



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



Université Amar Telidji- Laghouat

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

Département : Génie civil

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Ben messaoud Nour Halima & Rezzoug Mohamed Mounder

DOMAINE : Science et Technologie

FILIERE : Génie civil

OPTION : Structures

Thème

**Consolidation structurale d'une ancienne et nouvelle
constructions préexistantes : Diagnostic pathologique comparatif**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
GUEDDOUDA M K	Professeur	Président
BELAIDI ASE	Professeur	Examineur
DAMENE Z	MCA	Rapporteur
CHETTIH A	MCA	Co-rapporteur

Promotion : juin – 2023



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



Université Amar Telidji- Laghouat

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

Département : Génie civil

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Ben messaoud Nour Halima & Rezzoug Mohamed Mounder

DOMAINE : Science et Technologie

FILIERE : Génie civil

OPTION : Structures

Thème

**Consolidation structurale d'une ancienne et nouvelle
constructions préexistantes : Diagnostic pathologique comparatif**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
GUEDDOUDA M K	Professeur	Président
BELAIDI ASE	Professeur	Examineur
DAMENE Z	MCA	Rapporteur
CHETTIH A	MCA	Co-rapporteur

Promotion : juin – 2023

Remerciement

Au terme de ce travail nous tenons, d'abord à remercier en premier lieu et avant tout, notre Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience pour effectuer le présent travail et de nous avoir entouré de personnes formidables et dans chacune de nos étapes de notre parcours, ont contribués d'une manière ou d'une autre, chacune à sa façon, à la réalisation de ce mémoire de Master.

Nous voulons d'abord exprimer notre gratitude à Madame Damene Zineb, MCA à l'université de Laghouat, pour son suivi régulier, sa grande disponibilité, ses enrichissants et précieux conseils incessants grâce auxquels ce travail est mené à terme.

Nos remerciements aussi à monsieur Chettih A, MCA à l'université de Laghouat, pour avoir accepté d'être le Co-rapporteur de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos remerciements au professeur Gueddouda MK et le Professeur Belaidi ASE, d'avoir accepté d'évaluer notre travail

Nous souhaitons remercier également :

- Nos familles, pour leurs amours, leurs soutiens indéfectibles et leurs encouragements constants. Pour les sacrifices qu'ils ont fait pour terminer nos études.
- Nos amis, pour leurs soutiens moraux, leurs encouragements et leurs aides dans les moments difficiles.
- L'ensemble des enseignants du département de Génie civil de l'université Amar Telidji.
- à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Nous souhaiterons dédier ce mémoire de Master à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

- Tout d'abord, à nos professeurs et encadrateurs, pour leurs expertises, leurs directives et leurs soutiens tout au long de ce parcours académique.
- A nos très chers parents qui ont consacré toute leurs vies pour notre éducation et nos études et qui nous ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, nous leurs souhaitons tout le bonheur.
- Nos chers frères et sœurs.
- A nos amis pour leurs amours, leurs patiences et leurs soutiens indéfectibles.

Ce mémoire est le fruit de toutes ces rencontres, de toutes ces expériences et de toutes ces influences, et nous sommes fiers de pouvoir le partager avec vous.

Résumé : Dans le domaine de la construction, il est essentiel de se concentrer sur la conception et la réalisation, et même d'intégrer des techniques de prévention des désordres dès la conception et la réalisation. Cependant, il ne faut pas négliger l'importance de la réparation des désordres, car avec le temps, des désordres apparaissent généralement dans les ouvrages en raison de plusieurs conditions telles que le vieillissement de l'ouvrage, les conditions climatiques défavorables ou une mauvaise réalisation ou conception. Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons essayé de couvrir cette partie des désordres dans les ouvrages et les techniques de réparation de ces désordres, tout en comparant la différence de réalisation et de coûts de ces techniques entre les nouveaux et les anciens bâtis

Mots clés : Ouvrages, Désordres, vieillissement, Prévention, Réparation.

ملخص: في مجال البناء، من الضروري التركيز على التصميم والتنفيذ، وحتى دمج تقنيات الوقاية من الاضرار التي تصيب المباني منذ مرحلة التصميم والتنفيذ. ومع ذلك، يجب عدم تجاهل أهمية الترميم ، حيث تظهر عادة اضرار في الهياكل مع مرور الوقت بسبب عدة عوامل مثل الشيخوخة ، وظروف المناخ غير المواتية أو التنفيذ أو التصميم السيئ. في مذكرة التخرج هذه ، حاولنا تغطية هذا الجانب من الاضرار وتقنيات الترميم، مع مقارنة الاختلاف في تنفيذ هذه التقنيات وتكلفتها بين المباني الجديدة والقديمة كلمات مفتاحية: الهياكل ، الاضرار ، الشيخوخة، الوقاية، الترميم
كلمات مفتاحية: الهياكل ، الاضرار ، الشيخوخة، الوقاية، الترميم.

Abstract: When it comes to construction, it's essential to focus on design and execution, and even to incorporate disorder prevention techniques right from the design and execution stage. However, the importance of repairing disorders should not be overlooked, as over time, disorders generally appear in structures due to a number of conditions such as ageing of the structure, unfavourable climatic conditions or poor execution or design. In this dissertation, we have attempted to cover this aspect of structural disorders and the techniques for repairing them, while comparing the difference in implementation and cost of these techniques between new and old buildings.

Key words: Structure, Disorders, Ageing, Prevention, Repairing.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALELE.....	1
CHAPITRE I : Prévention, Diagnostic et Méthodologie d'expertise	
I.1 Introduction.....	5
I.2 Définitions.....	6
I.2.1 La réhabilitation.....	6
I.2.2 La réparation.....	6
I.2.3 Le renforcement.....	6
I.2.4 Restauration.....	7
I.2.5 Rénovation.....	7
I.2.6 La prévention.....	7
I.3 Analyse des risques.....	8
I.3.1 types de risque.....	8
I.4 Les outils de la prévention.....	9
I.4.1 Phase d'étude.....	9
I.4.2 Phase de travaux.....	10
I.5 Concept de diagnostic.....	10
I.5.1 Les activités d'un diagnostic.....	11
I.5.2 Les données nécessaires pour le diagnostic d'un ouvrage.....	11
I.5.2.1 Les données de recensement.....	11
I.5.2.2 Les données d'évaluation.....	12
I.5.2.3 Les données décrivant le niveau de service rendu.....	12
I.5.3 Les types de diagnostic.....	12
I.5.3.1 Le pré-diagnostic.....	13
I.5.3.2 Inspection détaillée.....	14

I.6 La méthodologie des expertises et de réparations.....	16
I.7 Choix des méthodes et matériaux de réparations.....	17
I.7.1 Critères de choix des méthodes de réparation.....	17

CHAPITRE II : Principaux désordres rencontrés

II.1 Introduction.....	20
II.2 Causes principales des pathologies.....	20
II.2.1 Désordres dus aux erreurs de conception ou d'exécution.....	21
II.2.2 Causes mécaniques.....	21
<input type="checkbox"/> Abrasion :.....	21
<input type="checkbox"/> Erosion.....	21
<input type="checkbox"/> Cavitation.....	22
<input type="checkbox"/> Chocs.....	22
<input type="checkbox"/> La délamination.....	22
<input type="checkbox"/> Surcharges.....	22
II.2.3 Causes physiques.....	23
<input type="checkbox"/> Le feu.....	23
<input type="checkbox"/> Cycle gel/ dégel.....	23
<input type="checkbox"/> Le retrait.....	23
II.2.4 Mouvement des fondations.....	24
II.2.5 Fissuration.....	25
II.2.6 Causes chimiques.....	25
II.2.6.1 La corrosion des armatures.....	25
II.2.6.2 Réaction sulfatique interne <RSI> dans les structures en béton.....	25
II.2.6.3 Carbonatation du béton.....	26
II.2.6.4 Milieux Acides.....	26
II.2.6.5 L'eau de mer.....	27

II.3 Principaux désordres dans le nouveau bâti.....	27
II.3.1 La fissuration dans le nouveau bâti.....	28
II.3.1.1 Causes et/ou facteurs de risque.....	28
II.3.1.2 Evolution de la largeur des fissures.....	29
II.3.1.3 Mesures de l'évolution des fissures.....	30
II.3.2 L'Humidité dans le nouveau bâti.....	30
II.3.2.1 Les différentes pathologies de l'humidité dans le béton.....	31
II.3.2.2 Les causes des pathologies de l'humidité dans le béton.....	31
II.3.2.3 Les symptômes pathologiques liées à l'humidité dans les structures en béton.....	32
II.3.3 L'étanchéité dans le nouveau bâti.....	32
II.3.2.4 Les effets liés aux problèmes d'étanchéité dans le nouveau bâti.....	33
II.4 Les principaux désordres dans l'ancien bâti.....	34
II.4.1 La fissuration dans l'ancien bâti.....	35
II.4.2 L'humidité dans l'ancien bâti.....	35
II.4.2.1 Les différentes pathologies de l'humidité dans les anciens bâtis.....	36
II.4.2.2 Les causes des pathologies de l'humidité dans les anciens bâtis.....	36
II.4.2.3 Les symptômes des pathologies de l'humidité dans l'ancien bâti.....	37
II.4.3 L'étanchéité dans l'ancien bâti.....	38
II.4.3.1 Les causes des pathologies de l'étanchéité dans l'ancien bâti.....	38
II.4.3.2 Les symptômes pathologiques liées à l'étanchéité dans l'ancien bâti.....	39

CHAPITRE III : Techniques de consolidation et de réparation

III.1 Introduction.....	42
III.2 Les interventions selon les stades de dégradation.....	42
III.2.1 Évaluation structurale.....	42
III.2.2 Traitement des désordres de façade.....	43
III.2.2.1 La décontamination professionnelle.....	43

III.2.2.2 Le surfacage.....	45
III.2.3 Réparation non structurale.....	46
III.2.3.1 Les aciers.....	46
III.2.3.2 Le béton.....	47
III.2.3.3 Traitement de fissures.....	48
III.2.3.4 Le drainage.....	50
III.2.3.5 Le jointoiment.....	51
III.2.4 Renforcement ou réparation structurale.....	54
III.2.4.1 Armatures passives additionnelles.....	55
III.2.4.2 Procédé d'injection.....	56
III.2.5 Autre technique.....	59
III.2.5.1 Isolation thermique et acoustique.....	59
III.2.5.2 Chauffage.....	60
III.2.5.3 Ventilation.....	60
III.3 Conclusion.....	61

CHAPITRE IV : Rapport de diagnostic et analyse comparatif des Pathologies

IV.1 Introduction.....	61
IV.2 Etude du cas de la mosquée El Safah (ancien bâti).....	61
IV.2.1 Présentation des données du bâti.....	61
IV.2.2 Constat des désordres.....	64
IV.2.3 Analyse des désordres.....	65
IV.2.3.1 Les fissures.....	65
IV.2.3.2 Taches d'humidité dans les murs.....	65
IV.2.3.3 Faïençage et décollement d'enduit dans les poteaux intérieurs.....	67
IV.2.3.4 Décollement de revêtement causé par l'humidité dans la base des poteaux intérieurs	67

IV.2.3.5 Taches d'humidité à la base des murs extérieurs.....	68
IV.2.3.6 dégradations des pierres du mur extérieur.....	69
IV.2.3.7 Fissures au sommet des arcs des fenêtres.....	70
IV.2.4 Les remèdes et techniques de réparations.....	71
IV.2.4.1 Réparation par la méthode des agrafes.....	71
IV.2.4.2 Le drainage.....	72
IV.2.4.3 Le sablage.....	73
IV.2.4.4 Le surfaçage.....	73
IV.2.4.5 Remplacement des pierres.....	74
IV.3 Étude du cas de l'usine Ecotex (nouveau bâti).....	75
IV.3.1 Présentation des données du bâti.....	75
IV.3.2 Analyse des désordres constatés.....	76
IV.3.2.1 Les fissures.....	76
IV.3.2.2 Traces d'Humidité.....	77
IV.3.2.3 La détérioration des enduits.....	78
IV.3.2.4 Problèmes d'humidité et moisissures préoccupants.....	78
IV.3.2.5 Fissures importantes de différentes natures sur les murs.....	80
IV.3.3 Les remèdes et techniques de réparation.....	81
IV.3.3.1 Le drainage.....	81
IV.3.3.2 Méthode des agrafes.....	82
IV.3.3.3 L'injection de résine	82
IV.3.3.4 Installation de membrane d'isolation.....	82
IV.3.3.5 Renforcement des fondations (armatures supérieures).....	83
IV.4 Analyse comparative.....	83
IV.5 Conclusion.....	85
CONCLUSION GENERALE.....	92
Références Bibliographique.....	94

Liste des figures

Chapitre I : Prévention, Diagnostic et Méthodologie d'expertise

Figure I.1 : Organigramme d'une inspection visuelle. 13

Figure I.2: Procédure d'élaboration une étude de réhabilitation. 16

Chapitre II : Principaux désordres rencontrés

Figure II.1: Maisons inoccupée à cause de l'érosion de la falaise 21

Figure II.2 : Délamination des dallages en béton 22

Figure II.3 : Le comportement au feu 23

Figure II.4 : cycle de gel et de dégel 23

Figure II.5 : fissuration par retrait gêné d'une glissière en béton adhérent (GBA). 24

Figure II.6 : l'effet de la carbonatation 26

Figure II.7: Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage 29

Figure II.8 : formation de moisissures et de champignons 31

Figure II.9: le salpêtre 39

Chapitre III : Techniques de consolidation et de réparation

Figure III.1 : Un ouvrier au cours de processus de décontamination professionnelle. 44

Figure III.2 : Réparation et protection du béton 47

Figure III.3 : Le procédé de colmatage. 49

Figure III.4: Purge des débris contenus dans une fissure puis rebouchage et pontage. 49

Figure III.5: Creuser la tranchée pour la pose du drain français. 50

Figure III.6: Ajout du gravier sur le drain français. 51

Figure III.7 : essais pour évaluer le moment exact pour travailler le joint. 53

Figure III.8: Enfoncement de la pâte dans le joint en retirant l'excédent avec une baguette en bois.	53
Figure III.9: Nettoyage général avec une brosse de paille.	54
Figure III.10: Changements de couleur après durcissement.	54
Figure III.11: Illustration explique l'utilisation d'injection de résine dans les problèmes de tassement différentiel.	56
Figure III.12 : Matériel nécessaire au nettoyage des fissures et à leur cachetage.	57
Figure III.13 : Préparation du matériel et des produits nécessaires à une injection.	57

Chapitre IV : Rapport de diagnostic et analyse comparatif des Pathologies

Figure IV.1 : Localisation de la mosquée El Safah (Laghouat).	64
Figure IV.2 : Vue des façades avant et arrière) de la mosquée.	65
Figure IV.3 : Vue en face.	66
Figure IV.4 : Désordres constatés.	66
Figure IV.5 : Fissures semi-profondes et profondes.	67
Figure IV.6: Traces d'humidité au pied des murs avec éclatement du revêtement.	68
Figure IV.7 : Taches d'humidité dans la partie supérieure des murs.	68
Figure IV.8 : Des fissures de faïençage ainsi que des décollements d'enduit.	69
Figure IV.9 : Décollement de revêtement.	70
Figure IV.10 : Taches d'humidité à la base des murs extérieurs.	71
Figure IV.11: Dommages aux pierres de mur extérieur.	72
Figure IV.12 : Fissures au sommet des arcs des fenêtres.	72
Figure IV.13: La méthode des agrafes.	73
Figure IV.14: la technique de réparation par drainage.	75
Figure IV.15: Remplacement des pierres endommagées.	76
Figure IV. 16 : Localisation de L'usine ECOTEX.	77
Figure IV.17 : Fissures en haut des façades.	78

Figure IV.18 : Traces d'Humidité.	79
Figure IV.19 : Détérioration des enduits.	80
Figure IV.20 : Problèmes d'humidité et moisissures préoccupants.	81
Figure IV.21 Altérations graves au niveau des poteaux, et traces d'humidité sur le haut du mur et à l'angle du plafond.	81
Figure IV.22 : Fissures de différentes natures sur les murs.	82
Figure IV.23 : Schéma explicatif du problème de l'infiltration des eaux usées.	83
Figure IV.24 : système de drainage.	84
Figure IV.25 : Technique d'injection.	85
Figure IV.26 : Installation de membrane d'isolation.	86
Figure IV.27 : Renforcement des fondations par des armatures supérieures.	87

Liste des tableaux

Chapitre I : Prévention, Diagnostic et Méthodologie d'expertise

Tableau I.1: Types d'inspection détaillée pour les ouvrages d'art.....15

Tableau I.2 : L'évaluation du niveau de dommage.....17

Chapitre IV : Rapport de diagnostic et analyse comparatif des Pathologies

Tableau IV.1 : les différentes caractéristiques, pathologies et méthodes d'intervention des deux cas d'étude.....88

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Contexte

La durabilité des structures, est un facteur important dans le domaine du génie civil et du génie industriel. Elle est influencée non seulement par les chargements mécaniques mais aussi par l'environnement; Elle dépend aussi de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, des matériaux utilisés, de sa réalisation ainsi que des diverses conditions d'usage / d'exploitation et de maintenance. Ces influences deviennent plus importantes et nécessitent des opérations de réparation ou de renforcement pour augmenter leur durée de service ou offrir de nouvelles fonctionnalités. Bien entendu, l'esprit du renforcement n'est pas le même lorsqu'il s'agit d'ouvrages anciens mais présentant un intérêt tout particulier sur le plan historique, qui justifierait leur renforcement, bien tôt sa restauration.

La détérioration d'un ouvrage ancien ou nouvel est un phénomène complexe, car plusieurs mécanismes peuvent se produire simultanément. Il est nécessaire, par conséquent, de comprendre les causes fondamentales sous-jacentes de l'endommagement dans l'ouvrage et leur manifestation.

Dans tous les cas, il est impérativement indispensable de procéder à des méthodes de réhabilitation : soient de renforcement, soient de réparation, et cela suite à une inspection d'analyses et de méthodologie d'un bon diagnostic.

Les travaux de réhabilitation ou de rénovation des structures, ont essentiellement pour but de remédier aux désordres survenus au cours du temps et causés soit par des agressions physico-chimiques, soit par un phénomène de fatigue sous des chargements cycliques ou suite à des sollicitations accidentelles.

L'avantage de la réhabilitation par rapport à la démolition puis la reconstruction est de limiter, voire supprimer les pertes d'exploitation, ainsi quatre raisons principales peuvent être retenues pour une éventuelle réhabilitation et ce par ordre d'importance :

- La remise en conformité vis-à-vis des règlements en vigueur.
- Les dégradations et désordres que subissent les matériaux.
- Les changements de fonctionnalité.
- L'esthétique.

Problématique :

Une évaluation structurale est nécessaire pour identifier les insuffisances du bâti, les causes et conséquences de la pathologie et déterminer si une réparation est nécessaire.

Pour faire consolider une structure préexistante quel que soit ancienne ou nouvelle il faut donc faire un bon diagnostic et essayer de mener la suggestion d'intervention sur le corps du bâti menacé et exposé à différents agents de destruction.

Pour cela le pré-diagnostic est très important afin de mieux connaître les phénomènes qui agissent sur le bâtiment. C'est le point de départ de chaque opération de restauration. Cela consiste en une première approche du bâtiment, de problèmes qu'ils soient constructifs, de stabilité ou autres, grâce à une inspection visuelle au cours de laquelle on tente de découvrir le système constructif utilisé, les valeurs architecturales qui le caractérisent et les pathologies qui l'affectent.

Objectifs :

Ce travail porte essentiellement sur le rassemblement et l'acquisition de documentation nécessaire et variée dans le domaine des pathologies des constructions civiles, et plus particulièrement en Algérie.

Il vise à regrouper la connaissance, l'expérience et le savoir-faire des experts dans le domaine de réhabilitation, ainsi que l'analyse et le diagnostic de quelques désordres pouvant affecter les deux modèles de constructions ; séparément, et qui nous guiderons vers une technique d'intervention de renforcement et consolidation des éléments structuraux.

Plan de travail :

Afin d'atteindre notre objectif, le travail est divisé comme suit :

- Un chapitre contenant des généralités, outils de prévention et méthodologie d'expertise ainsi que les critères de choix de réparation (méthode et matériau de réparation)
- Le deuxième chapitre comprend les principaux désordres des nouvelles et anciennes structures.
- Le troisième concerne les principaux procédés de consolidation et de réparation.

Introduction générale

- Et dans le quatrième chapitre on a essayé d'appliquer l'acquis théorique de la méthodologie de diagnostic et d'expertise pour enfin discuter les différences d'analyse et d'interventions dans les cas de nouvel et ancien bâti.

Chapitre I :
Prévention, Diagnostic
et Méthodologie
d'expertise

I.1 Introduction

Toute construction peut être affectée par des désordres tout au long de sa durée de vie, que ce soit en raison d'une mauvaise réalisation, d'une sous-estimation des charges ou d'un phénomène naturel...etc. L'objectif principal de la réhabilitation et de la restauration est de prolonger la vie des ouvrages existants afin d'éviter les coûts importants associés à leur reconstruction.

Connaître et corriger les anomalies susceptibles de survenir lors des études de conception architecturale ou technique d'un projet, ou lors de l'exécution des travaux, permet d'éviter de nombreux litiges. Au stade de la conception, il est facile d'opérer des rectifications sur les plans et les pièces écrites. Inversement, pallier les erreurs ou défauts détectés en cours d'exécution est à la fois complexe et coûteux (étude de solutions de reprise acceptables pouvant aller jusqu'à la démolition). Enfin, les erreurs ou défauts repérés après la réception des travaux entraînent à terme un risque de sinistre.

Pour intervenir efficacement sur un ouvrage, la première étape à franchir consiste à déterminer les causes des dommages existants. Cette étape peut aussi être la plus importante du processus de réfection ou d'entretien. Une identification incorrecte de la source du problème se traduit alors par des interventions coûteuses, infructueuses et surtout récurrentes, ce qui n'est certainement pas intéressant du point de vue de la durabilité des travaux et des budgets, parfois limités, des gestionnaires. Il est donc important en premier lieu de mettre en place une méthodologie de diagnostic afin de préciser convenablement dans un délai adéquat l'origine de ces endommagements et les opérations nécessaires d'entretien ou de remise en état. Ceci permettra d'aboutir à un diagnostic général de cet ouvrage qui va nous tenir à jour d'une connaissance suffisante de l'état de dégradation et par conséquent de faciliter le choix postérieur des actions et des matériaux requis lors de l'intervention sur la structure.

Alors, dans ce chapitre on va répondre à :

C'est quoi un diagnostic ? Pourquoi faire un diagnostic ? les types de diagnostic, analyse des risque et méthodologie d'expertise ?

I.2 Définitions

I.2.1 La réhabilitation

Elle concerne l'amélioration de l'habitat existant. Elle peut être légère (installation de l'équipement sanitaire, électricité, chauffage), moyenne, ou lourde. C'est la mise en conformité d'un patrimoine architectural et urbain déconsidéré (habitations et immeubles vétustes, îlots, quartiers...) aux normes de confort de tout type, d'hygiène et de sécurité en vue de leur réutilisation. La réadaptation à de nouveaux usages doit se faire en conservant les principales caractéristiques patrimoniales des édifices. Bien qu'elle présente certaines difficultés, elle est jugée plus économique que la restauration ou la rénovation à porter le confort de normes d'aujourd'hui ; Employer les techniques et les matériaux actuels : isolation, salle d'eau, électricité ...

Les changements d'aspect extérieur et les changements de destination (d'usage) nécessitent des autorisations d'urbanisme.

I.2.2 La réparation

- Opérations effectuées pour préserver ou rétablir la fonction d'une structure qui n'entrent pas dans le cadre de la maintenance ;
- Opération qui consiste à rendre partiellement ou totalement à un ouvrage ou un bâtiment son niveau de service initial. En notant que le terme « initial » ne signifie pas « conforme aux règles de dimensionnement d'origine ». La réparation, qui porte en général sur le traitement des désordres observés peut également concerner la remise à niveau de l'ouvrage vis-à-vis d'insuffisances structurelles identifiées au regard des exigences actuelles en matière de fiabilité ;
- Ensemble des études et travaux effectués dans le but de redonner à l'ouvrage le niveau de service prévu lors de sa construction ;

I.2.3 Le renforcement

- Amélioration des niveaux de performance de l'ouvrage.
- Les travaux de renforcement de la structure peuvent être entamés pour solidifier une maison qui se fragilise, tout comme ils peuvent être menés pour effectuer des changements majeurs au sein de la bâtisse.

- Le renforcement de la structure d'un bâtiment permet de le solidifier en plus de lui ajouter de la valeur, étant donné que sa durée de vie sera prolongée. Ainsi, il existe plusieurs situations qui requièrent un renforcement de la structure d'un bâti.
- Un renforcement peut être associé à une réparation.

I.2.4 Restauration

Elle est réservée aux bâtiments ayant une valeur historique certaine qu'il s'agit de remettre en état à l'identique. Redonner au bâtiment caractère un bon moyen d'éviter les désordres de tout genre : employer les matériaux d'origine selon les techniques d'époque. La restauration demande un savoir-faire de spécialiste.

Elle englobe l'ensemble des actions nécessaires à la conservation d'un édifice et à la récupération de son image qu'il s'agisse de sa conception originale ou du moment historique où il a atteint son apogée, en maintenant la plus grande fidélité possible aux techniques et matériaux de construction de l'époque.

I.2.5 Rénovation

C'est l'opération de rétablissement de l'ouvrage à son état originel, avant sa mise en service. Elle concerne les opérations qui commencent par une démolition. Elles sont similaires aux opérations de travaux neufs si ce n'est la phase de démolition et de libération des emprises foncières.

Il peut s'agir d'un quartier ou d'une ville ; on parle alors de rénovation urbaine ou de renouvellement urbain, éventuellement dans le cadre de la ville reconstruite sur elle-même pour limiter la périurbanisation et ses effets environnementaux et fonciers néfastes [Ouzaa.K, 2015 ; Courard. L et Bissonnette. B, 2016].

I.2.6 La prévention

La prévention signifie : analyser les causes de désordres pour éviter la répétition des erreurs commises précédemment. Elle se compose de trois phases distinctes :

- Détection de l'erreur ou du défaut,
- Recherche des causes,
- Action sur les causes.

L'action sur les causes peut s'effectuer de deux façons. La prévention active regroupe les actions permettant d'éviter l'apparition d'erreurs ou de défauts. La prévention passive regroupe les

actions permettant de limiter la gravité des conséquences d'une erreur ou d'un défaut quand les désordres pressentis surviennent malgré les précautions déjà prises. Si la priorité doit être accordée à la prévention active, celle-ci n'est cependant pas infaillible. Elle peut de plus générer des effets pervers en rendant les intervenants trop confiants [Le moniteur, 2007].

I.3 Analyse des risques

La logique de la prévention paraît simple et évidente, mais l'expérience montre que sa mise en pratique peut se révéler difficile. En effet, la prévention s'attaque aux risques, qui relèvent du domaine de la probabilité et non de la certitude. Mais, le plus souvent, les actions de prévention obligent les intervenants à accepter des contraintes qui, à l'inverse des risques en cours, ont un caractère de certitude et non de probabilité. La problématique de la prévention est donc: certitude des contraintes contre éventualité du risque.

L'évaluation des risques et de l'efficacité des actions de prévention revêt donc une importance particulière c'est l'analyse des risques.

Elle permet, d'une part, d'éviter de multiplier des actions de prévention lourdes n'ayant pour effet que de neutraliser des risques anodins et, d'autre part, de reporter l'effort sur les risques importants et présentant une probabilité élevée.

Prévenir les risques, c'est donc avant tout les identifier, les évaluer et les hiérarchiser.

I.3.1 types de risque

Trois natures de risques peuvent être identifiées :

- **Les risques connus** sont ceux qui ont permis d'établir la pathologie des constructions: certains types d'ouvrages ou de dispositions constructives sont plus souvent sujets à sinistres que d'autres.
- **Les risques prévisibles** d'un projet proviennent de ses caractéristiques peu courantes, donc moins bien maîtrisées.
- **Les aléas** sont des risques imprévisibles et ne peuvent donc pas être pris en compte.

Pour un projet donné, seules les deux premières catégories de risques peuvent être mises en évidence par une analyse préalable. Concernant les risques connus, on s'appuie sur la pathologie de la construction : l'examen des dispositions techniques envisagées pour le projet suffit à repérer les éléments qui sont fréquemment à l'origine de sinistres.

Les risques prévisibles, quant à eux, sont plus délicats à repérer L'enjeu est de dégager d'un projet un ou plusieurs des facteurs suivants :

- La **nouveauté** ou l'**inhabituel**, qui implique un manque de maîtrise donc un risque d'erreur. Les défaillances ont des répercussions plus grandes sur des techniques ou des ouvrages sortant de l'ordinaire que sur des ouvrages courants, pour lesquelles les solutions sont connues.
- **La complexité**, à ne pas confondre avec la difficulté, qui résulte de la multiplication voire de l'imbrication de cas de figure différents, et parfois de la diversité des paramètres à prendre en compte.
- **La difficulté**, qui requiert des compétences ou des aptitudes particulières, parfois extrêmement poussées, dans un domaine ou une série de domaines particuliers.

Ces facteurs interviennent, isolément ou associés aux autres, sur la probabilité de l'apparition d'une défaillance technique, mais ne suffisent pas à caractériser un risque. Caractériser un risque, c'est aussi évaluer la nature et la gravité des désordres pouvant découler de cette défaillance (les conséquences pouvant aller d'un léger surcoût des travaux jusqu'à la mise en cause de la sécurité des personnes). L'identification et la hiérarchisation des risques par l'analyse sont les deux préalables indispensables à toute politique de prévention réaliste et efficace. De plus, une modulation des actions de prévention renforce leur pertinence en évitant la multiplication de précautions et de procédures inutiles [Le moniteur, 2007].

I.4 Les outils de la prévention

La sensibilisation et la formation d'un personnel spécialisé sont des outils essentiels de la prévention. Elles permettent notamment une bonne adaptation à un contexte technique en constante évolution et le développement de nouvelles compétences et de nouveaux savoir-faire.

I.4.1 Phase d'étude

En phase étude, l'enjeu majeur est la faisabilité technico-réglementaire et économique du projet dans le respect des données du programme. La prévention passe par la connaissance des dispositions constructives sinistrantes, au moyen des bases de données et publications traitant de la pathologie des constructions ainsi que de la documentation et de la réglementation techniques en vigueur. En outre, des études de faisabilité peuvent être conduites par un intervenant extérieur indépendant avant de figer le projet. Depuis la simple consultation préalable d'un fournisseur ou d'une entreprise jusqu'à l'examen complet du projet par un contrôleur technique, ces études sont

l'occasion de détecter un obstacle technique ou réglementaire. La loi du 4 janvier 1978 a officialisé le statut du contrôleur technique en lui attribuant le rôle essentiel de contributeur à la prévention des risques techniques, en particulier par l'examen critique des dispositions constructives envisagées. Il intervient en fin de phase conception, ou plus en amont. Pour des ouvrages exceptionnels, les études de faisabilité peuvent aller jusqu'à la réalisation de maquettes ou de prototypes testés en laboratoire.

I.4.2 Phase de travaux

En phase travaux, la prévention est principalement synonyme de préparation. L'objectif est à ce stade d'anticiper les difficultés potentielles du chantier pour éviter d'improviser des solutions d'urgence inadaptées. La préparation de chantier revêt un double aspect, individuel et collectif. Chaque acteur a besoin de préparer seul son intervention, mais certains problèmes ne peuvent être résolus qu'en concertation avec les autres intervenants : limites de prestations états de supports, réservations, interfaces, etc. Cette période indispensable de préparation et de concertation est malheureusement souvent négligée. Il appartient donc au maître d'ouvrage de prendre les dispositions contractuelles et financières nécessaires permettant aux intervenants de bien préparer le chantier avant le démarrage des travaux. Cette démarche bénéficie à tous, maître d'ouvrage compris, car elle prémunit contre les erreurs, surcoûts, pertes de temps et compromis de dernière minute [Le moniteur, 2007].

I.5 Concept de diagnostic

Depuis plusieurs décennies, face à l'accroissement des coûts engendrés par les «sinistres» (accidents du travail, effondrements d'ouvrages, désordres de toute nature,...) tous ceux qui participent à l'acte de construire sont sensibilisés de plus en plus aux notions de « **prévention** » et de « **pathologie** » [Abbeche K, 2017].

La norme NFX 60-10 (**concepts et définition des activités de maintenance**) définit le diagnostic comme : « L'identification de la (ou des) cause(s) probable(s) de la défaillance ou de l'évolution d'un ou plusieurs paramètres significatifs de dégradation à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'information (inspection, contrôle, test) ».

- En adoptant ces données aux problèmes posés par la réhabilitation, on peut affirmer que le diagnostic est une mission qui se fixe trois objectifs successifs :

- Constat de situation (parfois appelé « description », « reconnaissance » ou « identification » ;
- Comparaison de l'état constaté par rapport à un état de référence (état à neuf, ou état de conformité à un règlement) parfois appelé « bilan »;
- Évaluation de l'écart (causes, gravité et risque).

La première et dernière étape formalise les potentialités [Abbeche. K, 2017].

I.5.1 Les activités d'un diagnostic

Le diagnostic d'un ouvrage c'est l'ensemble des investigations nécessaires pour définir l'origine et l'étendue des désordres constatés, il permet de vérifier s'il satisfait aux conditions de sécurité et d'utilisation qui sont définies par la réglementation et par les besoins de son propriétaire ou usager. Le vieillissement d'un ouvrage est marqué par l'apparition de désordres spécifiques.

Dans le cadre d'un diagnostic, trois types de missions peuvent être réalisées :

- Sur un ouvrage sain : estimer, vérifier ou contrôler les caractéristiques de la construction, c'est notamment le cas des ouvrages à « caractère exceptionnel » (grand pont...etc.) ou des structures innovantes dont il souhaite connaître le comportement en service ;
- Sur un ouvrage supposé endommagé : détecter l'endommagement ;
- Sur un ouvrage visiblement endommagé dont les désordres sont susceptibles ou non de s'aggraver ou de mettre en cause la sécurité : caractériser l'endommagement (gravité de l'endommagement, étendue spatiale...etc.) [Ouiza K ; 2017].

I.5.2 Les données nécessaires pour le diagnostic d'un ouvrage

I.5.2.1 Les données de recensement

- Localisation de l'ouvrage ; caractéristiques géométriques de l'ouvrage ; type d'ouvrage et matériaux utilisés dans sa construction ; année de construction du l'ouvrage ;
- Importance historique du pont ; importance de réseau dans lequel il se trouve
- Possibilité et la longueur de déviation en cas de nécessité ;
- Charges admissibles ainsi que l'historique de réparation, si elle existe [Ouiza. K, 2017].

I.5.2.2 Les données d'évaluation

Les données permettant l'évaluation de l'endommagement d'un ouvrage sont nombreuses. On peut alors classer les informations recherchées en trois catégories selon leur nature ou leur origine :

- Caractéristiques de l'ouvrage: (Si l'ouvrage est en béton armé): mesure de l'épaisseur du béton, mesure de l'enrobage des barres d'armatures dans un béton armé, positionnement et dimensionnement du ferrailage passif/actif, localisation des joints de coulées ...etc.
- Caractéristiques du matériau : caractérisation de la composition, évaluation de l'ensemble des caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux.
- Caractéristiques pathologiques: détection et localisation des parties d'un ouvrage atteintes d'alcali-réaction, ou contaminées par des chlorures, de vides ou d'hétérogénéités (fissures, microfissures, nids d'abeille)...etc [Ouiza. K, 2017].

I.5.2.3 Les données décrivant le niveau de service rendu

Elles s'obtiennent en comparant le niveau de service, effectivement offert par le pont, avec le niveau de service actuellement requis par rapport à un nouveau pont que l'on construisait sur le même réseau ou pour une nouvelle condition du trafic. A cet effet, nous pouvons conclure que ces données permettant l'évaluation de l'état de gravité des ouvrages et le type d'insuffisance sont soit :

- L'insuffisance structurelle ce qui signifie que le pont n'a plus sa résistance mécanique originelle, à cause de sa dégradation ; il ne peut donc plus supporter sans risques le trafic pour lequel il a été conçu. En conséquence, il doit être limité en charge, ou en vitesse, ou en nombre de voies de circulation, voire fermé complètement au trafic.
- L'insuffisance fonctionnelle signifie que la conception originelle du pont l'a rendu inadapté aux nouvelles conditions du trafic, à cause, par exemple, d'une insuffisance des charges admissibles, ou du gabarit, ou de la largeur utile [Ouiza. K, 2017].

I.5.3 Les types de diagnostic

Tout au long de sa vie, l'ouvrage devrait être soumis à des inspections, de plusieurs types ou niveaux, afin de connaître son état et pour se faire on procède de la manière suivante:

I.5.3.1 Le pré-diagnostic

Appelé aussi l'inspection visuelle ou préliminaire, c'est l'analyse des archives et des sources principales d'informations relevées pendant les inspections principales. Elles fournissent des informations de base suffisantes pour qu'un avis préliminaire soit présenté vis-à-vis des conditions de l'élément dégradé. Plusieurs méthodes de classification basées sur les caractéristiques de ces désordres sont disponibles dans la littérature [Ouiza, K, 2017], Exemples:

- La méthode Image de la Qualité des Ouvrage d'Art (IQOA) 1995.
- La méthode de classification proposée par l'ACI, 1993.

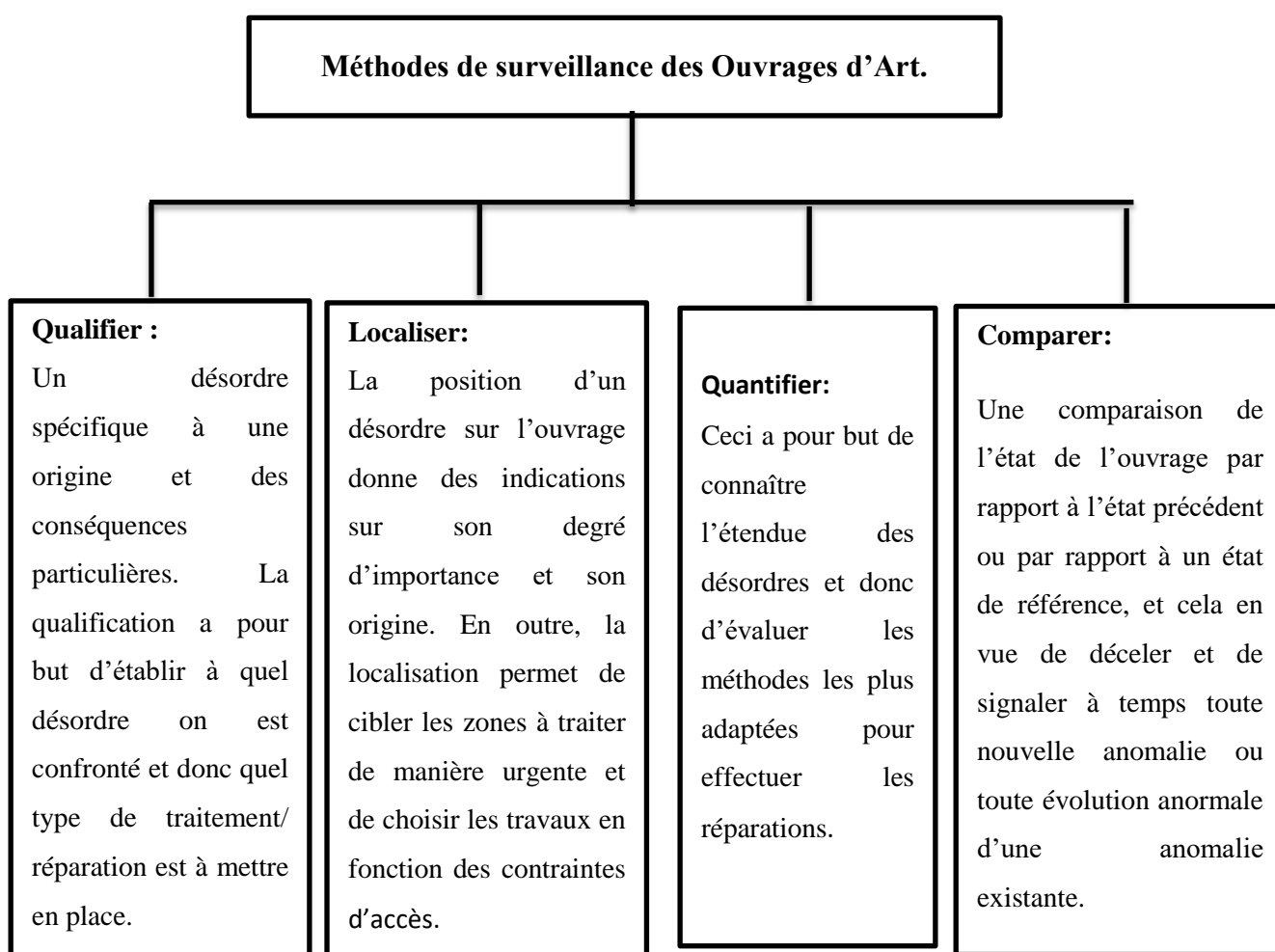


Figure I.1 : Organigramme d'une inspection visuelle. [Ouiza, K, 2017]

I.5.3.2 Inspection détaillée

Ces inspections sont réalisées selon l'état de la structure :

- Tous les ans pour les ouvrages dont l'état est alarmant,
- Tous les trois ans pour les ouvrages sensibles,
- Tous les six ans pour les ouvrages normaux et enfin tous les neufs ans pour les ouvrages robustes.

Elle est réalisée par un organisme spécialisé en employant tous les moyens d'accès nécessaires pour accéder aux différentes parties et éléments de l'ouvrage, ainsi que l'outillage adéquat de maître d'ouvrages, par exemple : Échafaudages, Matériel élévateur, marteau, fil à plomb,

Cette visite aboutie à un procès-verbal ou rapport de visite dans lequel apparaîtront en détail tous les renseignements et résultats de la visite (appuyés par des prises de vues), ainsi qu'une évaluation précise de l'état de l'ouvrage [**Ouiza. K, 2017**].

Les inspections détaillées peuvent être faites comme indiqués sur le tableau ci-dessous :

Tableau I.1: Types d'inspection détaillée pour les ouvrages d'art. [Ouiza. K, 2017].

Types d'inspection	Correspondance
Une visite annuelle	Pour certains ouvrages comportant des dégradations ou désordres particuliers et pour les ouvrages relativement anciens, avant de les programmer pour l'entretien ou la réparation.
Une auscultation approfondie	Des éléments ou parties d'ouvrage, ou de tout l'ouvrage. Des investigations sont menées au moyen d'appareillages spécifiques pour apprécier la qualité et les caractéristiques des matériaux en place, le comportement de l'élément ou de la structure en service, évaluer les efforts et contraintes.
Une surveillance Renforcée	Lorsque l'auscultation ne permet pas de répondre à certaines questions qui se posent sur l'état de l'ouvrage, ou lorsqu'il y a possibilité de remplacement de l'auscultation, on recoure au suivi de l'évolution de certaines dégradations par des examens fréquents et des mesures périodiques, pendant une certaine durée (une année au minimum).
Une haute surveillance	Est une mesure d'exception, destinée à surveiller l'apparition ou à suivre l'évolution d'un état considéré comme dangereux et à permettre de prendre en temps utile toutes les dispositions nécessaires pour maintenir la sécurité. L'objectif fondamental de la haute surveillance est d'assurer une sécurité permanente, compte tenu de l'utilisation qui sera faite de l'ouvrage avant réparation. Un deuxième objectif est de suivre l'évolution réelle des désordres, pour qu'il puisse en être tenu compte dans le projet de réparation.
Inspection des dommages	Dans le cas de l'endommagement d'un pont, une inspection des dommages est généralement appelée à évaluer la gravité des dégâts et de déterminer la nécessité de restrictions de charge ou de fermeture complète. Le niveau et le détail d'inspection dans ce cas dépend de la gravité et l'étendue des dégâts. Si les dommages significatifs sont trouvés, l'inspecteur peut généralement s'attendre à faire des mesures détaillées des éléments endommagés (par exemple le niveau de perte de la section). Il est évidemment souhaitable que l'inspecteur ait la capacité de faire des calculs d'ingénierie dans le domaine spécifié lié à la nécessité de restriction de charge ou de fermeture
Inspections détaillées particulières	Elles sont effectuées en dehors du programme d'inspections périodiques (primaires et détaillées). Elles sont déclenchées par l'administration : <ul style="list-style-type: none"> • Suite à des circonstances anormales : Crues, glissement de terrain, passage de convois exceptionnels, défaillance imprévue, désordre occasionné par choc, séisme, ...etc. • A l'occasion de la mise en service d'un ouvrage neuf ou d'un ouvrage ayant subi des travaux de confortement ou de réhabilitation. En vue de réévaluation de la portance vis-à-vis de nouvelles réglementations.

I.6 La méthodologie des expertises et de réparations

L'organigramme ci-dessous explique la méthodologie des expertises.

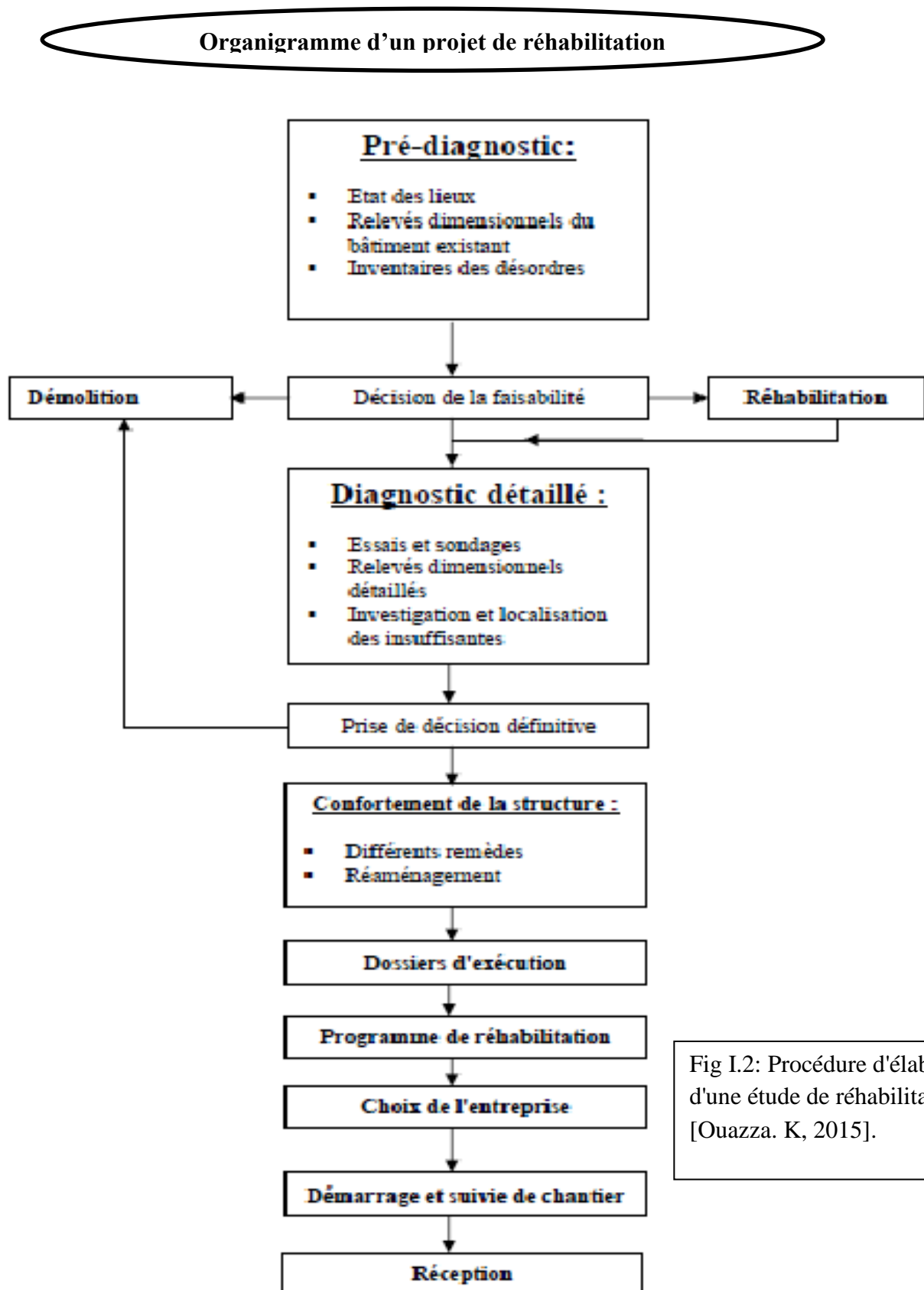


Fig I.2: Procédure d'élaboration d'une étude de réhabilitation [Ouazza. K, 2015].

Aussi pour l'évaluation du niveau de dommage des éléments de construction ou de la construction toute entière une classification à 5 niveaux. Au terme de cette démarche systématique l'ingénieur est conduit à noter le niveau général des dommages et à attribuer à la construction l'une des couleurs : verte, orange, ou rouge.

Tableau I.2 : L'évaluation du niveau de dommage [Bedj. R ; Ouai. A, 2014].

Niv	Couleur		Description
1	Vert	Pas de dommages	A l'exception des meubles et de glaces cassées.
2	Vert	Dommages légers	Fissures des cloisons intérieures ou des plafonds, Dommages pour canalisations d'eau, dommages non structurel isolés.
3	Orange	Dommages modérés	Dommages importants pour les parties non structurales et dommages faibles pour les parties structurales.
4	Orange	Dommages importants	Dommages non structuraux très importants et dommages structuraux considérables. Fissures en X dans les voiles de contreventement, éclatement des nœuds « Poutres-Poteaux ».
5	Rouge	Dommages très importants	Bâtiments à condamner ou effondrés.

I.7 Choix des méthodes et matériaux de réparations

C'est l'étape la plus difficile et qui exige une connaissance approfondie ainsi un très bon jugement de l'ingénieur entre les variétés de méthodes d'intervention, des matériaux et des pratiques reconnues. Donc on peut définir cette étape comme une décision multicritères, dans laquelle on vise le choix et la combinaison entre les méthodes et les matériaux jugée techniquement faisable pour atteindre efficacement le but escompté par les opérations de réparations avec le moindre cout.

I.7.1 Critères de choix des méthodes de réparation

Ce sont l'ensemble des facteurs influant notre choix et favorisant une méthode et un matériau par rapport à les autres, on peut distinguer :

- a. **Le cout** des réparations ainsi tous les frais complémentaires d'entretien de réparation.
- b. **Type des dégradations** : si les dégâts sont relativement peu nombreux et isolés, des réparations partielles sont à préconiser. Si les dégâts sont étendus, il faut envisager de reprendre l'ouvrage dans son ensemble.

- c. **La sécurité structurale**, avant, pendant et après la réparation.
- d. **La disponibilité des matériaux** de réparation et les capacités des entrepreneurs dans l'utilisation des matériaux spéciale ou les procédures exceptionnelles avec succès.
- e. **Les conditions d'exploitation** de l'ouvrage donc il faut s'assurer que les réparations, pendant leur exécution ne gêneront pas sérieusement l'utilisation de l'ouvrage.
- f. **L'importance de l'ouvrage**, durée de vie souhaitée pour les réparations, les conditions d'exploitation de l'ouvrage.
- g. **Les contraintes de chantier** telles que les difficultés d'accès, l'absence des surfaces nécessaires pour l'application des méthodes de réparation, les conditions climatique défavorable.
- h. **Les changements** apportés par les réparations sur l'aspect esthétique, ou sur le comportement des éléments (l'accroissement de section d'un élément ce qui implique une augmentation de la rigidité, modifie la distribution des efforts et des moments....).
- i. La combinaison la plus économique des méthodes et des matériaux jugée techniquement faisable [**Halmaoui.S, 2012**].

Chapitre II :
Principaux désordres
rencontrés

II.1 Introduction

Les dégradations des ouvrages en béton armé sont dues à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Afin de réhabiliter un ouvrage en béton armé, il est important d'effectuer un diagnostic, grâce à cela, il est possible de proposer une méthode de réparation adéquate ainsi qu'une protection contre les attaques aux futures. Un suivi de l'ouvrage peut être réalisé afin de déterminer l'évolution des différentes pathologies [Khelifi. A; Khelaif. S, 2019].

On distingue :

- Les pathologies liées à l'eau, relativement bien connues, elles sont dues à :
 - Présence de l'eau à la surface du bâtiment ;
 - Présence d'ouvertures dans cette surface (fenêtre ou fissures) qui permettraient à l'eau de s'infiltrer.
 - Présence d'une force qui ferait pénétrer l'eau à l'intérieur (pression, gravité, capillarité).On révèle les effets les effets de ruissellement, rejaillissement, stagnation, absorption, impact et infiltration, qu'on désigne généralement par le système de la goutte d'eau ce sont les principales actions, accentuées très souvent par des actions tels que l'absence d'entretien, la non protection des gargouilles, les tableaux d'ouverture, l'arrosage ...etc. Les pathologies humides entraînent aussi des pathologies structurelles par l'effet des remontées capillaires et des rejaillissements de l'eau sur les murs, ce qui accentue le risque de creusement et affaiblie la structure porteuse.

- Les pathologies structurelles :

Identifiées par l'apparition de fissures ou de décomposition du matériau, elles peuvent aller à partir de l'apparition de simples fissurations, puis des bombements (ventres), des écartements, de faux aplombs, jusqu'à engendrer à long terme, un déséquilibre causant l'effondrement des constructions [Kiouas. S; Sayah ben aissa. S, 2022].

II.2 Causes principales des pathologies

Plusieurs causes peuvent être responsables de désordres dans les ouvrages en génie civil, nous citons ci-dessous les plus fréquentes :

II.2.1 Désordres dus aux erreurs de conception ou d'exécution

Ce type de désordres peut être induit par des erreurs intervenant soit au stade du dimensionnement de l'ouvrage, soit au stade de son exécution.

Les causes de fissuration et de dégradation sont dues à des hypothèses erronées au niveau des conditions de chargement, d'environnement, ou de fonctionnement de l'ouvrage. Ces erreurs sont à l'origine, généralement, d'un mauvais dimensionnement des sections ou d'une disposition non satisfaisante des armatures qui se traduisent par des localisations de fissures ou des ruptures

Les erreurs d'exécution qui sont susceptibles de justifier une intervention au niveau de l'ouvrage portent sur les imperfections de coffrage, les défauts de bétonnage, les incohérences du ferrailage ou sur les conditions non satisfaisantes de décoffrage [Benkhelifa.C et Amieur.T.Y, 2013].

II.2.2 Causes mécaniques

Les désordres apportés par l'utilisation d'un ouvrage constituent une cause non négligeable de dégradation des bâtis. Il s'agit le plus souvent d'une attaque de types mécanique chocs, abrasion, érosion, etc.

- **Abrasion** : Usure accompagnée d'une perte de matière consécutive au frottement d'un élément par un abrasif ou par le passage répétitif des piétons, véhicules et chariots industriels, etc.
- **Erosion** : Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement.



Fig II.1: Maisons inoccupées à cause de l'érosion de la falaise

- **Cavitation** : Usure d'une structure hydraulique caractérisée par une perte de masse en présence de been brusque de direction d'un écoulement bulbes de vapeur qui se forment lors d'un changement brusque de direction d'un rapide de l'eau.
- **Chocs** : Les chocs les plus fréquents sont ceux des poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts, les chocs de bateaux ou et d'objets flottants contre les piles en rivière, ainsi que les chocs des véhicules contre les barrières de retenue qui constituent une autre source de chocs non négligeable. Ces chocs peuvent créer des épaufrures, des éclats importants de béton, voire même des ruptures d'aciers.
- **La délamination** : La délamination est provoquée par l'action conjuguée des sollicitations climatiques des sels anti-verglas et du trafic circulant directement sur le béton constitutif des hourdis de pont. Dans les cas les plus graves, cette pathologie aboutit à la chute des plaques de béton et à la création de trous dans les tabliers de pont.



Fig II.2 : Délamination des dallages en béton

- **Surcharges** : Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes qui entraînent des fissurations et des éclatements du béton [Benkhelifa.C et Amieur.T, 2013].

II.2.3 Causes physiques

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



Fig II.3 : Le comportement au feu

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

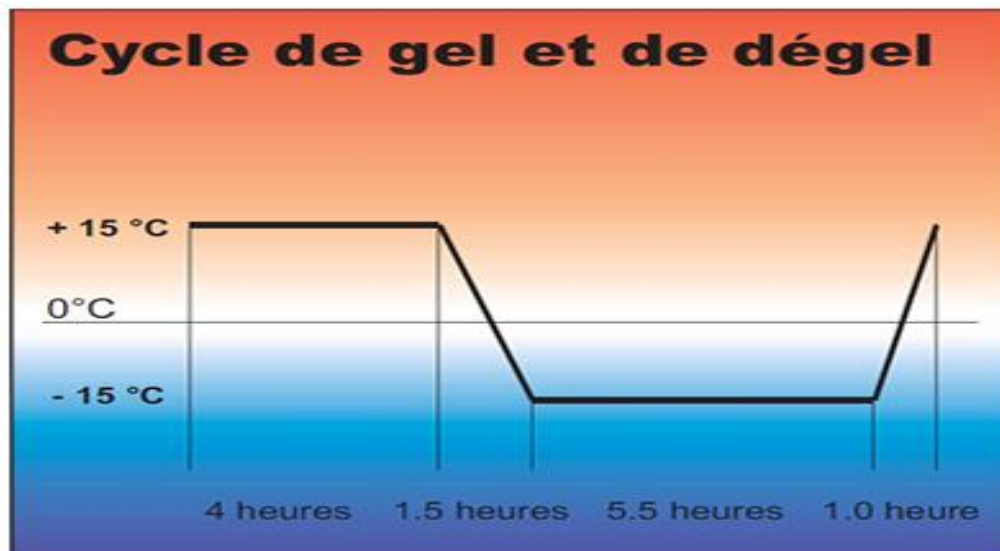


Fig II.4 : cycle de gel et de dégel

- **Le retrait** :

Comme le matériau de construction est conçu avec un mélange de ciment et d'eau, il peut être soumis au retrait. Ce phénomène courant dans le bâtiment peut affecter les blocs de

agglomérés ou de béton, le béton lui-même ou encore les enduits à base de ciment. Retrait de ressuage, retrait plastique, retrait hydraulique, etc. il existe plusieurs types de retrait du béton. Avec des origines, elles-aussi, multiples (excès d'eau, dosage du béton, apport d'adjuvants, etc.).

Mise à part l'influence du facteur temps et du volume d'eau sur la valeur du retrait celui-ci est fonction d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels :

- la nature du ciment et son dosage.
- la propreté des sables.
- le rapport E/C.
- la forme et la dimension des granulats [Benkhelifa.C; Amieur.T.Y, 2013].

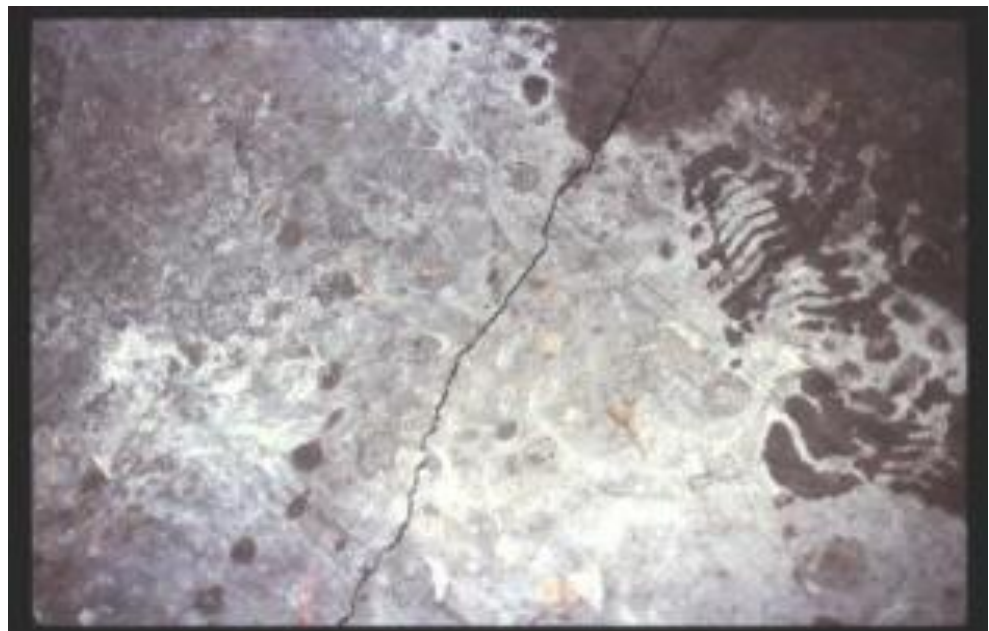


Fig II.5 : fissuration par retrait gêné d'une glissière en béton adhérent (GBA).

II.2.4 Mouvement des fondations

Le sol se déforme sous l'effet des charges qu'il est amené à supporter. Ces déformations sont de deux types :

- Les déformations plastiques correspondent au déplacement des éléments solides qui constituent le terrain sous l'effet des charges qui leur sont appliquées et qui provoquent une diminution du volume de la masse de terrain considérée, qui s'accompagne d'une modification de la porosité du matériau.
- Les déformations élastiques sont beaucoup moins sensibles puisqu'elles ne peuvent apparaître que dans le cas d'un sol constitué de roche compacte. Pour les calculer il y a simplement lieu de déterminer le coefficient d'élasticité de la roche, qui varie dans des

limites bien précises, et de déterminer le tassement du matériau sous l'effet des charges apportées par les fondations.

En outre, les sols sont sensibles aux variations de teneur en eau et les constructions peuvent amener des modifications dans le cheminement des eaux en surface ou dans le sol, susceptible d'entraîner des tassements. Les effets de gel peuvent causer aussi des gonflements du terrain d'assise lorsque la profondeur des fondations ne les met pas à l'abri de ce phénomène [Benkhelifa. C; Ameer. T. Y, 2013].

II.2.5 Fissuration

La fissuration représente le premier type d'endommagement qui se développe lorsque la structure se trouve chargée mécaniquement. Les fissures peuvent s'étendre de microfissuration à la lézarde. Ces fissures représentent certainement la forme d'altération la plus fréquente. Des formes très diverses peuvent être observées et leurs origines sont nombreuses [Benkhelifa. C; Ameer. T. Y, 2013].

II.2.6 Causes chimiques

II.2.6.1 La corrosion des armatures

La corrosion des armatures est responsable de la dégradation de 75% des ouvrages en béton armé et absorbe la plus grande partie des activités d'entretien et de renouvellement des ouvrages; ceci est la preuve que ce phénomène doit être pris très au sérieux.

La carbonatation et la pénétration des ions chlorure sont les deux processus susceptibles de dépassiver les armatures et d'initier la corrosion. La plus ou moins grande rapidité d'action de ces divers phénomènes est fonction de l'humidité ambiante, de la porosité du béton et de la présence de fissures qui favorisent la diffusion des gaz ou des liquides agressifs.

II.2.6.2 Réaction sulfatique interne <RSI> dans les structures en béton

Les bétons qui sont au contact des eaux souterraines ou soumis à certaines pluies acides sont susceptibles de subir des réactions chimiques avec les ions sulfates, Cela conduit à des phénomènes locaux de cristallisation sous forme d'aiguilles. Les cristaux formes constituent de l'étrangéité dite secondaire très expansive qui engendre des contraintes internes capables de dégrader le béton et par conséquent l'ouvrage.

II.2.6.3 Carbonatation du béton

L'air constituant le milieu ambiant est toujours supposé inerte, c'est-à-dire ne réagit pas avec la pâte de ciment hydraté. Cependant, dans la réalité, l'air contient du dioxyde de carbone CO_2 à un taux moyen de 0.03% en volume qui, en présence d'humidité réagit avec le ciment hydraté. La réaction chimique provoquée par la pénétration du CO_2 transforme les produits d'hydratation, notamment le dioxyde de calcium (portlandite) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et à un degré moindre les CSH, en carbonate de calcium CaCO_3 .



Fig II.6 : l'effet de la carbonatation

II.2.6.4 Milieux Acides

Les solutions acides ($\text{pH} < 7$), sont généralement agressives vis-à-vis des bétons de ciment des bétons de portland (contrairement au ciment alumineux qui résiste bien). L'agressivité des acides minéraux et organiques dépend essentiellement de leur concentration ainsi que de la solubilité des sels formés. La plupart des acides minéraux sont des acides forts (HCl , HNO_3 , H_2SO_4) qui dissolvent le ciment et les granulats calcaires. Les acides organiques, sont faibles, moins agressifs, même s'ils donnent des composés de calcium solubles. On les trouve dans certains milieux industriels ou agricoles (acide acétique, lactique, formique...) ou dans des sols (acides

humiques et fulviques obtenus par décomposition des végétaux), L'action des acides se traduit généralement par une érosion de la surface du béton mettant à nu les granulats.

II.2.6.5 L'eau de mer

L'eau de mer est constituée de sels chargés en ions chlorures de composés sulfatiques contenant les ions sulfates (SO_4^{2-}), etc. Ces ions sont nocifs au béton lorsqu'ils pénètrent en son sein. La grande particularité de l'eau de mer est que les proportions relatives de ses constituants sont sensiblement constantes (c'est-à-dire indépendante de la salinité (teneur en sels dissous). La salinité moyenne de l'eau de mer est 35g/. Le pH de l'eau de mer est proche de 8,2. Les gaz dissous comprennent principalement: 64% d'azotes, 34% d'oxygène; 1,8% de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre) [Benkhelifa. C; Ameur. T. Y, 2013].

II.3 Principaux désordres dans le nouveau bâti

Le béton armé est un matériau aujourd'hui bien connu : de multiples expérimentations en ont été faites ; la théorie en est très au point ; les règlements se sont succédés, toujours plus précis et plus étoffés. Depuis une vingtaine d'années le matériau « béton » a changé, il est devenu plus résistant, plus adaptable à sa mise en place et de meilleure qualité, bien contrôlée ; de même, l'informatique a permis de mieux maîtriser le calcul du point de vue mécanique et de rendre les constructions plus fiables. Du point de vue mécanique, les règlements de calcul préviennent les dangers liés aux différentes sources d'alea (résistance des matériaux, charges, géométrie...) en leur associant des valeurs de références et des coefficients de sécurité. Il conviendrait alors de penser que la pathologie du béton armé est vouée à disparaître. Malheureusement le spectacle désolant, criard et inquiétant qu'offre les structures en béton armé existantes nous en disent le contraire.

Donc ; Pourquoi se produit-il encore des pathologies et sinistres ? [Mohamed Faissol B. M, 2013]

La durabilité de béton dans la construction de nouvelles structures repose sur plusieurs facteurs tels que la composition des matériaux, la mise en œuvre, la forme structurelle et les conditions d'exploitation ainsi de suite. Cette diversité des facteurs permet la manifestation de plusieurs

pathologies, ces dernières se développent progressivement avec le temps en aggravant la situation de plus en plus jusqu'à la ruine totale de la structure.

Donc, pour éviter ces problèmes, il est nécessaire de bien comprendre ces pathologies et les désordres résultants de ces pathologies, et par conséquent cela nous permet de bien définir le type de réparation à envisager ; il s'agit de répondre aux questions suivantes.

- Quelles sont les différentes pathologies manifestes dans une structure en béton armé ?
- Quelles sont les causes qui provoquent cet endommagement ?
- Quelles sont les matériaux et techniques de réparation ?

II.3.1 La fissuration dans le nouveau bâti

La fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers laquelle les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure (hypothèse de Griffith 1920). La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges permanente ou des surcharges ou lors du déplacement des charges. Des enquêtes sur les formes de pathologie observées sur des maisons individuelles ont donné les résultats suivants :

- fissuration horizontale au niveau du dernier plancher ;
- fissuration oblique partant des angles de l'appui de fenêtre [Hamlaoui. S, 2012; Mamillan. M, 1994].

II.3.1.1 Causes et/ou facteurs de risque

Malgré l'utilisation de matériaux modernes et de techniques de construction avancées, les nouveaux bâtiments ne sont pas exempts de fissures. Ces bâtiments modernes sont également sujets à ce phénomène complexe et multifactoriel.

Les fissures peuvent se produire pour diverses raisons, allant des contraintes de conception architecturale aux conditions environnementales changeantes. Les charges mécaniques, telles que les charges structurelles et les mouvements du sol, peuvent provoquer des contraintes excessives et entraîner des fissures dans les éléments de construction. Les variations climatiques, avec leurs cycles de chaleur et de froid, d'humidité et de sécheresse, peuvent également provoquer la contraction et l'expansion des matériaux et la formation de fissures. De plus, des erreurs de construction, telles qu'une mauvaise installation des matériaux ou des défauts dans les

joint, peuvent affaiblir la structure et contribuer à l'apparition de fissures. La qualité des matériaux utilisés et leur compatibilité avec les autres éléments du bâtiment jouent également un rôle important dans la prévention des fissures. La compréhension des mécanismes de fissuration dans les nouveaux bâtiments est essentielle pour que les architectes, les ingénieurs et les constructeurs puissent concevoir des structures solides et durables. L'identification précoce des facteurs de risque potentiels et l'application de mesures préventives appropriées sont essentielles pour minimiser les fissures et garantir la durabilité des nouveaux bâtiments.

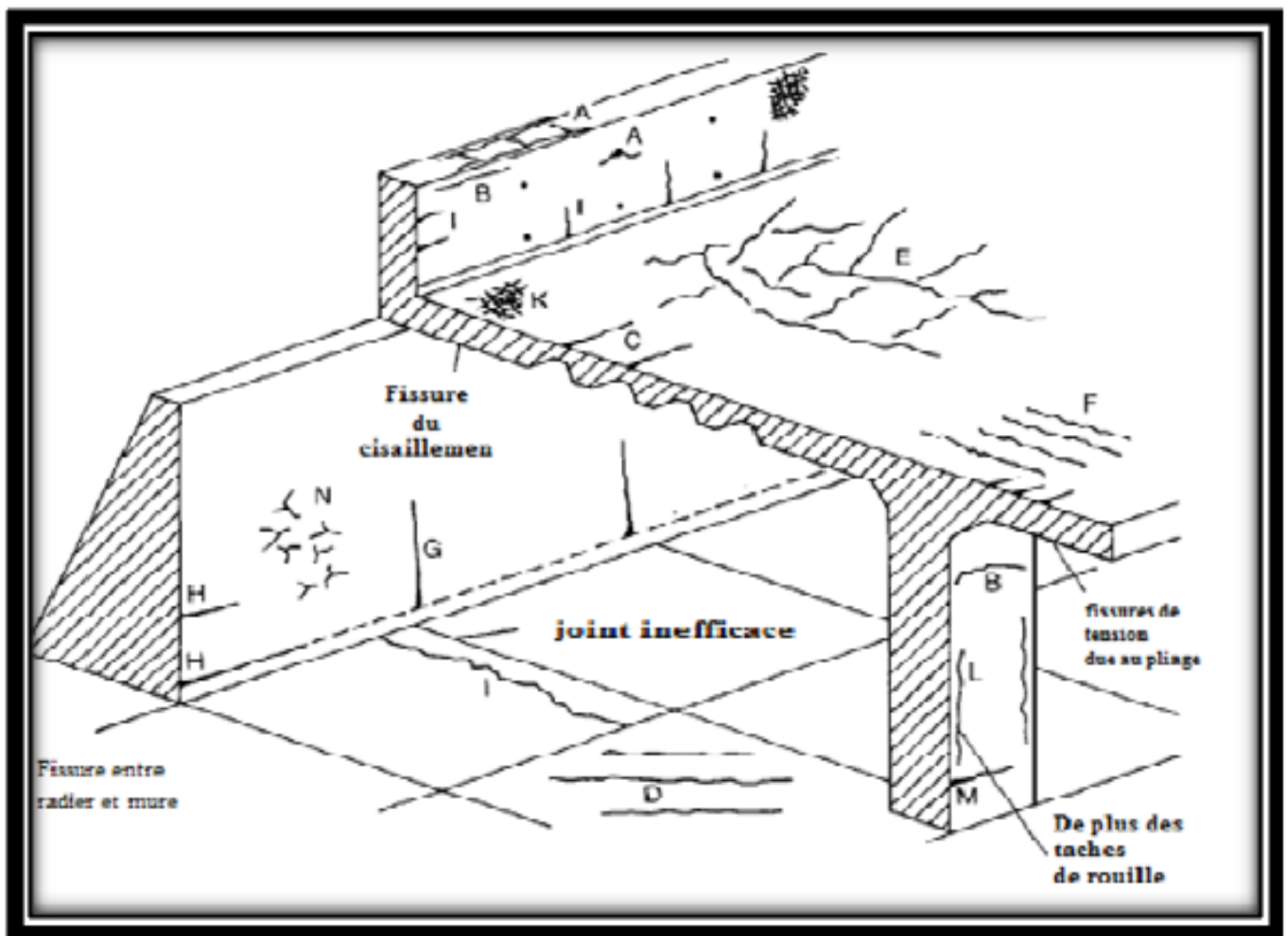


Fig II.7: Principales sortes des fissures et leur position dans l'ouvrage [Thomas .T, 1997].

II.3.1.2 Évolution de la largeur des fissures

L'activité d'une fissure se caractérise par la variation ou la stabilité de son ouverture dans le temps.

- **Fissures passives ou mortes :** Leur ouverture ne varie plus dans le temps, quelles que soient les conditions de température, d'hygrométrie ou de sollicitation de l'ouvrage. Ce type de comportement des fissures est très rare, car les ouvrages subissent toujours plus

ou moins de variations dimensionnelles sous l'effet de l'évolution des conditions thermiques (l'échauffement conduit à une expansion de la matière, donc à une diminution de la largeur des fissures et inversement).

- **Fissures stabilisées :** Leur ouverture varie dans le temps dans des limites connues. Souvent leur mouvement suit une évolution cyclique, liée aux variations thermo-hygrométriques que subit l'ouvrage.
- **Fissures actives ou évolutives :** Ces fissures continuent à évoluer car les mouvements qui les ont fait naître ne sont pas stabilisés (par exemple, tassements différentiels de fondation) [Mamillan. M, 1994].

II.3.1.3 Mesures de l'évolution des fissures

Avant l'exécution d'une réparation, il faut appareiller les fissures et suivre leur évolution pendant une durée d'au moins un an. Parmi les dispositifs les plus performants, deux systèmes sont à signaler (cf. article Extensomètre [R 1 850] dans le traité Mesures et Contrôle) :

- l'extensomètre acoustique par cordes vibrantes, qui permet un suivi sans avoir un accès à proximité de la fissure. Il suffit, après la mise en place des cordes, de descendre les fils électriques qui permettent l'excitation des cordes à la base de l'élément à ausculter
- les extensomètres mécaniques, qui nécessitent l'accès aux bases de mesures fixées de part et d'autre de la fissure étudiée.

Les anciens dispositifs témoins fixés sur la fissure (en plâtre ou en verre) donnent juste une indication, par tout ou rien, à un moment donné, montrant qu'il y a eu un mouvement dépassant la limite d'extension du verre ou du plâtre utilisé pour la réalisation du témoin. Cette information est intéressante, mais insuffisante pour suivre une évolution précise des fissures [Mamillan. M, 1994].

II.3.2 L'Humidité dans le nouveau bâti

L'humidité est l'une des principales causes de la dégradation du béton. Lorsque de l'eau ou de l'humidité pénètre dans le béton, elle peut entraîner la formation de pores dans la structure. L'eau qui pénètre dans ces pores peut dissoudre les composants du béton, tels que les sels, qui sont solubles dans l'eau.

Cette dissolution peut provoquer une réduction de la résistance du béton et de sa durée de vie. La présence d'humidité peut également provoquer la formation de fissures dans le béton, ce qui peut permettre à l'eau de s'infiltrer davantage dans la structure. En plus de la dissolution des sels, l'eau peut également réagir avec les ions présents dans le béton pour former des acides qui attaquent le

matériau. Cette réaction chimique peut provoquer la désagrégation du béton, ce qui peut affecter sa stabilité et sa durabilité [Coignet. J, 1987].

Cette étude examine les différents types de pathologies liées à l'humidité dans le béton, leurs causes, leurs effets et les mesures préventives.

II.3.2.1 Les différentes pathologies de l'humidité dans le béton

Il existe plusieurs types de pathologies liées à l'humidité dans le béton, notamment :

- La corrosion des armatures : L'humidité peut entraîner la corrosion des armatures en acier présentes dans le béton. La corrosion peut réduire la section transversale de l'acier, ce qui diminue la capacité portante de la structure. En outre, la corrosion peut causer des fissures dans le béton, augmentant ainsi la probabilité d'infiltration d'eau.
- La dégradation du béton : L'eau peut pénétrer dans les pores et les fissures du béton, ce qui peut entraîner une dégradation de sa résistance, une augmentation de sa perméabilité et une perte d'adhérence entre le béton et l'armature.
- La formation de moisissures et de champignons : L'humidité excessive peut favoriser la croissance de moisissures et de champignons qui peuvent affecter la qualité de l'air intérieur et entraîner des problèmes de santé pour les occupants du bâtiment [Coignet. J, 1987].



Fig II.8 : formation de moisissures et de champignons

II.3.2.2 Les causes des pathologies de l'humidité dans le béton

Plusieurs facteurs peuvent contribuer aux pathologies liées à l'humidité dans le béton, notamment :

- La qualité du béton : Si le béton est mal dosé, mal consolidé ou mal séché, il peut être plus susceptible de se dégrader en présence d'eau, affectant ainsi sa résistance et sa durabilité.
- Les conditions environnementales : L'exposition à l'eau de mer, les cycles de gel et de dégel, l'humidité relative élevée ou les fortes pluies peuvent également contribuer à la détérioration du béton.
- Les défauts de construction : Les fissures, les joints mal scellés et les défauts d'assemblage permettent à l'eau de pénétrer dans le béton, causant des pathologies liées à l'humidité [Coignet. J, 1987].

II.3.2.3 Les symptômes pathologiques liées à l'humidité dans les structures en béton

Les pathologies liées à l'humidité dans les structures en béton peuvent causer des symptômes graves qui nécessitent une attention immédiate. La corrosion des armatures est l'un des problèmes les plus courants, caractérisé par des fissures dans le béton, une décoloration du béton et une diminution de la résistance structurelle. La dégradation du béton peut également provoquer des symptômes tels que la formation de fissures, l'écaillage de la surface et la délamination, ce qui peut entraîner une perte de résistance structurelle et une diminution de la durée de vie de la structure.

La formation de moisissures et de champignons est également une pathologie courante liée à l'humidité, qui peut causer des symptômes tels que des odeurs désagréables, des taches sombres sur les surfaces, une décoloration et une détérioration des matériaux. Les personnes souffrant d'allergies ou de problèmes respiratoires peuvent également éprouver des symptômes tels que des éternuements, des irritations des yeux et des voies respiratoires, ainsi que des maux de tête.

Dans l'ensemble, ces pathologies peuvent avoir des conséquences négatives sur la santé et la sécurité des occupants du bâtiment, ainsi que sur la durée de vie et la résistance structurelle de la structure. Par conséquent, il est crucial de surveiller régulièrement les bâtiments pour détecter les symptômes de ces pathologies et prendre des mesures immédiates pour les résoudre avant qu'ils ne causent des dommages importants [Coignet. J, 1987].

II.3.3 L'étanchéité dans le nouveau bâti

Les pathologies liées à l'étanchéité des nouveaux bâtiments peuvent avoir plusieurs causes. Certaines des principales causes de ces problèmes sont décrites ci-dessous :

- **Mauvaise conception,** Dans certains cas, les problèmes d'étanchéité dans les nouveaux bâtiments peuvent résulter d'une mauvaise conception. Une mauvaise conception de l'enveloppe du bâtiment, des systèmes de toiture ou des éléments de drainage peut entraîner des infiltrations d'eau et des problèmes d'étanchéité.
- **Défauts de construction,** Des défauts de construction tels que des joints mal scellés, des matériaux de mauvaise qualité ou des techniques d'installation incorrectes peuvent compromettre l'étanchéité des nouveaux bâtiments. Des défauts tels que des fissures, des cavités non remplies ou des joints mal alignés peuvent permettre à l'eau de pénétrer dans la structure.
- **Utilisation de matériaux inadaptés,** L'utilisation de matériaux inadaptés ou de mauvaise qualité peut poser des problèmes lors de l'imperméabilisation de nouveaux bâtiments. Les matériaux de revêtement, les membranes d'étanchéité ou les produits d'étanchéité de mauvaise qualité peuvent se détériorer prématurément et permettre à l'eau de pénétrer.
- **Manque d'entretien régulier,** Le manque d'entretien régulier peut contribuer aux problèmes d'étanchéité des nouveaux bâtiments. L'accumulation de saleté, de débris ou de végétation sur les toits, des gouttières bouchées ou des systèmes de drainage mal entretenus peuvent entraîner des infiltrations d'eau et des problèmes d'étanchéité.
- **Conditions météorologiques extrêmes,** Les nouveaux bâtiments peuvent être exposés à des conditions météorologiques extrêmes, telles que de fortes pluies, des tempêtes ou des fluctuations de température. Ces conditions peuvent exercer une pression supplémentaire sur l'étanchéité des bâtiments et contribuer aux problèmes de pénétration de l'eau.

II.3.2.4 Les effets liés aux problèmes d'étanchéité dans le nouveau bâti

Les pathologies afférentes à l'imperméabilité des édifices neufs se traduisent par une multitude de symptômes témoignant de problèmes d'infiltration et de fuite d'eau. Voici quelques-symptômes couramment associés à ces pathologies, illustrant la complexité inhérente à ce phénomène :

- **L'infiltration d'eau,** Se matérialisant par l'apparition de marques d'eau ou de taches d'humidité sur les murs, les plafonds ou les sols, cette problématique indique la

présence de fuites d'eau. Ces incidents peuvent être attribuables à des défaillances au niveau des toitures, des façades, des fenêtres ou des joints.

- **Moisissures et champignons,** L'excès d'humidité provoqué par des soucis d'étanchéité favorise la prolifération de moisissures et de champignons. Ces intrus se manifestent sous forme de taches sombres ou noires sur les surfaces, souvent accompagnées d'une fragrance caractéristique. Ces organismes fongiques peuvent engendrer des problèmes de santé tels que des allergies et des irritations respiratoires.
- **Détachement des revêtements,** Les fuites peuvent occasionner le décollement des revêtements de sol, de mur ou de plafond. Les matériaux de revêtement, tels que les carreaux, la peinture ou le plâtre, peuvent subir des fissures, des déformations ou des écailles en raison de l'humidité et de l'infiltration de l'eau.
- **Odeurs désagréables,** Les soucis d'étanchéité peuvent émaner des odeurs désagréables, souvent générées par la présence de moisissures, de champignons ou de la décomposition résultant de la stagnation de l'humidité. Ces effluves peuvent s'avérer tenaces et ardues à éliminer.
- **Condensation,** Les surfaces froides, comme les fenêtres, peuvent être affectées par la condensation lorsque l'humidité ambiante est élevée et que l'étanchéité à l'air est compromise. Ce phénomène peut se produire au niveau des fenêtres, des portes ou d'autres éléments où l'air chaud entre en contact avec les surfaces froides, entraînant la formation de condensation et de potentielles détériorations à long terme.
- **Augmentation de la consommation d'énergie,** Les problèmes d'étanchéité peuvent engendrer une perte supplémentaire de chaleur, ce qui se traduit par une augmentation de la consommation énergétique nécessaire pour chauffer ou climatiser les espaces intérieurs. Les fuites d'air incontrôlées peuvent entraîner une diminution de l'efficacité énergétique et une augmentation des coûts liés au chauffage et à la climatisation [Kiouas. S; Sayah ben aissa. S, 2022].

II.4 Les principaux désordres dans l'ancien bâti

Les bâtiments anciens érigés à partir de matériaux traditionnels tels que la terre, la pierre et le bois se trouvent fréquemment exposés à des pathologies, des enjeux récurrents qui peuvent impacter significativement leur durabilité et leur préservation.

Le choix d'un matériau dans les constructions anciennes dépend de plusieurs facteurs : la région où l'édifice est construit, l'accessibilité du matériau, son coût, sa destination. Les matériaux sont utilisés soit en fonction de leurs caractéristiques physiques reconnues, soit en fonction de facteurs culturels ou économiques. Ce sont des matériaux locaux disponibles sur site, utilisés directement sans modification, soit par traitement pour les adopter aux besoins de réalisation. [Chouaib. F; Ayach. S, 2019].

II.4.1 La fissuration dans l'ancien bâti

Les fissures sont un phénomène inévitable dans les anciens bâtiments construits avec des matériaux traditionnels. Ces édifices, précieux témoins de notre patrimoine architectural, présentent fréquemment des fissures résultant de divers facteurs inhérents à la nature de ces matériaux et aux nombreuses contraintes auxquelles ils ont été soumis au fil des siècles. Qu'ils soient constitués d'argile, de pierre ou de matériaux similaires, tous ces édifices sont susceptibles de se fissurer pour des raisons variées. Le vieillissement naturel représente l'une des principales causes, entraînant des changements structurels et des déformations qui se traduisent par l'apparition de fissures. Les mouvements du sol, tels que les tassements différentiels ou les glissements de terrain, peuvent également exercer une pression considérable sur ces bâtiments, créant ainsi des zones vulnérables propices à l'apparition de fissures. Par ailleurs, les fluctuations climatiques, caractérisées par des cycles de gel et de dégel, peuvent induire des contractions et des dilatations des matériaux, engendrant des tensions internes et des fissures. Les contraintes mécaniques, telles que les charges structurelles excessives ou les vibrations, peuvent également jouer un rôle dans le processus de fissuration. Enfin, des erreurs de conception ou de construction, telles qu'une mauvaise répartition des charges, une utilisation inappropriée des matériaux ou l'emploi de techniques de construction inadaptées, peuvent affaiblir davantage ces anciens édifices. La compréhension des mécanismes sous-jacents à la fissuration des bâtiments traditionnels revêt une importance capitale pour la préservation de notre patrimoine architectural. Une connaissance approfondie de ces phénomènes permet de développer des stratégies de préservation appropriées visant à maintenir l'intégrité structurelle de ces édifices, tout en préservant leur valeur historique et esthétique.

II.4.2 L'humidité dans l'ancien bâti

Les bâtiments anciens construits avec des matériaux traditionnels sont souvent sujets à la pathologie de l'humidité, un problème récurrent qui peut grandement affecter la durabilité et la préservation de ces structures historiques. L'humidité peut provenir de différentes sources,

comme les infiltrations d'eau, la condensation ou les remontées capillaires. Ces problèmes d'humidité peuvent avoir des effets néfastes sur les matériaux de construction, favorisant notamment la décomposition, la pourriture et la formation de moisissures. Les bâtiments en terre, en pierre et en bois sont particulièrement vulnérables à l'humidité en raison de leur porosité inhérente. Une humidité excessive peut entraîner le gonflement, le gauchissement et la fragilisation de ces matériaux, engendrant ainsi des fissures, un effritement et une perte de solidité de la structure. De plus, l'humidité favorise le développement de micro-organismes tels que les moisissures et les champignons, qui peuvent avoir des effets négatifs sur la santé des occupants et contribuer à la détérioration progressive du bâtiment. Il est donc impératif de maîtriser adéquatement l'humidité dans les bâtiments anciens afin de les préserver à long terme. Cela requiert la mise en place de mesures telles que l'amélioration de l'étanchéité, l'installation de systèmes de drainage appropriés, l'utilisation de matériaux de construction résistants à l'humidité et la mise en œuvre de stratégies de ventilation adéquates. Une compréhension approfondie des mécanismes et des effets de l'humidité sur les bâtiments traditionnels permet de prendre des mesures préventives afin de minimiser les dommages et de préserver ces précieux témoignages de notre patrimoine architectural [Kiouas. S; Sayah ben aissa. S, 2022].

II.4.2.1 Les différentes pathologies de l'humidité dans les anciens bâtis

L'humidité, provenant de diverses sources telles que les infiltrations d'eau, la condensation ou les remontées capillaires, peut induire des effets néfastes sur les matériaux de construction, favorisant notamment leur décomposition, leur pourrissement ainsi que la formation de moisissures. Les bâtiments conçus à partir de ces matériaux, en raison de leur porosité inhérente, se montrent particulièrement vulnérables face aux problématiques d'humidité. En effet, une humidité excessive peut engendrer le gonflement, la déformation et la fragilisation de ces matériaux, ce qui, en retour, provoque l'apparition de fissures, de désagréments et une diminution de la stabilité structurelle. Par ailleurs, l'humidité favorise le développement de micro-organismes tels que les moisissures et les champignons, qui peuvent avoir des conséquences préjudiciables pour la santé des occupants tout en contribuant à la détérioration progressive du bâtiment. Ainsi, une gestion adéquate de l'humidité au sein des bâtiments anciens apparaît comme une nécessité absolue afin de garantir leur préservation à long terme.

II.4.2.2 Les causes des pathologies de l'humidité dans les anciens bâtis

Les causes principales de l'humidité dans les édifices historiques sont souvent liées à des défauts ou à des altérations de l'enveloppe du bâtiment. Par exemple, l'eau peut s'infiltrer à travers les

toitures, les murs ou les fondations en raison de fissures, de joints défectueux ou de matériaux poreux. Ce phénomène peut être exacerbé par des problèmes de drainage ou des dommages résultant de l'usure naturelle des matériaux. De plus, des remontées capillaires peuvent se produire lorsque l'humidité du sol pénètre dans les murs ou les fondations en contact direct avec le sol. Cette problématique est courante dans les bâtiments anciens où les systèmes d'isolation et de protection contre l'humidité sont moins performants. Les problèmes de condensation sont également fréquents en raison des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Lorsque l'air chaud et humide entre en contact avec des surfaces plus froides, l'humidité se condense, créant ainsi des problèmes d'humidité et de moisissure. Une ventilation insuffisante peut également entraîner une accumulation d'humidité dans les bâtiments anciens. Enfin, des facteurs environnementaux tels que de fortes précipitations, l'infiltration d'eau dans le sol ou une exposition excessive à l'humidité ambiante peuvent également contribuer à l'apparition d'humidité dans les bâtiments anciens. Il est primordial de bien comprendre les causes spécifiques de l'humidité dans chaque bâtiment afin de mettre en place les mesures de prévention et de conservation appropriées pour assurer la pérennité du bâtiment à long terme.

II.4.2.3 Les symptômes des pathologies de l'humidité dans l'ancien bâti

Les pathologies liées à l'humidité dans les bâtiments anciens peuvent se manifester par divers symptômes révélateurs de la présence de problèmes d'humidité. Parmi les symptômes les plus fréquents, on peut citer :

- Présence de taches d'humidité, Des taches sombres ou décolorées peuvent apparaître sur les murs, les plafonds ou les sols, témoignant de problèmes d'infiltration d'eau ou de condensation.
- Formation de moisissures, Des taches de moisissures noires, vertes ou blanches peuvent se former sur les surfaces humides. Ces moisissures peuvent dégager une odeur désagréable et sont souvent associées à des problèmes de qualité de l'air intérieur.
- Dégradation des matériaux, L'humidité excessive peut entraîner la détérioration des matériaux de construction. Des fissures, l'effritement du plâtre, le pourrissement du bois, la détérioration de la peinture ou des revêtements de surface peuvent apparaître.
- Formation de sels, Des dépôts blanchâtres ou efflorescences peuvent se former sur les murs en raison de la cristallisation des sels minéraux contenus dans l'humidité ascendante.

- Odeurs désagréables, Une humidité excessive favorise le développement de micro-organismes, tels que les moisissures, pouvant générer des odeurs désagréables dans les bâtiments.
- Sensation de froid et d'humidité, Les problèmes d'humidité peuvent rendre les espaces intérieurs inconfortables, avec une sensation persistante de froid et d'humidité.

Ces symptômes sont autant d'indicateurs potentiels des conditions liées à l'humidité dans les bâtiments anciens. Il est primordial de surveiller attentivement ces symptômes et de prendre des mesures préventives et correctives appropriées afin de préserver la structure, l'esthétique et la santé des occupants de ces précieux édifices historiques [Kiouas. S; Sayah ben aissa. S, 2022].

II.4.3 L'étanchéité dans l'ancien bâti

Depuis toujours, l'homme s'est préoccupé de la protection de ses constructions contre l'action des eaux, non seulement pour éviter la pénétration de l'eau dans ses locaux ou dans ses réserves de nourritures, mais aussi pour protéger la structure contre les détériorations qui pouvaient être provoquées par l'eau.

Les problèmes d'étanchéité peuvent affecter aussi bien les bâtiments neufs que les bâtiments anciens, et leurs conséquences néfastes peuvent être diverses.

Pour ce qui est des bâtiments anciens, les problèmes d'étanchéité peuvent être liés au vieillissement des matériaux de construction. Au fil du temps, les joints, les revêtements ou les dispositifs d'imperméabilisation peuvent se détériorer, permettant ainsi à l'eau de pénétrer. De plus, les techniques et les matériaux utilisés lors de la construction de ces bâtiments anciens peuvent ne pas être conformes aux normes d'étanchéité modernes. Les fondations, les murs ou les toitures peuvent présenter des défauts structurels qui facilitent l'infiltration d'eau. Les remontées capillaires, où l'humidité du sol remonte dans les murs par capillarité, sont également plus fréquentes dans les bâtiments anciens. Ce phénomène peut entraîner des problèmes d'humidité et la détérioration des matériaux de construction.

II.4.3.1 Les causes des pathologies de l'étanchéité dans l'ancien bâti

Les pathologies liées à l'étanchéité des bâtiments anciens peuvent avoir plusieurs causes principales. Certaines causes de ces problèmes sont énumérées ci-dessous :

- des défauts de construction ou l'utilisation d'une mauvaise qualité des matériaux de construction ou des méthodes d'installation inadéquates.

- des fissurations ou des déplacements des matériaux couvrants dus aux conditions climatiques.
- la dégradation des matériaux de construction.
- la stagnation d'eau pluviale (ou de neige)
- le vieillissement naturel.
- un mauvais entretien de la construction.

Une mauvaise étanchéité peut avoir des conséquences tant bien esthétiques que sanitaires sur un logement. Elle peut être source d'humidité et de moisissure, causant la dégradation du toit, ainsi que de l'intérieur d'une habitation. Les signes avant-coureurs sont le cloquage de la peinture, l'apparition de fissures et d'auréoles sur les murs et les plafonds ; des détériorations qui peuvent aller jusqu'à la chute de morceaux de plafonds des logements situés juste en dessous des surfaces mal étanchéifiées [Hindersé. F, 2015].

II.4.3.2 Les symptômes pathologiques liées à l'étanchéité dans l'ancien bâti

Les désordres liés à l'étanchéité dans les bâtiments anciens se manifestent également par des symptômes différents de ceux des bâtiments neufs. Les symptômes les plus courants sont les suivants :

- **Salpêtre** : le salpêtre sur les murs intérieurs ou extérieurs est un symptôme courant des problèmes d'étanchéité dans les bâtiments anciens. Cette substance salée apparaît sous forme de dépôts blancs ou grisâtres et résulte de l'accumulation d'humidité dans les parois.



Fig II.9: le salpêtre.

- **Efflorescence :** L'efflorescence est un autre symptôme visible sur les surfaces des murs ou des sols. Elle se manifeste par des dépôts blanchâtres ou poudreux et est généralement causée par des remontées capillaires d'humidité à travers les matériaux de construction.
- **Fissures :** les problèmes d'étanchéité peuvent également entraîner l'apparition de fissures dans les murs, les sols ou les plafonds. Ces fissures peuvent résulter de la dilatation et de la contraction des matériaux sous l'effet des variations d'humidité, ainsi que des mouvements structurels induits par l'humidité.
- **Détérioration des matériaux :** L'excès d'humidité causé par les problèmes d'étanchéité peut entraîner la détérioration des matériaux de construction dans les bâtiments anciens. Par exemple, le bois peut se décomposer, le plâtre peut s'abîmer et les métaux peuvent se corroder, ce qui affaiblit la structure et compromet la durabilité.
- **Mauvaise qualité de l'air intérieur :** les problèmes d'étanchéité dans les bâtiments anciens peuvent entraîner une mauvaise qualité de l'air intérieur. L'excès d'humidité favorise le développement de moisissures, de bactéries et d'acariens, ce qui peut causer des problèmes de santé tels que des allergies, des irritations respiratoires et des difficultés respiratoires.

La présence de ces symptômes est une indication claire que l'étanchéité du bâtiment ancien est compromise. Il est important de remédier à ces problèmes d'étanchéité afin de préserver l'intégrité structurelle du bâtiment et de garantir un environnement intérieur sain [Kiouas. S; Sayah ben aissa. S, 2022].

Chapitre III :
Techniques de
consolidation et
de réparation

III.1 Introduction

Comme cela a été montré dans le précédent chapitre, les constructions se dégradent sous l'action de nombreux facteurs. Compte tenu du coût des structures de génie civil, il est important de pouvoir les réparer afin d'augmenter leur durée de vie.

Selon l'état de dégradation, la solution de réparation est différente. Il peut s'agir dans une première phase, de corriger des défauts d'esthétique tout en donnant au matériau sa protection naturelle.

A un autre stade de la dégradation, il s'agira de reconstituer le matériau lui-même tout en évitant que le mal ne se reproduise.

Et, si rien n'a été fait, alors qu'il en était encore temps, il deviendra indispensable de renforcer ou de renouveler la structure.

On distingue plusieurs stades de gravité dans l'évolution des dégradations

- Au premier stade de dégradation, la stabilité de l'ouvrage n'est pas en cause, et son entretien ne sera pas très coûteux.
- Au deuxième stade de dégradation, les corrosions s'accélèrent, des réparations deviennent urgentes, mais encore simples à réaliser, certains risques apparaissent.
- Au troisième stade de dégradation, il y a danger pour la vie de l'ouvrage, les réparations et les renforcements représentent un investissement sérieux.

III.2 Les interventions selon les stades de dégradation

III.2.1 Évaluation structurale :

Appréciation de la performance d'un ouvrage vis-à-vis de 3 aspects:

- la sécurité structurale (ou capacité portante) et la fatigue (États-Limites Ultimes - ELU) ;
- l'aptitude au service (États-Limites de Service - ELS) ;
- la durabilité.

III.2.2 Traitement des désordres de façade

Les désordres de façade correspondent à des dégradations techniques du bâtiment telles que des fissures. Si ces désordres peuvent apparaître suite à des conditions climatiques extrêmes (gel, humidité, corrosion), cela peut également être dû à un bâtiment qui n'a pas été fondé correctement à l'origine. Il est important de prendre ces désordres au sérieux sous peine de voir le bâtiment se dégrader davantage. Si on constate des fissures sur la façade, il est essentiel de faire un diagnostic approfondi pour analyser leur cause et proposer des solutions pour limiter leur propagation.

S'il s'agit plus de défauts d'esthétique que de dégâts profonds (fissures fines, efflorescences, trace de rouille). Il faut simplement reconstituer une protection sur la maçonnerie. Cette protection peut être fine ou mince. Elle doit : Être imperméable à l'eau, mais perméable à la vapeur d'eau pour que le mur puisse respirer ; Empêcher le passage du gaz carbonique, responsable de la carbonatation. Comme les molécules de CO₂ sont plus grosses que les molécules de vapeur d'eau, cette exigence peut être remplie par des revêtements adaptés qui se comportent comme des filtres.

On peut citer les techniques les plus fréquentes pour effectuer les traitements des désordres de façade :

III.2.2.1 La décontamination professionnelle

La technique de réparation de décontamination professionnelle est couramment utilisée dans les bâtiments modernes et anciens. C'est un traitement effectué sur les objets et surfaces souillés par des matières organiques dans le but d'inhiber ou de diminuer la population de micro-organismes et de faciliter le nettoyage ultérieur.

Cette technique de réparation revêt une importance cruciale tant dans les bâtiments modernes que dans les bâtiments anciens, car elle permet d'éliminer les substances nocives et de préserver un environnement sain. Bien que son utilisation puisse varier en fonction du type de bâtiment, l'objectif fondamental demeure de maintenir la valeur historique des édifices anciens en éliminant les contaminants de manière sûre et en minimisant les effets néfastes sur les matériaux et les caractéristiques architecturales [Technique de l'Ingénieur, 2011].



Fig III.1 : Un ouvrier au cours de processus de décontamination professionnelle [Dutheil. M. C, 2019].

Les étapes de la technique

La technique de réparation de décontamination professionnelle est une approche complexe et minutieuse qui comprend plusieurs étapes cruciales pour garantir une élimination efficace des contaminants. Voici les étapes couramment suivies dans cette technique :

- Planification de la décontamination : Une fois que les risques ont été évalués, un plan de décontamination doit être établi. Ce plan devrait inclure les procédures de nettoyage et de désinfection à suivre, les équipements de protection individuelle nécessaires, les moyens de confinement de la zone de travail et les moyens d'évacuation des déchets contaminés.
- Préparation de la zone de travail : La zone de travail doit être préparée pour la décontamination en retirant les matériaux non essentiels, en limitant l'accès à la zone et en mettant en place des barrières de confinement.
- Nettoyage et désinfection : Le nettoyage et la désinfection de la zone de travail peuvent inclure l'utilisation de produits chimiques, de l'eau sous pression, de la vapeur, de la filtration de l'air et d'autres techniques. Il est important de suivre les procédures de nettoyage et de désinfection appropriées pour chaque type de contaminant.
- Évaluation de la décontamination : Une fois que le nettoyage et la désinfection sont terminés, la zone doit être évaluée pour s'assurer que les niveaux de contamination sont inférieurs aux limites réglementaires et qu'il est sûr de rouvrir la zone.
- Élimination des déchets : Les déchets contaminés doivent être éliminés conformément aux réglementations en vigueur, en utilisant des procédures de traitement appropriées et en évitant toute contamination supplémentaire [Guide sur la décontamination, 2014].

III.2.2.2 Le surfaçage

La technique de réparation de surfaçage est une méthode largement utilisée dans les bâtiments modernes et anciens afin de restaurer et renforcer les surfaces endommagées. Cette méthode implique l'application d'une couche de matériau de surfaçage sur les éléments de construction tels que les murs, les planchers ou les plafonds afin de réparer les imperfections, les fissures et les dommages causés par l'usure ou les infiltrations.

Dans les bâtiments récents, le surfaçage est fréquemment employé pour obtenir une finition lisse et uniforme des surfaces, améliorant ainsi l'esthétique globale du bâtiment. Il peut également être utilisé pour renforcer les surfaces exposées à des contraintes mécaniques, telles que les zones sujettes aux impacts ou aux charges lourdes. Dans ces cas, le surfaçage contribue à accroître la résistance et la durabilité des surfaces, garantissant ainsi une meilleure performance structurelle à long terme.

Dans les bâtiments anciens, le surfaçage est utilisé pour restaurer les éléments endommagés et préserver leur intégrité. Les bâtiments historiques peuvent présenter des dommages causés par l'usure naturelle, les mouvements structurels ou des facteurs environnementaux. La technique de réparation de surfaçage permet de réparer les surfaces sans compromettre l'aspect historique du bâtiment. Les matériaux de surfaçage utilisés sont souvent choisis pour correspondre aux caractéristiques d'origine, préservant ainsi l'authenticité du bâtiment tout en renforçant sa résistance et en prolongeant sa durée de vie [Gibert. C. S, 2005].

Les étapes de la technique

La technique de réparation de surfaçage comprend plusieurs étapes essentielles pour assurer une application réussie. Voici les principales étapes de cette méthode :

- Préparation de la surface : La première étape consiste à préparer la surface à réparer. Cela implique le nettoyage de la zone concernée en éliminant toute saleté, graisse, peinture écaillée ou autres substances indésirables. La surface doit être lisse, sèche et exempte de toute particule pouvant compromettre l'adhérence du matériau de surfaçage.
- Réparation des dommages : Avant d'appliquer le surfaçage, il est important de réparer les dommages existants tels que les fissures, les éclats ou les défauts de surface. Cela peut nécessiter l'utilisation de produits de réparation spécifiques, tels que des mastics ou des enduits de rebouchage, pour combler les imperfections et assurer une surface uniforme.

- Préparation du matériau de surfacage : Le matériau de surfacage est préparé conformément aux recommandations du fabricant. Cela peut impliquer le mélange de composants, l'ajout d'eau ou d'autres liquides selon les instructions fournies. Il est essentiel de suivre les indications précises pour obtenir la consistance et les propriétés appropriées du matériau.
- Application du surfacage : Une fois le matériau de surfacage prêt, il est appliqué sur la surface préparée à l'aide d'outils appropriés tels qu'une truelle, un rouleau ou un pinceau. Le matériau est étalé de manière uniforme sur la surface, en veillant à couvrir tous les dommages réparés et à obtenir une finition lisse et régulière.
- Finition et séchage : Après l'application du surfacage, il est important de procéder à une finition adéquate pour égaliser la surface et éliminer les éventuelles imperfections. Cela peut impliquer le ponçage léger ou le lissage à l'aide d'outils appropriés. Ensuite, le surfacage doit être laissé sécher complètement selon les recommandations du fabricant, en tenant compte des conditions de température et d'humidité.
- Finition finale : Une fois le surfacage complètement sec, une finition finale peut être réalisée pour obtenir l'aspect souhaité. Cela peut inclure l'application de peinture, de revêtements protecteurs ou d'autres finitions décoratives, en fonction des exigences esthétiques et fonctionnelles du projet [Gibert C. S, 2005].

III.2.3 Réparation non structurale

Les symptômes visibles sont des fissures plus ou moins grandes, des épaufrures, de fortes traces de rouille. Les dégâts sont déjà importants et il est nécessaire de reconstituer les sections atteintes [https://telum.umc.edu.dz/pluginfile.php/81338/mod_resource/content/1/Chapitre_5.pdf].

III.2.3.1 Les aciers

Une fois nettoyés, les aciers doivent être à nouveau protégés. Plusieurs solutions peuvent être proposées:

- Une protection imperméable : on utilise généralement un film époxydique badigeonné ou pulvérisé directement sur les armatures. Le film permet, s'il reste poisseux, un bon accrochage du mortier de réparation ;

- Un primaire : qui joue le rôle d'inhibiteur de corrosion, mais dans certains cas, ce film peut occasionner un mauvais accrochage du mortier ;
- Enfin, le mortier anticorrosion, on peut reconstituer un milieu passivant autour des armatures en badigeonnant sur les aciers une barbotine de ciment additionnée de résines miscibles favorisant l'adhérence sur acier.

III.2.3.2 Le béton

Pour que la réparation soit durable, il faut qu'elle possède :

- Une adhérence parfaite au support : ce qui nécessite un bon nettoyage de la zone à réparer et exige un excellent pouvoir d'accrochage du mortier de réparation ;
- Des résistances mécaniques au moins comparables à celles du support ;
- Une bonne imperméabilité à l'eau afin d'éviter les effets destructeurs du gel et de la pénétration d'agents agressifs ;
- Un module d'élasticité légèrement inférieur à celui de la pièce à réparer pour éviter « l'effet de coin » sous les contraintes appliquées ;
- Un coefficient de dilatation proche ou égal à celui de support (en cas de chocs thermiques ou d'écart importants de température).
- Deux solutions s'offrent alors :
 - Mortiers de ciments additionnés de résine en émulsion
 - Mortiers à base de liants époxydique



Fig III.2 : Réparation et protection du béton [groupe Propamsa, 2023].

III.2.3.3 Traitement de fissures

Il faut distinguer essentiellement les fissures actives ou vivantes et les fissures stabilisées ou mortes.

Les fissures actives doivent être traitées comme un joint de dilatation :

- Créer une en gravure en V ou en U le long de la fissure, de préférence à la scie à béton ;
- Insérer un fond de joint (polyéthylène par exemple) ;
- Appliquer un mastic élastomère qui, grâce à son bas module d'élasticité, accompagnera les variations dimensionnelles de la fissure.

Si la fissure active concerne une paroi soumise à une pression d'eau, on peut l'injecter en profondeur avec une résine qui formera un gel élastique.

Les fissures stabilisées sont traitées par injection profonde avec des résines organique qui va rétablir le monolithisme du béton en permettant la transmission des contraintes mécaniques. Il s'agit d'un recollement des éléments du béton. Les résines époxydes fluides sont les plus utilisées car elles pénètrent même dans des fissures de quelques dixièmes de millimètres. Lorsque les fissures sont plus larges, les coulis de ciment, fluidifiés ou mélangés à des résines, peuvent être injectés car ils ont l'avantage de redonner une protection passivante aux aciers qui traversent la fissure.

Il existe d'autres techniques de traitement des fissures. A savoir :

- **Le calfeutrement** : la fissure est colmatée définitivement et en profondeur afin de la protéger contre toute pénétration d'humidité et d'air, mais sans bloquer les mouvements de la fissure. En plus, ça ne permettra plus l'évolution de la corrosion.

La figure ci-dessous présente la procédure de réalisation de cette technique :



Fig III.3 : Le procédé de colmatage [Guide strres, 2007].

1. rainurage avec un burin mécanique ;
 2. mise en place du fond de joint ;
 3. mise en place des délimitations du calfeutrement ;
 4. réalisation d'un calfeutrement ;
 5. lissage de finition du calfeutrement ;
 6. enlèvement des rubans adhésifs.
- **Le pontage :** il est destiné à recouvrir une fissure au moyen d'un produit souple adhérent à la surface du support (revêtement, feuille préfabriquée...). Afin de rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou empêcher la pénétration de matières solides en laissant libres les mouvements de la fissure. La figure suivante exprime l'application du pontage :

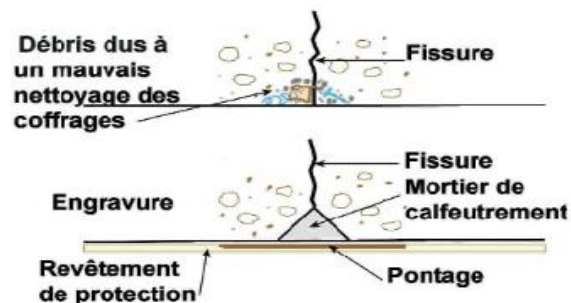


Fig III.4: Purge des débris contenus dans une fissure puis rebouchage et pontage [Guide strres, 2007].

- **Traitement généralisé** : consiste à mettre en œuvre sur la surface de la structure fissurée un revêtement qui ferme les fissures. Il est applicable lorsque la fissuration est anarchique et concerne l'ensemble du support.

III.2.3.4 Le drainage

La plupart des pathologies sur les ouvrages sont liées à l'eau (eaux de pluie, eaux de ruissellement, eaux du cours d'eau) et à sa circulation dans le corps de l'ouvrage. Il est donc essentiel de prévoir dès la conception un bon système de protection : étanchéité, drainage, évacuation et, pendant la vie de l'ouvrage, un entretien minutieux de l'ensemble de ces dispositifs [Recos-strres N°21, 2021].

La technique de réparation par drainage est largement utilisée dans les bâtiments neufs et anciens afin de résoudre les problèmes d'humidité et d'infiltration d'eau. Cette approche se veut préventive, visant à protéger la structure du bâtiment contre les dommages causés par l'accumulation d'eau.

Les étapes de la technique

Il est essentiel de drainer l'eau qui entoure le sous-sol afin de limiter les risques associés aux dégâts d'eau et aux moisissures et d'assurer la durabilité des matériaux.

L'application de la technique de réparation par drainage comprend plusieurs étapes fondamentales. Les étapes suivantes décrivent l'application de cette technique :

1. Excaver une tranchée autour des fondations jusqu'à la base de la semelle. Attention lors de l'excavation, vous serez responsable des dommages causés aux raccordements des différents services publics (gaz, électricité, aqueduc, égout, câblodistribution, etc.).



Fig III.5: Creuser la tranchée pour la pose du drain français [Ecohabitation, 2012].

2. Mettre le drain français dans le fond. Le drain doit être posé le plus près possible de la semelle, à la même hauteur et en pente négative vers son point d'égouttement.

3. Relier le drain à un puisard (collecteur ou fosse qui reçoit l'effluent d'un tuyau d'évacuation) ou à l'égout. Attention à l'étanchéité du puisard.
4. Recouvrir les tuyaux d'environ 6 pouces de granulats ou de gravier concassé, ce qui permettra le drainage adéquat de l'eau.



Fig III.6: Ajout du gravier sur le drain français [Ecohabitation, 2012].

5. Installer une membrane géotextile par-dessus le granulat. Elle empêchera le passage de sédiments.
6. Remblayer la tranchée avec de la terre perméable qui assurera une bonne percolation vers le drain français. Vous pouvez utiliser la terre perméable excavée si elle est bien perméable.

Si un ouvrage possède déjà un drain français, il faudra s'assurer qu'il est fonctionnel, une vérification à l'aide d'une caméra suffira; un nettoyage, une réparation ou un remplacement peuvent s'imposer au besoin français [Ecohabitation, 2012].

III.2.3.5 Le jointoiment

Le jointoiment, une technique de réparation largement utilisée dans les édifices modernes et anciens, joue un rôle essentiel dans la restauration des liaisons entre divers éléments de construction tels que briques, pierres ou carreaux. Son objectif consiste à renforcer l'intégrité structurelle et à prévenir les problèmes d'infiltration d'eau ou de détérioration des matériaux. Toutefois, l'approche du jointoiment peut varier en fonction des caractéristiques distinctes des édifices, qu'ils soient nouveaux ou anciens.

L'utilisation de la technique de jointoiment dans les édifices anciens nécessite une expertise particulière en matière de conservation du patrimoine. Des artisans qualifiés dans la restauration des bâtiments anciens sont capables de reproduire les techniques traditionnelles de jointoiment,

préservant ainsi l'intégrité historique de ces édifices. Lorsque cette démarche est correctement exécutée, la technique de jointoiment ne nuit en rien à la valeur historique des bâtiments anciens, mais contribue plutôt à leur préservation à long terme [NF EN1504-9, 2008].

Les étapes de cette technique

Les différentes étapes de la technique de jointoiment peuvent varier considérablement en fonction des spécificités propres au bâtiment et des matériaux utilisés. Cependant, voici une description générale des étapes couramment suivies, tout en gardant à l'esprit que des ajustements peuvent être nécessaires en fonction des circonstances :

- Préparation minutieuse des surfaces : Avant de débiter le processus de jointoiment, il est essentiel de bien préparer les surfaces. Cette préparation implique notamment le nettoyage méticuleux des joints existants, l'élimination de tous les débris indésirables et l'assurance d'une adhérence optimale. Des outils tels que des brosses métalliques, des grattoirs ou même des nettoyeurs à haute pression peuvent être utilisés pour cette tâche cruciale.
- Préparation du mélange de mortier adapté : Le mortier doit être préparé avec soin en mélangeant les composants appropriés dans les proportions spécifiques recommandées. Le mélange doit être homogène et présenter une consistance adaptée afin de pouvoir être aisément appliqué dans les joints. Le mortier doit avoir une consistance souple et friable, ni trop humide ni trop sèche.
- Application minutieuse du mortier : L'application du mortier se fait en veillant à bien le répartir sur les joints à l'aide d'un bec ou d'un outil adapté. Le bec doit être introduit dans la profondeur du joint, incliné latéralement de 45° par rapport à la direction de jointoiment. Pendant l'injection du matériau, se déplacer à une vitesse permettant de déposer la quantité de joint souhaitée dans l'interstice. Ne jamais travailler le mortier quand il est encore mou. Ne pas se servir de spatules, pinceaux, balais ou éponges mouillés. Éviter absolument de lisser les joints avec des pinceaux ou des éponges mouillées comme le font généralement les tailleurs de pierre de certaines régions. Cette opération a pour effet de déposer sur les pierres un voile fin de chaux qui a l'aspect d'une patine blanchâtre, invisible quand la surface est mouillée mais inesthétique quand elle sèche. Une pression modérée peut être exercée pour garantir une adhérence optimale du mortier.

- Effectuer des essais de consistance au toucher pour évaluer le moment exact pour travailler le joint. Quand on ne perçoit plus la présence d'eau en surface (doigts secs), le moment est venu pour commencer à travailler le joint et l'enfoncer.



Fig III.7 : essais pour évaluer le moment exact pour travailler le joint [Geopietra, 2020].

- Enfoncer la pâte dans le joint en retirant l'excédent avec une baguette en bois et en la travaillant selon le goût et le besoin. La spatule et la truelle peuvent être employées pour travailler le mortier de façon particulière, pour recréer des joints usés par le temps ou pour la finition d'ouvrages écaillés



Fig III.8: Enfoncement de la pâte dans le joint en retirant l'excédent avec une baguette en bois. [Geopietra, 2020].

- Effectuer le nettoyage général avec une brosse de paille ou un balai souple parfaitement sec; respecter les temps de durcissement du mortier en fonction de la technique de finition choisie (ne jamais effectuer le nettoyage juste après avoir travaillé le matériau, attendre toujours un temps de séchage supplémentaire).



Fig III.9: Nettoyage général avec une brosse de paille [Geopietra, 2020].

Attention! La couleur du mortier est sensible aux facteurs suivants: type de mise en œuvre, température, mise en œuvre ayant des degrés de séchage différents, pluie ou gel dans les 48 heures suivantes. Des changements de couleur peuvent se manifester, ainsi que l'apparition d'auréoles et de taches.



Fig III.10: Changements de couleur après durcissement [Geopietra, 2020].

Il est également à noter que la technique de jointoiement peut nécessiter des ajustements en fonction des caractéristiques spécifiques du bâtiment et des matériaux utilisés. Dans certains cas, il peut être nécessaire de réaliser des étapes supplémentaires telles que l'application d'un agent d'imperméabilisation ou de protection, afin d'améliorer la durabilité et la résistance des joints aux intempéries [Geopietra, 2020].

III.2.4 Renforcement ou réparation structurale

A ce stade, il y a lieu de vérifier que la structure peut encore remplir son rôle. Si tel n'est pas le cas, il faut la remplacer ou la renforcer. Les renforcements feront appel à toute une technologie particulière.

La solution retenue pour renforcer un élément doit satisfaire aux impératifs suivants : le monolithisme de l'élément doit être réalisé, afin de permettre un fonctionnement mécanique satisfaisant; les qualités des matériaux d'adjonction doivent être au moins égales à celles des matériaux constitutifs de l'ouvrage à renforcer ou à réparer.

Les procédés varient suivant la nature des éléments d'ossatures qu'ils concernent et suivant la nature des désordres ou des insuffisances. Les plus courants, éventuellement utilisés en combinaison, sont décrits dans les paragraphes suivants.

III.2.4.1 Armatures passives additionnelles

Les techniques de réparation et de renforcement de structures par des armatures passives additionnelles concernent la mise en œuvre :

- d'armatures de béton armé (treillis ou cages d'armatures en acier au carbone ou en inox) ou en matériaux composites au sein de l'ouvrage après enlèvement local du béton par réalisation d'une saignée qui est ensuite rebouchée;
- d'armatures de béton armé en métal ou en matériaux composites en surface du béton autour de la partie d'ouvrage existante et liées à celle-ci puis enrobées par un ajout de béton coulé, projeté ou contre collé; de plaques (bandes, lamelles) ou de tissus en matériaux composites collés à la surface du béton; de tôles et plats collés de faibles épaisseurs (3 à 5mm) découpées en bande de faible largeur (300 à 500mm) et collées sur le béton par une résine époxydique (technique quasiment plus utilisée).

La réparation d'armatures passives intérieures au béton consiste à enlever le béton endommagé ou pollué et à dégager les armatures longitudinales ou transversales corrodées. Après préparation du support (nettoyage, aspiration soufflage, repiquage du béton, élimination des poussières et morceaux de béton et ragréage éventuel) et des armatures (décapage complet des armatures corrodées, par brossage métallique, repiquage, sablage, grenailage ou à l'eau sous pression, le dégagement des armatures doit se faire sur une longueur suffisante pour assurer le recouvrement des barres), les nouvelles armatures sont mises en place en respectant les dispositions constructives habituelles. Le raccordement des armatures est assuré par recouvrement, par soudure ou raboutage. Les caractéristiques du mortier ou du béton de ré-enrobage des armatures remplacées doivent être

compatibles avec celles du béton existant et l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage. Le mortier ou le béton mis en place permet de reconstituer la géométrie initiale de la partie d'ouvrage concernée et enrober les nouvelles armatures. Il est mis en œuvre manuellement ou mécaniquement dans des coffrages ou projetés, selon le volume et la géométrie de la cavité à combler. Après durcissement du mortier ou du béton, la mise en place d'un produit ou d'un système de protection est souvent nécessaire pour améliorer la durabilité de la réparation.

III.2.4.2 Procédé d'injection

La technique d'injection de résine est fréquemment employée dans les constructions neuves et anciennes afin de réparer et de renforcer les structures endommagées. Dans les édifices récents, l'injection de résine est souvent utilisée en prévention des dommages futurs, permettant ainsi de renforcer les éléments structuraux tels que les poutres, les colonnes et les dalles. L'objectif de cette approche est d'améliorer la résistance mécanique et la durabilité de la structure, augmentant ainsi sa stabilité et sa capacité de charge. Généralement cette technique est utilisée pour régénérer des maçonneries, pour combler des vides ou des nids de cailloux à l'intérieur d'un élément en béton, pour sceller des armatures passives, pour réinjecter un conduit de précontrainte mal injecté, pour augmenter la force portante d'un terrain de fondation...etc [Guide strres, 2013].

La figure suivante présente une d'utilisation fréquente de cette méthode.



Fig III.11: Illustration explique l'utilisation d'injection de résine dans les problèmes de tassement différentiel [URETEK, 1982].

Les étapes de la technique

La technique d'injection de résine comprend plusieurs étapes fondamentales. Les étapes suivantes sont généralement suivies lors de l'application de cette méthode :

- a. La préparation du support

La préparation du support comporte trois opérations :

- le relevé contradictoire des défauts du support et des fissures ;
 - la préparation de la surface du support où sont situées les fissures, de façon à débarrasser le support des diverses salissures qui pourraient gêner l'injection ;
 - le nettoyage, si nécessaire, des fissures [**Guide strres, 2013**].
- b. La préparation de l'injection

Lors de cette préparation, les injecteurs et les événements sont mis en place. Dans le cas où totalité de la longueur de la fissure est accessible, il est préférable d'utiliser des injecteurs collés disposés à cheval sur la fissure. Ensuite, la fissure est cachetée extérieurement par un produit pâteux pour faciliter un bon remplissage.



Fig III.12 : Matériel nécessaire au nettoyage des fissures et à leur cachetage [**Guide strres, 2013**].



Fig III.13 : Préparation du matériel et des produits nécessaires à une injection [**Guide strres, 2013**].

c. Réalisation de l'injection

➤ PRÉPARATION DES PRODUITS

Cas des produits prêts à l'emploi

- Les produits, sauf exception, sont mélangés avant leur introduction dans le matériel d'injection en suivant scrupuleusement les indications de la notice technique et de la procédure d'injection des fissures, qui portent, en particulier, sur la température et

l'hygrométrie ainsi que sur la vitesse du malaxeur et également sur le temps de mûrissement éventuellement nécessaire avant l'emploi.

- Les récipients et les outils utilisés doivent être propres et secs.
- Il est rappelé que la vitesse de rotation (quelques centaines de tours par minute) et la forme de l'hélice doivent être adaptées pour permettre un mélange homogène en consistance et couleur des composants qui sont plus ou moins visqueux et pour éviter l'inclusion d'air dans le mélange.
- La vitesse doit être élevée dans le cas des coulis de ciment non adjuvantés.
- La totalité du contenu des pots des différents produits à mélanger (base, durcisseur, voire accélérateur) doit être utilisée. Tout manquement à cette règle risque d'entraîner un défaut de durcissement quasiment irrattrapable [**Guide strres, 2013**].

Cas des produits fabriqués sur le chantier

- Les produits sont fabriqués sur le chantier conformément aux dispositions de la procédure d'injection des fissures.
- Le chantier doit disposer de moyens de pesage étalonnés permettant de satisfaire les mêmes tolérances de fabrication que les produits prêts à l'emploi normalisés du même type [**Guide strres, 2013**].

➤ CONDUITE DE L'INJECTION

- L'injection, sauf disposition contraire du marché, ne peut avoir lieu sans un accord formel du maître d'œuvre (POINT D'ARRÊT). Elle est exécutée conformément aux dispositions de la notice technique et de la procédure d'injection.
- Le personnel et le matériel doivent être adaptés à la durée de l'opération d'injection qui est souvent limitée par les exigences du maître de l'ouvrage fixées au marché.
- Si de nombreuses fissures doivent être injectées et si le marché le prévoit, une épreuve de convenance est à réaliser sur certaines d'entre-elles.
- Le chargement pour ouvrir les fissures et les moyens de stabilisation des gradients thermiques sont mis en œuvre si cela est prévu au marché.
- Pour avoir, si cela est nécessaire, un « temps d'utilisation réel » le plus long possible du produit d'injection, celui-ci peut être conservé à la température minimale recommandée par le fournisseur [**Guide strres, 2013**].

➤ TRAVAUX DE FINITION

Après durcissement du produit d'injection, les cachetages et les injecteurs doivent être enlevés et les trous créés par les forages doivent être rebouchés, sauf disposition contraire du marché.

Ces opérations ne peuvent redonner au béton son aspect initial. Aussi, si le marché le prévoit, les parements peuvent recevoir un traitement de surface décoratif (peinture) pour masquer les défauts d'aspect dus à l'injection ou de protection (revêtement) pour améliorer la résistance des parements vis-à-vis de la pénétration des agents agressifs tout en masquant les défauts d'aspect.

- ✓ Il est important de noter que chaque projet de réparation par injection de résine peut présenter des variations en fonction des caractéristiques propres à la structure et aux dommages à réparer. **[Guide strres, 2013].**

III.2.5 Autre techniques

Dans ce domaine les désordres découlent généralement d'erreurs de conception, mais sont parfois amplifiés par des défauts d'exécution notamment parce que le résultat dépend de l'intervention ou plusieurs corps de métier et que les isolants ne sont pas tous choisis et mis en œuvre par la même entreprise: isolation sous plancher, doublages des murs, panneaux isolants en terrasse ou sous toiture. De même, la propagation des bruits dépend de nombreux facteurs (constitution des parois séparatives, Jonctions entre gros œuvre et façades légères, position et caractéristiques des équipements tels qu'ascenseurs, chaufferie, extracteur de ventilation....) sans que la responsabilité du résultat final puisse incomber à un intervenant particulier.

Les techniques de réparation suivantes visent à améliorer le confort de l'ouvrage. Ces techniques peuvent nécessiter une planification minutieuse pour s'assurer qu'elles sont efficaces, sûres, et conformes aux normes en vigueur.

Les étapes pour chaque technique de réparation peuvent varier en fonction de la nature et de l'ampleur des travaux, ainsi que des spécifications du projet.

III.2.5.1 Isolation thermique et acoustique

L'isolation thermique peut être ajoutée pour réduire les pertes de chaleur et améliorer l'efficacité énergétique de l'ouvrage. Cela peut être fait en utilisant des matériaux isolants tels que la laine de roche, la laine de verre ou la ouate de cellulose pour l'isolation thermique et le polystyrène expansé ou les panneaux de gypse insonorisés pour l'isolation acoustique.

- Évaluation de la structure pour déterminer les zones à insonoriser et les matériaux d'isolation acoustique appropriés
- Préparation de la surface pour l'installation de l'isolant, y compris le nettoyage et la suppression de tout matériau endommagé ou inutile
- Installation de l'isolant acoustique, y compris la découpe et le dimensionnement de l'isolant pour s'adapter aux zones à insonoriser
- Étanchéité de tous les joints et les fuites pour assurer l'efficacité de l'isolation acoustique
- Installation de matériaux de finition tels que des panneaux de gypse insonorisés pour protéger l'isolant et fournir une surface de finition lisse

III.2.5.2 Chauffage

Le chauffage peut être ajouté pour améliorer le confort thermique à l'intérieur de l'ouvrage. Cela peut être fait en installant des systèmes de chauffage central, des radiateurs électriques ou des poêles à bois.

- Évaluation de la structure pour déterminer les besoins en chauffage et les emplacements pour les systèmes de chauffage
- Installation des conduits de chauffage, des radiateurs électriques ou des poêles à bois, selon les besoins
- Raccordement du système de chauffage à l'alimentation électrique et au réseau de chauffage central pour assurer un fonctionnement efficace
- Test et réglage du système de chauffage pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et offre un confort thermique optimal

III.2.5.3 Ventilation

La ventilation peut être ajoutée pour améliorer la qualité de l'air à l'intérieur de l'ouvrage. Cela peut être fait en installant des systèmes de ventilation mécanique contrôlée, des échangeurs d'air ou des ventilateurs d'extraction.

- Évaluation de la structure pour déterminer les besoins en ventilation et les emplacements pour les systèmes de ventilation
- Installation de l'échangeur d'air ou du ventilateur d'extraction, selon les besoins

- Raccordement du système de ventilation à l'alimentation électrique et au réseau de ventilation pour assurer un fonctionnement efficace

Test et réglage du système de ventilation pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et offre une qualité de l'air optimale [Le moniteur, 2007].

III.3 Conclusion

La durabilité d'un ouvrage en béton armé est liée à une qualité de construction sans défauts. C'est une chaîne qui part du concepteur qui doit connaître les limites du matériau, passe par le calculateur qui doit connaître les règles de dimensionnement et s'intéresser à l'élaboration de plans allant au détail de toutes les opérations de fabrication et de réalisation. Elle touche ensuite tous les corps de métiers: coffreur, ferrailleur, bétonnier, personnel de chantier qui doivent chacun en prendre soin jusqu'à la réception par l'exploiteur qui doit l'entretenir par des opérations de maintenance. Si l'un des maillons de la chaîne est défaillant, la chaîne est alors défaillante. Ainsi, l'imperfection de plusieurs maillons a ici un effet cumulatif, et la même chose pour les anciennes constructions.

Ces techniques de réparation sont des procédés importants pour corriger les défauts et les dommages dans les objets, les systèmes, les structures et les infrastructures. Dans le domaine du génie civil, les techniques de réparation sont essentielles pour maintenir la sécurité et la durabilité des structures. Il est important de noter que certaines techniques de réparation peuvent être dangereuses et nécessitent des compétences et des connaissances spécialisées pour être effectuées en toute sécurité [Ghomari. F, 2007].

Chapitre IV :
Rapport de diagnostic
et analyse comparatif
des pathologies

IV.1 Introduction

Pour intervenir efficacement sur un ouvrage dégradé, la première étape à franchir consiste à déterminer les causes des dommages existants. Cette étape peut aussi être la plus importante du processus de réfection ou d'entretien. Une identification incorrecte de la source du problème se traduit alors par des interventions coûteuses, infructueuses et surtout récurrentes, ce qui n'est certainement pas intéressant du point de vue de la durabilité des travaux et des budgets, parfois limités, des gestionnaires. Il est donc important en premier lieu de mettre en place une méthodologie de diagnostic afin de préciser convenablement dans un délai adéquat l'origine de ces endommagements et les opérations nécessaires d'entretien ou de remise en état. Ceci permettra d'aboutir à un diagnostic général de cet ouvrage qui va nous tenir à jour d'une connaissance suffisante de l'état de dégradation et par conséquent de faciliter le choix postérieur des actions et des matériaux requis lors de l'intervention sur la structure [Abbeche. K, 2017; Ouiza. K, 2017].

Tout au long de son existence, un bâtiment est soumis à différents facteurs qui pourraient **remettre en cause son intégrité** : défauts de conception, mouvements du sol, météo... Outre l'aspect purement esthétique, les désordres de façades peuvent avoir des conséquences bien plus néfastes sur le long terme (effondrement...). Donc l'important dans un diagnostic est de bien veiller à l'intégrité du bâtiment !

Dans ce chapitre, l'objectif général de notre projet est de faire un diagnostic pathologique de deux modèles de constructions préexistantes (ancienne et nouvelle) et de faire enfin une analyse comparative entre les deux diagnostics surtout pour le traitement d'une même pathologie.

IV.2 Etude du cas de la mosquée El Safah (ancien bâti)

IV.2.1 Présentation des données du bâti

Le site géographique d'El Safah se trouve à l'Ouest de la ville ancienne de Laghouat. Il abrite une mosquée qui est située sur l'un des sommets de la montagne de Tizgraren, à l'extrémité de la rue 1er Novembre. La mosquée est visible de partout à l'intérieur de la ville ancienne, et elle est officiellement nommée "la grande mosquée", car elle était la plus grande de la ville à l'époque. Elle est également connue sous le nom de "mosquée du minaret" parce que c'était la première mosquée à avoir un minaret qui s'élève à une hauteur de plus de 30 mètres. Le nom "El safah"

provient de la grande roche sur laquelle elle est construite. La mosquée El Safah est assez grande et peut accueillir un grand nombre de fidèles. Elle a été construite au mois de Safar **1293 AH** / mars **1876 AD**. C'est une mosquée qui a été construite avec de nombreux matériaux locaux disponibles dans la région où fabriqués localement :

- La pierre bien entretenue a été utilisée dans les fondations de la mosquée et des escaliers
- Les briques cuites sur le feu étaient utilisées dans les cylindres de la mosquée, dans les arches et dans les dalles de sol pour le hall, qui est de forme hexagonale.
- Tuiles et cloches utilisées dans la bande décorative (frise)
- Le gypse a été utilisé dans les garde-corps de protection des escaliers
- Zellige en divers revêtements décoratifs sur le mur
- Les poutres en fer pour supporter les dômes
- Chaux et sable pour enduit et revêtement mural.
- Chaux pour revêtement mural.

La figure ci-dessous montre la localisation de la mosquée :

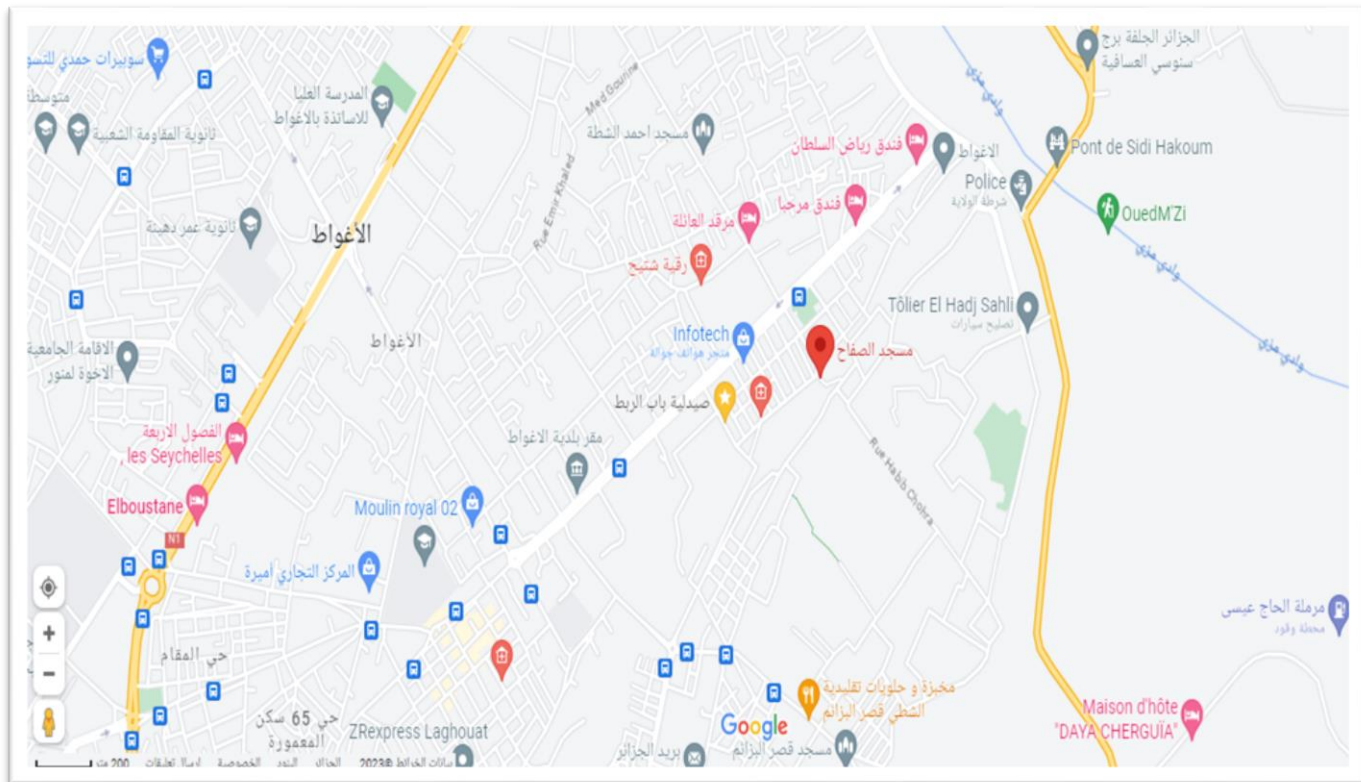


Fig IV.1 : Localisation de la mosquée El Safah (Laghouat) [Google maps, 2023].

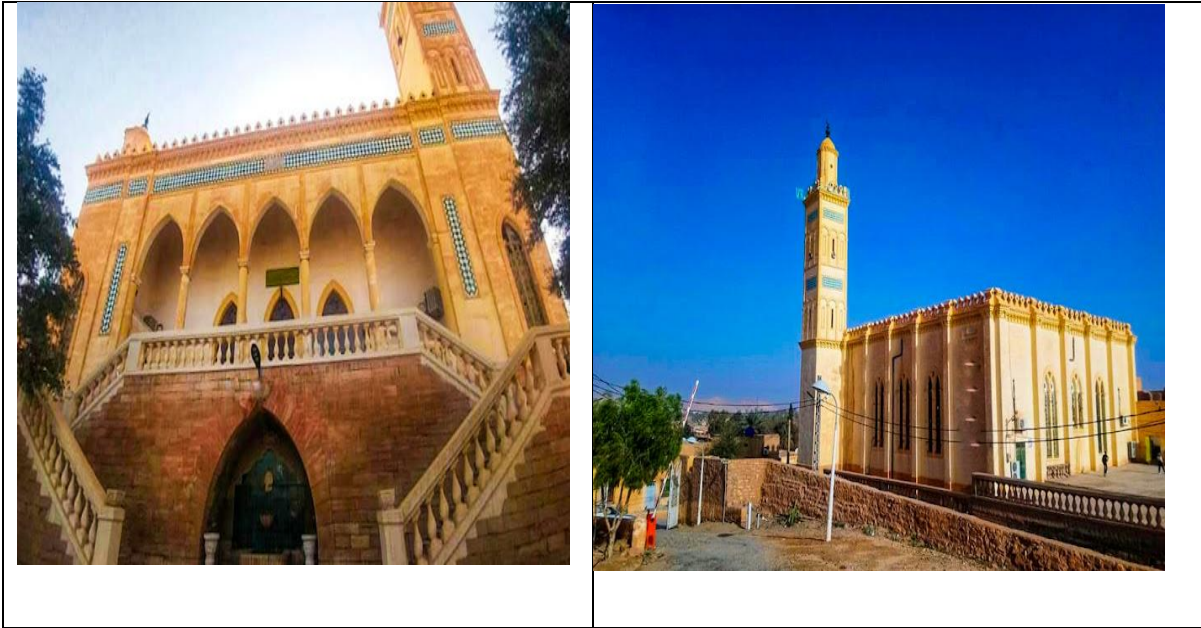


Fig IV.2 : Vue des façades avant et arrière) de la mosquée



Fig IV.3 : Vue en face

IV.2.2 Constat des désordres

Les pathologies relevées ont été inspectées et photographiés lors des visites préliminaires.

Les photos ci-dessous montrent les différents désordres constatés.



Eclatement de revêtement



Faïencage



L'Humidité



Fissures



Dégradation des enduits et revêtements



Endommagement des pierres

Fig IV.4 : Désordres constatés

IV.2.3 Analyse des désordres

IV.2.3.1 Les fissures

Durant l'inspection minutieuse de la structure, nous avons pu observer l'émergence de fissures semi-profondes et profondes sur les murs en pierre, s'étendant de leur sommet jusqu'à leur base (**Fig IV.5**). Ces fissures témoignent d'une détérioration du matériau et soulèvent des inquiétudes quant à l'intégrité structurelle des murs.



Fig IV.5 : Fissures semi-profondes et profondes.

IV.2.3.2 Taches d'humidité dans les murs

Des indices de traces d'humidité ont été constatés au niveau du socle des murs, accompagnés d'un éclatement visible du revêtement. Ces signes révèlent la présence de problèmes d'étanchéité, entraînant l'infiltration d'eau à l'intérieur de la structure. Il est impératif de localiser avec

précision les points d'entrée d'eau et d'y remédier afin de prévenir tout dommage supplémentaire et préserver l'intégrité de l'ouvrage. La figure ci-dessous montre ce désordre :



Fig IV.6: Traces d'humidité au pied des murs avec éclatement du revêtement.

Des taches d'humidité ont été observées aussi dans la partie supérieure des murs, suggérant une possibilité d'infiltration d'eau provenant du toit ou d'autres sources situées au-dessus de la structure. Une inspection détaillée du système de toiture et des éléments adjacents est recommandée afin de déterminer les causes de ces taches d'humidité et d'entreprendre les mesures nécessaires pour les résoudre. La **Figure IV.7** présente ce problème :



Fig IV.7 : Taches d'humidité dans la partie supérieure des murs

IV.2.3.3 Faïençage et décollement d'enduit dans les poteaux intérieurs

Des fissures de faïençage ainsi que des décollements d'enduit ont été constatés au niveau des poteaux intérieurs (**Fig IV.8**). Ces anomalies peuvent être attribuées à des contraintes environnementales, aux mouvements du sol ou à d'autres facteurs pertinents. Il est fortement conseillé d'examiner attentivement l'étendue de ces fissures et décollements afin d'évaluer leur impact sur la stabilité structurelle et d'envisager des travaux de réparation appropriés.



Fig IV.8 : Des fissures de faïençage ainsi que des décollements d'enduit

IV.2.3.4 Décollement de revêtement causé par l'humidité dans la base des poteaux intérieurs

La figure ci-dessous montre des décollements de revêtement qu'ont été observés dans la base des poteaux intérieurs, ce phénomène pouvant être attribué à des problèmes d'humidité. Il est essentiel de remédier aux problèmes d'étanchéité et d'humidité au niveau de la base des poteaux afin de prévenir toute détérioration structurelle supplémentaire et de maintenir l'intégrité de ces derniers. **Fig IV.9**



Fig IV.9 : Décollement de revêtement

IV.2.3.5 Taches d'humidité à la base des murs extérieurs

Des taches d'humidité ont été constatées à la base des murs extérieurs (**Figure IV.10**), probablement causées par le remblai jeté le long de ces murs. Ce remblai peut entraîner une accumulation d'eau et des problèmes d'humidité, pouvant ainsi causer des dommages aux fondations et aux murs. Il est recommandé de revoir la gestion des eaux pluviales et de mettre en place des mesures appropriées visant à assurer un drainage adéquat éloigné des murs.



Fig IV.10 : Taches d'humidité à la base des murs extérieurs.

IV.2.3.6 dégradations des pierres du mur extérieur

Lors de l'inspection minutieuse, des dommages significatifs ont été relevés sur les pierres de mur extérieur, attribuables aux conditions climatiques rigoureuses, ainsi qu'à l'humidité. Les variations de température, les cycles de gel et dégel ainsi que l'exposition aux intempéries ont entraîné l'éclatement et la déformation des pierres, mettant ainsi en péril la stabilité globale de la structure. L'humidité excessive a également contribué à la détérioration du matériau. **La Figure IV.11** présente ce désordre :



Fig IV.11: Dommages aux pierres de mur extérieur.

IV.2.3.7 Fissures au sommet des arcs des fenêtres

Une problématique supplémentaire, observée lors de l'inspection minutieuse, concerne l'apparition de fissures au sommet des arcs des fenêtres comme indiqué dans la **Fig IV.12**. Ces fissures peuvent résulter de contraintes structurelles complexes, de mouvements géologiques souterrains ou encore d'une répartition défailante des charges appliquées. Elles représentent un enjeu crucial pour l'intégrité de la structure architecturale, augmentant de manière significative les risques potentiels de défaillance et de chute des éléments architecturaux.



Fig IV.12 : Fissures au sommet des arcs des fenêtres.

IV.2.4 Les remèdes et techniques de réparations

IV.2.4.1 Réparation par la méthode des agrafes

Dans le cadre des travaux de réparation, une technique innovante a été utilisée pour traiter les fissures importantes identifiées. Cette méthode est connue sous le nom de "méthode des agrafes", une solution ingénieuse visant à stabiliser les éléments structurels et à prévenir toute propagation ultérieure des fissures. L'idée est d'insérer des agrafes en acier au cœur des fissures.

L'intervention a été minutieuse chaque agrafe a été positionnée avec soin et fixée à l'aide de résines adhésives spéciales, garantissant une adhérence optimale. Cela permet non seulement de renforcer la structure, mais aussi de restaurer sa stabilité. Les agrafes agissent comme des gardiens vigilants, empêchant les fissures de s'étendre et d'engendrer des problèmes supplémentaires.

Remarque : L'installation de tirants est la meilleure solution pour remédier aux fissures des arcs, mais malheureusement le budget ne permet pas de réaliser cette opération.

La **Fig IV.13** présente la réparation des fissures de la mosquée par la méthode des agrafes :



Fig IV.13: La méthode des agrafes

IV.2.4.2 Le drainage

En vue de remédier à la problématique d'humidité, une solution de drainage a été mise en œuvre. Cette approche consiste à instaurer un système de drainage efficace afin d'éloigner l'excès d'eau des parois et de la base de la structure. Des caniveaux, des conduites de drainage et des surfaces perméables ont été aménagés en vue de recueillir et d'orienter l'eau loin de la zone sensible. Cette solution de drainage permet de réduire l'accumulation d'humidité, prévenant ainsi les infiltrations et les problèmes afférents tels que les marques d'humidité, l'écaillage des revêtements et les décollements. Il est vivement recommandé de procéder à une maintenance régulière de ce système de drainage dans le but de garantir son bon fonctionnement et de préserver un environnement sec et salubre pour la structure. La figure ci-dessous montre l'application de la technique de réparation par drainage.



Fig IV.14: la technique de réparation par drainage.

IV.2.4.3 Le sablage

La méthode de décapage par sablage a été employée afin de supprimer les taches d'humidité présentes sur le mur extérieur en pierre, sans compromettre sa valeur patrimoniale. Cette technique a permis d'éliminer de manière efficace les dépôts et les traces laissés par l'humidité, tout en préservant l'intégrité et l'aspect original de la pierre. Des précautions ont été prises pour ajuster la pression du sablage, dans le but d'éviter d'endommager la surface délicate. Cette approche a réussi à restaurer l'esthétique du mur et à éliminer les signes visibles d'humidité, tout en préservant avec considération l'importance historique de la structure.

IV.2.4.4 Le surfaçage

Un enduit à base de chaux a été appliqué pour améliorer l'état des surfaces concernées. Cette technique implique l'utilisation d'un mélange de chaux et d'autres matériaux compatibles pour recouvrir la surface, offrant à la fois des propriétés protectrices et une esthétique plaisante. L'enduit à base de chaux présente plusieurs avantages, tels qu'une perméabilité à la vapeur d'eau, permettant ainsi à la structure de respirer, ainsi qu'une compatibilité avec les matériaux existants, tels que la pierre ou le mortier. Ce traitement contribue à renforcer la résistance aux intempéries et à prévenir d'éventuels dommages, tout en préservant l'apparence authentique de la structure historique.

IV.2.4.5 Remplacement des pierres

Le remplacement des pierres endommagées (**Fig IV.15**) a été entrepris dans le cadre des travaux de réparation. Les pierres présentant des fissures, des éclatements ou des déformations ont été repérées et remplacées par de nouvelles pierres d'une qualité comparable. Cette approche vise à rétablir l'intégrité structurelle de la maçonnerie et à prévenir de futures détériorations. Une attention particulière a été accordée afin d'assurer une compatibilité esthétique optimale entre les pierres d'origine et les nouvelles pierres, préservant ainsi la cohérence visuelle et l'authenticité de la structure.



Fig IV.15: Remplacement des pierres endommagées.

IV.3 Étude du cas de l'usine Ecotex (nouveau bâti)

IV.3.1 Présentation des données du bâti

L'ouvrage faisant objet de cette étude, est l'ex usine de production ECOTEX construite initialement en 1964. Et sa fonctionnalité a été changée d'une usine à un centre de formation sous la gestion du ministère de la justice. L'unité était prévue dans la limite de la périphérie de la ville de Laghouat cité El-Gouatine (Rue Mohamed Bensalem) dans une zone d'activité regroupant les sièges de quelques entreprises publiques économiques (EPE) ; suite au développement de la construction et l'extension du tissu urbain cette usine s'est retrouvée en plein centre urbain (voir Fig IV.16 ci-dessous).

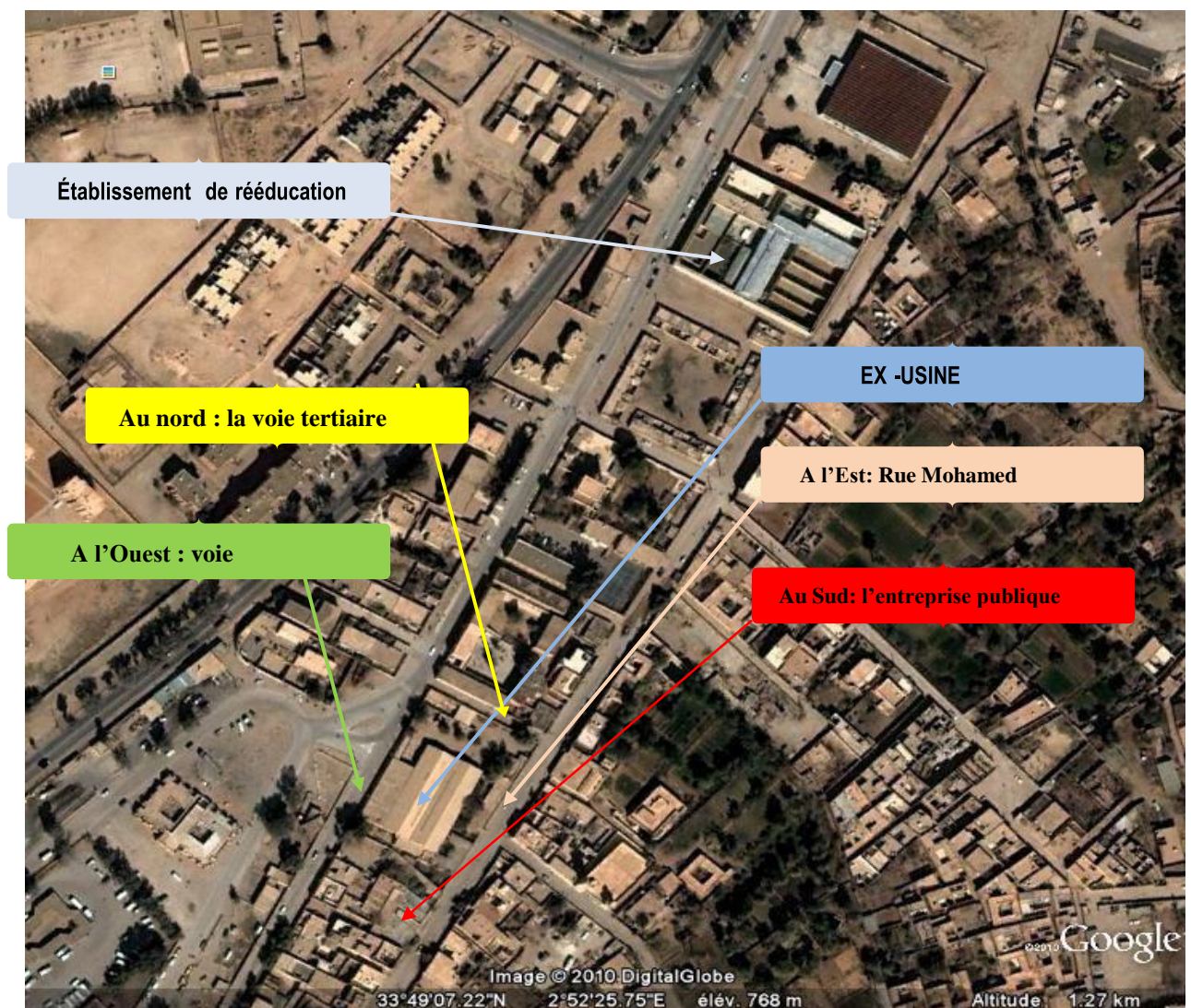


Fig IV. 16 : Localisation de L'usine ECOTEX

L'usine est un bâtiment à ossature mixte (acier-béton) ; Les supports de la toiture sont réalisés à l'aide des fermes à double versants de 15 m, chacun en profilés de type cornière 60mm et des pannes de type IPN 100, les contreventements horizontal et vertical est assurés par des profilés de type cornières de 40mm ; tandis que le la couverture est assurée par des plaques ondulées en amiante ciment **Eternite** (scellées aux fermes à l'aide d'épingles fixées sur les pannes), cette couverture est bordée en rive de la façade par un chéneau encaissé en tôle d'acier galvanisé de section rectangulaire.

IV.3.2 Analyse des désordres constatés

IV.3.2.1 Les fissures

La pathologie observée se manifeste par l'apparition de fissures en haut des façades comme indiqué dans les figures ci-dessous, lesquelles se propagent depuis la sous toiture non chaînée jusqu'aux angles des baies. On constate également des effondrements partiels de certaines cloisons situées au-dessus des ouvertures à l'intérieur du bâtiment. Les fissures en haut des façades résultent généralement de contraintes structurelles telles que des mouvements différentiels, des variations de température ou des défauts de conception. Il convient de noter que l'absence de chaînage approprié de la sous toiture a pu accentuer ces contraintes et favoriser la formation des fissures. De plus, les effondrements partiels des cloisons au-dessus des ouvertures peuvent être imputés à une répartition inadéquate des charges ou à des affaissements structurels.



Fig IV.17 : Fissures en haut des façades.

IV.3.2.2 Traces d'Humidité

La présence de traces foncées d'humidité ainsi que de fuites d'eau sous les plafonds et sur les murs en certains endroits est le résultat d'un problème d'étanchéité. Cette pathologie se manifeste par des infiltrations d'eau qui pénètrent à travers les surfaces et provoquent des dommages visibles. Le défaut d'étanchéité permet à l'eau de s'infiltrer, créant ainsi des traces foncées d'humidité et générant des fuites qui peuvent endommager les plafonds et les murs. Les figures suivantes présentent ces endommagements :



Fig IV.18 : Traces d'Humidité.

Des traces d'humidité sont apparues sur le haut du mur et à l'angle du plafond ce problème est causé par un défaut d'étanchéité :



Fig IV.18 :Traces d'Humidité.

IV.3.2.3 La détérioration des enduits

La détérioration des enduits qu'on peut observer à certains endroits des murs, c'est le résultat d'une perte de résistance et du vieillissement du liant de liaison. Ça arrive surtout à cause de l'eau de pluie qui s'infiltré. Au fil du temps, l'eau de pluie passe à travers les surfaces et atteint le liant qui tient l'enduit en place. Les variations répétées d'humidité et de sécheresse, avec les effets des intempéries, affaiblissent graduellement ce liant, ce qui le fait se dégrader et l'enduit se détériorer. On peut voir des fissures, des morceaux qui s'écaillent et un aspect général de la surface qui se dégrade (**Fig IV.19**).



Fig IV.19 : Détérioration des enduits.

IV.3.2.4 Problèmes d'humidité et moisissures préoccupants

La pathologie des remontées capillaires se manifeste par la présence d'humidité au bas des murs et dans les revêtements de sol. Ce phénomène, résultant de la capillarité, permet à l'eau contenue dans le sol de s'infiltrer à travers les matériaux poreux et de remonter. Les parois ainsi que les revêtements de sol se trouvent alors affectés par cette infiltration d'eau, entraînant ainsi des problèmes d'humidité et de moisissures préoccupants. Parallèlement, il convient de noter que la corrosion exerce un impact significatif sur les canalisations sanitaires en cuivre. Le cuivre peut se corroder au fil du temps, en particulier s'il est exposé à des conditions environnementales

défavorables. La corrosion du cuivre est un processus naturel qui se produit lorsque le métal réagit avec l'air et l'humidité, formant une couche de carbonate de cuivre ou de vert-de-gris sur sa surface La figure suivante présente ce désordre :



Fig IV.20 : Problèmes d'humidité et moisissures préoccupants.

Altérations graves et profondes dans le béton des poteaux, ajouter à cela des traces d'humidité sont apparues sur le haut du mur et à l'angle du plafond, La figure ci-dessous illustre clairement ce problème :



Fig IV.21 : Altérations graves au niveau des poteaux, et traces d'humidité sur le haut du mur et à l'angle du plafond.

IV.3.2.5 Fissures importantes de différentes natures sur les murs

La pathologie observée se caractérise par l'apparition de fissures importantes de différentes natures sur les murs, se présentant tantôt sous forme inclinée, tantôt sous forme droite (**Fig IV.22**).



Fig IV.22 : Fissures de différentes natures sur les murs.

Ces fissures se manifestent aussi bien sur les murs extérieurs que sur les cloisons intérieures. La cause directe de ces fissures réside dans un affaissement partiel des fondations. Toutefois, le principal problème auquel ce bâtiment est confronté réside dans l'infiltration des eaux usées à travers les regards, atteignant ainsi le sol de fondation depuis un certain nombre d'années. Pour une meilleure compréhension, un schéma explicatif de cette problématique peut être consulté (**Fig IV.22**). Le système de drainage, considéré comme défectueux, est à l'origine des dommages observés sur l'ensemble de la structure. En effet, une conception inappropriée des réseaux d'évacuation des eaux usées a conduit à un cheminement de ces dernières juste au-dessus des éléments de fondation. Cette disposition peu judicieuse a engendré des infiltrations prolongées et a fragilisé les fondations, provoquant ainsi les fissures visibles sur les murs et les cloisons.

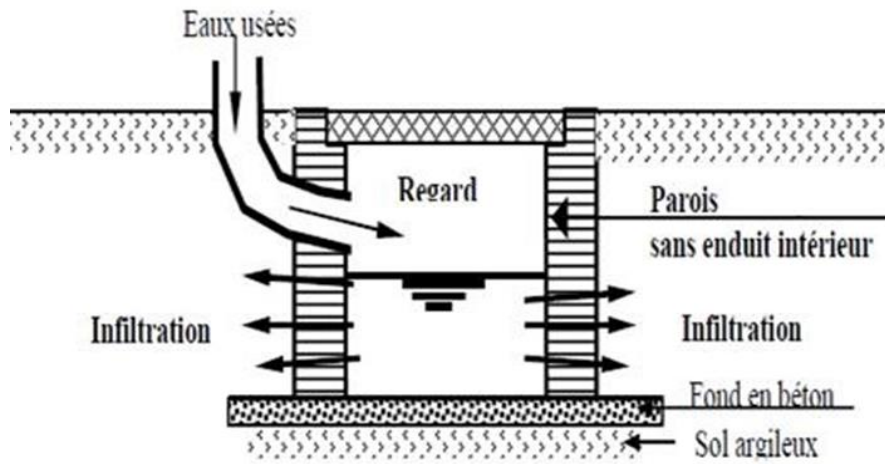


Fig IV.23 : Schéma explicatif du problème de l'infiltration des eaux usées.

IV.3.3 Les remèdes et techniques de réparation

IV.3.3.1 Le drainage

Afin de remédier aux problèmes d'humidité et de dommages structurels, un système de drainage a été mis en place et les canalisations des eaux usées ont été déplacées loin de la sous-structure. Les travaux ont été réalisés en suivant une méthodologie rigoureuse, comprenant une évaluation préliminaire, la conception du système de drainage, l'installation de caniveaux et de tuyaux de drainage, ainsi que le repositionnement des canalisations des eaux usées. Des mesures préventives ont été prises pour assurer une connexion étanche et une pente appropriée. Des tests de contrôle de qualité ont été effectués et un suivi régulier sera assuré. Grâce à cette intervention, la durabilité et l'intégrité de la structure concernée sont garanties.

Dans le cadre des travaux pour mettre en place le système de drainage, on doit mentionner l'utilisation des membranes géotextiles sous le sol. Ces membranes sont placées stratégiquement pour renforcer l'efficacité du système de drainage en empêchant que l'humidité remonte par capillarité. Les membranes géotextiles agissent comme une sorte de bouclier, permettant à l'eau de s'écouler facilement tout en évitant les infiltrations indésirables. Grâce à cette approche, on gère mieux l'humidité et on évite les problèmes liés à l'accumulation d'eau. En utilisant ces membranes géotextiles lors de l'installation, on améliore la durabilité et la performance du système de drainage, et on assure ainsi une protection à long terme de la structure.

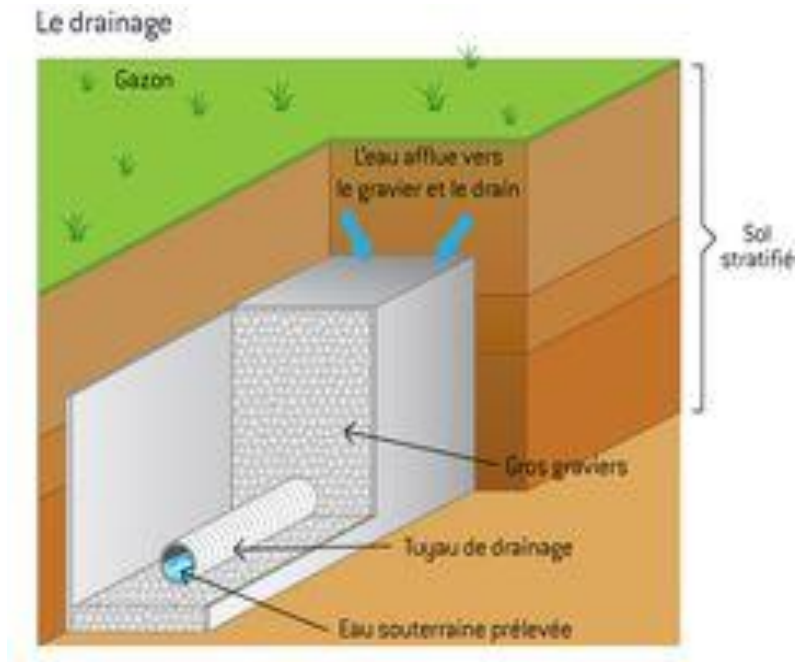


Fig IV.24 : système de drainage

IV.3.3.2 L'injection de résine

L'utilisation de cette technique est largement répandue dans le domaine de l'ingénierie civile. Elle consiste en l'introduction minutieuse d'une résine spécialement formulée au sein des fissures afin d'assurer leur scellement et de renforcer la structure environnante. La résine s'infiltré dans les interstices, comblant ainsi les vides existants, avant de durcir de manière conséquente, établissant ainsi une connexion structurelle robuste qui prévient toute propagation ultérieure des fissures. Ce procédé témoigne d'une ingéniosité remarquable.

L'injection de résine se présente donc comme une solution pratique et efficace pour remédier aux fissures. Par le biais de cette méthode, il est possible d'obtenir une réparation solide et pérenne, ce qui permet de prévenir efficacement les problèmes d'infiltration d'eau et d'autres dommages potentiels. Par ailleurs, cette approche présente l'avantage non négligeable de simplicité de mise en œuvre, de rapidité d'exécution et d'un coût relativement abordable.



Fig IV.25 : Technique d'injection

IV.3.3.3 Installation de membrane d'isolation

Pour remédier à l'infiltration d'eau du plancher, il est recommandé de procéder à la réparation des fissures et des joints en utilisant la technique d'injection de résine. Cette méthode consiste à injecter une résine spéciale dans les fissures et les joints, formant ainsi une barrière étanche qui prévient l'infiltration d'eau. Cette solution permet d'étancher de manière efficace les points vulnérables du plancher. De plus, l'utilisation de membranes isolantes au sommet du plancher peut renforcer l'étanchéité en créant une protection supplémentaire contre les infiltrations d'eau. Les membranes, telles que les membranes en polyéthylène ou en caoutchouc, sont installées sur le plancher afin de constituer une barrière imperméable. Cette combinaison de réparation des fissures par injection de résine et d'utilisation de membranes isolantes constitue une approche

efficace pour résoudre les problèmes d'infiltration d'eau et garantir l'étanchéité du plancher.



Fig IV.26 : Installation de membrane d'isolation

IV.3.3.4 Renforcement des fondations (armatures supérieures)

Les fondations seront réalisées sous forme de semelle continue, et dans le but de minimiser les problèmes liés aux tassements différentiels ou aux charges inégales sur la fondation, elles seront renforcées par des armatures supérieures. Cette disposition stratégique permettra d'assurer une répartition uniforme des charges sur l'ensemble de la fondation, réduisant ainsi les risques de désordres structurels. Les armatures supérieures jouent un rôle essentiel en augmentant la résistance et la stabilité de la semelle, ce qui revêt une importance primordiale pour garantir la durabilité et la solidité de l'ensemble de la construction. La conception des fondations avec des armatures supérieures est une mesure préventive visant à minimiser les effets néfastes des tassements différentiels et des charges inégales, assurant ainsi la pérennité de la structure dans le temps.



Fig IV.27 : Renforcement des fondations par des armatures supérieures.

IV.4 Analyse comparative

Les désordres dont on a constatés et collectés sont dues essentiellement à l'absence d'entretien, la vétusté, la négligence, le dysfonctionnement, et l'intervention mal étudiée et irresponsable chose conduisant à la fatigue des différents systèmes liés à l'étanchéité à l'eau soit au niveau de la structure du béton armé soit au niveau des différents matériaux de corps d'états liés aux gros œuvres.

Pour comparer les diagnostics des deux cas d'étude, nous allons regrouper dans un tableau les différences de caractéristiques, de pathologies et de méthodes d'intervention comme illustré ci-après :

Tableau IV.1 : les différentes caractéristiques, pathologies et méthodes d'intervention des deux cas d'étude.

		La mosquée El safah	L'ex usine Ecotex
Caractéristiques		<ul style="list-style-type: none"> • Construit en pierre • Portique à poteaux et arcades • A une valeur patrimoine 	<ul style="list-style-type: none"> • Ossature mixte (acier-béton) • Portiques auto stable • Des planchers en corps creux
pathologies	L'action mécanique	Fissuration : <ul style="list-style-type: none"> • Des fissures profondes et semi profondes • Des fissures au sommet des arcs 	Fissuration : <ul style="list-style-type: none"> • Des fissures inclinées • Des fissures droites
		L'intervention : <ul style="list-style-type: none"> • Méthode des agrafes • Surfaçage avec un mortier à base de chaux 	L'intervention : <ul style="list-style-type: none"> • L'Injection de résine • Renforcements des fondations

Pathologies	L'action physique	L'humidité et l'étanchéité :	L'humidité et l'étanchéité :
		L'intervention :	L'intervention :

IV.5 Conclusion

Les techniques de réparation varient en fonction de plusieurs conditions, telles que la gravité du désordre, la valeur patrimoniale ou historique du bâtiment, le coût de la technique, l'efficacité de la technique et la disponibilité de la main-d'œuvre qualifiée pour appliquer correctement la technique. En général, les techniques doivent être réalisées selon les normes appropriées, sinon une technique inadaptée à la problématique à réparer ou à prévenir peut causer d'importants dommages, allant de la distorsion esthétique à la ruine complète de l'ouvrage. D'après notre travail et notre parcours dans notre mémoire de fin d'études, nous pouvons conclure que les techniques de réparation peuvent être communes aux anciens et aux nouveaux bâtis, mais

seulement dans des cas rares. Généralement, les techniques de réparation diffèrent entre les nouveaux et les anciens ouvrages, même pour une même pathologie, comme dans notre cas d'humidité sur le mur extérieur de la mosquée El Safah. Nous avons utilisé la méthode du sablage pour enlever la couche touchée par l'humidité, ce qui demande une main-d'œuvre coûteuse, mais l'opération a été réalisée avec soin pour préserver l'esthétique et la valeur du mur. Cependant, dans le même cas pour le nouveau bâtiment d'Ecotex, nous avons simplement décapé la partie touchée par l'humidité. Même si nous avons utilisé la même méthode, telle que le drainage, dans notre cas, qui est utilisée pour les deux bâtiments, il existe certaines difficultés à la réaliser sur l'ancien bâtiment, nécessitant une attention particulière pour préserver sa valeur patrimoniale. Par conséquent, on peut dire que la réparation des anciens bâtis est généralement plus difficile et plus coûteuse que celle des ouvrages neufs ou des ouvrages qui n'ont pas de valeur historique ou patrimoniale. Aussi, on peut dire que les anciens bâtiments sont plus durables que les nouveaux bâtiments, ce qui est constaté d'après la comparaison entre les deux types de constructions et les désordres constatés malgré une différence d'environ 90 ans entre eux.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

La consolidation structurale d'une ancienne et nouvelle construction préexistantes est un sujet très important dans le domaine de la construction. Les bâtiments ayant souvent subi des dommages au fil du temps, la consolidation structurale est un processus essentiel pour garantir la sécurité des occupants et la durabilité de la structure. Dans ce mémoire, nous avons effectué un diagnostic pathologique comparatif entre une ancienne construction et une nouvelle construction préexistantes pour évaluer leur état de santé structurelle et proposer des solutions de consolidation adaptées.

Nous avons examiné les différentes techniques de consolidation structurale de mêmes pathologies pour les bâtiments préexistants, telles que l'ajout d'armatures passives, l'injection de résine et le surfaçage...etc.

Les résultats de notre étude ont montré que les techniques de consolidation structurale peuvent être adaptées en fonction des particularités de chaque bâtiment, de l'état de la structure, des types de matériaux utilisés et de la nature des charges qui sont appliquées. Nous avons également constaté que les techniques de consolidation peuvent être combinées pour atteindre le meilleur résultat possible. Et pour assurer les résultats après la consolidation il faut faire un suivi pendant une durée de temps étudié, et bien sûr l'entretien régulier est important pour préserver la qualité et la durabilité des constructions

En conclusion, la consolidation structurale d'une ancienne et nouvelle construction préexistantes est un processus complexe qui nécessite une évaluation minutieuse de l'état de la structure et une connaissance approfondie des techniques de consolidation disponibles. Ce mémoire a proposé des solutions de consolidation adaptées pour une ancienne construction et une nouvelle construction préexistantes, en utilisant une approche comparative pour évaluer l'efficacité de chaque technique.

LISTE DE RÉFÉRENCES

Abbeche K, polycopié «Pathologie, diagnostic, prévention et maintenance des structures». Université de Batna2, 2017.

Bedj Rachid & Ouai Aissa, travail universitaire «Techniques de réparation et de renforcement des ouvrages». Université de Laghouat Amar Telidji, 2014.

Benkhelifa Chouaib et Ameieur Taha Yacine, mémoire de master «Pathologie des constructions civiles : Diagnostique et Techniques de réparation ». Université de Laghouat Amar Telidji, 2013.

Chouaib Fatna & Ayachi Souhila, mémoire de master «restauration du patrimoine bâti : Etude de cas d'une ancienne maison située à el Gharbia à Laghouat». Université de Laghouat Amar Telidji, 2019.

Coignet Jean, livre «Arts de bâtir traditionnels : Connaissance de techniques de réhabilitation». C.-Y. Chaudoreille, édisud, Aix-en-Provence, 1987. ISBN 2-85744-252-1.

Ecohabitation, Article, «POSER, NETTOYER, RÉPARER OU REMPLACER UN DRAIN FRANÇAIS». Site web écohabitation, mai 2012.

Geopietra, Manuel technique, « Murogeopietra». Edition geopietra, 2020.

Ghomari Fouad, polycopié de cours «pathologie des constructions». Université de Tlemcen Aboubekr Belkaid, 2007.

Gibert Clarey S, collection Technique «Bétons et ouvrages d'art : la maîtrise esthétique des parements en béton». France, février 2005.

Groupe Propamsa, «Réparation et protection du béton» article, site: ciment molins,2023.

Guide strres, guide « Traitements des fissures par injection». Édition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de renforcement de structures (strres). novembre 2013.

Guide strres, guide «Traitements des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation». Edition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de renforcement de structures (strres), 2008.

Guide sur la décontamination, guide, édition : La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux. Gouvernement du Québec, 2014.

Halmaoui salim, Thèse de doctorat «Maintenance, entretien et réparation des ponts». Université de Biskra Mohamed Khider, 2012.

Hindersé Frédéric, article sur site web, « Etanchéité: Infiltration d'eau les causes et les conséquences». Edition Harmonie, juin 2015.

https://telum.umc.edu.dz/pluginfile.php/81338/mod_resource/content/1/Chapitre_5.pdf

Khelifi Abdellah Khelaif Sarah, mémoire de master «Étude de la fissuration dans les structures en béton armé, étude des cas réel». Université de Laghouat Amar Telidji, 2019.

Kiouas Sabrina & Sayah Ben Aissa Saadia, Mémoire de Master «Les habitats ancien et /ou précaire {Pathologies et remèdes} ». Université de Ghardaia, 2022.

Le Moniteur, 2007 : « 250 solutions pour éviter les désordres dans le bâtiment». Paris, édition le moniteur, 2007.

Luc Courard et Benoît Bissonnette, Recherche universitaire «Réparation des ouvrages en béton armé». Université de Liège et l'Université Laval, 2016.

Mama Mohamed Faïssol B, mémoire de fin de formation «Prise en compte des pathologies du béton arme dans la conception, la réalisation et la maintenance des éléments de structure des bâtiments exposes aux embruns marins ». Université d'Abomey-Calavi (UAC), République du Benin, 2013.

Mamillan Marc, «Restauration des bâtiments en béton armé». Article C2350, Technique d'Ingénieur, Août 1994.

Marie-Charlotte Dutheil, « Savigny : le parking de la rue des Arcades ne rouvrira pas avant plusieurs semaines », article. Le parisien, mars 2019.

NF EN1504-9, Norme française et Européenne, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, exigences et maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 9 : principes généraux d'utilisation des produits et systèmes»,2008.

Ouiza KACI, Mémoire de master professionnel «Outil d'aide à la decision appliqué aux ouvrages d'art». Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2017.

Ouzaa Kheira, polycopié de cours « Réhabilitation des structures ». Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF U.S.T.O, 2015.

Recos-strres N°21, guide « Drainage et protection contre les eaux des ouvrages en maçonnerie». Edition du syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de renforcement de structures (strres), 2021.

Références Bibliographique

Technique de l'Ingénieur, « décontamination : définition et propriétés», article. 2011.

Thomas Telford, «Durable Concrete Structures Design Guide». Ouvrage, Services Ltd, 1997.

URETEK, Manuelle technique, « Consolidation des sols et stabilisation de bâtiments».

URETEK. France, 1982.

Titre du mémoire : Consolidation structurale d'une ancienne et nouvelle constructions préexistantes : Diagnostic pathologique comparatif.

Nom et Prénom : Ben messaoud Nour Halima & Rezzoug Mohamed Mounder.

Encadreur : Damene Zineb.

Résumé : Dans le domaine de la construction, il est essentiel de se concentrer sur la conception et la réalisation, et même d'intégrer des techniques de prévention des désordres dès la conception et la réalisation. Cependant, il ne faut pas négliger l'importance de la réparation des désordres, car avec le temps, des désordres apparaissent généralement dans les ouvrages en raison de plusieurs conditions telles que le vieillissement de l'ouvrage, les conditions climatiques défavorables ou une mauvaise réalisation ou conception. Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons essayé de couvrir cette partie des désordres dans les ouvrages et les techniques de réparation de ces désordres, tout en comparant la différence de réalisation et de coûts de ces techniques entre les nouveaux et les anciens bâtis.

Mots clés : Ouvrages, Désordres, vieillissement, Prévention, Réparation.

ملخص: في مجال البناء، من الضروري التركيز على التصميم والتنفيذ، وحتى دمج تقنيات الوقاية من الاضرار التي تصيب المباني منذ مرحلة التصميم والتنفيذ. ومع ذلك، يجب عدم تجاهل أهمية الترميم، حيث تظهر عادة اضرار في الهياكل مع مرور الوقت بسبب عدة عوامل مثل الشيخوخة، وظروف المناخ غير المواتية أو التنفيذ أو التصميم السيئ. في مذكرة التخرج هذه، حاولنا تغطية هذا الجانب من الاضرار وتقنيات الترميم، مع مقارنة الاختلاف في تنفيذ هذه التقنيات وتكلفتها بين المباني الجديدة والقديمة.

كلمات مفتاحية: الهياكل، الاضرار، الشيخوخة، الوقاية، الترميم.

Abstract: When it comes to construction, it's essential to focus on design and execution, and even to incorporate disorder prevention techniques right from the design and execution stage. However, the importance of repairing disorders should not be overlooked, as over time, disorders generally appear in structures due to a number of conditions such as ageing of the structure, unfavourable climatic conditions or poor execution or design. In this dissertation, we have attempted to cover this aspect of structural disorders and the techniques for repairing them, while comparing the difference in implementation and cost of these techniques between new and old buildings.

Key words: Structure, Disorders, Ageing, Prevention, Repairing.