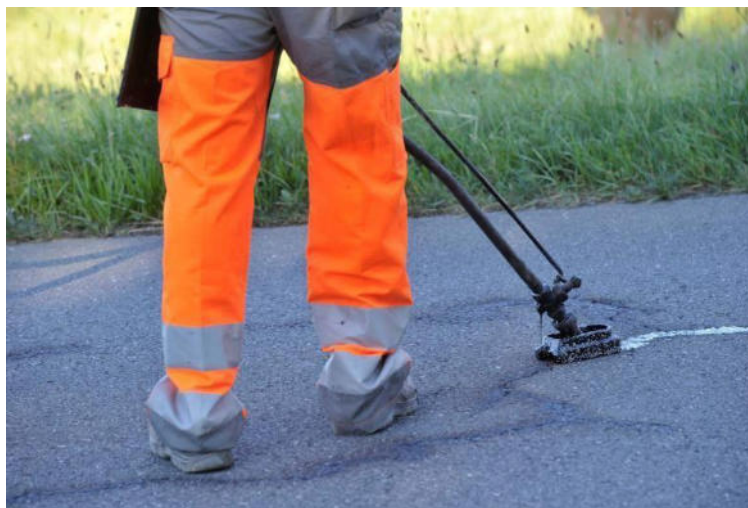


Figure III.26 : Traitement de fissure par pontage [59].

e) Protection généralisée :

Ce traitement consiste à appliquer un revêtement à la surface de la structure fissurée qui obture les fissures. Elle s'applique lorsque la fissure est salissante et concerne l'ensemble du support. Les guides FABEM 2 et FABEM 3 présentent les différentes recommandations pour préparer et réaliser chaque technique d'injection.

Le choix des produits à utiliser dépend de l'ouverture des fissures, du potentiel d'eau et de l'activité des fissures.

Produits à base de liaisons hydrauliques avec additifs ou modifiés par des polymères organiques [37].

III.6.3. Inhibiteur de corrosion :

Les inhibiteurs de corrosion sont des agents chimiques qui ralentissent voire arrêtent le processus de corrosion des métaux sur lesquels ils sont appliqués. Généralement, il est ajouté en faible concentration dans un environnement corrosif.

Il est important de noter que cette catégorie de produits ne comprend pas les éléments en alliage métallique comme le chrome par exemple.

Il existe différentes manières de fabriquer des inhibiteurs de corrosion en fonction de leur classe. Chaque espèce réagira différemment selon le milieu dans lequel elle se trouve. Par exemple, l'inhibiteur peut revêtir la surface métallique par adsorption et réduire ainsi les surfaces de réaction initiales.

Dans un autre cas, il peut former des composés avec le métal et le liquide environnants modifiant ainsi les interactions d'interface. Dans tous les cas, la vitesse d'usure est ralentie, voire supprimée. Cependant, pour généraliser, la corrosion étant un processus électrochimique, l'action de l'inhibiteur se fera au niveau des phases de la réaction électrochimique, et les principales fonctions de l'inhibiteur de corrosion sont les suivantes :

- Prendre des mesures rapides et vérifiables.
- Être efficace pendant de nombreuses années.
- Pour une pénétration suffisante des couches de béton même en cas de béton de nature hétérogène.

- Réduire le taux de corrosion du métal sans affecter ses propriétés mécaniques et chimiques et les propriétés du milieu environnant.
- Tenir compte du milieu (basique, neutre en cas de carbonatation, voir acide si des chlorures sont présents) dans lequel il se trouvera pour être compatible avec lui et aussi à la température d'utilisation.
- Sa concentration est suffisante pour être efficace.
- Ne pas être toxique.

Comme indiqué ci-dessous, il existe différentes classes d'inhibiteurs de corrosion. Ils peuvent être classés selon leur fonctionnement :

- Inhibiteurs anodiques qui agissent en réduisant le courant sur la partie anodique de la surface métallique. Cependant, il n'y a aucun danger à moins que son effet ne soit pas entièrement sur l'élément, il peut augmenter localement la densité de courant et ainsi conduire à un processus de corrosion locale plus intense que ce qui se produirait en l'absence d'inhibiteurs de corrosion
- Les inhibiteurs cathodiques agissent en augmentant la surtension à la cathode et en réduisant ainsi le courant de corrosion. Les inhibiteurs cathodiques n'arrêtent jamais le processus de corrosion, mais ils n'ont pas l'inconvénient des inhibiteurs cathodiques, qui est la corrosion localisée.
- Inhibiteurs cathodiques mixtes. Qui a les propriétés d'inhibiteurs anodiques et cathodiques.

Dans le cadre de la mise en œuvre de l'anticorrosion, il est important avant son application de préparer la surface du béton, c'est-à-dire d'enlever la peinture ou tout autre revêtement. Une fois que la surface est prête à recevoir le produit, l'application se fait directement sur la surface en béton avec un rouleau ou un pulvérisateur. Il convient de veiller à ce que la consommation utilisée soit conforme aux recommandations. Pour les inhibiteurs de corrosion sous forme liquide, l'application s'effectue en plusieurs voies.

Pour les inhibiteurs de corrosion sous forme de gel, l'application s'effectue en une seule fois. Il faudra alors vérifier que les quantités minimales d'inhibiteurs de corrosion ont été atteintes au niveau des armatures. Cette vérification peut se faire en prélevant des échantillons représentatifs de la structure ou en observant des mesures de corrosion potentielle ou de courants.



Figure III.27 : Inhibiteur de corrosion [60].

Les zones qui devraient recevoir ce type de produit sont les endroits qui n'ont pas été adressés. En effet, généralement lorsque les bétons se dégradent par le processus d'érosion, il est habituel d'inclure un inhibiteur de corrosion dans la formulation du béton de chape ou du béton projeté.

Ainsi, les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte contre la corrosion des métaux. Ceci est possible car le traitement se fait à travers un milieu corrosif et non sur le métal lui-même. Cela permet d'éviter de dénuder les renforts pour l'application de ce type de produit [1].

III.6.4. La Déchloration :

La méthode de déchloration est dérivée du procédé ré-alcali. Il est basé sur l'extraction des ions chlorure qui ont pénétré l'enrobage béton au fil du temps. Les ions chlorures qui peuvent être produits par un environnement à forte salinité (climat océanique, vents marins), l'utilisation fréquente de sels de déglçage ou encore l'utilisation d'accélérateurs de stabilisation lors de la construction. Cette agression invisible attaque le treillis métallique qui s'oxyde à nouveau et finit par provoquer une fragilisation du béton.

Il sera donc nécessaire de faire migrer les ions chlorure hors de la surface pour créer un environnement sain. Pour cela nous utiliserons une méthode électrochimique, qui consistera à appliquer un courant électrique entre l'armature en acier (cathode) et le réseau en titane (anode). Ce treillis est collé à la surface du béton, mais n'est pas en contact, grâce à une couche préalablement appliquée de cellulose ou de laine de roche (pour une meilleure conductivité). Une extrémité du générateur se connecte au cadre en acier (à l'aide de fentes) et l'autre à la grille en titane. Une fois le contact établi, les ions chlorure migrent vers l'extérieur à travers les pores du béton.

Les résultats de ces traitements électrochimiques temporaires sont évalués soit pour la déchloration soit pour la réalcalinisation. Pour l'élimination du chlore, des dosages de chlorure - réalisés avant et après traitement - permettent de quantifier le résultat. Dans le cadre de la déchloration, on peut juger que l'extraction est satisfaisante si la teneur en chlorure à proximité du renfort est inférieure à un certain seuil.

Ce traitement dure en moyenne de 2 à 5 semaines, mais sa durée peut varier en fonction de la porosité du béton, du taux de chlorure présent et de la structure de la couche. Des échantillons de matériaux réguliers sont utilisés pour vérifier l'efficacité du traitement avant, pendant et après. Pour en savoir plus, consultez notre article sur l'élimination du chlore [61].



Figure III.28 : La Déchloration [61].

III.6.5. La Réalcalinisation :

Le traitement ré-alkali (ou ré-alkali) repose sur une méthode électrochimique consistant en un traitement anticorrosion des armatures. Corrosion causée par la carbonatation du béton. Cette technologie augmente l'alcalinité autour de l'acier pour permettre la formation d'une couche protectrice. Le procédé breveté RENOVORS-NOVBETON n'altère pas l'aspect d'origine de la façade. Il est particulièrement adapté à la rénovation du béton sur des structures anciennes et de type monument historique.

Ce traitement électrochimique a pour but de redonner au béton de parement la capacité de protéger l'armature grâce à son pH. Ainsi l'aspect du béton durci est respecté.

Pour vérifier le bon fonctionnement de la ré-alkalinité, on utilise souvent de la phénolphthaléine (réactif coloré) qui permet de sélectionner des fractions de béton à un pH

suffisamment élevé pour protéger ou non l'acier. De plus, il est possible d'appliquer une couche de revêtement sur la surface du béton après durcissement pour augmenter la perméabilité du béton.

L'efficacité de la ré-alkalinisation peut être jugée en vérifiant les indicateurs de pH (où la teneur en chlorure est vérifiée pour l'élimination du chlore) [61].



Figure III.29 : La Réalkalinisation [61].

III.7. Les revêtements :

III.7.1. Le revêtement imperméabilisant :

Les revêtements de surface, qui permettent de protéger la structure des agressions, sont répartis en différentes classes, qui sont décrites ci-après. Chaque type de peinture a sa propre méthode d'application

Les revêtements étanches sont généralement des systèmes multicouches utilisés à des fins thérapeutiques. Sa fonction principale est de compenser les perturbations affectant la structure en ayant par exemple la fonction d'imperméabilité à l'eau liquide. Il est nécessaire qu'ils aient suffisamment de souplesse pour qu'ils puissent résister à la fissuration du support [37].

III.7.1.1. La peinture :

Le revêtement peut avoir différentes fonctions :

- Améliorer l'esthétique de l'ouvrage en colorant ou en créant des motifs décoratifs pour lui donner un aspect particulier ou en harmonisant la couleur de ses façades lorsque cela est nécessaire.
- Il peut être destiné à augmenter le confort et la sécurité des usagers, tout en facilitant le nettoyage (exemple : revêtement de tunnels).

- Il permet également de participer à l'intégrité de la structure (exemple : marquage des horoscopes).
- Mais surtout, il contribue à la protection du béton.

En effet, la mise en place d'un système d'enduit en couche mince, dans la mesure où il améliore l'étanchéité de la culée, peut permettre de ralentir la pénétration de l'humidité extérieure et ainsi d'améliorer la durabilité du béton [37].

III.7.1.2. Les lasures :

Le colorant peut être utilisé pour maintenir ou améliorer la texture de la façade en béton. Il y a des taches incolores, mais il y a aussi des taches colorées. L'avantage par rapport aux peintures est qu'elles ne sont pas opaques [37].

III.7.1.3. Les revêtements minces :

Ils sont inclus dans cette catégorie :

- Revêtements plastiques épais qui contiennent généralement des éléments à base de résines acryliques ou polyuréthanes.
- Peinture résistante à l'eau à base de résine acrylique.
- Divers revêtements à base de polyuréthane [37].

III.7.1.4. Les enduits de façade :

Il existe deux classes de revêtements de façade :

- Revêtements traditionnels exécutés en trois couches distinctes.
- Les peintures monocouches sont prêtes à l'emploi.

Dans tous les cas, ces enduits sont à base de liants hydrauliques et/ou de chaux pneumatique [37].



Figure III.30 : Mise en place d'un revêtement de surface [37].

III.8. Les différentes méthodes de réparations des bâtiments anciens traditionnels :

III.8.1. Réparation des murs et des piliers en maçonnerie traditionnelle :

Les techniques de réparation des dommages aux murs et les piliers des bâtiments traditionnels varient. Le choix de l'une de ces technologies ou d'une autre est conditionné par plusieurs facteurs : la nature et les propriétés mécaniques des matériaux de construction (briques pleines, pierre, terre battue, etc.), les raisons des dégâts, etc.

Avant de commencer les travaux de réparation, les causes de la perturbation doivent d'abord être éliminées [35].

III.8.1.1. Substitution partielle (remplacement de la partie dégradée) :

La partie affectée du mur ou du pilier est reconstruite avec le même matériau (brique pleine ou pierre). Si le mur est en terre pisé, la partie détériorée (généralement la base du mur) peut être reconstruite en briques pleines.

L'intervention consiste à soutenir et démonter la partie affectée, qui est ensuite reconstruite avec les mêmes matériaux et techniques de construction [36].



Figure III.31 : Reconstruction de la partie dégradée d'un mur [35].



Figure III.32 : Reconstruction d'un pilier dégradé en briques pleines traditionnelles

III.8.1.2. Réparation des fissures :

a) Cicatrisation :

La méthode de traitement des fissures, appelée localement « Takhyat » (raccomodage), consiste à démonter la maçonnerie de part et d'autre de la fissure pour la remonter en scellant l'ouverture créée lors du démontage, en utilisant les mêmes matériaux et techniques traditionnels, uniquement lors de l'exécution.



Figure III.33 : Deux exemples de cicatrisation de fissures sur façades d'édifices traditionnels [35].

b) Les agrafes

Une autre technique de réparation des fissures dans les murs, moins utilisée que la précédente, est celle qui consiste à insérer des broches métalliques entre les rebords qui font office de sutures [35].

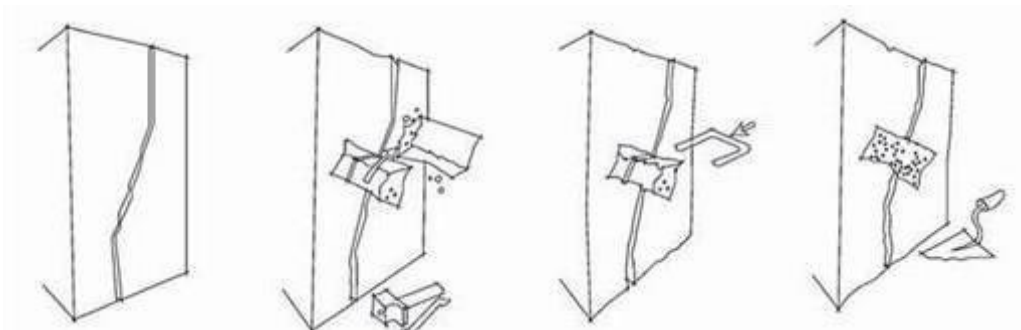


Figure III.34 : Méthode des agrafes [35].

c) Le rejointoiement

C'est une technique qui consiste à repeindre les joints entre éléments de construction endommagés par l'érosion ou les racines des plantes avec un mortier à base de chaux. Le processus de repeindre consiste à nettoyer les joints existants à une certaine profondeur, puis à les remplir avec un nouveau mortier à la chaux.

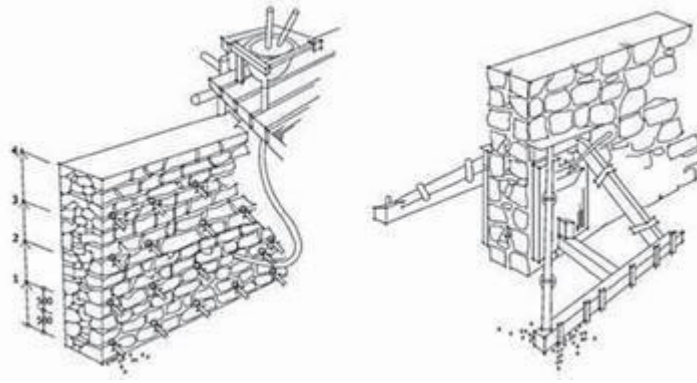


Figure III.35 : Méthode de rejointement [35].

d) Chaînage par éléments métalliques :

La technique de chaînage consiste à installer des ceintures ou ceintures sur le pourtour des murs porteurs fermés en maçonnerie conventionnelle du bâtiment ou sur ses colonnes, afin de les rendre plus robustes et d'augmenter leur résistance. C'est une technique ancienne que l'on retrouve dans de nombreux bâtiments historiques en Italie, dont le plus célèbre est le Colisée romain. Les éléments de chaîne étaient généralement en fer ou en acier. Aujourd'hui, il existe sur le marché des bandes de fibre de carbone qui remplissent le même rôle [35].

e) Les tirants :

Cette méthode consiste en l'agencement d'éléments linéaires appelés tirants, qui vont exercer une force de traction pour ralentir l'effondrement ou la déformation progressive des murs tangents à leur niveau.

Les tirants sont constitués en principe d'un câble en acier et sont fixés sur deux parois opposées au moyen de fixations spécifiques qui empêchent leur écartement de changer [35].

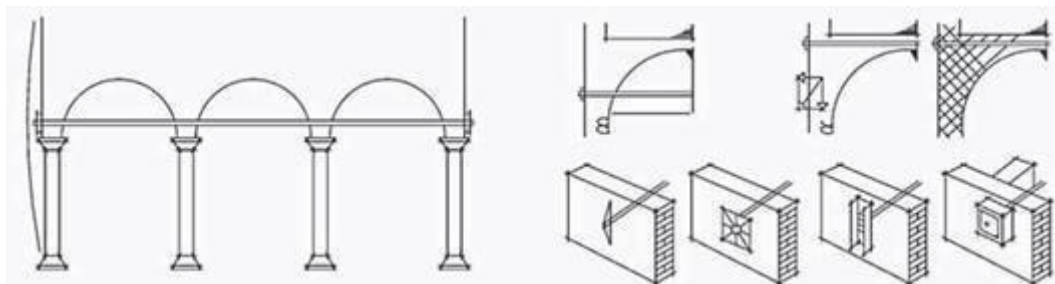


Figure III.36 : Les tirants [35].

f) Taxidermies avec des armatures en acier :

Il s'agit d'une technique de renfort qui consiste à insérer des armatures en acier à l'intérieur des murs malades en maçonnerie de briques pleines ou de pierre, de façon à augmenter leur solidité et leur résistance. On utilise généralement un produit adhérent à base époxydique pour assurer le contact entre les armatures d'acier et le matériau du mur à renforcer [35].

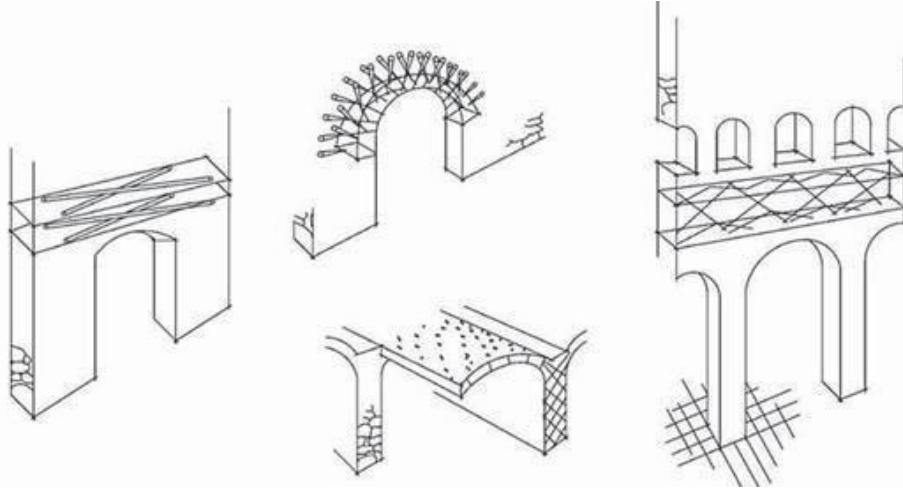


Figure III.37: Méthode de Taxidermies avec des armatures en acier [35].

g) Les contreforts

Lorsque la structure existante d'un bâtiment traditionnel n'est pas en mesure d'absorber les tensions spécifiques créées par les contraintes obliques créées dans le mur (poussées de voûtes et d'arcs par exemple), des fermes de maçonnerie (en pierre ou en brique pleine) peuvent être préparées qui absorbent et transmettent ces forces au sol à travers sa section [35].

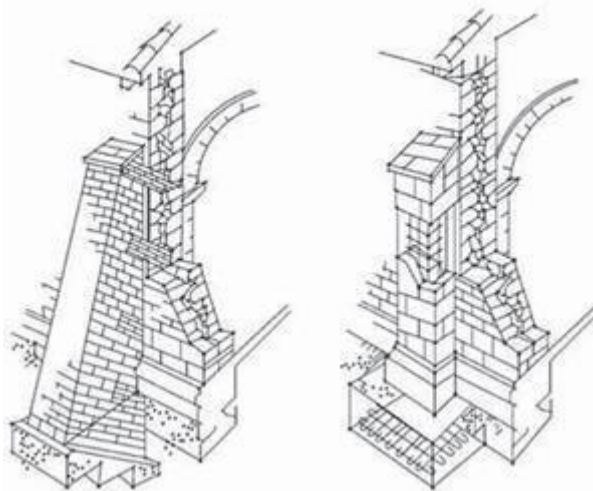


Figure III.38 : Méthode de contrefort [35].

III.8.2. Réparation des planchers et des couvertures :

Comme développé précédemment, les causes de détérioration des parquets traditionnels en bois peuvent être associées à l'attaque de facteurs biotiques, à l'empiétement du bois ou à des déficiences dans la structure du plancher sous l'influence de contraintes mécaniques provoquées par des charges (ou surcharges) alimentées par le plancher.

Le choix du mode d'intervention pour la réparation d'un plancher en bois conventionnel doit reposer sur un bon diagnostic des causes à l'origine des perturbations constatées et sur une connaissance préalable des conditions d'utilisation future du plancher (charges d'exploitation, etc..) [35].

III.8.2.1. Remplacement des appuis des poutres et solives en bois :

Dans un plancher traditionnel en bois, les parties les plus sollicitées par les attaques biotiques, notamment à cause de la présence d'humidité, sont les appuis des poutres et des solives en bois qui sont encastrées dans les murs.

Dans ce cas de figure, et en fonction du diagnostic établi et de la détermination de l'étendue du désordre constaté (problème concernant quelques solives isolées ou une ligne d'appuis contigus), on pourra choisir la solution qui s'adapte le mieux à la situation. L'une des solutions consisterait à remplacer les appuis dégradés par des éléments de substitution façonnés dans la même essence de bois, et ce, après avoir pris soin de bien nettoyer et traiter les parties malades des solives (ou des poutres). Le traitement curatif du bois peut être fait en utilisant une solution de traitement Xylophène.

La longueur des éléments de substitution en bois des appuis malades et le type d'assemblage choisi pour les relier aux bois anciens sont des éléments fondamentaux pour garantir la solidité des solives et leur permettre de continuer à assurer leur fonction structurelle



Figure III.39 : Remplacement du bout pourri d'une solive en bois malade avec un morceau de bois neuf



Figure III.40 : Les solives dont les bouts sont pourris reposent sur de nouveaux appuis en madriers de bois.

Une autre solution pourrait consister en le renfort des appuis malades à l'aide d'éléments métalliques (des sabots par exemple) qui viendraient habiller les bouts des solives malades après leur nettoyage et traitement [35].

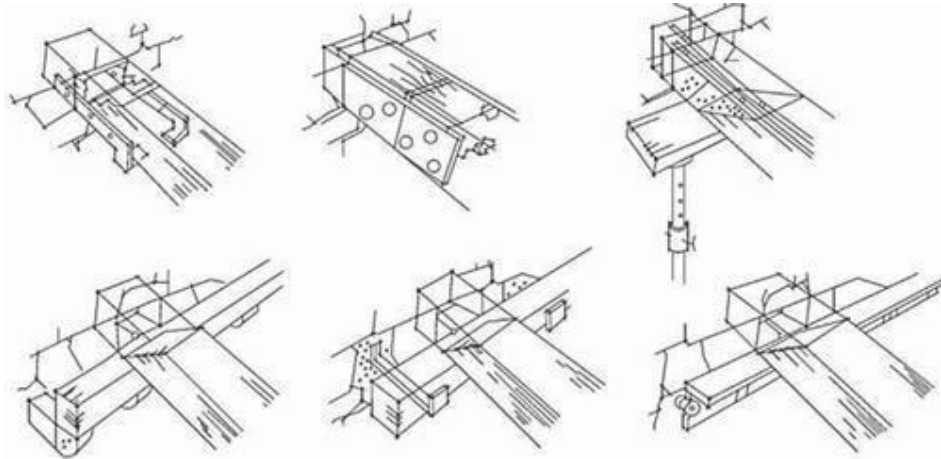
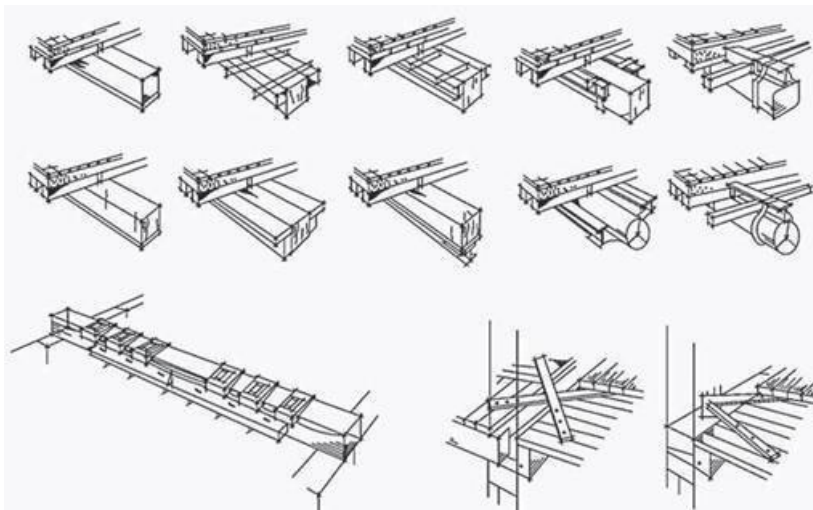


Figure III.41 : Exemple des sabots [35].

III.8.2.2. Renforcement des poutres et solives en bois :

Comme indiqué précédemment, la déformation excessive de l'affaissement des planchers de bois conventionnels sous l'influence des charges supportées est assez courante dans les bâtiments plus anciens. Une solution pour faire face à cette perturbation est d'ajouter de nouveaux éléments en bois ou en profilés métalliques, qui vont coopérer pour absorber les efforts touchant la poutre ou les lambourdes. De tels éléments de renforcement peuvent, selon les cas, avoir une position latérale, supérieure ou inférieure par rapport à l'élément à renforcer. Pour fixer les éléments de renforcement avec des poutres ou des solives malades, on utilise des clous qui traversent ces éléments pour les renforcer [35].



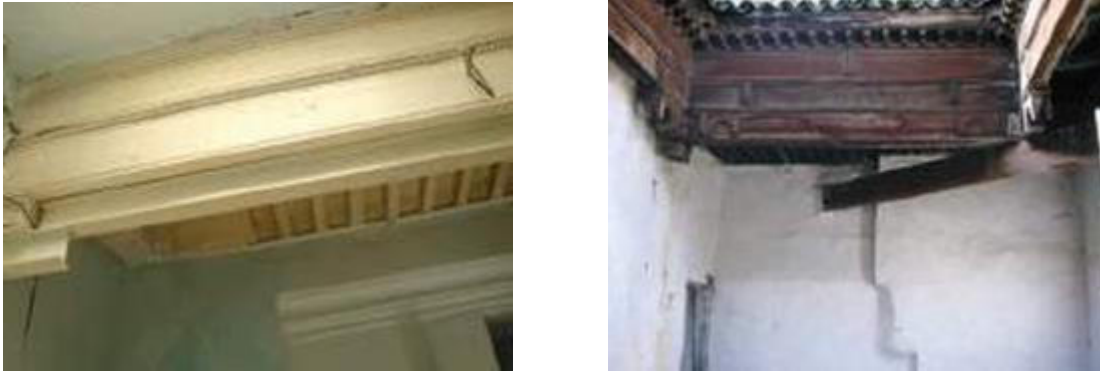


Figure III.42 : Renforcement des poutres et solives en bois [35].

III.8.2.3. Division de la portée des poutres et solives d'un plancher soumis à une tension de flexion excessive :

Pour absorber les tensions de flexion introduites par les surcharges sur les poutres et solives d'un plancher traditionnel en bois et réduire les déformations dues au fluage du bois, une solution simple et efficace consiste à diviser la portée de ces éléments structuraux en plaçant une (ou plusieurs) poutre transversale en bois ou en acier sur la partie inférieure. Il faut, dans ce cas, assurer de bons appuis pour la poutre transversale (par exemple, des piliers spécifiques avec une bonne assise sur le sol) [35].



Figure III.43 : Division de la portée des poutres et solives d'un plancher soumis à une tension de flexion excessive [35].

III.8.2.4. Intervention sur les arcs, les voûtes et les coupôles :

Parmi les solutions qui existent pour renforcer les éléments structurels arqués, nous avons cité précédemment les tirants métalliques qui, placés au niveau des parties tractées de l'extrados, permettent d'étayer les arcs et les voûtes.

D'autres solutions permettent de renforcer les voûtes et les coupôles. On peut par exemple renforcer certaines voûtes à l'aide de chaînages périphériques en acier ou en béton armé. Toutefois, le choix de la méthode de renfort doit respecter l'intégrité de la structure traditionnelle et garantir la réversibilité de l'intervention [35].

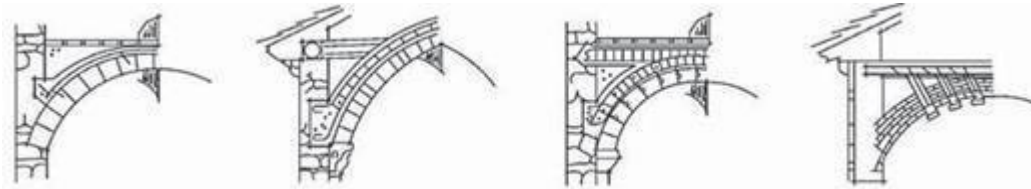


Figure III.44 : Intervention sur les arcs, les voûtes et les coupôles

III.9. Conclusion et choix de la méthode de renforcement :

Étant donné que les matériaux composites ont une grande souplesse pour s'adapter à des géométries plus complexes d'éléments renforcés, leur légèreté par rapport à l'acier, leur facilité de manutention, de transport et de mise en œuvre sur site, ainsi que leur résistance mécanique relativement élevée par rapport aux autres moyens de renforcement.

Ces multiples avantages mécaniques et physico-chimiques permettent l'utilisation de matériaux composites comme moyen de renforcement et de réhabilitation d'ouvrages en Génie Civil, et l'utilisation de tissus ou de feuilles en CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) est une alternative intéressante aux méthodes de réparation conventionnelles.

Pour cette raison, le choix d'un renforcement en matériaux composites (polymère renforcé de fibres de carbone) pour l'élément à renforcer, qui a fait l'objet de cette étude, est privilégié... [2].

Chapitre IV

**Etude de la réhabilitation d'un bloc de
biologie à Université de Mostaganem**

IV.1. Introduction :

Notre objectif est de collecter et de résumer les différents types de fissures et les moisissures, qui sont étendues, et en identifiant les causes qui conduisent à la fissuration ou même à une détérioration de l'état structural d'origine et de suggérer le type de traitement adéquat.

Une enquête approfondie est faite après un relevé visuel avec prise de photos sur les différents cas d'éléments fissurés. Nous avons préparé un diagnostic des fissures dans le bloc de biologie à l'université de Mostaganem et leurs causes probables dans les éléments de structures.

Donc l'objectif dans ce chapitre est de rassembler toutes les informations techniques disponibles de la faculté de technologie pour arriver à comprendre les sources des dégradations dans les lieux étudiés. En commençant d'abord par citer l'historique de notre structure, indiquer son emplacement, et donner la description structurelle et les caractéristiques géométriques.

IV.2. Aperçu historique :

- En 1969, Création de l'Institut de technologie agricole (I.T.A. de Mostaganem) qui formait des Ingénieurs en agronomie appliquée, sous le nom de HADJ BENABDELLAH BENZAZA.
- En 1978, Création du Centre universitaire, qui a ouvert ses portes avec des formations supérieures en sciences exactes, biologie, et en tronc commun des sciences médicales.
- En 1984, Dissolution et division du Centre universitaire de Mostaganem en quatre écoles et instituts.
- En 1992, Nouvelle organisation des institutions de l'enseignement supérieur de Mostaganem.
- En 1997, Fusion des infrastructures pédagogiques de l'institut d'agronomie dans le centre universitaire.
- En 1998, Création de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem par décret exécutif no 98-220. (U.M.A.B)
- 2000 : Transfert de l'Institut National de Formation Travaux Publics à l'Université de Mostaganem.
- 2003 : Création de l'Institut des Sciences Techniques Physiques et Sportives.
- 2009 : Réorganisation de l'Université de Mostaganem (07 Facultés et 01 Institut).
- 2011 : Réorganisation de l'Université de Mostaganem (ouverture de la Faculté de Médecine).

- 2013 : Restructuration des facultés de l'Université de Mostaganem en 08 facultés et 01 institut et (création de l'Ecole Normale Supérieure et l'Ecole Préparatoire en Sciences de la Nature et de la Vie).
- 2014 : Création de l'Ecole Normale Supérieure.
- 2016 : Réorganisation de l'Université de Mostaganem (09 Facultés et 01 Institut). Décret exécutif n°14-239 du 29 Chaoual 1435 correspondant au 25 Aout 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 98-220 du 13 Rabie El Aouel 1419 correspondant au 7 juillet 1998 portant création de l'université de Mostaganem. L'Université de Mostaganem porte le nom d'Abdelhamid Ibn Badis, une figure emblématique du mouvement réformiste musulman en Algérie. Il était enseignant, philosophe, visionnaire musulman, journaliste, et révolutionnaire de la plume et du savoir. Une fête nationale 'YOUM EL ILM' ou « Journée du savoir » est célébrée en son honneur le 16 Avril de chaque année, commémorant la date de son décès [62].



Figure IV.1 : Vue de façade de la structure à l'époque

IV.3. Présentation de l'ouvrage :

La structure est composée de R+2 étages, implantée dans la ville de Mostaganem de ZoneIIa, exactement dans l'université l'ITA (institut technologie agriculture). Cette structure est dans un site S3 (Site meuble) selon le RPA99, V2003 (Règlement Parasismique Algérien Version 2003).

Notre projet consiste à réhabiliter et à réparer la structure qui est construite en pierre.

Le plan d'architecture du bloc biologie est dans l'annexe 1.



Figure IV.2 : Vue en plan de la structure

IV.4. Implantation du projet :



Figure IV.3 : Implantation de la structure (GOOGLE EARTH)

IV.5. Caractéristiques géométriques :

- La longueur totale de la structure en plan :65m.
- Le largeur total de la structure en plan :25m.
- Hauteur du RDC :4.70m.
- Hauteur du 1ere étage :4.65m.
- Hauteur du 2eme étage :4.70m.

IV.6. Désordres constatés :

IV.6.1. La fissuration du béton :

La fissuration du béton peut être comparée à la rupture du maillon le plus faible d'une chaîne mise en tension. Elle peut avoir 4 origines possibles :

- La qualité du matériau.
- La mise en œuvre.
- Le fonctionnement de la structure.
- Les facteurs chimiques.

IV.6.2. Les fissures constatées :

a) Les fissures en escalier :



a)



b)



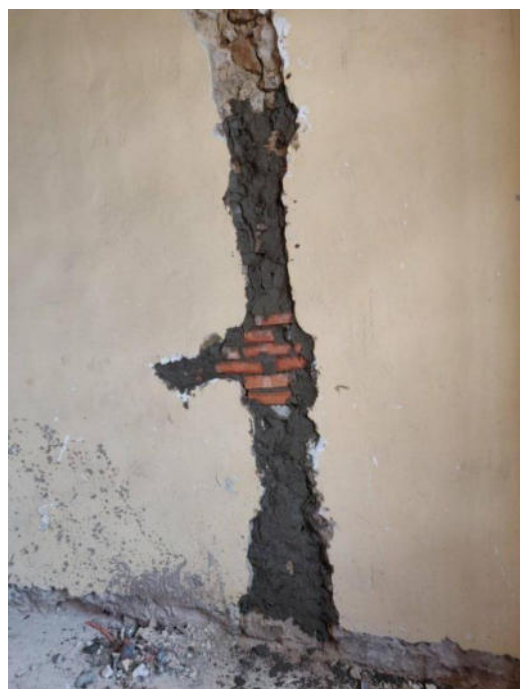
c)

Figure IV.4 : Type de fissure en escalier

b) Les fissures verticales :



a)



b)

Figure IV.5 : Type de fissure verticale

IV.6.3. Cas de fissures de corp mentant :



Figure IV.6 : Corp mentant

IV.6.4. Traitement des fissures :

IV.6.4.1. Traitement des fissures dans les murs :

a) Coulis à base de résines ou mortier bâtard :

Les fissures stables seront soit ouverte à la rainureuse et élargie au marteau et au burin puis nettoyées avant d'être comblées au mortier bâtard additionné d'un adjuvant de collage, soit traitées par injection de résines époxydes ou acryliques à l'aide d'aiguilles d'injection, ou également être réparées avec un joint de mastic au pistolet pour les petites fissures.

Une fois la fissure réparée ; un grillage à mailles hexagonales avec des pointes en aciers galvanisé sera exécuté au niveau la partie du mur réparé afin de permettre l'accrochage de l'enduit de façade réalisé en mortier bâtard sur trois couches.

Dans le cas de fissures importantes (lézardes) touchant toute la surface et l'épaisseur du mur de façade, ce dernier sera déposé soigneusement et reconstruit en moellons ou pierres de récupération à l'identique de tels façon que l'assemblage doit se rapprocher le plus possible de la construction originelle au niveau des joints, des lignes d'assises, ...etc. avec un mortier riche en chaux aérienne.

b) Coulis à base de chaux :

- Nettoyer les joints et les regarnir avec un mortier de chaux à dosage d'un volume de chaux pour trois volumes de sable propre. La granulométrie peut varier en fonction de la largeur des joints. Le mortier sera plus dosé en liant pour les joints petites, qui sont moins sujets au retrait.

- Après humidification, injecter la maçonnerie avec un coulis à grande fluidité, composé à base de chaux hydraulique naturelle à dosage : 1 volume de chaux pour 1 volume d'eau. Si l'approvisionnement en chaux hydraulique naturelle n'est pas possible, on peut « bâtarder » une chaux aérienne avec du ciment pour s'assurer d'une prise en partie hydraulique à l'intérieur des maçonneries. L'injection sera effectuée à refus, par étapes d'environ 1 m de hauteur de mur.
- Le coulis devra remplir les vides à l'intérieur de la maçonnerie. Pour créer la pression nécessaire, un simple système utilisant la gravité avec un entonnoir au bout sera efficace. Une autre solution pourra être la construction d'un nid d'hirondelle en plâtre sur la surface du mur pour servir à verser le coulis dans le creux des joints. Au lieu de cet 'outil' on peut éventuellement utiliser une demi bouteille en plastique coupée verticalement et posée sur la surface du mur. Il faut faire attention pendant la manœuvre à éviter les fuites de coulis et d'autres salissures en façade [63].



a) Traitement des fissures verticales



b) Traitement des fissures inclinées



c) Traitement des fissures horizontales



d) Traitement des fissures en escalier



e) Traitement des fissures en moustache

IV.6.4.2. Traitement des fissures de corp mentant :



Figure IV.7 : Traitement de corp mentant

IV.6.5. Les tirants :

La pose de tirants dans les structures murales vise généralement à freiner l'effondrement des murs ou leurs déformations progressives transversalement à leur plan. Cette méthode consiste à disposer des éléments linéaires qui vont exercer des tractions. Appelés tirants, ces éléments sont constitués en principe d'un câble d'acier et fixés à deux murs opposés par des pièces spécifiques d'ancrage qui évitent l'évolution de leur écartement et la perte subséquente de leur capacité résistante. Il convient de prévoir que l'un des deux éléments d'ancrage, au moins, admettra le réglage périodique de la tension pour compenser les effets de l'allongement.



a)



b)

Figure IV .8 : Les tirants

IV.4.6.6. Moisissures :



a)



b)

Figure IV.9 : Les moisissures

IV.6.6.1. Traitement de moisissures :

- On va traiter les moisissures par produit BIOCIDA afin de diminuer les moisissures.

Par biocide , c'est une substance (chimique ou biologique), seule ou en mélange avec d'autres, utilisée comme désinfectant pour l'hygiène humaine, animale, alimentaire et environnementale , pour préserver les divers matériaux de la détérioration (bois, fibres, tissus, matériaux de construction, plastiques , papier, objets d'art, etc.), pour le contrôle de la vermine (rongeurs , oiseaux , insectes , acariens , mollusques , crustacés, etc.), pour la désinfection de l'air, de l'eau, la conservation de divers liquides ou fluides (systèmes de refroidissement, installations industrielles, peintures, liants, aquariums, etc.) et comme substance contre les incrustations ou la formation d' algues [64].



Figure IV.10 : BIOCIDA

IV.6.7. Réparation de la dalle :

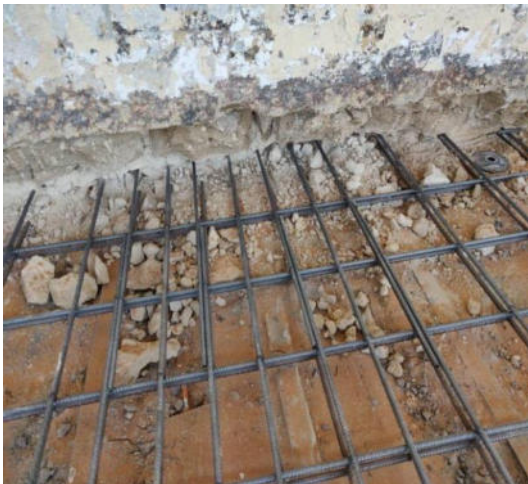
- Traitement des dalles par l'ajout des armatures



a)



b)



c)



d)

Figure IV .11 : Réparation de la dalle

IV.6.7.1. Réparation des ouvertures de plancher :

La réparation nécessite la démolition du béton de la zone défectueuse, sans abîmer ni le béton adjacent ni la fondation, la remise en état du coffre et des joints avec les dalles adjacentes et le bétonnage de la zone en s'intégrant dans le profil existant (Figure a).

- Enlever les parties de béton dégradé pour obtenir des faces perpendiculaires à la surface du revêtement et propres (Figure b).
- Enlever la rouille des aciers corrodés par une brosse métallique.

- Mettre des aciers de couture dans les zones et les ouvertures où les armatures sont perdues, avec une fixation entre l'ancien et le nouveau ferrailage en tenant compte des longueurs d'ancrage (Figure c).
- Nettoyer les surfaces dégagées à l'aide d'eau sous pression et faire un coffrage plat au-dessous des ouvertures.
- Un coulage de béton avec adjuvant ou colle structurale qui permet de lier le nouveau et l'ancien béton [65].

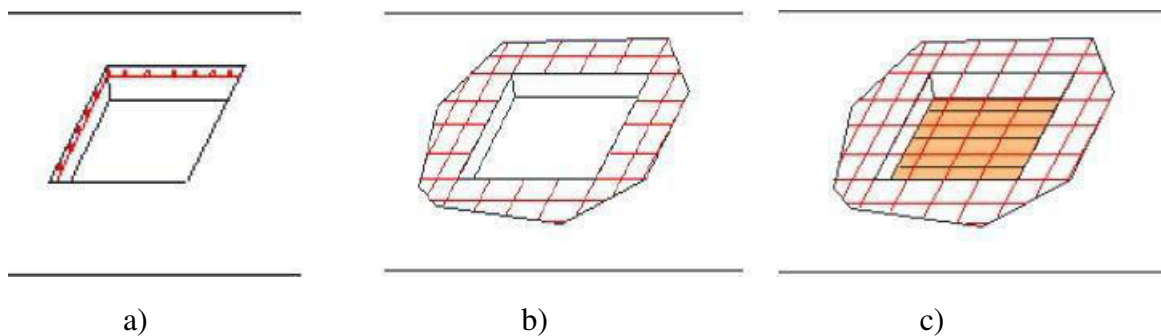


Figure IV.12: Les étapes de réparation des ouvertures.

IV.6.8. Profiler en forme I:



Figure IV.13 : Profiler en forme I

IV.6.8.1. Réparation du profilier en forme I:



c)



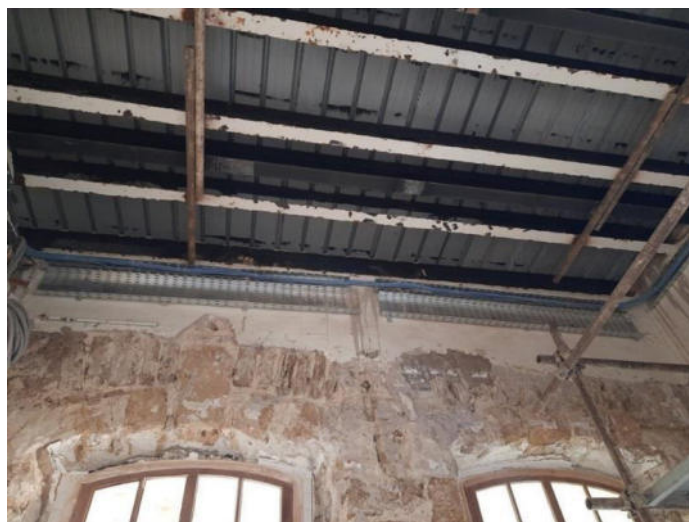
d)



d)



e)



f)

Figure IV.14 : Réparation du plancher en forme I

IV.6.9. Terrasse :

IV.6.9.1. Réalisation de l'étanchéité de la terrasse :

a) Réalisation du pare vapeur :

Fourniture et mise en œuvre d'un pare vapeur si nécessaire, notamment si mise en place d'une isolation thermique.

b) Pose d'une isolation thermique :

En utilisant des panneaux de polystyrène etc.

c) Application de l'étanchéité :

Revêtement en chape souple de bitume avec une armature en feutre bitumé ou en tissu de verre ou encore en polyester.

d) Pose de la protection en gravillon :

Le gravillon existant sera récupéré et nettoyé avant repose. Sera à prévoir pour assurer un Minimum de 4cm d'épaisseur à ce tapis de protection [65].



Figure IV.15 : Terrasse

IV.6.9.2. Traitement de la terrasse :

a) Dépose de l'étanchéité existante :

- Enlèvement du tapis de gravillons pour tri, nettoyage, stockage puis réutilisation.
- Arrachage de l'étanchéité.
- Dépose des naissances d'évacuation d'eaux pluviales.
- Nettoyage, évacuation, transport en décharge.

b) Traitement des fissures :

- Décapage des parties bétons non adhérents.
- Application d'un mortier à base de résine époxy y compris toutes sujétions de mise en œuvre.

c) Le réglage de pente :

Le réglage de pente planimétrique longitudinal, et le réglage transversal de la pente du support pour éviter l'accumulation des eaux pluviales.

d) Création de réservation pour de nouvelles descentes d'eaux :

Pour éviter que les eaux de pluie, suivant leur cours, ne viennent endommager sérieusement le mur et même ses fondations, posez au bout de la gouttière un tronçon coudé ("dauphin") qui les détournera vers une citerne ou vers une fosse raccordée aux égouts.



a)



b)



c)

Figure IV.16 : Traitement des fissures en terrasse

IV.6.10. Les couloirs d'air :



Figure IV.17 : les couloirs d'air

IV.6.10.1. Traitement des couloirs d'air :

- On doit les ouvrir afin de la pierre respire



Figure IV.18 : Traitement des couloirs d'air

IV.6.11. Pour la modification de la porte :

- Il y a une porte et deux fenêtres.



Figure IV.19 : Avant la modification de la porte

- Une fenêtre et deux portes.



Figure IV.20 : Après la modification de la porte

IV.6.12. Le traitement des façades :

Le traitement des façades doit passer par les étapes de réparation précédente (traitement des fissures, enduits, fenêtrés) plus lavage à l'eau sous pression et l'application d'une peinture à base d'eau pour assurer la respiration des murs.

IV.6.12.1. Réparation des équipements :

a) Eau et assainissement :

- Remplacement de réseaux d'alimentation en eau.
- Installation des nouveaux réservoirs d'eau.
- Remplacement du réseau d'assainissement et d'évacuation des eaux usées.

b) Electricité :

- Révision d'installation électrique.
- Prévoir un matériel électrique adapté (interrupteurs, prises, éclairage...) au caractère du Bâtiment et rechercher avant tout la discrétion et la sobriété.
- Installation de distribution réparation ou remplacement de la menuiserie.



Figure IV.21 : Installation d'électricité

c) Réparation de la menuiserie :

Il est souvent plus économique et avantageux de réparer les parties endommagées que de Remplacer totalement les portes et les fenêtres anciennes. Les portes et les fenêtres doivent Isoler correctement, être étanches à l'eau et à l'air, fermer et ouvrir facilement et être Sécurisées.

Les étapes de réparation sont comme suit :

- Remplacez des sections de bois endommagées.
- Boucher les fissures par le mastic pour éviter l'infiltration des eaux.
- Remplacer le vitrage cassé par un vitrage plus performant.
- Remplacé le mastique dégradée.
- La peinture protège des intempéries et assure la longévité de la menuiserie.

Il est primordial de respecter l'aspect original des portes et des fenêtres pour maintenir L'harmonie du bâtiment. Les portes, les fenêtres et leur ornementation reflètent l'époque de Construction et les influences architecturales du bâtiment. Elles sont parfois le seul élément Distinctif d'une façade [65].

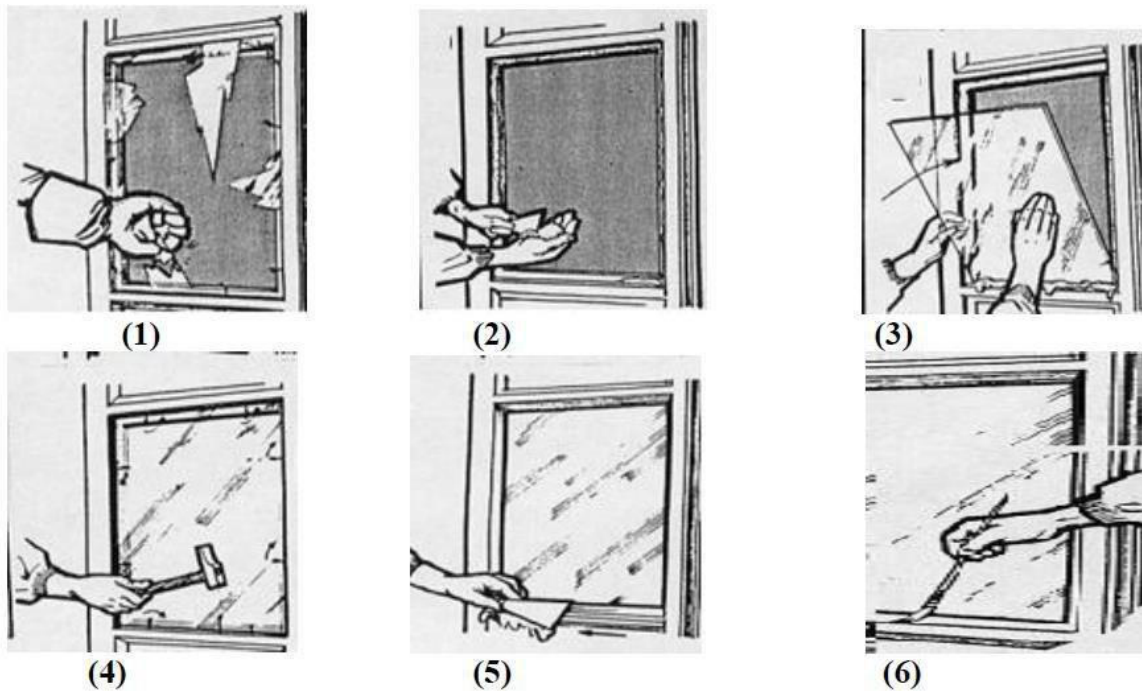


Figure IV.22 : Etape de réparation des fenêtres.



Figure IV.23 : Avant la réparation des fenêtres Figure IV.24 : Après la réparation des fenêtres

IV.6.13. Traitement des enduits :

Pour réparer les enduits qui sont décollés on suivra les étapes suivantes :

- Enlever les enduits anciens qui ne sont pas adhérent (Figure a).
- Nettoyage de la surface à décaper avec une brosse et de l'eau.
- Enduisage : Appliquez l'enduit classique en couche un peu épaisse, de sorte qu'il dépasse par enduit de référence (Figure suivante b).
- Araser l'enduit avec une règle d'aluminium, orientez- la vers le haut. Commencez-en bas, sur l'enduit de référence (Figure suivante c).

- Appliquer une couche de finition et Lisser à l'éponge : Pour le lisser, éponger l'enduit à l'aide d'une taloche spéciale munie d'une semelle en feutre ou en éponge. Humidifiez.

D'abord le mur puis, effectuez des mouvements circulaires (Figure suivante d)

- Raccords : Les raccords avec d'autres enduits (murs, le plafond et le sol), sont les plus Difficiles et on les exécute en dernier lieu, en se servant comme référence de la surface déjà Enduite. Il existe des truelles spéciales pour finir les angles, rentrants ou saillants [65].

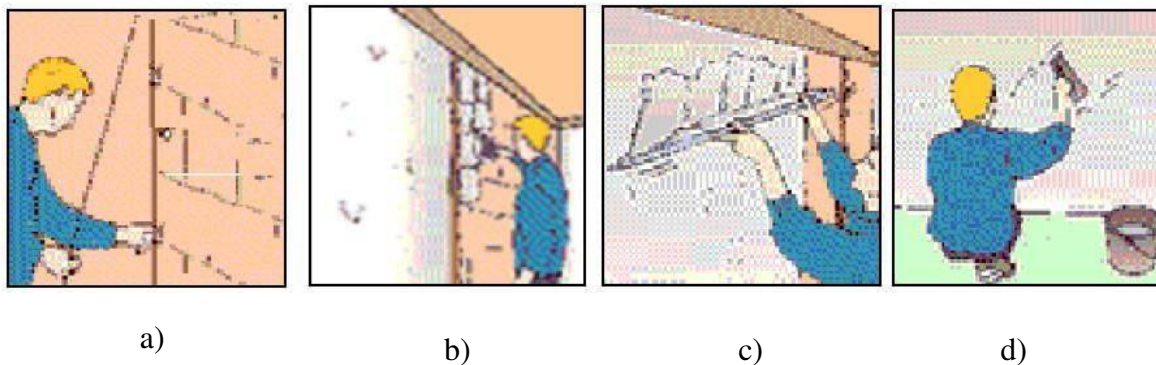


Figure IV.25: Les étapes de réparation des enduits.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les travaux réalisés dans le cadre de ce projet de fin d'études ont permis d'identifier les principales techniques utilisées pour l'examen des structures en génie civil. Il a été observé qu'il existe deux types de diagnostic, l'un utilisant des méthodes destructives et l'autre utilisant des méthodes non destructives. L'importance du diagnostic dans le processus de réhabilitation des structures en béton armé est primordiale, et à ce moment la pathologie est ciblée et son étendue est déterminée. Ceci est nécessaire pour prévoir les réparations les plus appropriées ainsi que les moyens de protection à réaliser afin d'assurer les défenses nécessaires de l'ouvrage.

Concernant les différentes techniques de réparation, nous nous appuyons sur les recherches menées sur différents projets de réhabilitation. L'objectif principal de ces technologies est de réhabiliter les propriétés géométriques de chaque élément et également de réhabiliter la capacité de la structure à résister aux efforts qui lui sont appliqués. Nous avons fait des recherches sur les différentes méthodes de réparation, leur utilité, leur fonctionnement ainsi que le principe de leur mise en œuvre. Cependant, il faut souligner qu'il ne suffit pas de protéger l'œuvre mais il faut avant tout travailler sur l'origine des perturbations, afin d'arrêter le problème à la source.

Ce projet de fin d'études nous a permis de découvrir de nouveaux aspects du génie civil. Au cours de notre formation, nous étudions principalement les différentes méthodes de construction et les matériaux utilisés dans la construction neuve, mais très peu de connaissances sont acquises concernant la réhabilitation des structures existantes. Cependant, ce domaine tend à évoluer surtout dans le cadre du développement durable [1].

Références bibliographiques

- [1] BENGUESMIA, Chadli Mustapha Amine ; ABDELMALEK, Abdel Nour. Réhabilitation des ouvrages en béton armé. Génie civil. Université des Sciences et de la Technologie : MOHAMED BOUDIAF d'Oran,2011,1p,17p,14p,18p.
- [2] BOUROUH Seyf Eddine, BENSEHIL Salim. Etude du Comportement d'un bâtiment en cas d'endommagement d'une poutre. Génie civil. L'Université 08 Mai 1945 de Guelma. 2018.1p,14p,15p,25p,30p.
- [3] 4géniecivil.pathologie des structures avec solution. [En ligne]. (2017). Disponible sur :<<https://www.4geniecivil.com/2017/02/pathologie-des-structures-avec-solutions.html>> (consulter le10/03/2022).
- [4] Bricotest.fr.Malfaçon dans la construction causes. [En ligne]. Disponible sur :<<https://www.bricotest.fr/malfaçon-dans-la-construction/>>(consulté le 10/03/2022).
- [5] LAMY Expertise - Expert Technique Bâtiment, Expertise Immobilière & Expert d'assuré.Malfaçons maçonnerie : origines et conséquences sur la construction. [En ligne]. (21 juin 2004, modifié le 2022).Disponible sur :<<https://www.lamy-expertise.fr/maçonnerie-malfaçons#:~:text=Les%20malfa%C3%A7ons%20au%20niveau%20de,de%20fissures%20dans%20une%20maison.&text=un%20joint%20de%20dilatation%20a,arm%C3%A9%20et%20les%20tassements%20diff%C3%A9rentiels.>>> (Consulté le 10/03/2022).
- [6] Open groupe.Types de fissures : à quoi pouvez-vous être confronté ? [En ligne]. (2009). Disponible sur :<<https://opengroupe.fr/types-fissures/>>(consulté le 10/03/2022).
- [7] Expertravalement. Les différents types de fissures en maison. [en ligne].(2014,2021).disponible sur :<<https://www.expert-ravalement.fr/les-differents-types-de-fissure-de-maison/>>. Consulter le (10/03/2022).
- [8] Guide-humidite.be.Quels sont les différents types d'humidité ? [En ligne].(2020).disponiblesur<<https://www.guide-humidite.be/types-humidite/#:~:text=L'humidit%C3%A9%20ascensionnelle,une%20barri%C3%A8re%20contre%20l'humidit%C3%A9>>(consulté le 10/03/2022).
- [9] Humidite-expert.be.problemed'humidité :solution et conseil de prix.[en ligne].(2022).disponible sur:<<https://www.humidite-expert.be/problemes-d-humidite>> (consulter le 12/03/2022).
- [10] Couverture DM. Infiltration d'eau : s'agit-il une fuite du toit ou d'un problème de tuyauterie. [En ligne].(2019).disponible sur :<<https://www.couvreursdm.com/b/infiltration-eau-fuite-toit-plat-ou-probleme-tuyauterie>> (consulter le 12/03/2022).
-

- [11] Guide-traite-humidité.BE. Humidité de condensation : les causes et les traitements. [En ligne].(2000,2022).disponible sur :<<https://www.guide-traitement-humidite.be/problemes-humidite/humidite-de-condensation/>> (consulter le 12/03/2022).
- [12] Servi toiture assistance et services. Quand il y a fuite et fuite ou comment distinguer une vraie fuite d'un pont thermique.[en ligne]. (2018,2022). Disponible sur : <<https://servitas.fr/comment-distinguer-une-vraie-fuite-d-une-grosse-humidite/>> (consulter le 12/03/2022).
- [13] Nord Humidité.Les différents types d'humidité. [En ligne]. Disponible sur :<<https://nord-humidite.com/les-differents-types-dhumidite/>>(consulté le 10/03/2022).
- [14] Lamy expertise. Que faire en cas de désordre et malfaçon sur le carrelage. [En ligne].(2016).disponible sur :<<https://www.expertise-lamy.fr/fiches-conseils/desordres-malfacons-carrelage.html>>(Consulté le 10/03/2022).
- [15] ENGIE. Carrelage cassé : 3 solutions pour le cacher ou le remplacer. [en ligne].(2017 modifier le 2019).disponible sur :<<https://www.mesdepanneurs.fr/blog/carrelage-casse>>(consulté le 10/03/2022).
- [16] B. GROSGOGEAT, P. COLON. La Corrosion. [En ligne]. (2009-2010).(Consulté le 10/03/2022).
- [17] SLIMANI Ammar. GHEDIER Brahim Noureddine.Effets de la corrosion sur les installations gazières et leurs méthodes de protections. Cas de SH /HASSI R'MEL. Génie appliqué. Filière : Hygiène Sécurité Industriel.UniversitéInstitut de technologie de Ouargla : Kasdi Merbah.
- [18] Cours Pathologie du béton et réparation des Ouvrages - Chapitre V- La Corrosion des d'aciers d'armature. (S,D).Université Annaba.[en ligne].disponible sur : <https://elearning-deprecated.univ-annaba.dz/pluginfile.php/43730/mod_resource/content/1/La%20corrosion%20des%20aciers.pdf>(Consulté le 10/03/2022).
- [19] DR SALIM Guettala, (s. d). Pathologie de la construction.[En ligne].disponible sur :<http://elearning.univ-djelfa.dz/pluginfile.php/37090/mod_resource/content/0/Pathologie%20des%20Constructions.pdf>(Consulté le 10/03/2022).
- [20] LENNETCH.les sulfates. [En ligne].(2015).disponible sur :<<https://www.lenntech.fr/sulfates.htm>>(Consulté le 10/03/2022).
-

- [21] FERHATI Taieb, mémoire master, Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide Sulfurique) influence du rapport G/S ; Université Mohamed Boudiaf - M'sila ; 2015 2016.
- [22] Nassima KHAL, thèse de doctorat, Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement gressif, UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2016.
- [23] Jean-Pierre OLLIVER et Angélique VICHOT « La durabilité des bétons » Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 2008, 867 p.
- [24] P.Kumar Mehta Paulo J.M.Monteiro « Concrete Microstructure, Properties, and Materials Third Edition » Département of Civil and Environnemental Engineering University of California at Berkeley publiée par McGraw-Hill 2006 p 647.
- [25] CALGARO J. A. & LACROIX R., « Maintenance et réparation des ponts », Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.
- [26] J. Skalny, J. Marchand and I. Odler "Sulfate Attack on Concrete" édition Taylor & Francis e-Library, 2003 217p.
- [27] GHOBRINI Mohammed Tadjeddine, CHEIKH Amina. L'impact de la corrosion des armatures sur les dégradations du béton armé. Génie civil. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.2019.27p.
- [28] Holcim (Belgique) SA. Causes et préventions des altérations du béton : Action des produits chimiques. [En ligne].disponible sur :<<https://www.holcim.be/fr/causes-et-preventions-des-alterations-du-beton-action-des-produits-chimiques>>(consulté le 10/03/2022).
- [29] Ilgar ALLAHYARI, thèse de doctorat, Approche performancielle des bétons : Vers une meilleure caractérisation des indicateurs de durabilité ; Université Toulouse, 2016.
- [30] HAMPLAOUI,Salim. Maintenance, entretien et réparation des ponts. Génie civil. Université Mohamed Khider – Biskra Faculté des Sciences et de la technologie.2012.16,17 ,23p.
- [31] Mehrez Khemakhem. Pathologie des bâtiments « Partie 1 – Matériaux ». [En ligne]. (2012). Disponible sur :<<http://mcours.net/cours/pdf/hascl1/hascl1719.pdf>>(Consulté le 10/03/2022).
- [32] SJean-Armand Calgaro, Colloque international Sciences de l'Ingénieur et Développement du Maghreb, Hammamet, mars 2008.
-

- [33] JOSEPH Abou Zeid. Méthodes de réparation et de protection des ouvrages en béton armé. Génie Civil. Université libanaise : Institut des Sciences Appliquées et Économiques. 2016. 7p, 11p, 23p.
- [34] Info ciments. Le fluage du béton. [En ligne]. (2018, 2020). Disponible sur : <[https://www.researchgate.net/publication/329336913_Pathologies_diagnostic_a_l%27aide_de_CND_et_techniques_de_reparation_et_protection_des_ouvrages_en_beton_arme_etat_de_l%27art](https://www.infociments.fr/betons/le-fluage-des-betons-0#:~:text=Voir%20aussi-.Ph%C3%A9nom%C3%A8ne,prolonge%20au%20cours%20du%20temps).>. (Consulté le 10/03/2022).</p><p>[35] Pathologie des bâtiments traditionnels dans le contexte spécifique des médinas marocaines. Coopération Municipale – CoMunGouvernance locale et participative au Maghreb. Mars 2018</p><p>[36] KHINECHE Houaria. Diagnostique de la fissuration dans les constructions (causes et classification). Génie Civil. Université Mohamed khider – Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie. 2019. 24p.</p><p>[37] BOUSMAT Abdelkader, BELHACEN Mohamed Alaà Eddine. Synthèse bibliographique sur les principales dégradations affectant les constructions en béton armé. Génie civil. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. 2019-2020. 38, 58p.</p><p>[38] Researchgate. Pathologies, diagnostic à l'aide de CND et techniques de réparation et protection des ouvrages en béton armé : état de l'art. [En ligne]. (2008, 2022). disponible sur : < (Consulté le 10/03/2022).
- [39] Lorry-Alan MOALIC, élève ingénieur de 5^{ème} année « Réhabilitation d'ouvrages en béton armé Du diagnostic au confortement » (ANNEXE 1 : Fiches réhabilitation) INSA DE STRASBOURG – SPÉCIALITÉ GENIE CIVIL.
- [40] AFGC (Centre Français de l'Anticorrosion). Jocelyne Jacob « Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion » Novembre 2003.
- [41] Patrick Guiraud « Solutions-béton » Construction Moderne / Annuel Ouvrages d'art 2011
- [42] « Pathologie des façades » CSTB – AQC juin 2011.
- [43] HAMOUCH Meryem. Pathologie et réparation des ouvrages en béton armé. Génie civil et hydraulique. Université 8 mai 1945 Guelma. 2013. p22.
- [44] MOALIC Lorry-Alan « Réhabilitation d'ouvrage en béton armé-du diagnostic au confortement », soutenu en 2011 (ANNEXE 5 : Exemple de rapport de diagnostic).
-

- [45] Benjamin DURAND élève ingénieur de 5ème année « Pérennisation des ouvrages en génie civil dans des problématiques liées à l'eau : diagnostic, réparations et confortement » Juin 2010.
- [46] Direct INDUSTRY bu VIRTUALEXPO GROUP.Appareil de mesure de corrosion Potomètre Corrosion [En ligne].(2020-2022) Disponible sur :<<https://directindustry.fr/prod/proceq/product-7242-1752034.html>> (consulté le 21 /03/2022).
- [47] BOUILLETTE J.P. Protection des constructions en acier contre la corrosion. C 2505, traité Construction 1983.
- [48] MAILVAGANAM N.P et TAYLOR D.A, Compatibility of repair systems for concrete structures, CANMET/IRC Symposium on advanced materials, Ottawa. 1994.
- [49] S.A.S ROMEUF SUBSEA TRAVEAU SPECIAUX.travaux spéciaux : renforcement de structure de béton. [Enligne]. (s.d).disponible sur :<<http://www.romoeufsubsea.fr/travaux-speciaux/renforcement-de-structures-beton>> (consulter le 28/03/2022).
- [50] J.V.MIRANDA, techniques et systèmes de renfort des structures en béton 2004.
- [51] Depositphotos.renforcement la tige d'acier pour le chantier de construction des poutres. [En ligne]. (2009.2022). Disponible sur :<<https://fr.depositphotos.com/93469880/stock-photo-steel-rod-for-beam-construction.html>>(consulter le 28/03/2022).
- [52] J. PERCHAT. « Béton Armé, Règles BAEL, Pièces soumises à des sollicitations.
- [53] BELHANNACHI Hicham. Réhabilitation et renforcement des poteaux en béton arme. Génie Civil. Constantine Facultés des Sciences de L'Ingénieur Université Mentouri. Juillet 2009.p17.
- [54] Rafik Madi, Mohamed Guenfoud. Techniques de renforcement des bâtiments en béton armé vis-à-vis du séisme. Université 8 mai 45, B.P. 401, Guelma, Algérie. 324p <<http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/587/1/Techniques-de-renforcement-des-batiments-en-beton-arme-vis-a-vis-du-seisme.PDF>>(consulter le 28/03/2022).
- [55] Perfectionnement sur les techniques de réhabilitation et de renforcement des règlement eurocode8, conception et dimensionnement des structures pour leur résistance au séisme et document d'application nationale AFNOR 2000.
- [56] A. PLUMIER, pathologie et réparations structurelles des constructions, ArGenCo, édition 2006.
- [57] Benjamin LACLAU et Nicolas SALMON, Étude des spécificités des bétons de la première moitié du 20ième siècle et leur adaptabilité aux nouvelles technologies de renforts composites, Fonds communs de coopération AQUITAINE / EUSKADI 2008.
-

- [58] MAIZI Ibtissam, BENDJOUDI Mouslim. Réhabilitation des structures en béton armé. Génie civil. Faculté des Sciences et de la Technologie université Guelma. Juin 2013.25p.
- [59] Pittet-chatelan. Pontage de fissure. [En ligne].(s.d).disponibles sur :<<https://www.pittet-chatelan.ch/index.php/references/pontage-de-fissures>> (consulter le 28/02/2022).
- [60] Blog elyotherm. Qu'est-ce qu'inhibiteur de corrosion ?.[En ligne].(2008.2022).disponible sur :<<https://blog.elyotherm.fr/2019/03/inhibiteur-de-corrosion.html>>(consulter le 28/03/2022).
- [61] Novbeton restauration et traitement du béton. Déchloration/re alcalinisation. [En ligne]. (S. d). Disponible sur<<https://novbeton.fr/fr/dechloruration-realcalinisation>> (consulter le 28/03/2022).
- [62] Plateforme d'enseignants à distance online Learning platform. Histoire de l'université.[en ligne].(2022).disponible sur <<https://www.univ-mosta.dz/histoire-de-luniversite/>> consulter le (28/03/2022).
- [63] AZIZI Hakima.TOUALBIA Nadja.Les pathologies des bâtiments (cas universitaire Guelma). Génie Civil. Université Guelma.2013.115p.
- [64] Wikipédia.Biocida. [En ligne]. (Cette page a été modifiée pour la dernière fois le 30 mai 2022 à 11h43). Disponible sur <https://it.wikipedia.org/wiki/Biocida>consulter le28/03/2022).
- [65] BENABDALLAH Mohammed. BELARBI Ismail. La réhabilitation de lycée Dr BENZERDJEB à TLEMEN « Bloc de classes spécialisées ». Art et technique de réhabilitation des bâtiments. UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID ,TLEMEN.2013.99p,105p,107p,109p
-